ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1997
Seria: BUDOWNICTWO z. 84 Nr kol. 1376

Lidia FEDOROWICZ, Jan FEDOROWICZ

# OBLICZANIE BUDYNKÓW WYCHYLONYCH NA TERENACH GÓRNICZYCH

**Streszczenie.** W pracy opisano wyniki numerycznej analizy budynku wielkopłytowego, który uległ wychyleniu z pionu w wyniku eksploatacji górniczej. Obliczenia budynku i podłoża gruntowego wykonano za pomocą programów bazujących na metodach SES i MES z wykorzystaniem sprężysto-plastycznego modelu gruntu.

# CALCULATING OF TILTED BUILDINGS IN MINING AREAS

**Summary.** The numerical test of the tilted building in mining area is presented. The calculation was undertaken on basis of Stiff Elements Method (for the building) and Finite Elements Method (for the subsoil). Elasto-plastic properties of the ground were taken into consideration.

## 1. Wprowadzenie

Skutki działalności górniczej, ujawniające się w postaci deformacji powierzchni terenu, są opisywane dla celów inżynierii budowlanej pięcioma wskaźnikami: przemieszczeń pionowych (w), przemieszczeń poziomych (u), odkształceń (ε), nachyleń (T) oraz krzywizny (K). Wartości tych wskaźników, prognozowane przed rozpoczęciem prac wydobywczych, stanowią w obliczeniach statycznych miarę obciążeń konstrukcji eksploatacją górniczą.

Powszechnie za podstawowe zagrożenie dla stanu użytkowania i nośności budowli uznaje się odkształcenie (ε) i promień krzywizny terenu (R ). Wpływ nachylenia terenu (T) uwzględniany jest w analizie pracy konstrukcji standardowo jedynie w budynkach wysokich. W specyficznych warunkach współpracy budowli z podłożem nachylenia mogą jednak stanowić podstawowy wskaźnik zagrożenia dla prawidłowej pracy konstrukcji.

Prognozowanie wskaźników deformacji jest wynikiem stosowania różnorodnych metod obliczeń, od tradycyjnych, przyjmujących założony rozkład wpływów, przez teorie statystyczno-całkowe, do metod najnowszych, opartych na założeniach ośrodka reologicznego. Ustalanie się stanu równowagi wtórnej w górotworze związane jest jednak z rzeczywistymi warunkami geologicznymi i eksploatacyjnymi, często nie odtwarzalnymi modelowo. Pomiary geodezyjne, rejestrujące towarzyszący eksploatacji stan deformacji terenu, nie zawsze zatem potwierdzają wyniki najbardziej nawet wyszukanych obliczeń prognostycznych. Należy poza tym zwrócić uwagę, że prognozowanie daje opis stanu deformacji wolnej, nie obciążonej budynkiem powierzchni terenu.

Realny, końcowy stan wychylenia budynku może być prawidłowo określany jedynie przy uwzględnieniu jego współpracy z podłożem. Jest to postulat szczególnie istotny w przypadku niekorzystnych warunków gruntowych. Redystrybucja bryły obciążeń budynku wychylonego na skutek eksploatacji może bowiem wywołać wtórny efekt nierównomiernego osiadania obiektu. Przykładowo stan taki zarejestrowano w kilku osiedlach satelickich miasta Jastrzębie, w budynkach posadowionych na gruntach lessopodobnych, przewarstwionych gruntami organicznymi.

W artykule przedstawiono proces pełnej analizy obliczeniowej, jaką zdaniem autorów należy przeprowadzać dla budynków zagrożonych:

- dużymi wychyleniami,
- planowanym wielokrotnym przejściem eksploatacji górniczej,

oraz posadowionych na gruntach silnie odkształcalnych.

## 2. Analiza problemu - przykład obliczeniowy

Wartości dopuszczalnych granicznych wychyleń budynków, otrzymywane w wyniku oceny uciążliwości użytkowej ($T_{gr}^{uż}$), są zazwyczaj niższe od wartości ($T_{gr}^{noś}$), koniecznych do spełnienia warunków statyczno-wytrzymałościowych konstrukcji. Wartość $T_{gr}^{uż}$ narzuca zazwyczaj warunek bezpiecznego funkcjonowania wind. Wartość $T_{gr}^{noś}$ natomiast w klasycznym postępowaniu inżynierskim określa się przeprowadzając obliczenia na uproszczonych schematach statycznych, z pominięciem wpływu podłoża na pracę konstrukcji. Przykładowo w pracach

[6,7,8], nawiązując do normy BN-79/8812-01, uogólniono problem dla pewnej klasy budynków wielkopłytowych do 12 kondygnacji, proponując wartości $T_{gr}^{nos}$=30mm/m oraz $T_{gr}^{uz}$=25mm/m.

Takie uproszczone podejście okazuje się jednak niewystarczające w przypadku wystąpienia dwóch z poniższych "czynników ryzyka", gdy:

- wychylenia budynku bliskie są wartościom granicznym, ocenionym w sposób klasyczny,
- planowane jest wielokrotne przejście frontu eksploatacji,
- występują złożone warunki geologiczne i górnicze oraz niekorzystne warunki posadowienia budynku.

Przedstawioną w pracy, poszerzoną analizę numeryczną przeprowadzono dla rzeczywistego, 11-kondygnacyjnego budynku mieszkalnego, który w wyniku eksploatacji górniczej uległ wychyleniu z pionu 2-krotnie większemu od prognozowanego i jest zagrożony przejściem kolejnego frontu robót górniczych. Ocenie poddano zarówno pracę przestrzenną konstrukcji, jak również zachowanie się podłoża w warunkach możliwego uplastycznienia. Budynek znajduje się w obszarze wpływów górniczych KWK „Kleofas" na terenie, który został zaliczony do III kategorii przydatności do zabudowy. Składa się on z 2 niezależnych segmentów o identycznej budowie, oddylatowanych kilkunastocentymetrową szczeliną. Fundament tworzy płyta żelbetowa o grubości 60 cm z żebrami pod ścianami nośnymi. Podłoże stanowią piaski gliniaste w stanie twardoplastycznym. Górotwór budują warstwy nadkładowe grubości 5-15 m oraz utwory karbonu produktywnego. W bezpośrednim sąsiedztwie budynku eksploatacje prowadzone były od lat osiemdziesiątych w pokładach grupy 500. Od lat dziewięćdziesiątych eksploatowany był z zawałem stropu pokład 510 (rys.1). W odległości ok. 50 m na zachód znajduje się uskok środkowy o przebiegu południkowym i zrzucie warstw 40-60 m w kierunku zachodnim. Z uwagi na złożone warunki geologiczne obszar całego osiedla poddany został ciągłym obserwacjom geodezyjnym (rys.2).

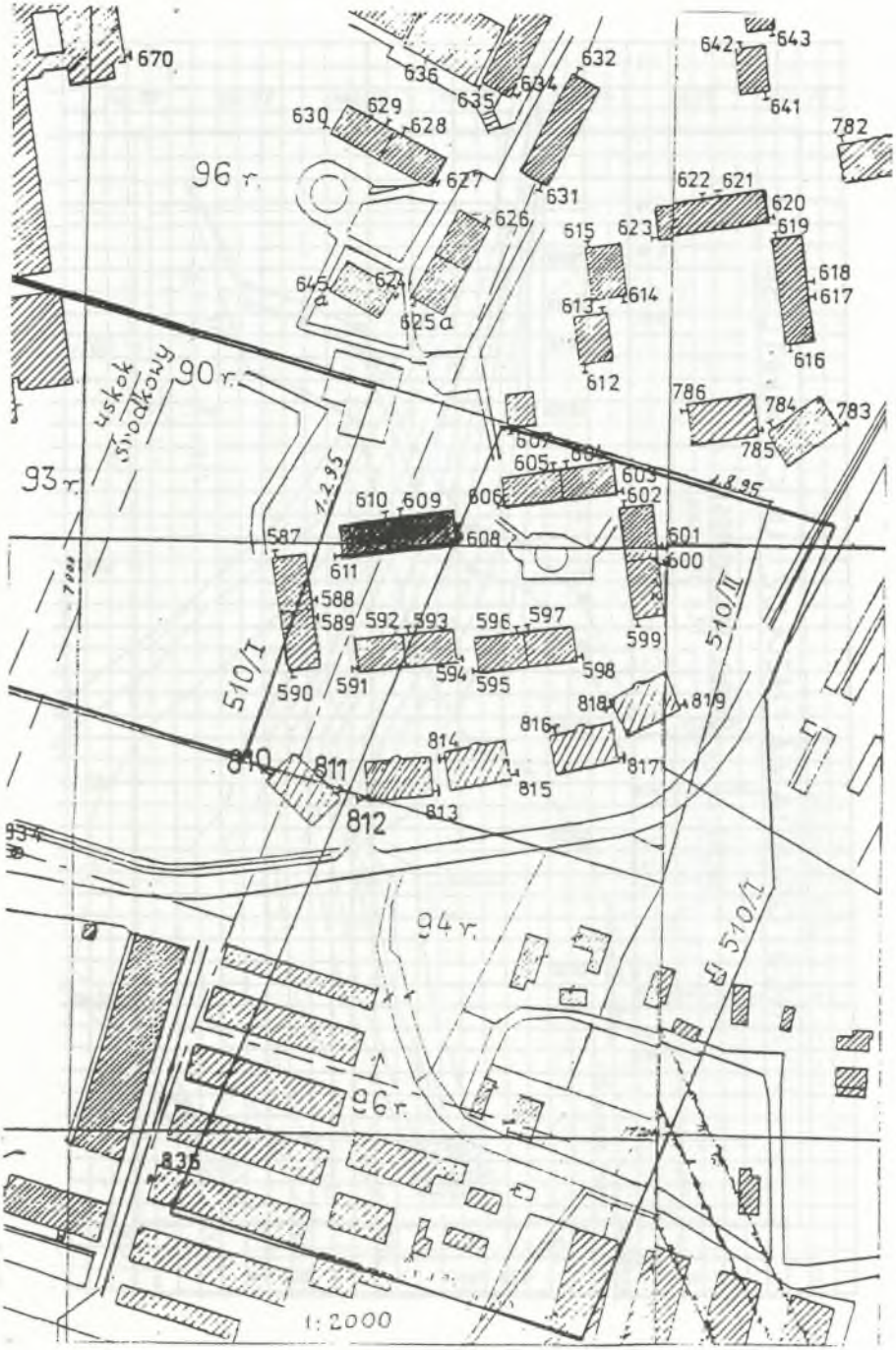
Wskaźniki deformacji powierzchni terenu prognozowane dla bieżącej eksploatacji określono wg teorii Budryka-Knothego dla parametrów zgodnych z poprzednimi eksploatacjami i urealnianych pomiarami geodezyjnymi. Przewidywane średnie wychylenie miało wartość $T_{obl}$=13.7 mm/m. Pomierzone zaś, dla bardziej wychylonego segmentu analizowanego budynku, wyniosło w październiku 96 r. $T_{pom}$=26.7.mm/m. Jest to 2-krotnie więcej od wartości prognozowanej i stanowi przekroczenie granicznego stanu użytkowania określonego wartością $T_{gr}^{uz}$=25mm/m. Ponieważ oprócz bieżącej eksploatacji planowane jest rozpoczęcie nowej w

pokładach grupy 600, określono, po ponownej korekcie parametrów, ostateczny wzrost wychylenia segmentu budynku do $T_{obl}$=29 mm/m. Pomimo zatem dobrego stanu technicznego oraz braku widocznych uszkodzeń świadczących o występujących przeciążeniach konstrukcji przeprowadzono dla segmentu silniej wychylonego analizę statyczno-wytrzymałościową. Wartość wychylenia $T_{pom}$=26.7mm/m i kierunek (w stronę narożnika B-1) przyjęto zgodnie z wynikami pomiarów z października 96 r.

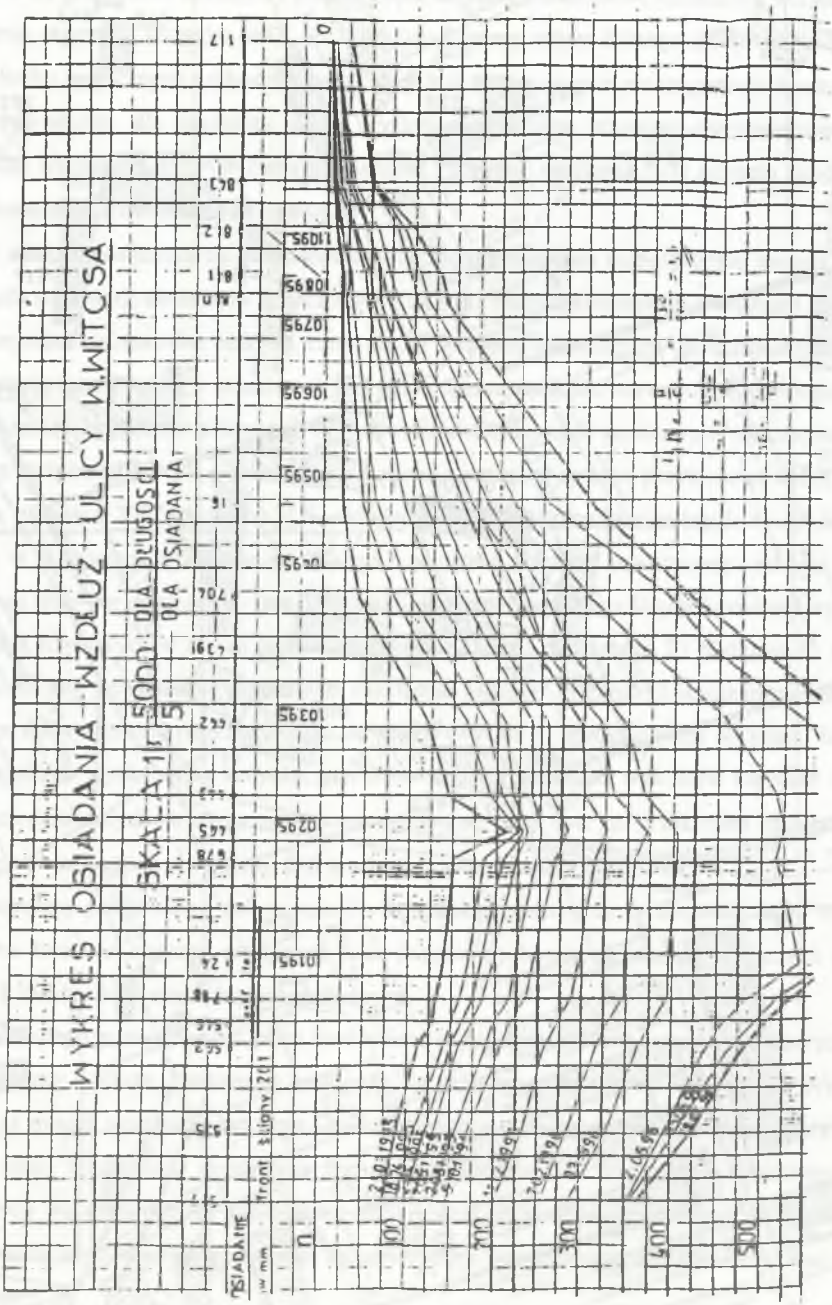
W analizie posłużono się przestrzennym-tarczowym modelem numerycznym metody SES (metoda sztywnych elementów skończonych-[1,2,4]) z liniowo-sprężystymi związkami konstytutywnymi dla elementów nośnych konstrukcji i sprężysto-plastycznymi dla materiału złączy. Redystrybucja obciążeń w przestrzeni zachodzi poprzez wielkości wewnętrzne powstające w połączeniach elementów pionowych i poziomych, deformujących się w swych płaszczyznach. Tarcze stropowe i ścienne o rzeczywistej grubości i perforacji opisano przestrzenną siatką dyskretną tworzącą 2082 elementy SES, określające 6246 wartości (odniesionych do osi lokalnych) w przestrzeni przemieszczeń. Na rys.3 pokazano fragment utworzonego modelu dyskretnego dla wybranych ścian - poprzecznej i podłużnej. Poniżej (rys.3) przedstawiono wykres naprężeń ścinających w złączu pionowym pomiędzy ścianą poprzeczną 2 i podłużną C, rejestrując zmiany wywołane w pierwotnym rozkładzie naprężeń (wykres 1) obciążeniem pochodzącym od wychylenia (wykres 2) oraz od wiatru (wykres 3). Redystrybucję obciążeń, do jakiej doszło w wychylonym budynku, pokazano na rys.4 w postaci wykresów naprężeń normalnych działających na ściany poprzeczne i podłużne, gdzie $\alpha$-$\alpha$ jest przekrojem na wysokości stropu kondygnacji piwnicznej, $\beta$-$\beta$ przekrojem nad płytą fundamentową.

Otrzymany przestrzenny stan naprężeń w konstrukcji posłużył do sprawdzenia stanu wytężenia na docisk w złączach poziomych ścian poprzecznych oraz na ścinanie w złączach pionowych między ścianami nośnymi i podłużnymi.

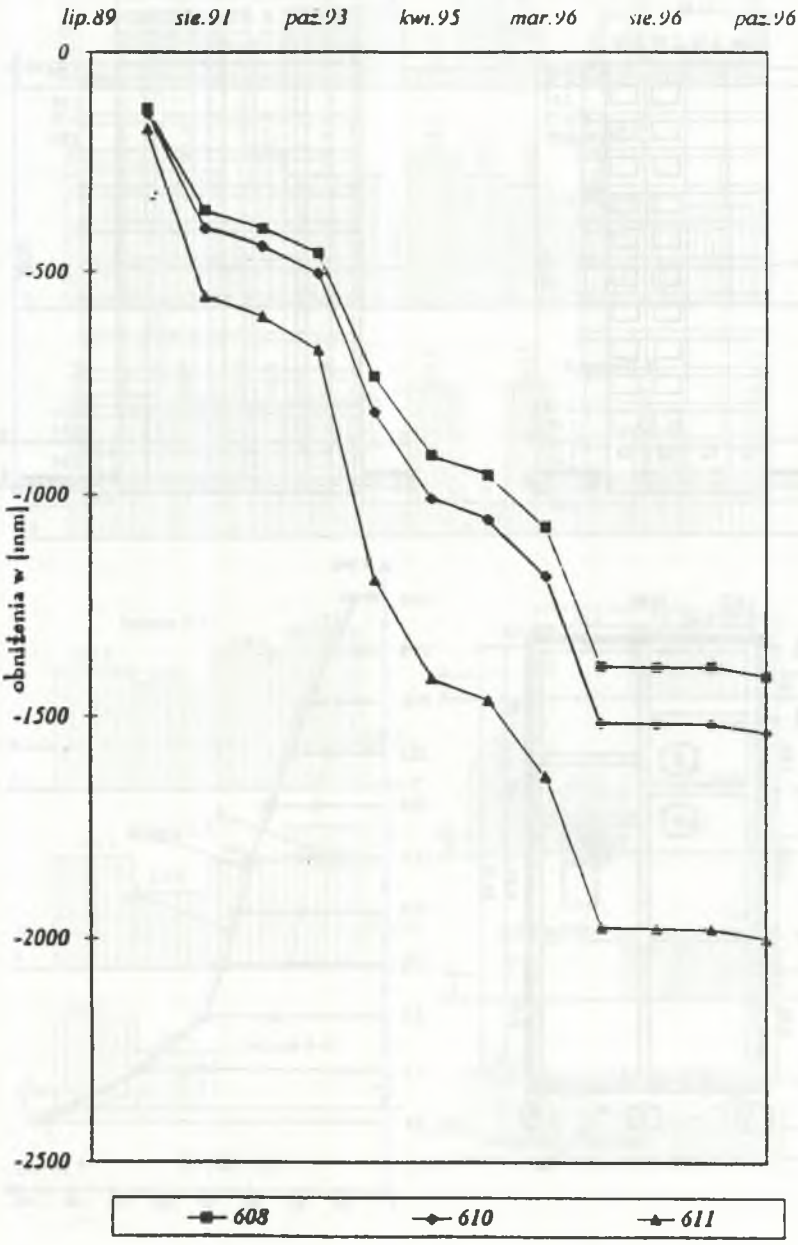
Dla nowego stanu obciążeń płyty fundamentowej przeprowadzono natomiast numeryczną analizę pracy podłoża gruntowego posługując się pakietem programów CRISP93 [3]. Wykorzystując model sprężysto-plastyczny Coulomba-Mohra, rozpatrzono najniekorzystniejszy dla stateczności fundamentu poprzeczny kierunek wychylenia. Dla parametrów wyjściowych, przyjętych wg dokumentacji geologiczno-inżynierskiej, otrzymano nierównomierne osiadanie fundamentu płytowego oraz znaczny, niesymetryczny stan uplastycznienia podłoża pod budynkiem.


670
636
635
634
632
642
643
641
782
630
629
628
627
631
96 r.
626
622
621
620
619
515
623
618
617
645
624
625a
614
613
616
612
90 r.
uskok środkowy
786
784
783
785
93 r.
607
606
605
604
603
602
610
609
608
601
600
587
611
588
589
592
593
596
597
599
510/II
510/I
590
591
594
595
598
818
819
816
817
814
815
810
811
812
813
94 r.
96 r.
835
1:2000

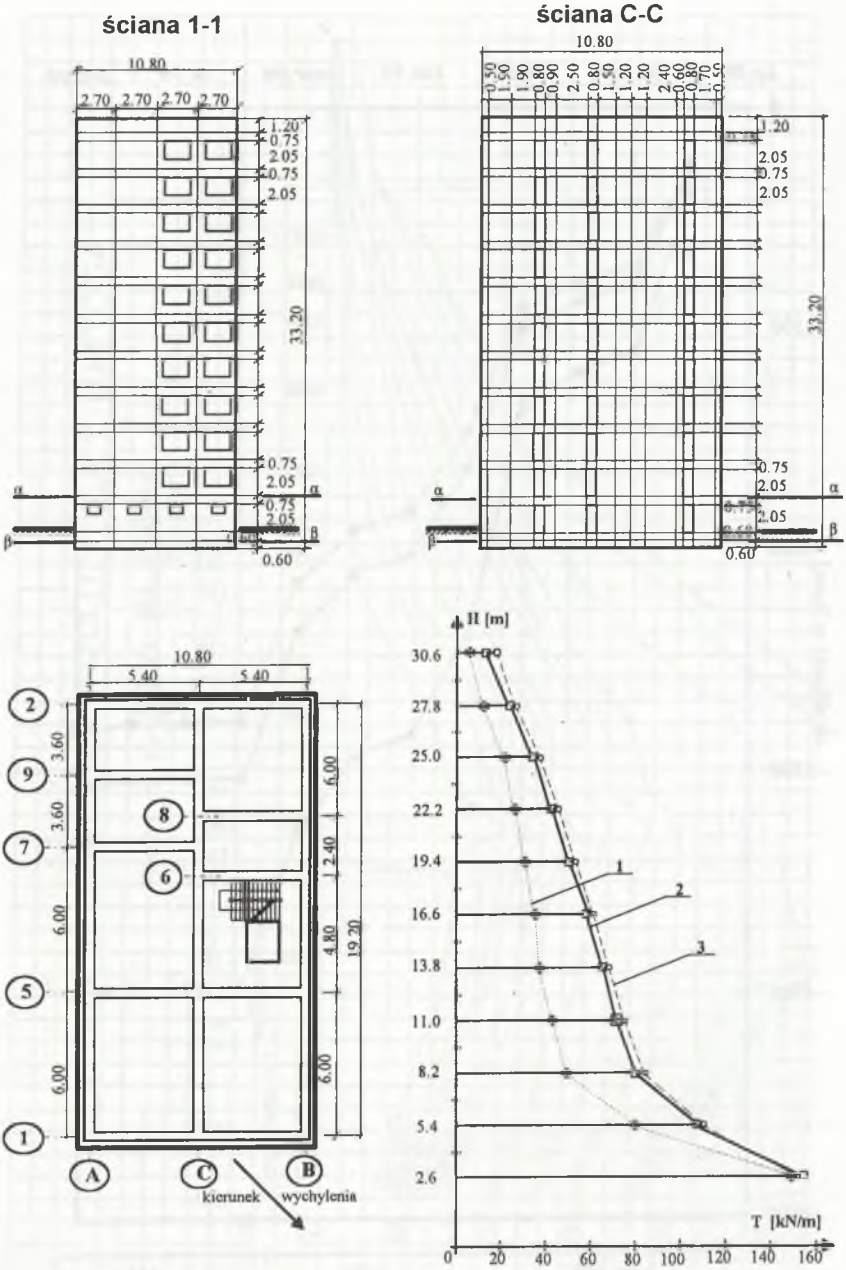
Rys.1.


WYKRES OSIADANIA WZDŁUŻ ULICY W.WITOSA
SKALA 1:5000 DLA DŁUGOŚCI
5 DLA OSIADANIA
OSIADANIE
w mm
0
100
200
300
400
500

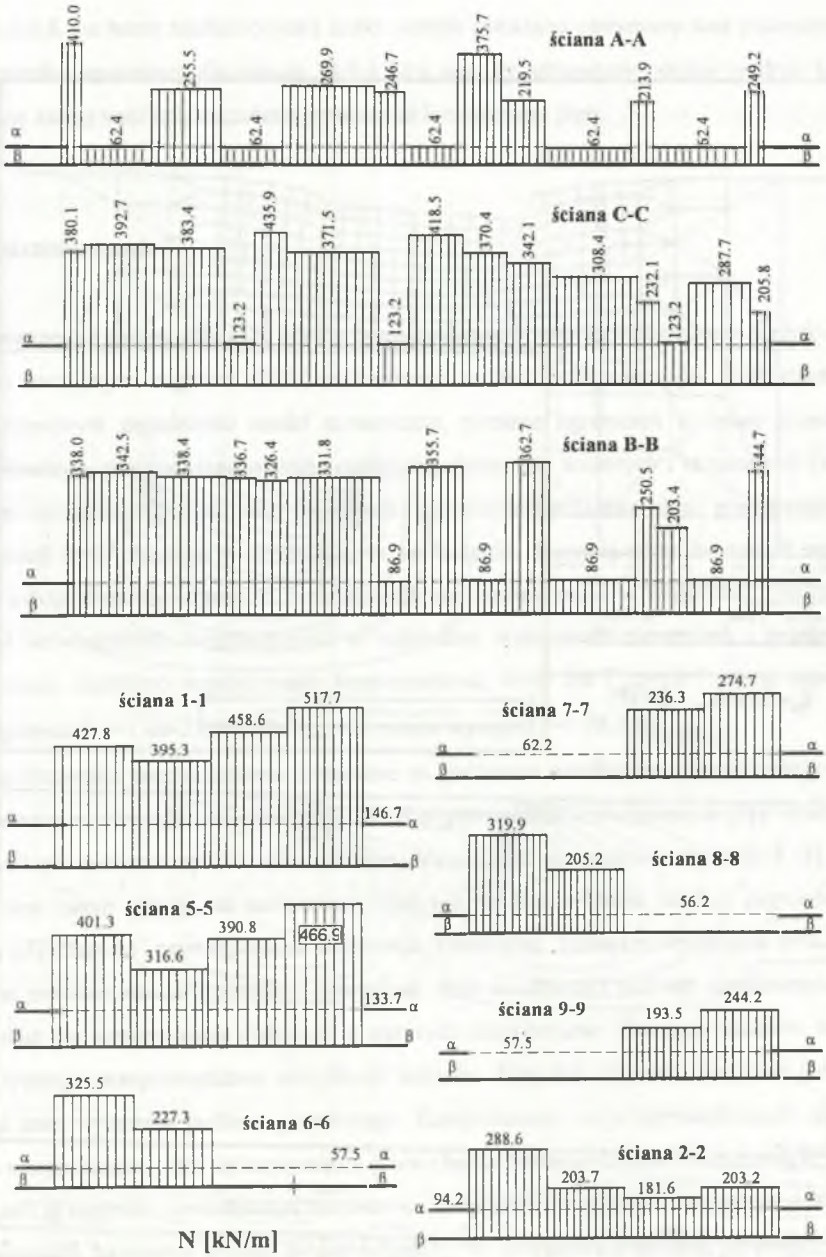
Rys.2


lip.89
sie.91
paz.93
kwi.95
mar.96
sie.96
paz.96
0
-500
-1000
-1500
-2000
-2500
obniżenia w [mm]
608
610
611

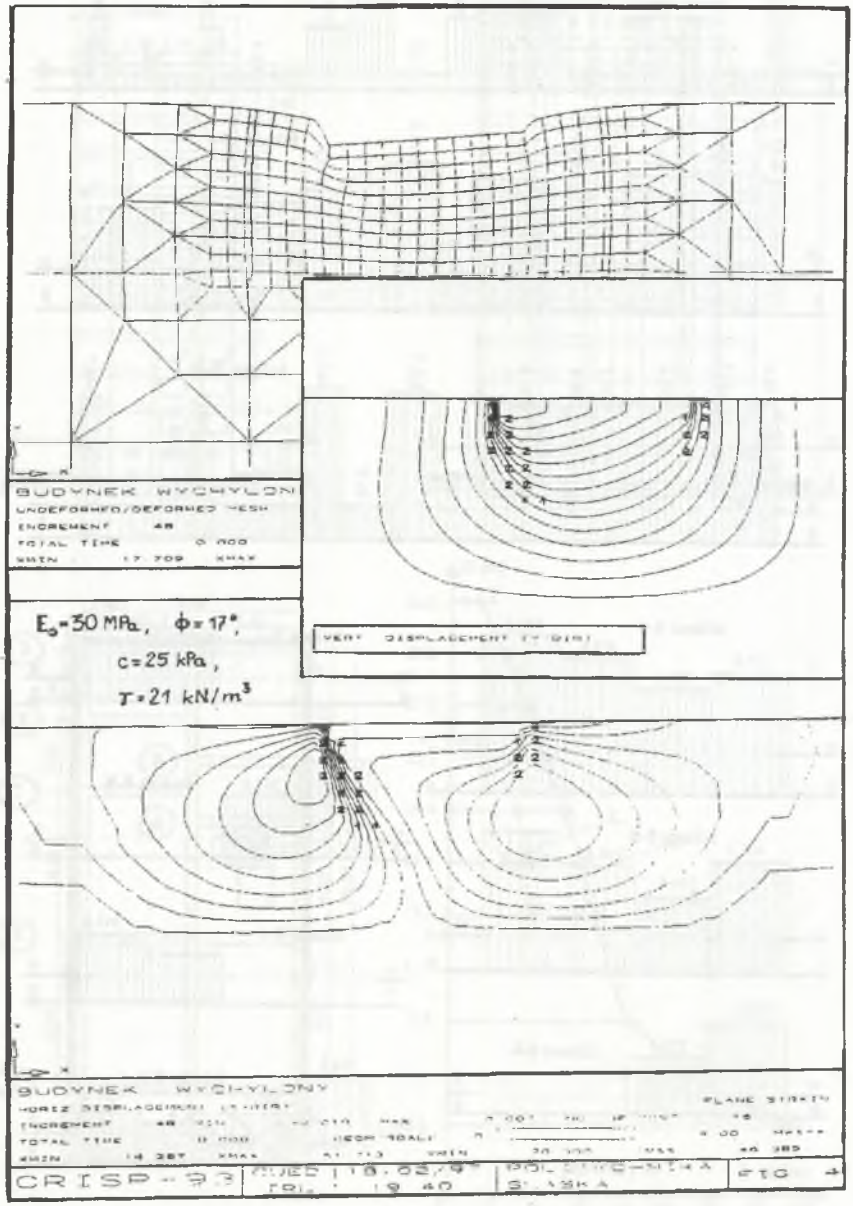
Rys.2.


ściana 1-1
10.80
2.70 2.70 2.70 2.70
1.20
0.75
2.05
0.75
2.05
33.20
0.75
2.05
0.75
2.05
0.60
ściana C-C
10.80
0.50 1.50 1.90 0.80 0.90 2.50 0.80 1.50 1.20 1.20 2.40 0.60 0.80 1.70 0.50
1.20
2.05
0.75
2.05
33.20
0.75
2.05
2.05
0.60
10.80
5.40 5.40
3.60
3.60
6.00
6.00
6.00
2.40
4.80
6.00
19.20
kierunek wychylenia
H [m]
30.6
27.8
25.0
22.2
19.4
16.6
13.8
11.0
8.2
5.4
2.6
1
2
3
T [kN/m]
0 20 40 60 80 100 120 140 160

Rys.3.


ściana A-A
410.0
62.4
255.5
62.4
269.9
246.7
62.4
375.7
219.5
62.4
213.9
62.4
249.2
ściana C-C
380.1
392.7
383.4
123.2
435.9
371.5
123.2
418.5
370.4
342.1
308.4
232.1
123.2
287.7
205.8
ściana B-B
338.0
342.5
338.4
336.7
326.4
331.8
86.9
355.7
86.9
362.7
86.9
250.5
203.4
86.9
344.7
ściana 1-1
427.8
395.3
458.6
517.7
146.7
ściana 7-7
62.2
236.3
274.7
ściana 8-8
319.9
205.2
56.2
ściana 5-5
401.3
316.6
390.8
466.9
133.7
ściana 9-9
57.5
193.5
244.2
ściana 6-6
325.5
227.3
57.5
ściana 2-2
288.6
94.2
203.7
181.6
203.2
N [kN/m]

Rys.4.


BUDYNEK WYCHYLONY
UNDEFORMED/DEFORMED MESH
INCREMENT 48
TOTAL TIME 0.000
XMIN 17.709 XMAX
VERT DISPLACEMENT (Y DIR)
$E_o$=30 MPa, $\phi$=17°,
c=25 kPa,
$\gamma$=21 kN/m$^3$
BUDYNEK WYCHYLONY
HORIZ DISPLACEMENT (X DIR)
INCREMENT 48
TOTAL TIME 0.000
XMIN 14.387 XMAX
CRISP-93
FIG 4

Rys.5.

Na rys.5, na bazie zdeformowanej siatki modelu pokazano otrzymany stan przemieszczeń fundamentu, wynoszący dla naroży 33.9 i 50.4 mm. Przedstawiony poniżej wydruk kodów obrazuje zasięg stref uplastycznienia gruntu pod krawędziami płyty.

## 3. Podsumowanie

Niezmiernie ważną rolę przy ocenie bezpieczeństwa konstrukcji zagrożonej jakimkolwiek stanem awaryjnym odgrywa dobór adekwatnego modelu obliczeniowego. Zastosowany w przedstawionym zagadnieniu model numeryczny, pomimo ograniczeń w opisie przestrzeni przemieszczeń, poprzez zapewnienie współpracy elementów ściennych i stropowych (z właściwym uwzględnieniem ich cech fizycznych i geometrycznych) daje obraz przestrzennej redystrybucji bryły obciążeń w wychylającym się budynku. Pozwala także na analizę wpływu zmian odkształcalności złączy na rozkład wielkości wewnętrznych w konstrukcji. Na podstawie sił wewnętrznych, wyznaczonych w najbardziej wytężonych elementach i przekrojach konstrukcji, określono współczynniki bezpieczeństwa, które dla $T_{pom}$=26.7 mm/m zawierały się w granicach s=1.48-2.60, a dla $T_{pom}$=30 mm/m wynosiły s=1.39-2.61.

Współczynniki bezpieczeństwa otrzymane na podstawie rozwiązania przestrzennego są w analizowanym przypadku większe o 6-20% od współczynników otrzymanych przy wyznaczeniu wielkości wewnętrznych z wykorzystaniem klasycznych schematów inżynierskich [8].

Można zatem przyjąć, że analizowany budynek nie jest w chwili obecnej zagrożony od strony przeciążenia newralgicznych elementów konstrukcji. Istniejące wychylenie obniża natomiast znacznie standard mieszkań, powodując duże uciążliwości przy ich użytkowaniu oraz wywołuje złe samopoczucie zwłaszcza u starszych mieszkańców. Usunięcie skutków wychylenia wymaga przeprowadzenia rektyfikacji budynku. Niepokój inżyniera powinien jednakże budzić stan wytężenia podłoża gruntowego. Zarejestrowany w przeprowadzonych obliczeniach niesymetryczny stan uplastycznienia gruntu będzie bowiem narastał wraz z redystrybucją obciążeń w budynku, towarzyszącą wzrostowi wychylenia. Do obliczeń przyjęto na podstawie dokumentacji parametry gruntu "nienaruszonego". W przypadku obniżenia parametrów wytrzymałościowych gruntu (c,ϕ), jak sugerują badania dotyczące gruntów poddanych rozluźnieniu na terenach górniczych [5], obszar uplastycznienia może ulec powiększeniu, tworząc niemal płaszczyznę poślizgu pod silniej obciążoną krawędzią fundamentu.

Stan bezpieczeństwa budynku silnie wychylonego należy zatem bezwzględnie przeanalizować z punktu widzenia pracy podłoża gruntowego. W odróżnieniu od konstrukcji, gdzie model sprężysty może być adekwatny do jej stanu wytężenia, dla podłoża jedynie model rejestrujący narastanie i rozwój niesymetrycznego stanu uplastycznienia pod przemieszczającą się bryłą obciążeń budynku może dać obraz ewentualnego stanu zagrożenia stateczności budynku.

LITERATURA

1. ANDERMANN F., FEDOROWICZ L., FEDOROWICZ J.: Przestrzenna praca statyczna budynków ścianowych posadowionych na osiadającym terenie górniczym. Inżynieria i Budownictwo, nr 8/1992.
2. ANDERMANN F., FEDOROWICZ L., FEDOROWICZ J.: Zestaw programów profesjonalno-badawczych do obliczeń budynków o konstrukcji ścianowej na terenach górniczych. Inżynieria i Budownictwo, nr 12/1992.
3. BRITTO A. M.: Crisp 92 PC-386/486 version. Users and programes guide, vol.3 Cambridge University Research Reports 1/7/92, 1992.
4. CINCIO A., CINCIO S.: Dokumentacja programu PUS2 do obliczeń przestrzennych układów ścianowych. Archiwum KTKB, Pol. Śl., Gliwice 1996.
5. GLINKO H.: Opis rozluźnienia gruntów spoistych na terenach górniczych. Pol. Lubelska, seria Budownictwo nr 41, Lublin 1992.
6. KAWULOK M.: Stany graniczne nośności i użytkowania obiektów budowlanych na terenach górniczych. Mater. Konf. Nauk. "Problemy budownictwa mieszkaniowego na terenach eksploatacji górniczej w LGOM" - cz.1, Legnica 1996.
7. KOWALSKI A., KWIATEK J.: Ochrona powierzchni i obiektów budowlanych na terenach górniczych. Przegląd Górniczy nr 4/1995.
8. PRACA ZBIOROWA: Określenie użytkowych wymagań i kryteriów dotyczących deformacji i uszkodzeń budynków mieszkalnych i użyteczności publicznej na terenach górniczych. Praca niepublikowana (maszynopis). Archiwum ITB, Oddział Gliwice, symbol 2,1,3,8a/OG-5/93, nr archiw. 89/2/93.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Stanisław Bielak

**Abstract**

The study deal with the problems of extension numerical analysis of wall-construction buildings in mining regions for buildings:

- subjected to leaning out of vertical direction,
- exposed to multiple mining activity,
- on the weak subsoils.