

dr inż. Leszek Słowik<sup>1)\*</sup>  
mgr inż. Leszek Chomacki<sup>1)</sup>  
mgr inż. Beata Parkasiewicz<sup>1)</sup>

# Oddziaływanie na budynki poziomych odkształceń podłoża górniczego o charakterze ściskania

*The impact of mining horizontal compression ground deformation on building*

DOI: 10.15199/33.2015.11.07

**Streszczenie.** W artykule omówiono problem oddziaływania na budynki w aktywnym górnim obszarze poziomych odkształceń gruntu powodujących jego zagęszczenie. Przedstawiono przykłady uszkodzeń typowych dla tego rodzaju wpływów oraz symulacje numeryczne, których celem było określenie przyczyn powstawania uszkodzeń. Podano również metody redukcji negatywnego oddziaływania odkształceń poziomych gruntu ( $\varepsilon < 0$ ) na konstrukcję budynków.

**Słowa kluczowe:** eksploatacja górnicza, uszkodzenia budynków, analiza numeryczna.

**Abstract.** The article discusses the problem of impact on buildings horizontal deformation of the soil causing its thickening in the active mining area. Provides examples of damage typical for this kind of influence and numerical simulations whose aim was to determine the causes of damage. The paper also specified the methods used to reduce the negative impact of horizontal soil deformation ( $\varepsilon < 0$ ) for the construction of buildings.

**Keywords:** mining exploitation, damages of buildings, numerical analysis.

Podziemna eksploatacja górnicza kopalni powoduje przemieszczenia elementów górotworu, których skutkiem są deformacje terenu o charakterze ciągłym, występujące w formie tzw. górnich nieck obniżeniowych (rysunek 1). Opisują one za pomocą piono-

w konstrukcji ścian, szczególnie w przypadku zwartej zabudowy, której segmenty nie są zdylatowane lub których dylatacje są niedrożne.

Charakter oddziaływania poziomych odkształceń gruntu ( $\varepsilon < 0$ ) powoduje uszkodzenia (rysunek 2) w postaci ścięcia poziomego (1) ścian piwnicznych usytuowanych prostopadle do kierunku deformacji terenu, ścięcia w rejonie otworów okiennych (2) występującego w ścianach równoległych do tego kierunku lub wpełnięcia części fundamentowej do wnętrza budynku (3).

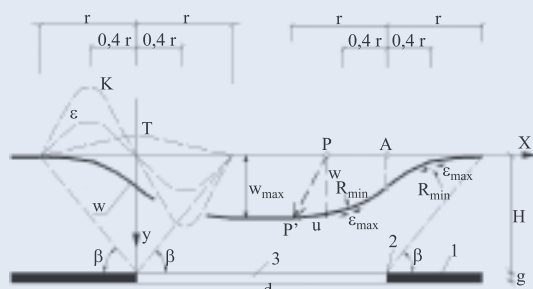
Artykuł dotyczy wpływu na konstrukcję budynków sztywnych poziomych zagęszczających się odkształceń gruntu, występujących w warunkach eksploatacji górnim [1, 2, 3]. Przedstawiono dwa przykłady uszkodzenia konstrukcji ścian budynków na skutek tego typu oddziaływań. Omówiono analizę oblicze-

niową, której celem było wykazanie, że za nadmierne wyteżenie konstrukcji ścian budynków, a często ich znaczne uszkodzenia, odpowiadają przede wszystkim poziome zagęszczające się odkształcenia podłoża. Podano stosowaną w praktyce profilaktykę górnim oraz budowlaną, której celem jest ograniczenie negatywnego wpływu poziomych odkształceń gruntu ( $\varepsilon < 0$ ) na konstrukcję ścian budynków, zlokalizowanych w obszarze wpływów deformacji górnim.

## Przykłady oddziaływania odkształceń poziomych

**Budynki przy ul. Pocztowej i Technicznej w Bytomiu – Karbiu** o długości  $80 \div 130$  m, trzech kondygnacjach nadziemnych z całkowitym podpiwniczeniem na głębokość 2,2 m zostały wzniesione w I połowie XX w. Konstrukcja segmentów została wykonana w układzie nośnym podłużnym, ze stropami żelbetowymi, gęstożebrowymi i typu Kleina nad piwnicą oraz stropami drewnianymi i gęstożebrowymi w części nadziemnej. Przez skotwienie stropów w poziomie częściowo zabezpieczono je przed wpływami górnim.

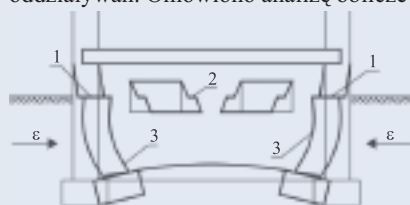
Eksploatacja górnim pod zabudową była prowadzona w kilku pokładach o bardzo zbieżnym układzie ścian. W efekcie budynki znajdowały się w zasięgu oddziaływania pogłębiającej się, wklęsłej niecki górnim. Od czerwca do września 2011 r. ujawniły się na powierzchni w rejonie zabudowy dodatkowe wpływy eksploatawa-



Rys. 1. Ustalona niecka obniżenia ( $r$  – promień zasięgu wpływów głównych) [1]

Fig. 1. Fixed basin subsidence

wego  $w$  oraz poziomego  $u$  przemieszczenia (obniżenia) terenu, jego nachylenia  $T$ , krzywizny  $K$  lub promienia krzywizny  $R = 1/K$  oraz odkształceń poziomych  $\varepsilon$ . Odkształcenia poziome gruntu ( $\varepsilon < 0$ ) mają niekorzystny wpływ na konstrukcję ścian zagłębionych w gruncie, powodując ich wyteżenie, często objawiające się spękaniem. Na skutek oddziaływania pęcznienia gruntu zwiększa się jego parcie na ściany zewnętrzne budynku w części poniżej poziomu terenu oraz dochodzi do kumulacji poziomych sił ściskających



Rys. 2. Schemat deformacji budynku spowodowany parciem gruntu na ściany zewnętrzne [1]

Fig. 2. Diagram of building deformation caused by the pressure of ground for external walls

<sup>1)</sup> Instytut Techniki Budowlanej, Oddział Śląski, Zakład Elementów Konstrukcji i Budownictwa na Terenach Górniczych

\* Autor do korespondencji: e-mail: l.slowik@itb.pl

nej bezpośrednio pod nią ściany, która wywołała odkształcenia poziome ( $\varepsilon < 0$ ) w rejonie budynków. W obliczu niedrożnych i częściowo zamurowanych dylatacji, odkształcenia ściskające spowodowały powstanie i intensyfikację znacznych uszkodzeń w budynkach, prowadząc do awarii konstrukcji [4], a w konsekwencji jej wyburzenia. Największe uszkodzenia stwierdzono w piwnicach i najniższej kondygnacji. W podłużnych ścianach zewnętrznych powstały ukośne spękania o rozwarości do 5 cm, które w krótkim czasie pogłębiły się. Podobne uszkodzenia zaobserwowano na podłużnych ścianach wewnętrznych. Silnym deformacjom uległy ściany poprzeczne, w szczególności piwnic, otwory w ścianach podłużnych (fotografia 1), a także ściany szczytowe w wyniku wpełnienia ich podziemnej części do środka budynku. W ścianach zewnętrznych podłużnych, w poziomie stropów nad piwnicą, również doszło do ścięcia muru. W celu zapewnienia bezpieczeństwa konstrukcji i użytkowników podjęto doraźne prace zabezpieczające w postaci stemplowania, a ograniczenia propagacji spękań – zamurowano otwory w ścianach podłużnych.

Poziome zagęszczenie gruntu negatywnie wpłynęło również **na budynek przy ulicy Bończyka 14 w Bytomiu – Miechowicach z początku XX w.**, który na etapie wznoszenia nie został przystosowany do przejęcia wpływów górniczych. Jest to segment wielorodzinny w konstrukcji tradycyjnej, zabudowie półzwartej, o 3 kondygnacjach nadziemnych, z całkowitym podpiwniczeniem do ok. 2 m. Układ nośny jest poprzeczny, o ścianach murowanych z cegły. Stropy nad piwnicą są odcinkowe, a powyżej drewniane. W okresie użytkowania budynek został skotwiony w pozio-



**Fot. 1. Deformacja otworu drzwiowego ściany podłużnej w piwnicy** [Fot. Autorzy]  
Photo 1. Deformation of the longitudinal wall door opening in the basement

mie wszystkich stropów. Dylatacja przy sąsiadującym segmencie została zamurowana i w efekcie całą zabudowę o długości sumarycznej ok. 31 m należało analizować w kontekście oddziaływania odkształceń gruntu ( $\varepsilon < 0$ ).

W wyniku eksploatacji górniczej bezpośrednio pod zabudową ujawniły się na powierzchni odkształcenia ściskające. Kolejne prace górnicze pogłębiły uszkodzenia, co w konsekwencji mogło doprowadzić do lokalnej utraty stateczności ściany szczytowej. Stwierdzono również zarysowania podłużnych ścian zewnętrznych. W I kwartale 2014 r. nasiliły się deformacje i uszkodzenia, w szczególności ściany szczytowej wpełnionej do środka budynku, ścian poprzecznych, stropu (fotografia 2) oraz komina w piwnicy. Z uwagi na zagrożenia spowodowane stanem awaryjnym poszczególnych elementów konstrukcyjnych wykonano prace naprawcze obejmujące przemurowanie uszkodzonych ścian w piwnicy.



**Fot. 2. Spękanie ściany poprzecznej i stropu w piwnicy** [Fot. Autorzy]  
Photo 2. Transverse cracking of wall and ceiling in the basement

### Odwzorowanie numeryczne przyczyn uszkodzeń

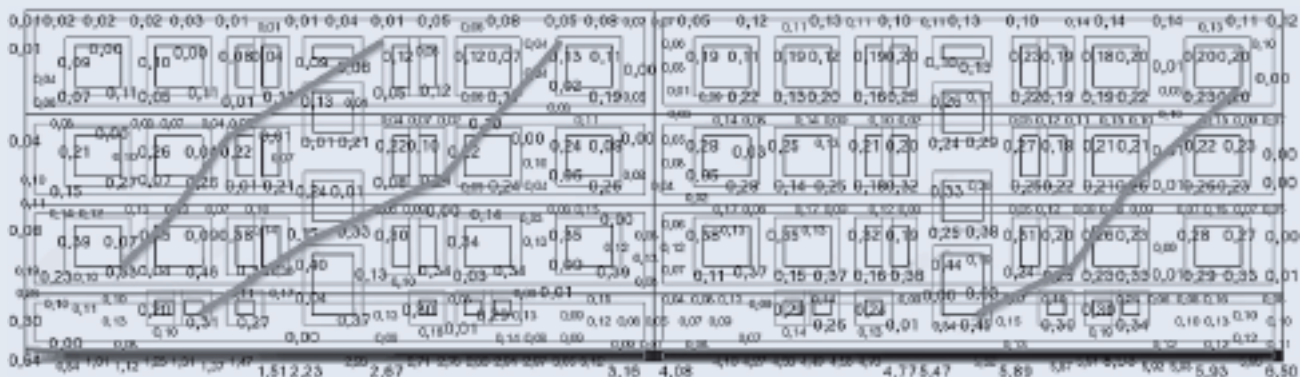
Wyniki obliczeń miały na celu określenie możliwości powstania zaobserwowanych uszkodzeń na skutek oddziaływania poziomych odkształceń podłoża górniczego o charakterze ściskania. Ponadto podjęto próbę oszacowania skuteczności rozwiązań zmniejszających możliwe do wystąpienia siły poziome [5].

Numeryczną analizę obliczeniową wykonano w programie Autodesk Robot Structural Analysis. Przyjęto dwuwymiarowe modele obliczeniowe o geometrii zbliżonej do rzeczywistej. Założenie symetrii zabudowy pozwoliło na przyjęcie osi ruchów poziomych (spełzania) w połowie ciągu. Na podstawie odkrytki fundamentowej określono parametry podłoża gruntowego [6], badań makroskopowych ścian – parametry konstrukcji murowej, wyko-

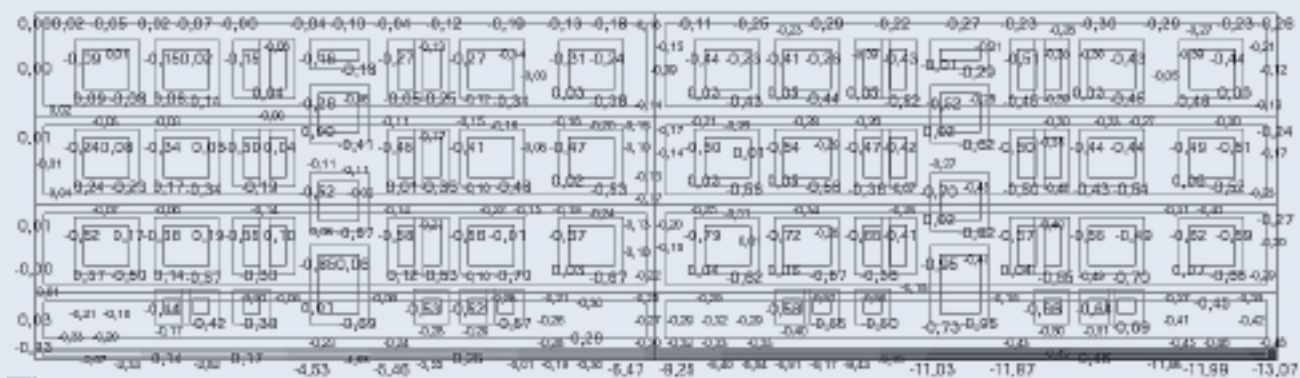
rzystując prace [7, 8, 9], a betonowych fundamentów zgodnie z [10]. Model obliczeniowy został podparty wzdłuż dwóch krawędzi: dolnej poziomej, co uniemożliwiło ruch w płaszczyźnie pionowej, oraz pionowej prawej (w osi symetrii), co zablokowało ruch w płaszczyźnie poziomej. W obliczeniach konstrukcji ciągów uwzględniono obciążenia stałe i eksploatacyjne wyznaczone na podstawie norm [11, 12] oraz obciążenia od prognozowanych odkształceń poziomych terenu o charakterze ściskania, które określono zgodnie z [3, 13]. Symulacje numeryczne wykonano dla następujących wariantów:

- stanu rzeczywistego;
- stanu z wykonaniem tranzei kompensacyjnych równoległych do ścian szczytowych ciągów (przyjęto redukcję parcia na ściany szczytowe o 50%);
- stanu ze wzmocnieniem ścian podłużnych belką żelbetową o wysokości 0,6 m i szerokości 0,4 m, zbudowaną przy ścianach w poziomie posadzki piwnic;
- stanu z wyburzeniem jednej ze środkowych sekcji ciągu.

Wyniki obliczeń numerycznych przedstawiono w postaci map naprężeń ścinających oraz poziomych naprężeń ściskających w przypadku stanu rzeczywistego (rysunki 3, 4). Wskazują one na możliwość powstania uszkodzeń w miejscu przekroczenia wytrzymałości muru na ścinanie, która była szacowana indywidualnie dla każdego punktu i wyniosła do 0,55 MPa. Najbardziej prawdopodobne jest wystąpienie uszkodzeń w poziomie kondygnacji piwnicznej, gdyż wraz ze wzrostem wysokości ściany maleją wartości naprężeń. Największe wartości naprężeń ściskających  $\sigma_{xx}$  stwierdzono w narożach otworów drzwiowych kondygnacji piwnicznej (0,95 MPa dla wariantu stanu rzeczywistego). Wartość wytrzymałości muru na ścinanie (ok. 2,2 MPa) nie została przekroczona i w związku z tym rysy nie powinny powiększyć się na skutek poziomych naprężeń ściskających. Można domniemywać, że w miejscach przekroczenia wytrzymałości betonu na ścinanie, szacowanej na 8 MPa, dojdzie do spękania (zmiążdżenia) fundamentu, ale ze względu na ograniczone możliwości deformacyjne łań fundamentowych, uszkodzenia te nie będą miały istotnego wpływu na pracę konstrukcji. Analiza wartości naprężeń otrzymanych dla kolejnych wariantów obliczeniowych wykazała, że najbardziej efektywnym rozwiązaniem będzie wyburzenie środkowych sekcji budynku. Mniej skuteczne w świetle przeprowadzonych obliczeń byłoby wzmocnienie belek żelbetowych, zaś naj-



Rys. 3. Mapa głównych naprężeń ścinających [MPa] w przypadku stanu rzeczywistego ściany zewnętrznej wraz z usytuowaniem wybranych pasm  
Fig. 3. Main shear map for the actual external wall with the location of the selected bands



Rys. 4. Mapa głównych naprężeń ściskających [MPa] w przypadku stanu rzeczywistego ściany wewnętrznej  
Fig. 4. Map of the horizontal compressive stresses of the actual internal wall

mniej efektywne wykonanie tranzei kompensacyjnych przy ścianach szczytowych. Na podstawie przeprowadzonych obliczeń podjęto decyzję o wyburzeniu środkowych sekcji trzech ciągów budynków.

## Podsumowanie

Ograniczenie negatywnego oddziaływania pęcznienia gruntu na konstrukcję ścian budynków możliwe jest z zastosowaniem odpowiedniej profilaktyki górniczej i budowlanej [14]. Dotyczy to przede wszystkim ograniczenia furty eksploatacyjnej pod obszarem, na którym zlokalizowane są budynki lub ciągi zabudowy. Ponadto należy określić stałą prędkość eksploatacji górniczej w ramach parceli eksploatacyjnej, bez weekendowych i świątecznych przerw w prowadzeniu robót górniczych. Kontrola skuteczności wymienionych zabiegów powinna być prowadzona przez służby działu mierniczo-geologicznego przy zakładzie górniczym, wykonujące stałe pomiary niwelacyjne powierzchni terenu i obiektów budowlanych.

W profilaktyce budowlanej stosowane są rozwiązania polegające na wykonaniu tranzei (rowów) kompensacyjnych [15] w odpowiedniej odległości od budynku, wypełnianych materiałem odształcalnym o dużej ściśliwości. W efekcie rzeczywiste wartości

odkształceń poziomych ( $\varepsilon < 0$ ), oddziałujących na ściany budynków, są mniejsze. Rozwiązanie jest skuteczne w przypadku segmentów długości ok. 35 ÷ 40 m, natomiast dłuższych ciągów zabudowy – wykonuje się przerwy dylatacyjne, oczyszcza istniejące dylatacje bądź wyburza segmenty środkowe. W trakcie ujawniania się wpływów od eksploatacji górniczej zaleca się stały nadzór budowlany, w czasie którego na bieżąco formułowane są zalecenia dotyczące doraźnych zabezpieczeń lub naprawy uszkodzonych elementów konstrukcji.

## Literatura

- [1] Kawulok M.: Szkoły górnicze w budownictwie. Wydawnictwo Instytutu Techniki Budowlanej. Warszawa 2010.
- [2] Kwiatek J. i inni: Ochrona obiektów budowlanych na terenach górniczych. Wydawnictwo Głównego Instytutu Górnictwa. Katowice 1997.
- [3] Kwiatek J.: Obiekty budowlane na terenach górniczych. Wydanie II zmienione i rozszerzone. Wydawnictwo Głównego Instytutu Górnictwa. Katowice 2007.
- [4] Kawulok M., Chomacki L., Parkasiewicz B., Słowik L.: Wyburzenie 25 budynków mieszkalnych spowodowane intensywnymi wpływami eksploatacji górniczej. Materiały XXVI Konferencji Naukowo-Technicznej „Awarie Budowlane”, str. 347-354. Szczecin-Międzyzdroje 2013.
- [5] Chomacki L., Parkasiewicz B.: Analiza obliczeniowa ciągów budynków w Bytomiu – Karbiu

z uwzględnieniem prognozowanych poziomych deformacji terenu górniczego. Przegląd Górnicy 3/2015, str. 72 – 79.

[6] PN-81/B-03020. Grunty budowlane. Posadowienie bezpośrednie budowli. Obliczenia statyczne i projektowanie.

[7] PN-B-03002:2007. Konstrukcje murowe. Projektowanie i obliczanie.

[8] Matyszek P.: Witkowski M.: Badania wytrzymałości i odształcalności XIX-wiecznych murów ceglanych. Materiały XXVI Konferencji Naukowo-Technicznej „Awarie Budowlane”, str. 183 – 190. Szczecin-Międzyzdroje 2013.

[9] Matyszek P.: Identyfikacja wytrzymałości na ściskanie i odształcalności murów ceglanych w obiektach zabytkowych. Monografia, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków 2014.

[10] PN-B-03264:2002. Konstrukcje betonowe, żelbetowe i sprężone. Obliczenia statyczne i projektowanie.

[11] PN-82/B-02003. Obciążenia budowli. Obciążenia zmienne technologiczne. Podstawowe obciążenia technologiczne i montażowe.

[12] PN-82/B-02001. Obciążenia budowli. Obciążenia stałe.

[13] Instrukcja ITB nr 416/2006. Projektowanie budynków na terenach górniczych. Warszawa, ITB 2006.

[14] Słowik L., Chomacki L., Szołtysek D.: Doświadczenia z eksploatacji górniczej pod obiektem kościoła pw. Świętego Krzyża w Bytomiu-Miechowicach. Przegląd Górnicy 3/2015, str. 89 – 95.

[15] Kawulok M., Chomacki L.: Zastosowanie tranzei kompensacyjnych do ochrony budynków na terenach górniczych. Przegląd Górnicy 8/2013, str. 51 – 55.

Przyjęto do druku: 28.09.2015 r.