

Marian KAWULOK, Leszek SŁOWIK
Politechnika Śląska, Gliwice

OBLICZENIOWA ANALIZA WYĘŻENIA ŚCIAN BUDYNKÓW JEDNORODZINNYCH O DUŻYCH WYCHYLENIACH

Streszczenie. W pracy została przeprowadzona obliczeniowa analiza budynków jednorodzinnych, które charakteryzują się znacznymi wychyleniami związanymi z wpływami eksploatacji górniczej. Analiza miała na celu określenie wartości naprężeń w ścianach zewnętrznych budynków, przy uwzględnieniu współpracy stropów. Przedstawione zostały rezultaty analizy oraz wynikające z nich wnioski.

THE COMPUTATIONAL ANALYSIS OF WALLS EFFORT IN THE ONE-FAMILY BUILDINGS ABOUT THE LARGE TILTS

Summary. The computational analysis has been carried out in one-family buildings which are characterized by large tilts resulting from the influences of mining. The analysis aimed at determining the value of stresses in the outside walls of the buildings, taking into consideration the cooperation of the floors. The analysis results and conclusions are presented in the paper.

1. Wstęp

W wyniku przejścia frontu eksploatacji górniczej teren, osiągając maksymalną wartość obniżenia, ulega zazwyczaj uspokojeniu, nachylenie terenu stopniowo zanika, a wychylenie obiektów budowlanych zlokalizowanych w tym obszarze również ulega zmniejszeniu, z tendencją powrotu do sytuacji początkowej. Obiekty budowlane rzadko jednak wracają do stanu pierwotnego. Ma to związek z nieodwracalnymi procesami występującymi w podłożu, które powodują wychylenia obiektów o charakterze trwałym. Zwłaszcza w przypadku usytuowania budowli w strefie brzeżnej niecki osiadań, w której utrzymują się trwałe nachylenia terenu, wychylenia z pionu poszczególnych obiektów mogą przybierać również

znaczniejsze, trwałe wartości. Przy kolejnych eksploatacjach górniczych nachylenia niejednokrotnie sumują się, powodując znaczne wychylenie z pionu obiektów, głównie usytuowanych w strefach brzeżnych niecek poeksploatacyjnych.

Wychylenie obiektów z pionu jest zjawiskiem, któremu pod względem statyczno – wytrzymałościowym trudno przeciwdziałać. W aspekcie technicznym powoduje ono powstanie dodatkowego układu sił, które łącznie z obciążeniem własnym, użytkowym i parciem wiatru mają wpływ na stan wytrzymałości i stateczności konstrukcji [1]. Oprócz problematyki ściśle technicznej, w wyniku wychylenia budynków z pionu pojawiają się również istotne problemy, związane z użytkowaniem budynków [2].

Niniejszą pracę wykonano opierając się na opracowaniu [3], którego celem było sprawdzenie bezpieczeństwa konstrukcji budynków wychylonych o wartościach ≥ 25 mm/m¹). W obszarze tych budynków ujawniać się będą wpływy eksploatacji górniczej prognozowane do 2045 r., w następstwie której budynki mogą ulec dalszemu wychyleniu.

2. Charakterystyka budynków

Praca dotyczy 90 budynków jednorodzinnych, stanowiących rozproszoną zabudowę wolnostojącą. Budynki są częściowo lub w pełni podpiwniczone o wysokości do dwóch i pół kondygnacji, w większości o prostym lub słabo rozczłonkowanym rzucie poziomym.

Konstrukcja ścian budynków wykonana została z murowanych elementów drobnowymiarowych, takich jak: cegła, pustaki betonowe oraz pustaki żużlobetonowe.

Stropy występujące w przedmiotowych obiektach mają konstrukcję zróżnicowaną w zależności od czasu wznoszenia budynków. Wyróżnić można stropy:

- drewniane,
- ceglane lub betonowe na dźwigarach stalowych,
- żelbetowe gęstożebrowe.
- żelbetowe płytowe,

oraz ceglane – odcinkowe na belkach stalowych, nad kondygnacjami piwnicznymi.

Budynki o stropach drewnianych oraz ceglanych i betonowych na dźwigarach stalowych wznoszono w zasadzie do 1955 r. Po tym czasie występują także budynki o żelbetowej

¹) Numeryczną analizę budynków wykonał mgr inż. Łukasz Płaczek

konstrukcji stropów. Dachy w rozpatrywanych budynkach wykonane są w konstrukcji drewnianej lub żelbetowej.

Budynki zostały zabezpieczone na wpływy działalności górniczej w fazie wznoszenia lub wzmocnione w fazie użytkowania. Wzmocnienie to wykonywano stosując ściągi stalowe, kotwione w narożach za pomocą profili stalowych w postaci ciągłych kątowników (na wysokości kondygnacji nadziemnych) lub kątowników przebiegających na wysokości kotwionego stropu.

Stan techniczny budynków był zróżnicowany. Niektóre budynki wykazywały uszkodzenia i lokalne zagrożenia konstrukcji, nie było budynków zagrożonych katastrofą.

3. Analiza statyczna budynków z uwagi na wychylenie

3.1. Założenia wstępne – cel obliczeń

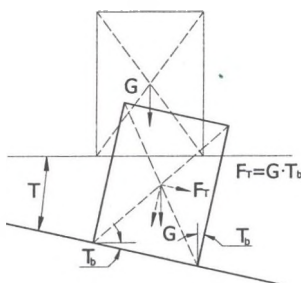
Na skutek nachylenia terenu o wartości T budynek doznaje dodatkowych obciążeń poziomych F_T (rys. 1), które można w przybliżeniu określić jako:

$$F_T = G \cdot T_b \quad (1)$$

gdzie:

G – ciężar budynku,

T_b – wychylenie budynku.



Rys. 1. Dodatkowe obciążenia poziome spowodowane wychyleniem budynku
Fig. 1. Additional horizontal actions caused by the building tilt

Na etapie prognozowania wychyleń budynków przyjmuje się zwykle zgodność wychylenia budynku i nachylenia terenu, czyli $T_b = T$.

Obciążenia poziome F_T przejmowane są przez poszczególne elementy budynków, a w szczególności:

– ściany,

- stropy,
- połączenia ścian ze stropami.

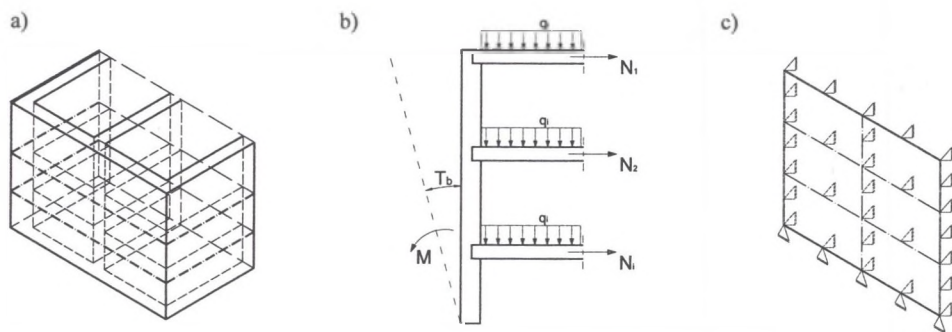
Celem obliczeń jest wyznaczenie naprężeń poziomych S_{xx} oraz pionowych S_{yy} w płaszczyźnie ścian zewnętrznych, przy uwzględnieniu sił poziomych przejmowanych przez stropy.

3.2. Schemat statyczny

Schemat obliczeniowy przedstawiono na rys. 2. Z budynku wydzielono pojedynczą ścianę, wychyloną o wartość T_b , która jest:

- podparta wzdłuż krawędzi pionowych – przegubowo, co wynika z połączenia z prostokątnymi ścianami podłużnymi wewnętrznymi i zewnętrznymi,
- podparta wzdłuż dolnej krawędzi poziomej – przegubowo, co zastępuje działanie fundamentu.

W poziomach stropów, w zależności od ich konstrukcji, ściana jest obciążona siłami N_i , pochodzącymi od momentu M , wywołanego wychyleniem T_b (rys. 2b). Pominięto natomiast siły krawędziowe, pojawiające się w płaszczyźnie ściana – strop.



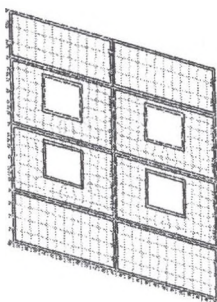
Rys. 2. Schemat wydzielonej ściany z budynku

a) fragment budynku, b) wydzielona ściana, c) schemat obliczeniowy ściany

Fig. 2. The scheme of a wall separated from a building

a) part of the building, b) the separated wall, c) the computational scheme of the wall

Obliczenia statyczne przeprowadzono w programie Robot Millennium v.16.5. Program bazuje na Metodzie Elementów Skończonych. Każdą ze ścian szczytowych zamodelowano jako konstrukcję powłokową. Do dyskretyzacji obszaru zastosowano czworokątne, czterowęzłowe elementy skończone, zgodnie z rys. 3.



Rys. 3. Siatka dyskretyzacji obliczanej ściany
Fig. 3. The discretization net of the analysed wall

3.3. Dane przyjęte do obliczeń

Ze względu na liczbę analizowanych budynków usystematyzowano je pod względem:

- parametrów materiałowych ścian,
- wymiarów i perforacji ścian,
- rodzajów stropów,
- wychylenia budynków lub pojedynczych ścian.

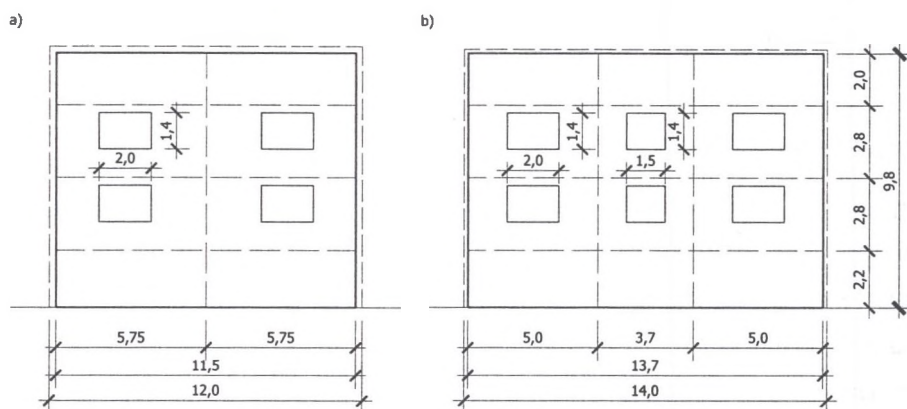
Parametry materiałowe przyjęto na podstawie PN-B-03002, lipiec 1999 "Konstrukcje murowe niezbrojone. Projektowanie i obliczanie". Zastosowano liniowo – sprężysty model materiału. Założono, że mury zostały wykonane na zaprawie o wytrzymałości średniej na ściskanie $f_m < 5$ MPa. W przypadku jednorodnej konstrukcji, jaką jest wychylona ściana, moduł sprężystości nie ma wpływu na wartości obliczanych naprężeń (obliczenia wykonano dla $E_\infty = 910$ MPa).

Norma PN-B-03002 nie przewiduje dla murów o niskiej wytrzymałości na ściskanie możliwości przejmowania naprężeń rozciągających. W istniejących konstrukcjach można jednak przyjmować, że rzeczywiste wartości wytrzymałości muru na rozciąganie zawierają się w granicach $0,1 \div 0,15$ MPa.

Obliczenia ścian wykonano według dwóch schematów pokazanych na rys. 4, przyjmując każdorazowo ich grubość 38 cm (1,5 c) lub 51 cm (2 c). Schematy te obrazują ściany budynków o długości odpowiednio $8 \div 12$ m i 14 m. Wysokość kondygnacji przyjęto 2,80 m.

Praca wychylonej ściany w dużym stopniu zależy od rodzaju stropów, które mogą przejmować siły poziome N_i (rys. 2b), powstające w ich płaszczyznach. Warunkiem należytego przejścia przez strop sił spowodowanych wychyleniem budynku jest jego skonstruowanie w formie tarczy powiązanej ze ścianami. Spełniają to stropy monolityczne żelbetowe płytowe i żebrowe. Obliczono, że stropy te mogą przenosić w swojej płaszczyźnie siły o wartości > 88 kN/m. W stropach drewnianych nie dochodzi do przejścia siły N_i , ze

względu na fakt, iż nie ma współpracy drewnianych elementów konstrukcyjnych stropu z murem, gdyż współczynnik tarcia drewna po cegle równy jest zero. W przypadku natomiast sklepień ceglanych, występujących najczęściej nad piwnicą, siła pozioma N_i powinna być mniejsza od siły rozporu sklepienia, którą oszacowano na wartość równą 4,4 kN/m. W stropach betonowych na belkach stalowych graniczną wartość siły poziomej, jaką jest w stanie przenieść strop, określono na 19 kN/m.



Rys. 4. Schemat ściany budynku: a) dwutraktowego, b) trójtaktowego

Fig. 4. Scheme of the building wall: a) double - coursed, b) three - coursed

W zależności od konstrukcji stropów maksymalne wychylenia budynków mają wartości podane w tablicy 1.

Tablica 1

Maksymalne wychylenie budynków

Rodzaj stropu	Wychylenie budynku T_b [‰]	
	istniejące	prognozowane
Drewniane	72	91
Na belkach stalowych	55	64
Żelbetowe	68	75

Obliczenia wykonano dla prognozowanych wartości wychyleń budynków z uwzględnieniem odpowiedniej konstrukcji stropów, przyjmując każdorazowo omówione własności materiałowe muru i różnicując schematy ścian budynków według rys. 4.

Przykładowe wyniki obliczeń przedstawiono dla najbardziej niekorzystnych prognozowanych wychyleń budynków w tablicach 2 ÷ 7, podając maksymalne wartości naprężeń rozciągających S_{xx} i S_{yy} na powierzchniach zewnętrznej (z) i wewnętrznej (w) ściany oraz sił poziomych w stropach N_i . Na rys. 5 zostały pokazane przykładowe mapy naprężeń S_{xx} dla modelu S2-38.

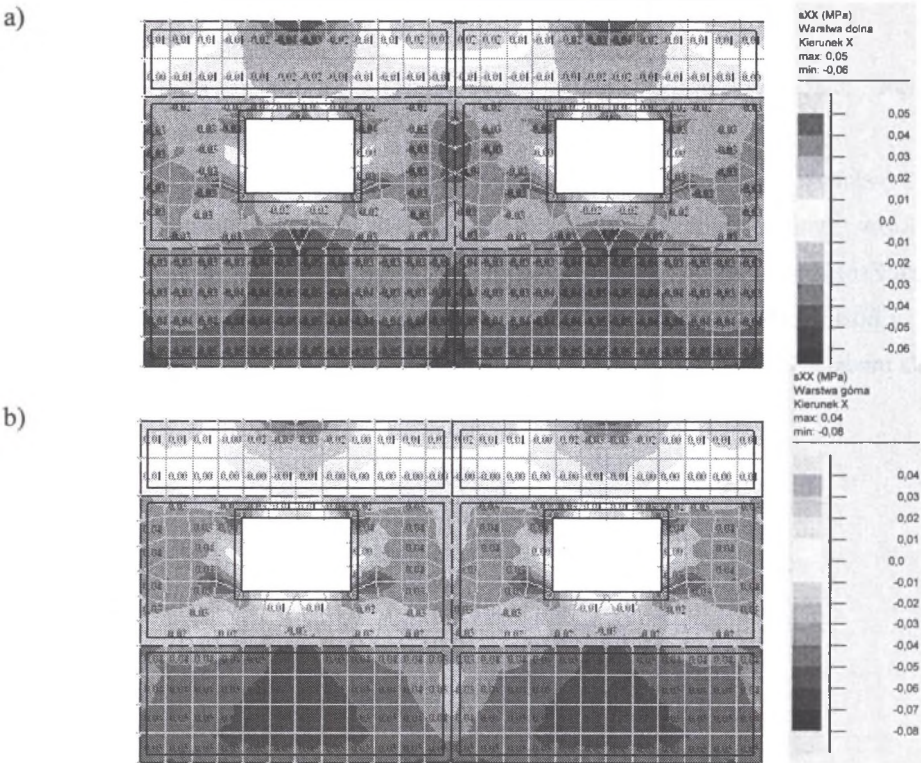
T _{max} = 91‰					
Model	S _{xx} [MPa]		S _{yy} [MPa]		N [kN/m]
	w	z	w	z	
S3-38	0,09	0,07	0,01	0,01	3,98
S3-51	0,07	0,05	0,01	0,01	4,71
N3-38	0,05	0,06	0,02	0,01	3,52
N3-51	0,03	0,04	0,01	0,01	4,52

T _{max} = 43‰					
Model	S _{xx} [MPa]		S _{yy} [MPa]		N [kN/m]
	w	z	w	z	
S3-38	0,05	0,03	0,02	0,01	1,94
S3-51	0,03	0,02	0,02	0,01	2,28
N3-38	0,04	0,03	0,02	0,01	2,19
N3-51	0,04	0,03	0,02	0,01	2,77

Tablica 4

Budynki 1,5 - kondygnacyjne. Stropy drewniane. Ściana szczytowa

T _{max} = 68‰					
Model	S _{xx} [MPa]		S _{yy} [MPa]		N [kN/m]
	w	z	w	z	
S3-38	0,09	0,06	0,08	0,01	2,56
S3-51	0,07	0,03	0,04	0	3,22



Rys. 5. Mapy naprężeń poziomych S_{xx} : a) strona zewnętrzna, b) strona wewnętrzna
Fig. 5. Maps of horizontal strains S_{xx} : a) external side, b) internal side

Tablica 5

Budynki 2 - kondygnacyjne. Stropy na belkach stalowych

T _{max} = 45%					
Model	S _{xx} [MPa]		S _{yy} [MPa]		N [kN/m]
	w	z	w	z	
S2-38	0,02	0,02	0,05	0,01	1,54
S2-51	0,02	0,02	0,04	0,01	2,22
N2-38	0,03	0,03	0,05	0,01	1,48
N2-51	0,03	0,02	0,04	0,01	1,94

Tablica 6

Budynki 2 - kondygnacyjne. Stropy żelbetowe

T _{max} = 75‰					
Model	S _{xx} [MPa]		S _{yy} [MPa]		N [kN/m]
	w	z	w	z	
S1-38	0,04	0,04	0,03	0,02	2,2
S1-51	0,02	0,03	0,04	0,01	2,89
N1-38	0,03	0,03	0,04	0,02	2,15
N1-51	0,02	0,02	0,02	0,01	2,68

Tablica 7

Budynki 2,5 - kondygnacyjne. Stropy żelbetowe

T _{max} = 46‰					
Model	S _{xx} [MPa]		S _{yy} [MPa]		N [kN/m]
	w	z	w	z	
S1-38	0,02	0,02	0,04	0,01	1,55
S1-51	0,02	0,02	0,04	0,02	2,03
N1-38	0,01	0,01	0,04	0,01	1,96
N1-51	0,01	0,01	0,04	0,01	2,34

3.5. Analiza wyników obliczeń

Wartości naprężeń rozciągających na powierzchniach zewnętrznej i wewnętrznej ściany, w kierunku poziomym i pionowym, we wszystkich rozpatrywanych przypadkach nie przekraczają wartości dopuszczalnej, którą uznano za równą 0,10 MPa.

W podanych zestawieniach zauważalna jest rola stropów. W budynkach ze stropami drewnianymi wytyżenie ścian jest największe, chociaż największe też jest wychylenie budynku (tabl. 2). Jednak można zauważyć, że proporcjonalnie mniejsze jest wytyżenie ścian w budynkach z pozostałymi stropami, przy uwzględnieniu różnic w wychyleniu, w stosunku do budynków ze stropami drewnianymi.

W budynkach ze stropami drewnianymi największe rozciągające naprężenia poziome, o wartości 0,09 MPa, uzyskano na wewnętrznej powierzchni ścian. Na zewnętrznej warstwie muru maksymalna wartość naprężeń rozciągających wynosi 0,07 MPa. Maksymalną wartość naprężeń pionowych rozciągających, wynoszącą 0,08 MPa, uzyskano dla modelu ściany szczytowej budynku 1,5 - kondygnacyjnego, w jej warstwie wewnętrznej. We wszystkich pozostałych przypadkach obliczeń otrzymano mniejsze wartości naprężeń rozciągających.

W budynkach o stropach drewnianych wystąpiła także największa siła pozioma w stropie piwnic, która wynosi $N = 4,71$ kN/m. Uzyskano ją w modelu 1-, 5-kondygnacyjnym, przy $T_{\max} = 91\%$. Wartość graniczna tej siły, oszacowana na 4,40 kN/m, została zatem nieznacznie

przekroczona. W pozostałych budynkach siły poziome w stropach są mniejsze i z dużym zapasem bezpieczeństwa są przenoszone przez ich konstrukcję.

Na podstawie przeprowadzonych obliczeń można zatem twierdzić, że mniej odporne na wychylenie są budynki posiadające stropy wykonane w konstrukcji drewnianej. Spowodowane to jest brakiem współpracy tych stropów ze ścianami. Ściany budynków ze stropami na belkach stalowych oraz żelbetowych współpracę tę uwzględniają.

Można uznać, że wykonane obliczenia poddane już zostały praktycznej weryfikacji, gdyż wszystkie analizowane budynki są obiektami rzeczywistymi, nie wykazują uszkodzeń zagrażających katastrofą, a ich istniejące wychylenie jest niewiele mniejsze od prognozowanego wychylenia (tabl. 1), na które budynki były obliczane. Należy jednak podkreślić, że obliczano budynki w dobrym stanie technicznym, niewykazujące uszkodzeń konstrukcji oraz innych deformacji poza wychyleniem.

4. Uwagi końcowe

W uogólnieniu wykonanych obliczeń można w przybliżeniu uznać, że maksymalne wychylenie z warunków statyczno-wytrzymałościowych, typowych budynków jednorodzinnych o konstrukcji tradycyjnej, wysokości do dwóch kondygnacji nadziemnych oraz wymiarach ścian zewnętrznych w granicach do 12 m w układzie dwutraktowym i do 14 m w układzie trójraktowym, wynosi w granicach do:

- 50‰ w budynkach ze stropami drewnianymi,
- 75‰ w budynkach ze stropami mogącymi przenosić siły poziome w swojej płaszczyźnie.

Ustalenie to powinno być jednak sprawdzone z uwagi na stan techniczny budynku, a przede wszystkim czy w budynku nie ma uszkodzeń o charakterze zagrożeń awaryjnych.

Znacznie mniejsze wychylenia, wynikające z dopuszczalnej uciążliwości użytkowania, podają zasady GIG [4]. Także w przypadkach indywidualnego ustalenia akceptowalnej uciążliwości przez użytkowników [2] wartości przyjętych wychyleń też będą znacznie mniejsze od powyższych wartości obliczonych.

Określenie zatem dopuszczalnych wychyleń typowych budynków jednorodzinnych nie powinno się ustalać na podstawie warunków konstrukcyjnych, lecz powinno wynikać z warunku dopuszczalnej lub akceptowalnej uciążliwości użytkowania budynków.

LITERATURA

1. Gubrynowicz A., Kawulok M.: Techniczno - użytkowe aspekty wychylenia budynków mieszkalnych na terenach górniczych. Ochrona Terenów Górniczych, 76/1986.
2. Kawulok M.: Ocena właściwości użytkowych budynków z uwagi na oddziaływania górnicze. Wydawnictwo Instytutu Techniki Budowlanej, Warszawa 2000.
3. Praca pt.: Określenie odporności statycznej metodą szczegółową budynków nadmiernie wychylonych ≥ 25 mm/m w aspekcie bezpiecznego ich użytkowania w wyniku prowadzonej eksploatacji górniczej, zlokalizowanych na obszarze Gminy Marklowice i Świerklany, w granicach odpowiedzialności za usuwanie szkód górniczych. KW S.A. Oddział KWK Jankowice. Instytut Techniki Budowlanej, Oddział Śląski, Gliwice 2006.
4. Instrukcja GIG nr 12: Zasady oceny możliwości prowadzenia podziemnej eksploatacji górniczej z uwagi na ochronę obiektów budowlanych, GIG, Katowice 2000.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Jerzy Kwiatek