

Wpływ rodzaju gruntu na stan naprężenia w konstrukcji budynku w obliczu eksploatacji górniczej

Influence of soil type on stresses in the building structure in the light of mining exploitation



Dr inż. Marta Kadela*)



Mgr inż. Leszek Chomacki*)

Treść: W celu sprawdzenia oddziaływania podłoża na stan naprężenia powstający w konstrukcji, a tym samym sprawdzenia możliwości bezpiecznego przejścia prognozowanych wpływów eksploatacji górniczej przez konstrukcję budynku przeprowadzona została numeryczna analiza obliczeniowa. W pracy rozważono 4 różne rodzaje gruntów powszechnie występujące na terenie Górnego Śląska, dla których otrzymano różne wartości sił generowanych przez wpływy górnicze na fundamenty i ściany pionowe zagłębione w podłożu górniczym wybranego budynku. Przeprowadzona w ujęciu inżynierskim analiza wskazuje na wpływ rodzaju gruntu na rozkład naprężenia w konstrukcji, wykonanej w technologii tradycyjnej, który może świadczyć o możliwości powstania uszkodzeń w określonych miejscach.

Abstract: Mining exploitation influences on the surface. In order to verify the possibility of safe inflows acquisition by the structure of the building a numerical analysis was performed. Cooperation with the ground mining structure depends on the type and parameters of the soils. This study analyzes four different types of soil commonly found in Upper Silesia. For each soil a different value of forces generated by the influence of mining on the foundations and walls embedded in the surface of selected buildings was obtained. The analysis indicates the impact of soil type on stress distribution in structures, which may factor in the possibility of causing damage in selected places.

Słowa kluczowe:

eksploatacja górnicza, rozkład naprężeń w konstrukcji, odkształcenia ściskające, szkody górnicze

Key words:

mining exploitation, stress distribution in building structure, compressive strain, mining damage

1. Wprowadzenie

Właściwe wykorzystanie obiektów budowlanych nie powinno powodować uszkodzeń oraz obniżenia ich właściwości użytkowych. Jednak niekiedy pomimo odpowiedniego zaprojektowania konstrukcji, powstają dodatkowe wpływy niemechaniczne wywołujące znaczne obciążenia, które mogą prowadzić do ich uszkodzenia. Są to np. deformacje podłoża, które mogą być wywołane zmianami warunków gruntowo-wodnych, działalnością antropogeniczną lub występowaniem innych zjawisk podziemnych. Bezpośredni wpływ na konstrukcje obiektów, a co za tym idzie na zmianę sił wewnętrznych, mają deformacje ciągłe, nieciągłe i drgania podłoża. Zmiana warunków wodnych wpływa w znacznie mniejszy sposób na konstrukcję.

Na tak zwanych terenach spokojnych sposoby oddziaływania gruntu na fundamenty i ściany w nim zagłębione zostały ustalone, a ich wartości pozostają stałe w okresie istnienia budynku [2]. Na terenach górniczych ośrodek gruntowy się uaktywnia, zmienia się w sposób zasadniczy stan pierwotny naprężenia w gruncie, a grunt zaczyna czynnie oddziaływać na budynek. Oddziaływanie to jest zależne od wielu czynników m.in. położenia i warunków eksploatacji, rodzaju i stanu gruntu, geometrii budynku itp.

Obciążenia te niejednokrotnie mają duży wpływ na stan budynków i prowadzą do ich uszkodzenia [5], [7]. Od wielu lat prowadzone są analizy mające na celu szacowanie możliwych do wystąpienia uszkodzeń budynków i zapobieganie ich powstawaniu. Niestety często nie przykłada się należytej uwagi do warunków gruntowych, w których posadowiono budynki. Tematem pracy jest analiza wielkości wpływu parametrów geotechnicznych gruntu na naprężenia w konstrukcji budynku o znanej geometrii w obliczu eksploatacji górniczej, na przykładzie budynku mieszkalnego poddanego działaniu poziomych odkształceń terenu o charakterze ściskania.

*) Instytut Techniki Budowlanej, Oddział Śląski, Katowice

2. Opis wytypowanego obiektu

Najbardziej spektakularne przykłady znacznych wpływów deformacji podłoża na budowie, wywołanych podziemną eksploatacją kopalni można obserwować na obszarach Górnego Śląska [7]. Dlatego do obliczeń wybrano obiekt budowlany zlokalizowany w Rudzie Śląskiej. Budynek wzniesiony ok. 1930 roku w technologii tradycyjnej jako całkowicie podpiwniczony, o 2,5 kondygnacjach nadziemnych (rys. 1). Wymiary gabarytowe obiektu w rzucie poziomym wynoszą 35,40 x 10,20 m. Budynek jest posadowiony na ceglanych ławach fundamentowych o wysokości ok. 0,60 m, na głębokości ok. 1,80 m (z). Konstrukcję nośną stanowią ściany podłużne murowane z cegły o grubości od 0,40 do 0,52 m. Stropy nad piwnicą zostały wykonane jako ceglane odcinkowe na dźwigarach stalowych, a powyżej założono stropy drewniane. W budynku brak jest wieńców stropowych.



Rys. 1. Widok na wytypowany budynek
Fig. 1. View of the analyzed building

Budynek w latach 2002–2012 został poddany wpływom eksploatacji górniczej o wyznaczonych wskaźnikach $\epsilon_x = -4\text{mm/m}$, $R = -25\text{km}$, oraz osiadł o ok. $w = 1,5\text{m}$.

3. Charakterystyka geologiczno-geotechniczna

Rejon Rudy Śląskiej, w którym jest zlokalizowany analizowany obiekt, należy w całości do mezoregionu Wyżyna Katowicka, który wchodzi w skład Wyżyny Śląsko-Krakowskiej [8]. Fundament Wyżyny Śląskiej tworzą węglonośne skały karbońskie wypełniające nieckę, na którą od południa są nasunięte płaszczowiny karpackie.

Pod względem budowy geologicznej obszar miasta położony w północnej części masywu górnośląskiego, jest częścią paleozoicznej struktury waryscyjskiej, pociętej uskokami. Budowę geologiczną tego obszaru tworzą:

- piętro waryscyjskie złożone z utworów karbonu górnego,
- piętro pokrywowe, które stanowią utwory triasu, neogenu i czwartorzędu (rys. 2).

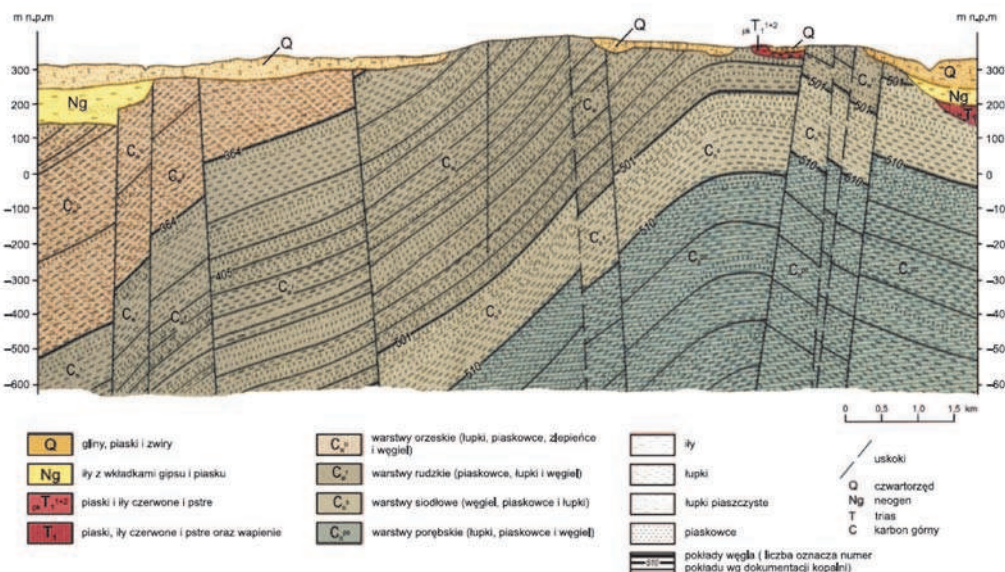
Grunty stanowią czwartorzędowe osady plejstoceniowe, wykształcone w postaci piasków i żwirów wodnolodowcowych, glin zwałowych z otoczkami i okruchami skał oraz holocenijskie osady rzeczne i bagienne w postaci drobnoziarnistych piasków [3], [4].

4. Charakterystyka geologiczno-geotechniczna

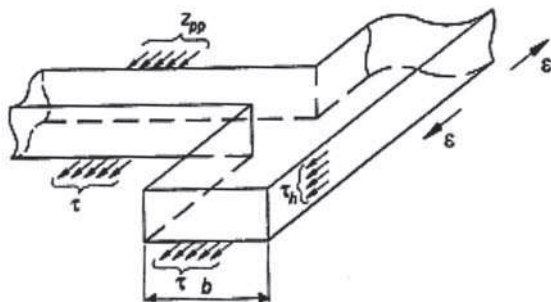
4.1. Siły generowane przez wpływy górnicze na konstrukcje budynku

Fundamenty budynków zlokalizowanych na terenach górniczych oprócz przekazywania obciążeń pionowych na podłoże gruntowe, powinny być również przystosowane do bezpiecznego przejścia skutków oddziaływań górniczych występujących w poziomie posadowienia. Wartości sił, powstających od poziomych odkształceń terenu, występujących w fundamentach zależą od:

- naprężeń stycznych w podstawie fundamentów τ ,
- naprężeń stycznych na bocznych powierzchniach fundamentów, uwzględnianych dla części fundamentu, które zostały wykonane bezpośrednio w gruncie rodzimym τ_{h2} ,
- naporu gruntu na boczne powierzchnie ław, usytuowanych prostopadle do kierunku odkształceń podłoża w przypadku rusztu fundamentowego z_{pp} (rys. 3).



Rys. 2. Przekrój geologiczny przez rejon Rudy Śląskiej [11]
Fig. 2. Geological cross-section of Ruda Śląska area [11]

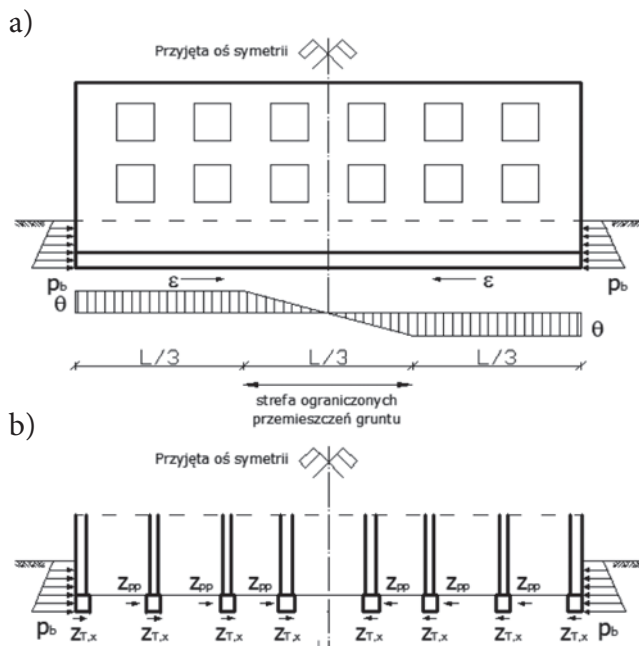


Rys. 3. Obciążenie ław rusztu fundamentowego spowodowane poziomymi odkształceniami terenu [6]

Fig. 3. Load of foundation caused by horizontal terrain strain [6]

Oprócz wymienionych sił, na ściany szczytowe budynku działa parcie gruntu p_o . Dodatkowy napór gruntu spowodowany zagęszczaniem p_g zwiększa działające na ścianę parcie czynne gruntu p_a . Przyjmuje się jednak, że łączna wartość parcia gruntu, która oddziałuje na ścianę zagłębioną w gruncie nie może być większa niż parcie bierne p_b . W analizie uwzględniono rozkład parcia biernego w zależności od zagłębienia w gruncie.

Schemat obciążeń działających na analizowany budynek przedstawiono na rys. 4.



Rys. 4. Schemat obciążenia ław a) podłużnych, b) poprzecznych
Fig. 4. Scheme of foundation load a) longitudinal, b) transversal (cross)

4.2. Siły powstające od poziomych odkształceń terenu w zależności od rodzaju gruntu

Do analizy wybrano 4 rodzaje gruntów (piasku gliniastego – cłSiSa, gliny piaszczystej – sasiCl, piasku średniego – mSa, gliny – cłSi), charakterystycznych dla analizowanego obszaru, o parametrach zgodnych z normami Eurocod 7 [1] i PN-81/B-03020 [10] (tab. 1).

Dla wybranych gruntów przeprowadzono, na podstawie pracy M. Kawuloka [6] i J. Kwiatka [9] obliczenia naprężeń i sił generowanych przez wpływy górnicze dla poziomych odkształceń terenu o charakterze ściskań. Wyniki obliczeń dla poziomych odkształceń terenu o charakterze ściskań równych $\varepsilon = -4\%$ przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 1. Charakterystyka wybranych gruntów rejonu Śląska
Table 1. Characteristics of selected soils in Silesia

Parametry	Rodzaj gruntu			
	cłSiSa	sasiCl	mSa	cłSi
Ciężar właściwy γ , kN/m ³	20,0	22,0	16,5	20,5
Stan gruntu I_L / I_D	0,2	0,2	0,6	0,4
Kąt tarcia wewnętrzznego Φ , °	19,0	35,0	36,0	15,0
Kohezja c_u , kPa	32,0	20,0	–	21,0
Moduł odkształcenia E_o , MPa	37,5	27,7	95,0	18,0

5. Naprężenia w konstrukcji budynku poddanego wpływom eksploatacji górniczej

5.1. Model obliczeniowy konstrukcji

Na potrzeby przeprowadzenia obliczeń stworzono trójwymiarowy model obliczeniowy złożony z paneli. Analizowany ustrój składa się z 14 854 elementów, a całkowita liczba węzłów w modelu wynosi 13 598.

Model obiektu stworzono, zachowując geometrię całości obiektu rzeczywistego (rys. 5.1). Elementami nośnymi są ściany podłużne i poprzeczne występujące odpowiednio w trzech i jedenastu płaszczyznach. Grubość elementów prostopadłościennych odpowiada grubości ścian, określonej podczas inwentaryzacji obiektu. Przyjęto następujące parametry muru:

- ciężar objętościowy muru $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$,
- długotrwały moduł sprężystości muru $E_{co} = 910 \text{ MPa}$,
- wytrzymałość na ściskanie elementu murowego $f_b = 10 \text{ MPa}$,
- wytrzymałość na ściskanie zaprawy wapiennej $f_m = 1 \text{ MPa}$,
- wytrzymałość muru na ściskanie $f_k = 2,2 \text{ MPa}$,
- wytrzymałość muru na ścinanie: od 0,1 MPa (w górnych partiach ściany), do 0,22 MPa (w poziomie stropu nad piwnicą).

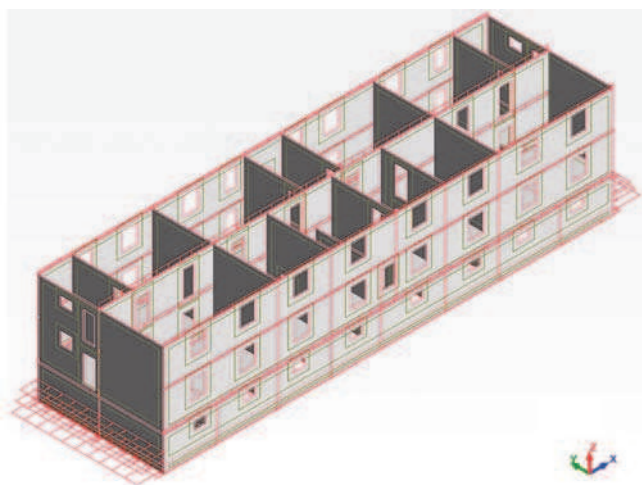
Przy tworzeniu modelu nie uwzględniono stropów powyżej parteru, ponieważ są to stropy drewniane, dla których

Tabela 2. Wyznaczone siły i naprężenia generowane przez wpływy górnicze na konstrukcję budynku dla $\varepsilon = -4\%$.

Table 2. Loads and stresses caused by mining exploitation for $\varepsilon = -4\%$

Obciążenia od poziomych odkształceń terenu	Rodzaj gruntu			
	cłSiSa	sasiCl	mSa	cłSi
Naprężenie styczne w podstawie fundamentu θ kPa	49,99	73,19	62,84	36,44
Siła styczna w podstawie fundamentu $z_{T,x}$, kN/m dla ławy o szerokości równej 0,5÷0,8 m	25,00÷40,00	36,50÷58,40	31,50÷50,40	18,00÷28,80
Siła wywołana naporem gruntu na boczne powierzchnie ław z_{pp} , kN/m w zależności od rozstawu ław poprzecznych w świetle	25,20÷51,20	27,10÷54,90	15,40÷31,30	25,70÷52,10
Parcie gruntu na ściany szczytowe p_a , kN/m w zależności od zagłębienia w gruncie (z)	89,70÷160,50	76,80÷223,00	0,00÷114,40	54,70÷117,40
Sumaryczne siły oddziaływujące na konstrukcję budynku F , kN	5373,52	7210,23	5588,34	4349,12

sztwność jest niewielka. Zatem nie mają wpływu na przestrzenną sztywność budynku, a jedynie przekazują obciążenia na nośne ściany budynku. Z analogicznych przyczyn nie zamodelowano więźby dachowej, natomiast przekazano jej reakcje na zewnętrzne ściany budynku.



Rys. 5. Trójwymiarowy model obliczeniowy konstrukcji
Fig. 5. Three-dimensional calculation model of the structure

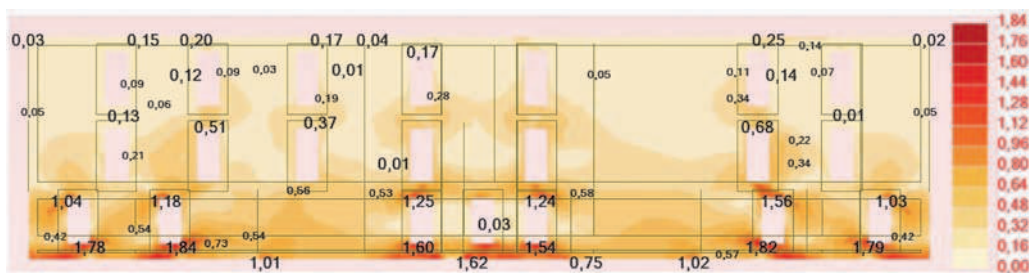
W kierunku pionowym model podparto wzdłuż wszystkich łań fundamentowych, a w kierunkach poziomych uniemożliwiono ruch w osiach łań poprzecznych przebiegających w połowie długości budynku.

Do modelu przyłożono obciążenia stałe i użytkowe wylczone zgodnie z normami oraz obciążenia poziomymi odkształceniami gruntu o charakterze ściskania pochodzącymi od wpływów górniczych (pkt 4). Analizowane w dalszej części artykułu wyniki wynikają z kombinacji tych obciążeń.

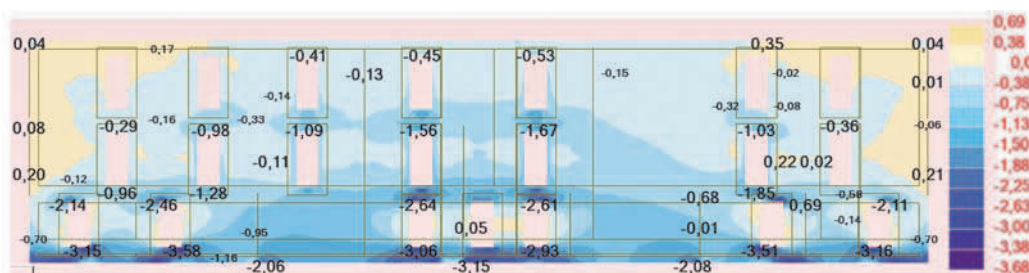
5.2. Wyniki analiz numerycznych

Obliczenia wykonano w zakresie sprężystym w oparciu o metodę elementów skończonych (MES), używając programu komputerowego Autodesk Structural Analysis ROBOT. Otrzymany rozkład naprężeń w konstrukcji ma taki sam charakter dla wszystkich rodzajów gruntu, przyjętych do analizy. Przykładowe rozkłady naprężeń ścinających τ_{12} oraz poziomych naprężeń ściskających σ_{xx} dla wewnętrznej ściany podłużnej, z uwzględnieniem obciążeń pochodzących od $\varepsilon = -4\%$, przedstawiono dla gruntu spoistego na rys. 6, 7 oraz niespoistego – rys. 8 i 9.

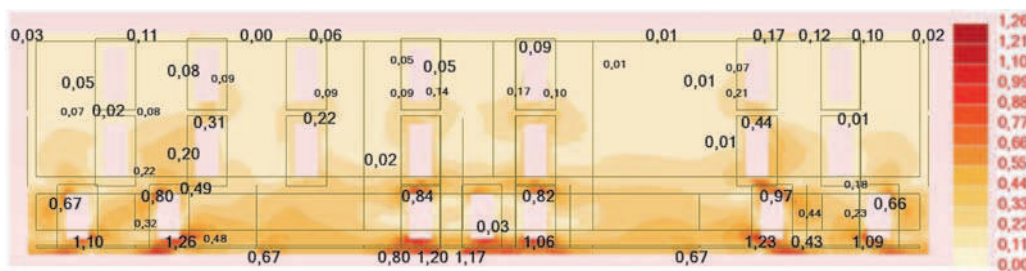
We wszystkich analizowanych przypadkach otrzymano analogiczny rozkład naprężeń. Wyniki wskazują na możliwość powstania ukośnych uszkodzeń łączących naroża otworów drzwiowych w piwnicznej części budynku, z uwagi na prze-



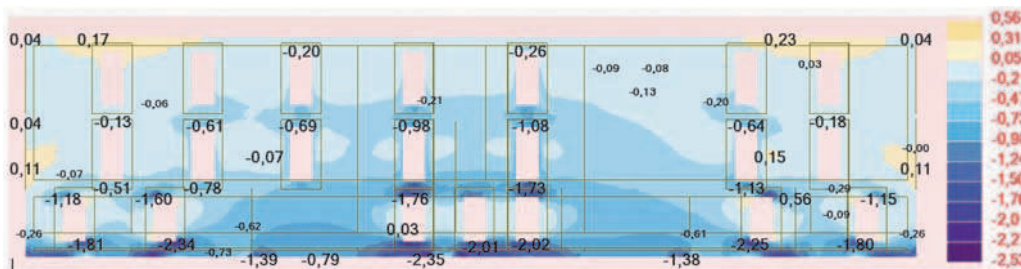
Rys. 6. Rozkład głównych naprężeń ścinających τ_{12} dla gliny piaszczystej (sasiCl)
Fig. 6. Distribution of shear stress τ_{12} for sasiCl



Rys. 7. Rozkład głównych naprężeń ściskających σ_{xx} dla gliny piaszczystej (sasiCl)
Fig. 7. Distribution of compressive stress σ_{xx} for sasiCl



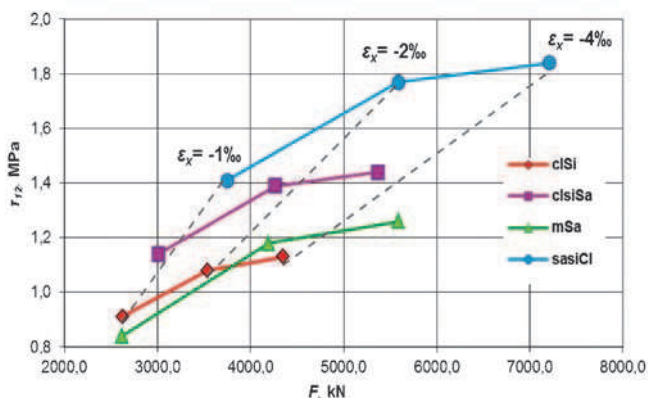
Rys. 8. Rozkład głównych naprężeń ścinających τ_{12} dla piasku średniego (mSa)
Fig. 8. Distribution of shear stress τ_{12} for mSa



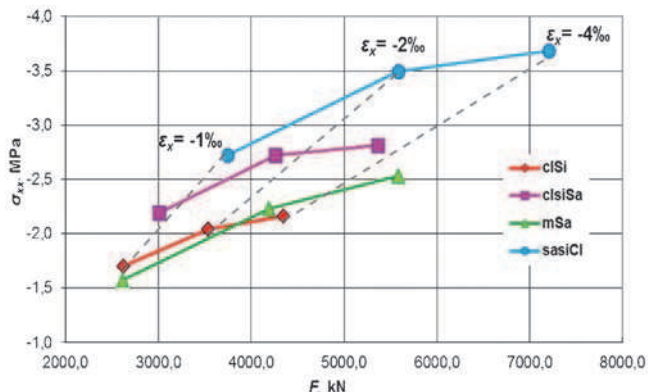
Rys. 9. Rozkład głównych naprężeń ściskających σ_{xx} dla piasku średniego (mSa)
 Fig. 9. Distribution of compressive stress σ_{xx} for mSa

kroczenie w tych obszarach wytrzymałości muru na ścinanie, która wynosi do 0,22 MPa.

Najbardziej niekorzystne wartości naprężeń otrzymano dla gliny piaszczystej w stanie twardoplastycznym (sasiCl - rys. 6 i 7) i są nawet o 70% wyższe od wartości najniższych uzyskanych dla gliny w stanie plastycznym (clSi). Dla gruntów innych niż glina przekroczona została wytrzymałość muru na ściskanie wynosząca 2,2 MPa. Są to fragmenty murów poniżej otworów drzwiowych w piwnicy, w których może dojść do zmiżdżenia.



Rys. 10. Maksymalne wartości naprężeń ścinających τ_{12} generowanych w konstrukcji pod wpływem działających sił F
 Fig. 10. Maximum value of shear stress τ_{12} generated in the structure under the influence of the forces acting F



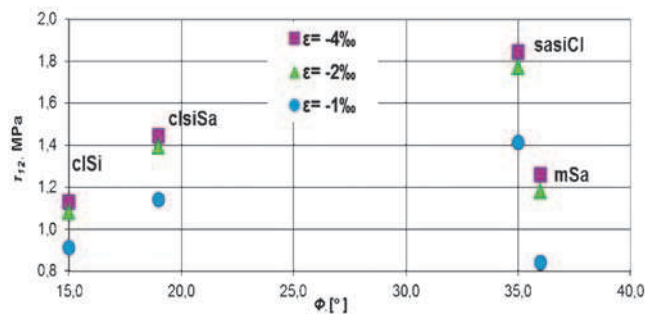
Rys. 11. Maksymalne wartości naprężeń ściskających σ_{xx} generowanych w konstrukcji pod wpływem działających sił F
 Fig. 11. Maximum value of compressive stresses σ_{xx} generated in the structure under the influence of the forces acting F

Po lokalnym zniszczeniu konstrukcji w miejscach o przekroczonych wartościach naprężeń w rzeczywistości następuje ich redystrybucja, która nie została uwzględniona w analizowanym modelu.

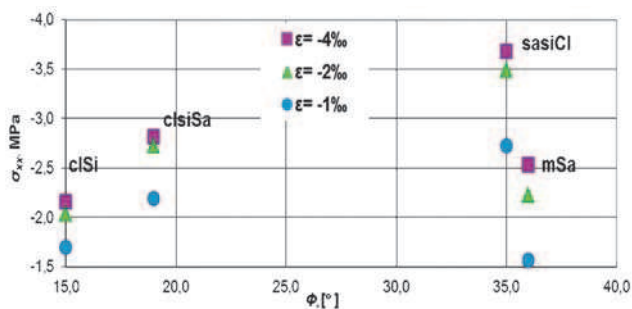
W celu sprawdzenia wpływu poziomego odkształcenia pochodzącego od eksploatacji górniczej na konstrukcję budynku obliczenia powtórzono, dla $\epsilon_x = -1$ i 2% , jako reprezentatywne dla I i II kategorii górniczej. Otrzymano taki sam charakter rozkładu naprężeń, jak poprzednio. Maksymalne wartości naprężeń ścinających τ_{12} oraz poziomych naprężeń ściskających σ_{xx} dla wewnętrznej ściany podłużnej w zależności od działającej siły sumarycznej na obiekt przedstawiono odpowiednio na rys. 10 i 11. Najbardziej niekorzystne wartości naprężeń otrzymano dla gliny piaszczystej w stanie twardoplastycznym (sasiCl), a najniższe dla gliny w stanie plastycznym (clSi) i piasku średniego (mSa).

Zgodnie z powyższym można stwierdzić, że im wyższe parametry podłoża gruntowego tym wyższe naprężenia w konstrukcji budynku. Zasadniczy wpływ na powyższe wyniki ma kąt tarcia wewnętrznego. Na rys. 12 i 13 widoczny jest wzrost naprężeń wraz ze wzrostem kąta tarcia dla wszystkich odkształceń ściskających od wpływu eksploatacji. Jednakże dla piasku średniego o kącie tarcia wewnętrznego $\Phi = 36^\circ$ wartości te są porównywalne jak dla gruntu spoistego o wartości kąta mniejszej prawie o połowę ($\Phi = 15^\circ$). Świadczy to o wpływie kohezji na otrzymane wartości naprężeń ścinających i ściskających.

Dodatkowo na rys. 12 i 13 linią szarą przerywaną przedstawiono zależność naprężeń od sumarycznej siły działającej na budynek przy zagęszczaniu podłoża gruntowego na terenach poddanych wpływem eksploatacji górniczej. Wraz ze wzrostem działającego odkształcenia zwiększają się rozbieżności generowanych sił, przykładowo dla $\epsilon_x = -1\%$ działająca sumaryczna siła $F = 2500 \div 3700$ MPa, a dla $\epsilon_x = -4\%$ $F = 4300 \div 7200$ MPa.



Rys. 12. Zależność naprężeń ścinających τ_{12} od kąta tarcia wewnętrznego Φ
 Fig. 12. Relationship ship between shear stress τ_{12} and angle of internal friction Φ



Rys. 13. Zależność naprężeń ściskających σ_{xx} od kąta tarcia wewnętrznego Φ

Fig. 13. Relationship between compressive stresses σ_{xx} and angle of internal friction Φ

4. Podsumowanie

W artykule oszacowano dla wybranego budynku wpływ czterech różnych, powszechnie występujących na Górnym Śląsku, gruntów na obciążenia jego fundamentów i ścian szczytowych generowanych przez wpływy górnicze dla działających na obiekt poziomych odkształceń terenu o charakterze ściskania równych $\varepsilon = -4\text{‰}$. Największe wartości naprężeń otrzymano dla gliny piaszczystej (sasiCl) w stanie twaroplastycznym, a najmniejsze dla gliny (cisi) w stanie plastycznym. Poszczególne wyniki różnią się nawet o 70%.

Wpływ rodzaju podłoża na konstrukcję poddaną oddziaływaniu deformującego się podłoża oszacowano dla różnych wartości poziomego odkształcenia, wyrażonych w postaci sumarycznych sił przekazywanych na budynek w poziomie posadowienia. Im wyższe parametry podłoża gruntowego tym wyższe naprężenia w konstrukcji budynku. Przy czym zasadniczy wpływ na wartości naprężeń ścinających i ściskających powstałych w konstrukcji ma kąt tarcia wewnętrznego oraz w mniejszym stopniu – spójność gruntu.

W miejscach, w których naprężenia przekroczyły wytrzymałość muru na ścinanie lub ściskanie, można z pewnym prawdopodobieństwem przewidywać powstanie uszkodzeń.

Podsumowując, można stwierdzić, że uzyskane wyniki rozkładu naprężeń w konstrukcji budynku świadczą o tym, jak duże znaczenie dla wartości naprężenia w istniejącej konstrukcji murowej budynku ma rodzaj gruntu, na jakim są posadowione budynki. Wyniki analizy są godne podkreślenia z uwagi na to, że fundamenty posadowione na gruntach o wysokich parametrach wytrzymałościowych mogą wymagać zwiększonego zbrojenia, co jest odmienne od tradycyjnego postępowania. Wskazuje to na potrzebę dokładniejszej weryfikacji warunków gruntowych przy projektowaniu nowych oraz sprawdzaniu odporności istniejących budynków.

Literatura

1. Eurokod 7. Projektowanie geotechniczne. Część 1: Zasady ogólne.
2. Fedorowicz L., Fedowicz J., Kadela M.: Numeryczna ocena nośności gruntu dla fundamentów pasmowych. „Górnictwo i Geoinżynieria” 2011, nr 35, s. 217-224.
3. Górnik M.: Dokumentacja hydrogeologiczna ustalająca zasoby eksploatacyjne wód podziemnych ujmowanych przez wyrobiska KWK Polska-Wirek. Agencja Konsultingowa LIBRA, Bytom 1998.
4. Janik G., Kuś R.: Dokumentacja geologiczna w kategorii A, B, C1, C2 złoża węgla kamiennego „Halemba II” w Rudzie Śląskiej. Archiwum Urzędu Marszałkowskiego w Katowicach 1997.
5. Kawulok M.: Szkody górnicze w budownictwie. Wydawnictwo ITB, Warszawa 2010.
6. Kawulok M.: Projektowanie budynków na terenach górniczych. Instrukcja ITB nr 416/2006. Wydawnictwo ITB, Warszawa 2006.
7. Kawulok M. i inni: Obliczeniowa weryfikacja przyczyn awarii budynków w Bytomiu. Ochrona obiektów na terenach górniczych. Wydawnictwo GIG, Katowice 2012.
8. Kondracki J.: Geografia regionalna Polski. Wyd. Nauk. PWN, Warszawa 2002.
9. Kwiatek J.: Obiekty budowlane na terenach górniczych. Wydawnictwo GIG, Katowice 2007.
10. PN-81/B-03020: Grunty budowlane. Posadowienie bezpośrednie budowli. Obliczenia statyczne i projektowanie.
11. Wyczółkowski J.: Szczegółowa mapa geologiczna Polski 1:50 000, ark. Zabrze. Państw. Inst. Geol., Warszawa 1957.