

Ocena wpływu poziomych odkształceń podłoża górniczego na wybrany budynek murowany

Assessment of mining horizontal deformation impact on selected brick building



Mgr inż. Przemysław Lazar*^{*)}



Mgr inż. Leszek Chomacki**^{*)}



Dr inż. Lucjan Muszyński*^{*)}

Treść: Artykuł przedstawia przykład oceny wpływu oddziaływań górniczych na budynek murowany na przykładzie Żłobka Miejskiego w Katowicach. Proces modelowania budynku oraz jego analiza obliczeniowa wykonana została w programie Autodesk Robot Structural Analysis. Przedmiotowy obiekt o konstrukcji ścianowej został poddany obciążeniom wynikającym z ciężaru własnego konstrukcji, obciążen użytkowych oraz z wpływu górniczych deformacji podłoża w postaci poziomych odkształceń. Na podstawie wykonanej analizy obliczeniowej wykazano, że eksploatacja górnicza nie spowodowała przekroczenia dopuszczalnych wartości naprężenia w elementach konstrukcyjnych, a obciążenie górnicze zostało przeniesione przez ławy żelbetowe. Wyniki analizy zostały potwierdzone obserwacjami terenowymi, które nie wykazały powstania uszkodzeń obiektu na skutek prowadzonej eksploatacji górniczej.

Abstract: This paper presents the assessment of the mining exploitation impact on a brick building on the example of the City Nursery in Katowice. The building modeling process and its computational analysis were performed in Autodesk Robot Structural Analysis. The wall construction object was subject to loads from the weight of its own construction, utility loads and the influence of horizontal mining deformation. Based on the computational analysis it was shown that the mining operation did not exceed the permissible stress values in the structure and the mining load was transferred through the reinforced continuous footing. The results of the analysis were confirmed by field observations which did not show any damage to the object due to the mining operation.

Słowa kluczowe:

eksploatacja górnicza, budownictwo na terenach górniczych, oddziaływania górnicze, analiza numeryczna, metoda elementów skończonych, oddziaływanie na budynki

Keywords:

mining exploitation, buildings on mining areas, mining deformations, numerical analysis, finite element method, impact on buildings

1. Wprowadzenie

Zabudowa miast Górnośląskiego Zagłębia Węglowego (GZW) wielokrotnie poddawana była wpływom eksploatacji górniczej prowadzonej w filarach ochronnych. Szczególnie znaczenie na zabudowę powierzchniową ma wpływ poziomych odkształceń terenu, gdyż z doświadczenia wynika, że to one najczęściej powodują znaczne uszkodzenia obiektów powierzchniowych (Kawulok 2010; Słowik i in. 2015).

Obecnie do oceny wpływu oddziaływań górniczych na budynki powszechnie wykorzystywane są numeryczne programy obliczeniowe (Fedorowicz i in. 2014; Szojda 2009; Chomacki, Parkasiewicz 2015). Narzędzia te pozwalają na przybliżone odwzorowanie zachowania się konstrukcji poddanej wpływom eksploatacji górniczej i oszacowanie możliwości wystąpienia

uszkodzeń. Jednym z prostszych programów służących do obliczeń numerycznych jest produkt firmy Autodesk o nazwie *Robot Structural Analysis*, który wykorzystuje metodę elementów skończonych (MES) (Autodesk 2010).

W artykule przedstawiono przykład oceny wpływu pomierzonych geodezyjnie poziomych odkształceń górniczych na wyężenie istniejącego obiektu murowanego.

2. Opis analizowanego obiektu, eksploatacji górniczej oraz modelu obliczeniowego i otrzymanych wyników

2.1. Charakterystyka obiektu

W artykule przedstawiono budynek Żłobka Miejskiego w Katowicach, usytuowanego przy ulicy Uniwersyteckiej 15 (rys. 1, 2). Budynek został wzniesiony w 1951 roku jako częściowo podpiwniczony o 2 kondygnacjach nadziemnych

^{)} Główny Instytut Górnictwa, Katowice

**^{*)} Instytut Techniki Budowlanej, Warszawa

z poddaszem użytkowym (Syty 2004). Obiekt jest wolno stojący o prostokątnym rzucie poziomym i wymiarach gabarytowych wynoszących 40,0 x 16,8m. Posadowienie budynku zrealizowano na żelbetowych ławach fundamentowych. Budynek wzniesiono w ścianowej konstrukcji murewej, a stropy założono jako ceramiczne gęstożebrowe. Nie zachowała się informacja dotycząca ław fundamentowych, w związku z czym na potrzeby przeprowadzonej analizy przyjęto przekrój 0,9 x 0,6m, klasę betonu C20/25 oraz zbrojenie główne 4 prętami $\varnothing 16$.

Obiekt na etapie projektowania nie został zabezpieczony na wpływy eksploatacji górniczej. Budynek został podzielony dylatacją na dwa segmenty częściowo, gdyż dylatacja nie przebiega przez całą wysokość budynku. W obiekcie nie stwierdzono uszkodzeń.

2.2. Eksploatacja górnicza i pomiary geodezyjne

Na analizowany obiekt oddziaływała eksploatacja górnicza prowadzona przez KWK „Katowice”, systemem z podsadzką w I warstwie pokładu 501 (Muszyński 1996). Przebieg eksploatacji górniczej wraz z usytuowaniem analizowanego budynku został przedstawiony na rys. 3.

Do przeprowadzonej analizy wykorzystano pomiary geodezyjne z 12 kolejnych pomiarów, które prowadzone były od maja 1995 r. do maja 1996 r. Pomiary wykonywane były w odstępach co 4 tygodnie. Punkty pomiarowe na budynkach zostały zastabilizowane w poziomie stropu nad piwnicą. Punkty te stabilizowano na zaprawie cementowej w otworach wierconych w murze. Lokalizacja oraz odległości pomiędzy poszczególnymi punktami została przedstawiona na rys. 4,



Rys. 1. Usytuowanie Żłobka Miejskiego w Katowicach przy ul. Uniwersyteckiej 15 – źródło maps.google.pl
Fig. 1. Location of the City Nursery in Katowice at 15 Uniwersytecka Street – source: maps.google.pl



Rys. 2. Budynek Żłobka Miejskiego w Katowicach przy ul. Uniwersyteckiej 15 – widok ogólny od strony południowej
Fig. 2. City Nursery in Katowice at 15 Uniwersytecka Street – general view from the south



Rys. 3. Eksploatacja KWK „Katowice” prowadzona w pokładzie 501 wraz z lokalizacją analizowanego budynku

Fig. 3. Exploitation in „Katowice” col mine carried out in seam no. 501 along with the location of the building

a obliczone wartości odkształceń poziomych zestawiono w tabeli 1 (Muszyński 1996).

Pomiarzone odkształcenia poziome terenu o charakterze ścisła wyniosły ekstremalnie $-0,81\text{mm/m}$, w związku z czym, mieściły się w I kategorii terenu górniczego (Kwiatk i in. 1998). Na powierzchni terenu nie zaobserwowano odkształceń poziomych o charakterze rozciągań z wyjątkiem pomiaru nr 5.

Ekstremalne odkształcenia poziome mierzone na budynku dla kierunku podłużnego osiągnęły wartości $0,31\text{mm/m}$ oraz $-0,33\text{mm/m}$, natomiast dla kierunku poprzecznego $0,45\text{mm/m}$ i $-0,30\text{mm/m}$.

2.3. Model obliczeniowy przedmiotowego budynku

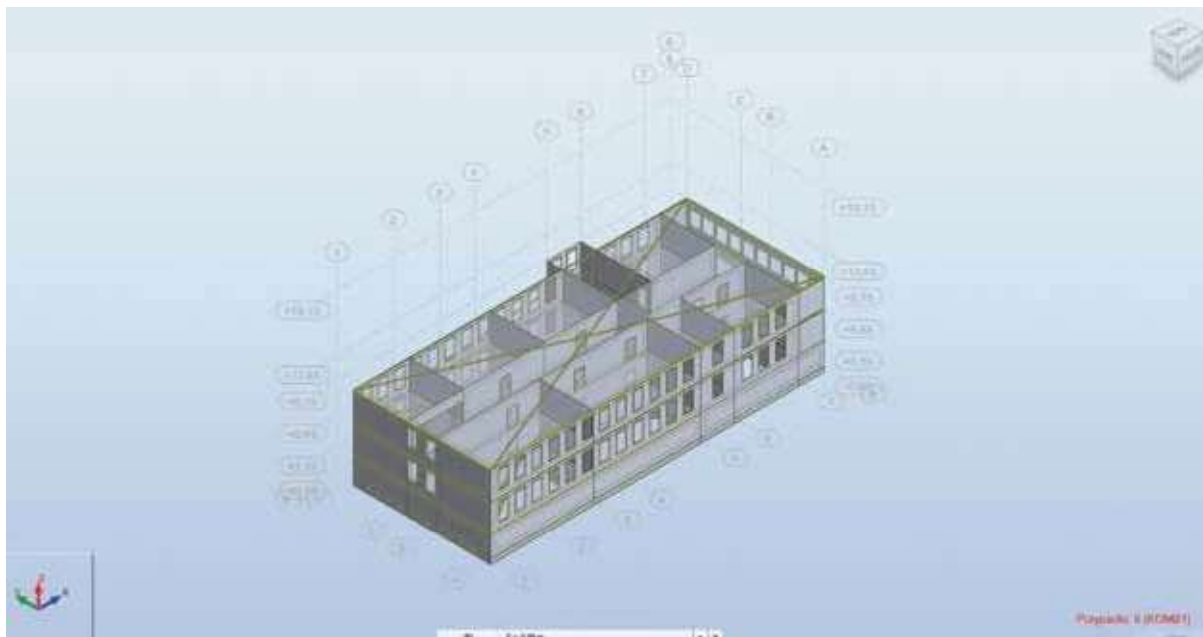
Proces tworzenia modelu geometrycznego i materiałowego rozpatrywanego budynku składał się z następujących etapów:

- przyjęcie parametrów materiałowych fundamentów, ścian (tabela 2) i stropów,
- zdefiniowanie osi konstrukcyjnych budynku w trzech kierunkach x, y, z,
- zamodelowanie fundamentów,
- zamodelowanie ścian konstrukcyjnych kondygnacji piwnic i stropu nad piwnicami,
- wykształcenie otworów okiennych i drzwiowych poprzez wykonanie odpowiedniej perforacji ścian konstrukcyjnych budynku,
- zamodelowanie kondygnacji parteru, w sposób analogiczny do kondygnacji piwnic,
- skopiowane kondygnacji parteru w poziomie I piętra budynku,

- podparcie modelu wzdłuż dolnych krawędzi fundamentowych uniemożliwiająca ruch w kierunku pionowym, a także uniemożliwienie ruchu w kierunku poziomym w punktach znajdujących się w sąsiedztwie połowy długości budynku (oś spełzania/rozpełzania),
- wygenerowanie modelu obliczeniowego budynku łącznie z przyjęciem siatki metody elementów skończonych.

Fundamenty zamodelowano jako żelbetowe o wymiarach $90 \times 60 \text{ cm}$ z betonu C20/25. Parametry materiałowe dla betonu C20/25 zaczerpnięto z biblioteki materiałowej programu ROBOT. Ściany piwniczne zamodelowano jako ściany murywane z cegły o grubości 63 cm . Płyta stropowa kondygnacji piwnic zamodelowana została jako płyta betonowa o grubości 14 cm , z wykształconym otworem w miejscu usytuowania klatki schodowej. Płyty spocznikowe i biegi klatki schodowej oraz ściany działowe kondygnacji piwnic zostały pominięte, gdyż ich wpływ na wyniki analizy jest pomijalnie mały. Połączenia pomiędzy płytami stropowymi a ścianami zostały zdefiniowane jako sztywne. Dla uproszczenia modelu pominięto drewnianą więźbę dachową i fragmentaryczne poddasze budynku. W modelu pominięto dylatację, gdyż nie występuje ona na całej wysokości budynku.

Lepszym odwzorowaniem zachowania się modelu budynku byłoby zastosowanie sprężystego podparcia modelu obliczeniowego, niestety z powodu braku jakichkolwiek informacji o podłożu gruntowym, przyjęto podpory nieprzesuwne. Do dyskretyzacji przyjęto 4-węzłowe elementy typu powłokowego. Układ ścian rozpatrywanego budynku zaprezentowany został na rys. 5.



Rys. 5. Układ ścian w modelu budynku

Fig. 5. Numerical model of the building

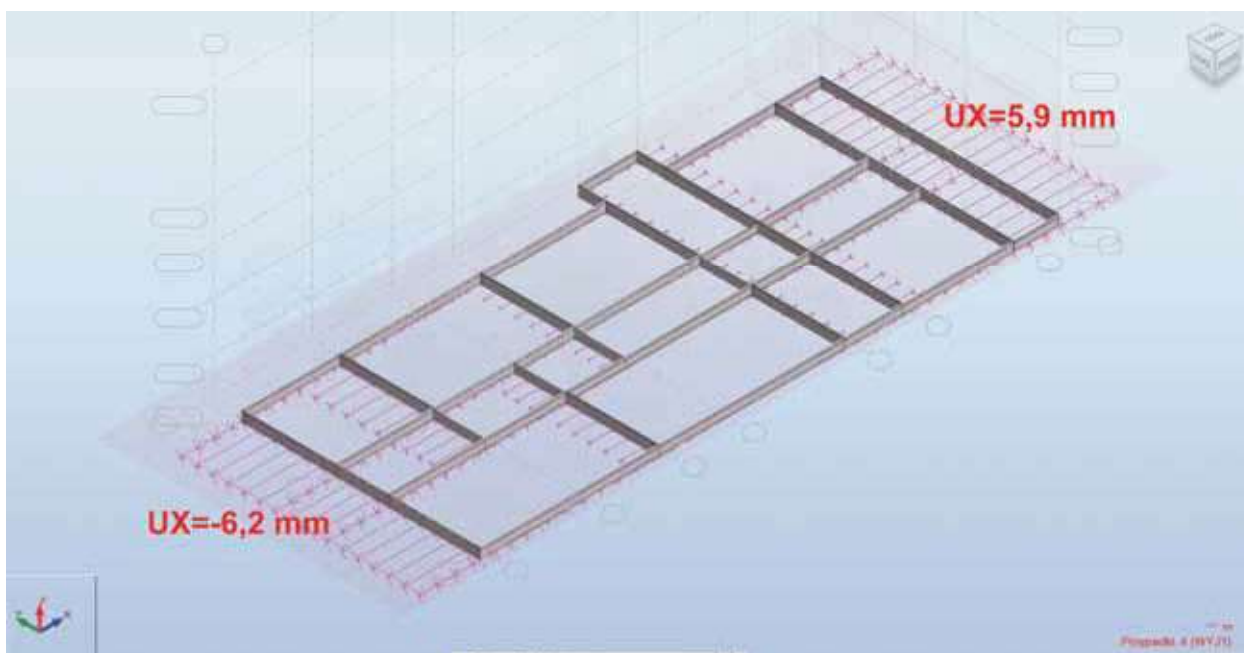
Obciążenia, jakim poddany został model budynku, podzielono na dwie kategorie: standardowe obciążenia budynku oraz oddziaływania górnicze. Obciążenia standardowe to typowe obciążenia obiektów budowlanych oddziałujące na obiekty na terenie całego kraju, niezależnie od tego czy są to tereny górnicze czy niegórnicze. Nie uwzględniono obciążenia wiatrem oraz śniegiem, gdyż zakładając wystąpienie obciążenia wyjątkowego, jakim jest obciążenie górnicze, ryzyko jednoczesnego ich wystąpienia jest pomijalnie niskie.

Oddziaływanie górnicze zamodelowano jako przemieszczenie poziome pochodzące od poziomych odkształceń o pomierzonych dla ścian podłużnych wartościach wy-

noszących $\varepsilon=0,31\text{mm/m}$ lub $-\varepsilon=0,33\text{mm/m}$. Powyższe oddziaływanie zostało przyłożone do modelu w postaci wymuszonych przemieszczeń węzłów, leżących w płaszczyźnie podstawy fundamentów budynku. Przyjęto oś spełzania/rozpełzania w sąsiedztwie połowy długości budynku tak, aby obciążenia po jednej stronie osi równoważyły się z obciążeniami po drugiej stronie osi.

W analizowanym przypadku pominięto wpływ przemieszczenia pionowego tego podłoża, w postaci krzywizny wypukłej powierzchni terenu o promieniu R .

Schemat oddziaływań górniczych o charakterze rozciągania na elementy podstawy modelu pokazany został na rys. 6.



Rys. 6. Schemat oddziaływania poziomych odkształceń podłoża o charakterze rozciągania

Fig. 6. Schematic diagram of the impact of stretching horizontal deformations

Ostatecznie jako najbardziej niekorzystne obciążenie konstrukcji budynku przyjęto kombinację obciążeń, która uwzględniła jednoczesne wystąpienie obciążeń stałych, użytkowych oraz górniczych.

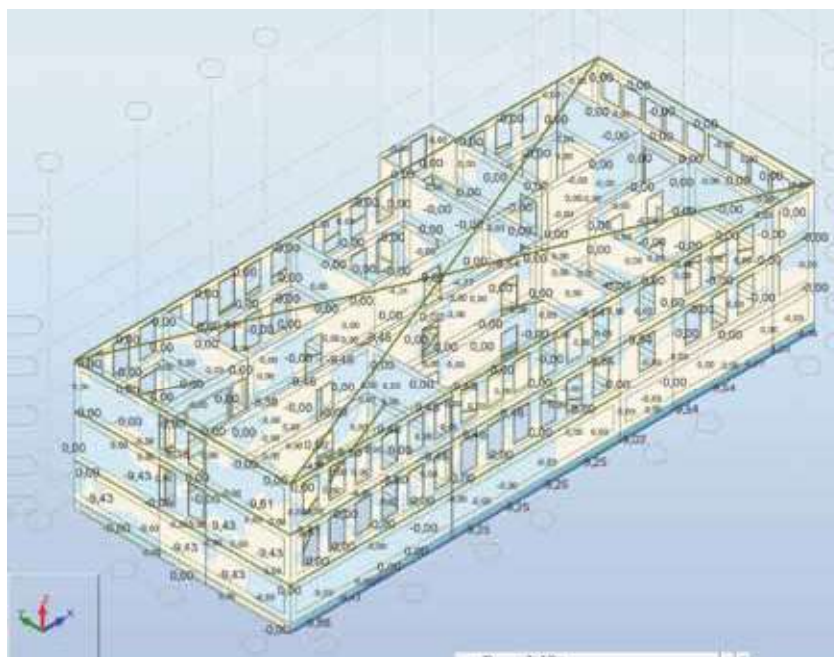
2.4. Wyniki obliczeń

Przykładowe wyniki przeprowadzonej analizy zaprezentowano w postaci map rozkładu naprężeń z naniesionymi wartościami naprężeń w wybranych węzłach modelu. Rezultaty wykonanych obliczeń dla oddziaływania poziomego o charakterze rozciągania przedstawione zostały w postaci map naprężeń poziomych σ_x na rys. 7 i 8.

Dla oddziaływań górniczych o charakterze rozciągania poziome naprężenia rozciągające osiągnęły wartość $\sigma_{\max} = 9,85 \text{ MPa}$, co jest poniżej wytrzymałości na rozciąganie podłużnej ławy żelbetowej zbrojonej 4 prętami stalowymi o średnicy 16 mm.

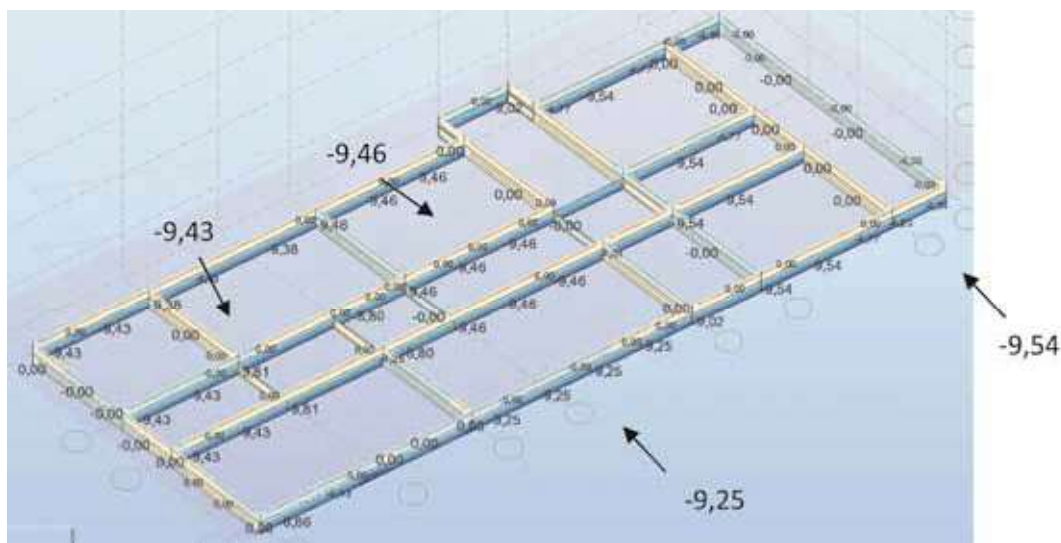
Maksymalne poziome naprężenia ściskające, uzyskane w ławach fundamentowych otrzymano dla odkształceń poziomych o charakterze ściskań i wyniosły one $\sigma_{\max} = 9,25 \text{ MPa}$, co jest wartością znacznie poniżej wytrzymałości betonu fundamentowego na ściskanie wynoszącej $\sigma_{\text{dop}} = 25 \text{ MPa}$.

Analizując mapy naprężeń normalnych, uzyskane dla wspomnianej podłużnej ściany piwnic budynku, zaobserwowano, że praktycznie całość obciążeń górniczych przenoszą



Rys. 7. Mapa naprężeń σ_x od kombinacji oddziaływań złożonej z obciążeń stałych, użytkowych oraz górniczych – cała konstrukcja [MPa]

Fig. 7. Stress map σ_x from the effects combination of permanent, useful and mining loads – the whole structure [MPa]



Rys. 8. Mapa naprężeń σ_x od kombinacji oddziaływań złożonej z obciążeń stałych, użytkowych oraz górniczych – poziom ław fundamentowych [MPa]

Fig. 8. Stress map σ_x from the effects combination of permanent, useful and mining loads – level of footings [MPa]

fundamenty. Naprężenia w nikłym stopniu przekazywane są na dalsze elementy konstrukcji, takie jak ściany, dla których maksymalne naprężenie wyniosło 0,43MPa. Stąd wysnuć można wniosek, że fundamenty odgrywają istotną rolę w przemieszczaniu wpływów od obciążeń górniczych, a ich prawidłowe wykonanie i zaprojektowanie może przyczynić się do zapewnienia bezpieczeństwa całego budynku.

3. Podsumowanie

W artykule został przedstawiony przykład numerycznego odwzorowania istniejącego budynku murowanego użyteczności publicznej, który poddany został wpływom eksploatacji górniczej. Zrealizowane prace objęły budowę modelu budynku o ścianowej konstrukcji murowej z betonowymi stropami i fundamentami poddanego obciążeniom standardowym oraz oddziaływaniom wpływów górniczych deformacji podłoża, w postaci odkształceń poziomych podłoża górniczego. Przeprowadzona analiza obliczeniowa wykazała, że eksploatacja górnicza nie miała negatywnego skutku na budynek, gdyż otrzymane wartości naprężeń nie przekroczyły wytrzymałości fundamentów zarówno na ściskanie jak i na rozciąganie. Powyższa hipoteza została potwierdzona w trakcie prowadzonych obserwacji stanu uszkodzeń budynku, gdyż na skutek przeprowadzonej eksploatacji, w obiekcie nie zaobserwowano nowych uszkodzeń.

Na podstawie otrzymanych wyników można zauważyć, że obciążenie górnicze zostało prawie całkowicie przejęte przez fundamentowe ławy żelbetowe. W związku z powyższym można stwierdzić, że stosowanie ław żelbetowych jest

kluczowe w niezawodności konstrukcji budynku na terenie górniczym.

Literatura

- AUTODESK INC. 2010 - Robot Structural Analysis Professional 2010 Training Manual - Metric Version. USA
- CHOMACKI L., PARKASIEWICZ B. 2015 - Analiza obliczeniowa ciągów budynków w Bytomiu – Karbiu z uwzględnieniem prognozowanych poziomych deformacji terenu górniczego. „Przeгляд Górnicy” nr 3, s. 72-79.
- FEDOROWICZ J., MROZEK D., MROZEK M. 2014 - Ochrona budynków murowanych na terenie górniczym. Część 2 – porównanie analiz klasycznych i współczesnych. „Przeгляд Górnicy”. nr 8, s. 93-101.
- KWIATEK J. I INNI 1998 - Ochrona obiektów budowlanych na terenach górniczych. Wydawnictwo Głównego Instytutu Górnictwa, Katowice.
- KAWULOK M. 2010 - Szkody górnicze w budownictwie. Wydawnictwo Instytutu Techniki Budowlanej, Warszawa.
- MUSZYŃSKI L. 1996 - Wpływ górniczych deformacji podłoża na odkształcenia ścian budynków murowanych. Projekt badawczy własny, Główny Instytut Górnictwa, Katowice.
- SŁOWIK L., CHOMACKI L., PARKASIEWICZ B. 2015 - Oddziaływanie na budynki poziomych odkształceń podłoża górniczego o charakterze ściskania. Materiały budowlane. Tom nr 11, s. 27-29. DOI 10.15199/33.2015.11.07
- SYTY D. 2004 - Inwentaryzacja budowlana. Zespół Obsługi Jednostek Oświatowych, Katowice.
- SZOJDA L. 2009 - Analiza numeryczna wpływu nieciągłych deformacji podłoża na budynki ścianowe. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice.

Artykuł wpłynął do redakcji czerwiec 2017
Artykuł akceptowano do druku 20.08.2017

Szanowni Czytelnicy!

Przypominamy o wznowieniu

prenumeraty „Przełądu Górnicy”

Informujemy też, że od 2009 roku w grudniowym zeszycie P.G. zamieszczamy listę naszych prenumeratorów.