

WPŁYW GŁĘBOKIEGO POSADOWIENIA BUDYNKU NA ZABUDOWĘ SĄSIEDNIĄ

Damian SIWIK*, Czesław MIEDZIAŁOWSKI

Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Politechnika Białostocka, ul. Wiejska 45 A, 15-351 Białystok

Streszczenie: W pracy przedstawiono metody obliczeniowe, służące do określania przemieszczeń pionowych gruntu za ścianą obudowy głębokiego wykopu. Zaprezentowano przykład obliczeniowy zastosowania metody analitycznej w połączeniu z metodą elementów skończonych do szacowania sił wewnętrznych w modelowym budynku, w zabudowie sąsiedniej.

Słowa kluczowe: głębokie wykopy, głębokie posadowienia, metoda elementów skończonych, metody analityczne, krzywa deformacji terenu.

1. Wprowadzenie

Głębokie wykopy to realizacje powyżej 3m, o ścianach pionowych zabezpieczonych, najczęściej jedną z następujących technologii: ściana szczelinowa, obudowa berlińska, ściana z grodzic stalowych (tak zwana ścianka szczelna).

Ze względu na niewielką sztywność ściany obudowy wykopu na zginanie konieczne jest zastosowanie odpowiednich rozwiązań konstrukcyjnych, w celu ograniczenia jej przemieszczeń poziomych. Do najbardziej rozpowszechnionych metod budowy głębokich wykopów (Siemińska-Lewandowska, 2010) zaliczyć można: wykop w obudowie wzmocnionej rozporami, wykop w obudowie kotwionej, metodę stropową (metoda stropowa klasyczna, metoda półstropowa, metoda „top&down”).

W zależności od faz realizacji głębokiego posadowienia budynku (Michalak, 2008) w podłożu gruntowym pojawić się mogą zarówno osiadania (spowodowane odkształceniem obudowy wykopu), jak i wypiętrzenia (powstałe w wyniku odprężenia gruntu w trakcie realizacji prac na budowie). Analiza przemieszczeń powstałych w trakcie realizacji inwestycji, według metodologii zaproponowanej w instrukcji ITB (Kotlicki i Wysokiński, 2002) jest podstawowym kryterium oceny stanu technicznego budynków w sąsiedztwie.

Celem pracy jest przedstawienie stosowanych modeli analitycznych do szacowania krzywej deformacji podłoża za ścianą wykopu. Przedstawiono własną metodologię

i przykład obliczeniowy wykorzystania metody analitycznej w połączeniu z metodą elementów skończonych do określania rozkładu sił wewnętrznych w ścianie modelowego budynku posadowionego w sąsiedztwie głębokiego wykopu.

2. Stosowane metody analizy statycznej

Jednym ze sposobów analizy wpływu odkształceń podłoża gruntowego na stan techniczny zabudowy jest podejście empiryczne, w którym to na podstawie krzywej deformacji podłoża za ścianą obudowy wykopu określa się przechylenie budynku i porównuje się je z wytycznymi podanymi w literaturze (Kotlicki i Wysokiński 2002; Michalak i Szulborski, 2009). Wśród stosowanych metod do szacowania takiej właśnie krzywej wyróżnić można metody opracowane przez: Jena (1998), Ilcheva (2006) oraz Michalak (2008, 2009).

2.1. Metoda Jen

Metoda Jen (1998) opracowana została na podstawie danych pomiarowych oraz analiz numerycznych. Dane numeryczne otrzymano przy wykorzystaniu systemu ABAQUS opartego na metodzie elementów skończonych w PSO (Płaski Stan Odkształcenia).

W przypadku wykopów głębszych niż 7,5 m procedura do opisu deformacji terenu za ścianą wykopu sformułowana jest w sposób następujący:

* Autor odpowiedzialny za korespondencję. E-mail: d.siwik@pb.edu.pl

- przemieszczenia pionowe warstw podłoża gruntowego δ_v w cm opisuje wzór:

$$\delta_v = \mu\lambda\omega\delta_{v\max}^* \frac{\left(e^{ax^2+bx}\right)\left(1+x^2\right)^c}{\left(e^{ax_{\max}^2+bx_{\max}}\right)\left(1+x_{\max}^2\right)^c} \quad (1)$$

gdzie: x_{\max} jest odległością od ściany wykopu, przy której występują maksymalne osiadanania w m, $\delta_{v\max}^*$ jest maksymalną wartością osiadań gruntu za ścianą wykopu w zależności od współczynnika prekonsolidacji gruntu w cm, μ oraz λ są współczynnikami zależnymi od głębokości zalegania, odpowiednio podłoża skalnego (d_b) i warstw niespoistych podłoża, a ω jest współczynnikiem zależnym od sztywności zastosowanych rozpór:

$$\omega = (1 - \pi) \left[\frac{\log\left(\frac{k_s EJ}{300}\right)}{\log(1442)} \right] + \pi \quad (2)$$

gdzie: k_s jest sztywnością rozpory na ściskanie/rozciganie w MNm/m, EJ jest sztywnością ściany wykopu na zginanie w MNm²/m, a π jest współczynnikiem korekcyjnym.

Wartości a , b , c mogą być odczytane bezpośrednio z wykresów, natomiast $\delta_{v\max}^*$, jak również współczynniki μ , λ , π wyznacza się z odpowiednich procedur (Jen, 1998).

2.2. Metoda Ilicheva

Metoda Ilicheva (Ilichev i in., 2006) bazuje na modelu belki sprężystej na podłożu gruntowym Winklera oraz zależnościach wyprowadzonych na podstawie badań doświadczalnych. Jako jedna z niewielu daje możliwość uwzględnienia w analizie głębokich wykopów zabudowy sąsiedniej.

Funkcję opisującą osiadanie budynku za ścianą wykopu wyraża krzywa spełniająca równanie:

$$EJ \frac{\partial^4 y(x)}{\partial x^4} + ky(x) = q + kf_1 H_k e^{-\frac{\alpha}{H_k}(x+L)} \quad (3)$$

gdzie: H_k jest głębokością wykopu w m, α oraz f_1 są współczynnikami, odpowiednio: $\alpha = 0,7552$, $f_1 = (0,1-10,1)\%H_k$, EJ jest sztywnością zastępczą budynku na zginanie w kNm²/m, $w(x)$ jest ugięciem belki, o sztywności EJ na podłożu Winklera, spowodowanym równomiernie rozłożonym obciążeniem zastępczym q w m, k jest współczynnikiem sprężystego osiadania belki, charakteryzującym grunt w kN/m³, q jest obciążeniem zastępczym od budynku w kN/m.

Model ilustrujący omawianą metodę wraz z przykładowymi wynikami przemieszczeń podłoża za ścianą obudowy wykopu, otrzymanymi na podstawie metody elementów skończonych i opisywanej metody oraz pomiarów geodezyjnych, przedstawiono na rysunku 1.

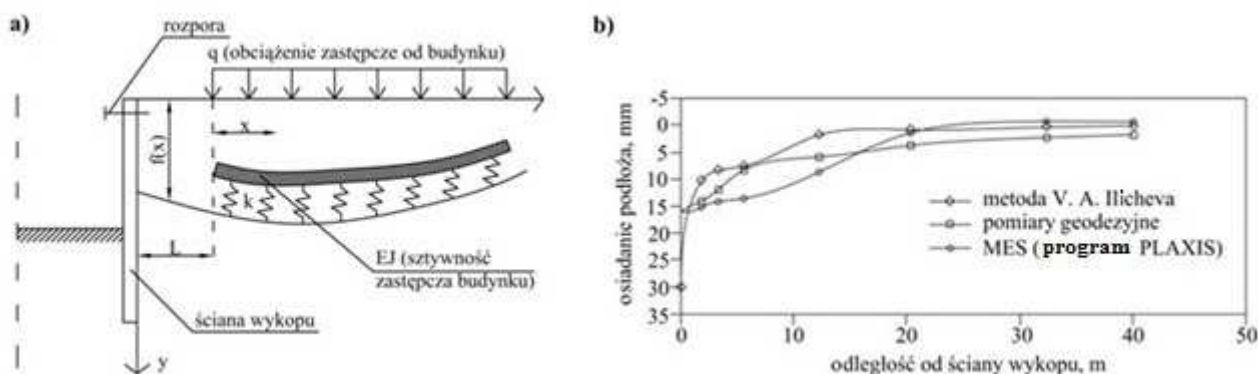
2.3. Metoda Michalak

Metoda Michalak (2008, 2009) opracowana została na podstawie analiz, uwzględniających wyniki pomiarów geodezyjnych deformacji terenu, które prowadzone były do około roku po rozpoczęciu użytkowania nowo wzniesionego budynku.

Krzywe opisujące deformację podłoża za ścianą obudowy wykopu, otrzymano przy wsparciu programów GEO4 i Excel:

- wykorzystując rzeczywiste wyniki przemieszczeń pionowych powierzchni terenu na krawędzi wykopu;
- opisując zasięg strefy oddziaływania wykopu w funkcji jego głębokości;
- uzależniając zasięg oddziaływania nowo wzniesionego obiektu na przemieszczenia pionowe terenu za ścianą wykopu od rodzaju gruntu zalegającego poniżej płyty dennej budynku oraz jego ciężaru;
- dla określenia całkowitego oddziaływania nowej realizacji budynku, funkcja deformacji terenu zapisana jest wzorami:
gdy pod fundamentem budynku zalegają grunty piaszczyste:

$$V(x) = \left(-0,00883 \frac{x^2}{h^2} + 0,0482 \frac{x}{h} - 0,0655 \right) V_o \quad (4)$$



Rys. 1. Przykład obliczeń według metody Ilicheva (Ilichev i in., 2006): a) model obliczeniowy, b) przykładowe wyniki przemieszczeń podłoża za ścianą wykopu

gdym pod fundamentem budynku zalęgają grunty ilaste:

$$V(x) = \left(-0,00614 \frac{x^2}{h^2} + 0,0454 \frac{x}{h} - 0,0652 \right) V_0 \quad (5)$$

w których:

$$V_0 = \sum_{i=1}^n \frac{q^* \Delta \omega_i B (1 - \nu_i^2)}{E_{0i}} \quad (6)$$

gdzie: V_0 jest przemieszczeniem powierzchni terenu bezpośrednio za krawędzią obudowy wykopu w m, x jest odległością od ściany wykopu w m, h jest głębokością wykopu w m, q^* jest ciężarem budynku w kN/m^2 , zmniejszonym o wartość obciążenia od części podziemnej, ω jest współczynnikiem zależnym od kształtu i sztywności fundamentu, B jest szerokością fundamentu nowo wznoszonego budynku w m, E_0 jest modułem odkształcenia pierwotnego gruntu w MPa, ν jest współczynnikiem Poissona gruntu.

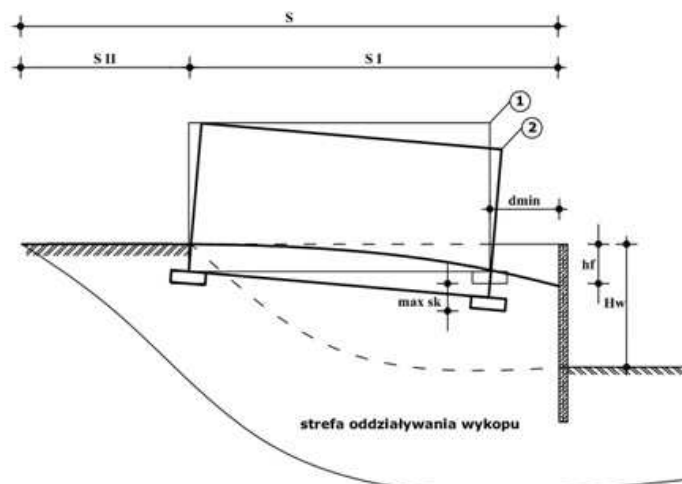
Przy zastosowaniu powyższych równań do opisu krzywej deformacji terenu w analizowanym budynku pojawić się mogą zarówno osiadania, jak i wypiętrzenia. Znak przemieszczenia w głównej mierze zależy tu od wartości V_0 oraz głębokości wykopu h .

Opracowana metoda może być stosowana do szacowania wpływu głębokich posadowień na sąsiednią zabudowę w przypadku wykopów wykonanych metodą stropową bądź z zastosowaniem ścian szczelinowych rozpartych.

3. Ocena wpływu przemieszczeń na stan techniczny budynków

Uproszczoną metodę oceny wpływu wykopu na stan techniczny budynku w sąsiedztwie podaje instrukcja ITB (Kotlicki i Wysokiński, 2002). Metoda polega na sprawdzeniu warunku na maksymalne wartości przemieszczeń konstrukcji:

$$\max s_k \leq s_k^u \quad (7)$$



Rys. 2. Maksymalne przemieszczenia konstrukcji (Kotlicki i Wysokiński, 2002): 1 – stan przed rozpoczęciem budowy, 2 – stan w czasie budowy, S – strefa oddziaływania wykopu (SI – zasięg strefy bezpośredniego oddziaływania wykopu, SII – zasięg wpływu wtórnego

oraz

$$\max s_k \leq s_k^n \quad (8)$$

gdzie: s_k^u jest graniczną wartością przemieszczenia konstrukcji budynku w stanie granicznym użyteczności (sygnalizuje możliwe powstanie nadmiernego zarysowania i deformacji konstrukcji) w mm, $s_k^n = s_k^u / \gamma_f$ jest graniczną wartością przemieszczenia konstrukcji budynku w stanie granicznym nośności (sygnalizuje możliwe utraty nośności poszczególnych elementów konstrukcyjnych budowli) w mm. Wartości graniczne s_k^u i s_k^n w zależności od rodzaju konstrukcji podano w Instrukcji ITB (Kotlicki i Wysokiński, 2002).

Wartość maksymalnych przemieszczeń konstrukcji (rys. 2) wyznacza się według podanej procedury:

– gdy budynek posadowiony jest na głębokości $h_f \leq 2,2$ m poniżej terenu:

$$\max s_k \leq v_0 \quad (9)$$

– gdy budynek posadowiony jest na głębokości $h_f > 2,5$ m poniżej terenu:

$$\max s_k \leq v_0 \frac{H_w - h_f}{H_w} \quad (10)$$

gdzie: v_0 jest przemieszczeniem terenu w odległości d_{min} od obudowy w mm, H_w jest głębokością wykopu w m. Wartość v_0 może być określona na podstawie jednej z przedstawionych w artykule metod.

Jak podają Kotlicki i Wysokiński (2002) w przypadku budynków posadowionych w strefie bezpośredniego oddziaływania wykopu S_1 i budynków wrażliwych na nierównomierne osiadania, należy przeprowadzić szczegółowe badania oceny przemieszczeń na stan techniczny zabudowy.

Metodą pozwalającą na kompleksową analizę budowli jest metoda elementów skończonych umożliwiająca, między innymi, określenie rozkładu sił wewnętrznych w poszczególnych elementach konstrukcji.

4. Zastosowanie MES w analizach głębokich wykopów i sąsiedniej zabudowy

Metoda elementów skończonych (Zienkiewicz i in., 2005) jest jedną z najczęściej wykorzystywanych metod numerycznych do analizy wszelkiego rodzaju zagadnień inżynierskich. MES ze względu na swoją powszechność stosowana jest również do zagadnień geotechnicznych.

Główne zalety metody do zastosowań geotechnicznych to:

- określenie stanu naprężeniowo-przemieszczeniowego w dowolnym punkcie zamodelowanego obszaru,
- analizowanie zadań płaskich i przestrzennych, z uwzględnieniem pracy w zakresie sprężystym i nieliniowym,
- uwzględnienie w obliczeniach odprężenia dna wykopu.

Ze względu na złożony charakter pracy ośrodka gruntowego i niedogodności, które temu towarzyszą (dobór parametrów gruntowych w zależności od przyjętego modelu opisującego zachowanie się gruntu) zastosowanie MES niesie ze sobą pewne niedogodności. Problemy z tym związane są często omijane poprzez zastosowanie tak zwane analizy wstecz, podczas których parametry ośrodka są skalowane w taki sposób, aby wyniki otrzymywane z analiz numerycznych były porównywalne z danymi otrzymanymi z pomiarów geodezyjnych.

Dodatkowo ze względu na bardzo dużą liczbę niewiadomych oraz nieliniowy charakter zjawisk zachodzących podczas realizacji głębokich posadowień (nieliniowość geometryczna i fizyczna, fazowanie robót budowlanych), możliwość modelowania 3D MES jest praktycznie niewykorzystywana przez badaczy i projektantów. Przykłady zastosowania 3D MES do symulacji głębokich wykopów przedstawiono w pracach (Świeca, 2011; Truty, 2009), pomijając w zamodelowanym obszarze budynek nowo posadowiony oraz istniejącą zabudowę.

Innym problemem przy szacowaniu wpływu głębokiego posadowienia na istniejącą zabudowę jest uwzględnienie w modelu MES stanu naprężeniowo-przemieszczeniowego w zabudowie istniejącej, który ze względu na różnego rodzaju zjawiska reologiczne oraz zarysowanie poszczególnych elementów konstrukcyjnych może być zdecydowanie różny od przyjętego na etapie projektowania budowli (Starosolski, 2009; Szulc, 2002). Nieumiejętne uwzględnienie w obliczeniach

MES rzeczywistego stanu, w którym znajduje się konstrukcja może w znaczący sposób wpłynąć na otrzymane w ten sposób wyniki.

5. Przykład obliczeniowy

5.1. Obliczenie krzywej deformacji terenu wg metody Michalak

Aby ominąć problem doboru parametrów materiałowych, do oszacowania wpływu wykopu na sąsiednią zabudowę przyjęto metodologię połączenia metody analitycznej (Michalak, 2008 i 2009) i metody elementów skończonych.

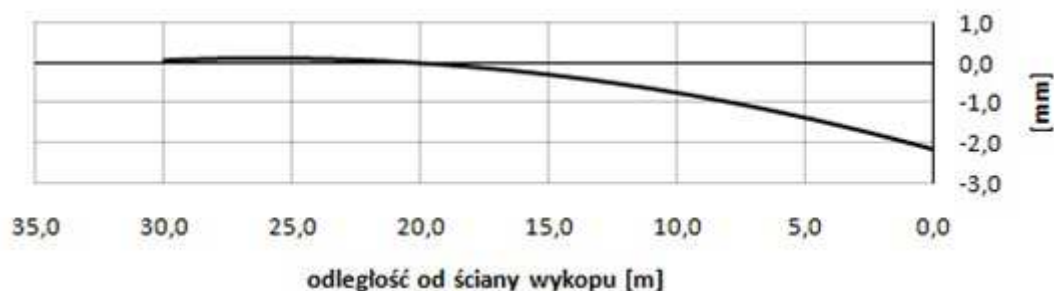
Do opisu krzywej deformacji terenu założono, że pod fundamentem nowo posadowionego budynku występują grunty piaszczyste, zatem korzystając ze wzoru (4), podanego przez Michalak (2008, 2009) otrzymano funkcję opisującą osiadania podłoża za ścianą obudowy wykopu, w postaci przedstawionej na rysunku 3.

Dane potrzebne do obliczenia przemieszczeń podano w tabeli 1.

Tab. 1. Zestawienie danych obliczeniowych do równania opisującego krzywą deformacji terenu

(<i>i</i> - dla podłoża uwarstwionego)	<i>i</i> = 1	<i>i</i> = 2
<i>h</i> [m]	9,00	
<i>q</i> * [kPa]	138,80	
$\Delta\omega$ [-]	0,40	0,82
<i>B</i> [m]	16,00	
<i>v</i> [-]	0,30	0,25
<i>E</i> ₀ [kPa]	70000	80000
<i>V</i> _{0<i>i</i>} [m]	0,0115	0,0213
<i>V</i> ₀ [m]	0,0329	

W dalszej kolejności krzywą (rys. 3) wykorzystano do oszacowania wpływu nowej realizacji budynku na sąsiednią zabudowę. W tym celu przeprowadzono szereg wariantowych symulacji numerycznych z wykorzystaniem metody elementów skończonych. Wyniki analiz przedstawiono w punktach 5.2 i 5.3.



Rys. 3. Krzywa deformacji terenu za ścianą obudowy wykopu otrzymana metodą Michalak

5.2. Uwzględnienie krzywej deformacji terenu do obliczenia sił wewnętrznych w ścianie modelowego budynku w sąsiedztwie

Aby przeanalizować wpływ wykopu na budynek w sąsiedztwie przyjęto metodologię połączenia metody analitycznej (Michalak, 2008 i 2009) z metodą elementów skończonych (rys. 4), obciążając budynek w sąsiedztwie wymuszeniem kinematycznym, na podstawie krzywej z rysunku 3 (rys. 4b).

Analizy przeprowadzono, przyjmując budynek w sąsiedztwie jako żelbetowy, zamodelowany jako ściana w układzie podłużnym ze współpracującymi stropami, posadowiony w pobliżu wykopu wykonanego metodą stropową:

- beton B20 ($E_0 = 29 \text{ GPa}$),
- grubość ściany 25 cm,
- grubość stropów 25 cm, przyjęta szerokość współpracująca stropów 100 cm,
- pozostałe dane geometryczne podano na rysunku 5 (Siwik i Miedziałowski, 2012).

Przy dyskretyzacji obszaru obliczeniowego zastosowano elementy czterokątne i trójkątne. Modelowy budynek w sąsiedztwie przeanalizowano w PSN (Płaskim Stanie Naprężenia), natomiast ośrodek gruntowy w stanie pierwotnym (rys. 4a) w PSO (Płaskim Stanie Odkształcenia) przyjmując jako kryterium plastyczności

warunek Coulomba-Mohra. Do obliczeń zastosowano program Z-Soil Student.

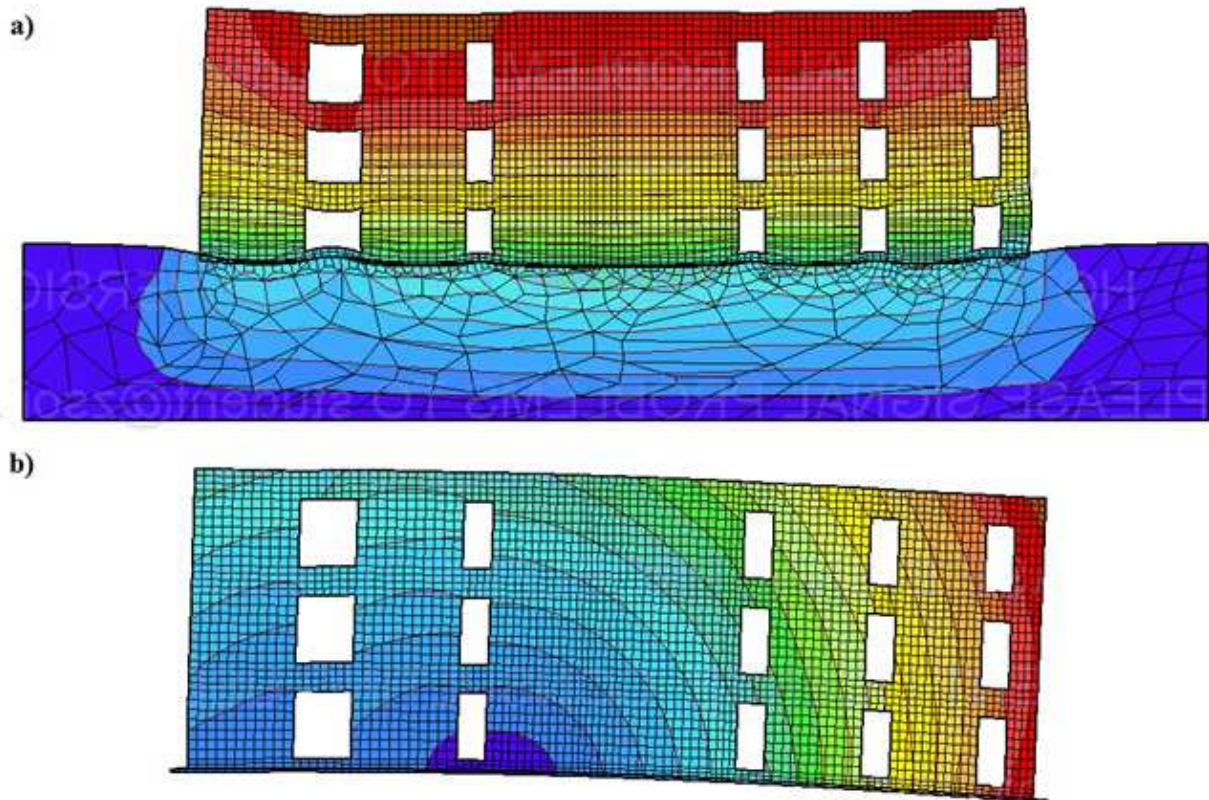
Aby przeanalizować wpływ wykopu i nowo wzniesionego obiektu na sąsiednią zabudowę obliczenia MES przeprowadzono w dwóch etapach:

- etap 1: budynek w sąsiedztwie został zamodelowany, a następnie obliczony wraz z podłożem gruntowym, z uwzględnieniem obciążenia użytkowego i ciężaru własnego ściany oraz współpracujących stropów (rys. 4a),
- etap 2: wpływ wykopu na zabudowę został uwzględniony przez zastosowanie krzywych deformacji terenu (wymuszenie kinematyczne), opracowanych przez Michalak (rys. 4b) bez oraz z uwzględnieniem 50-procentowej redukcji modułu sprężystości betonu.

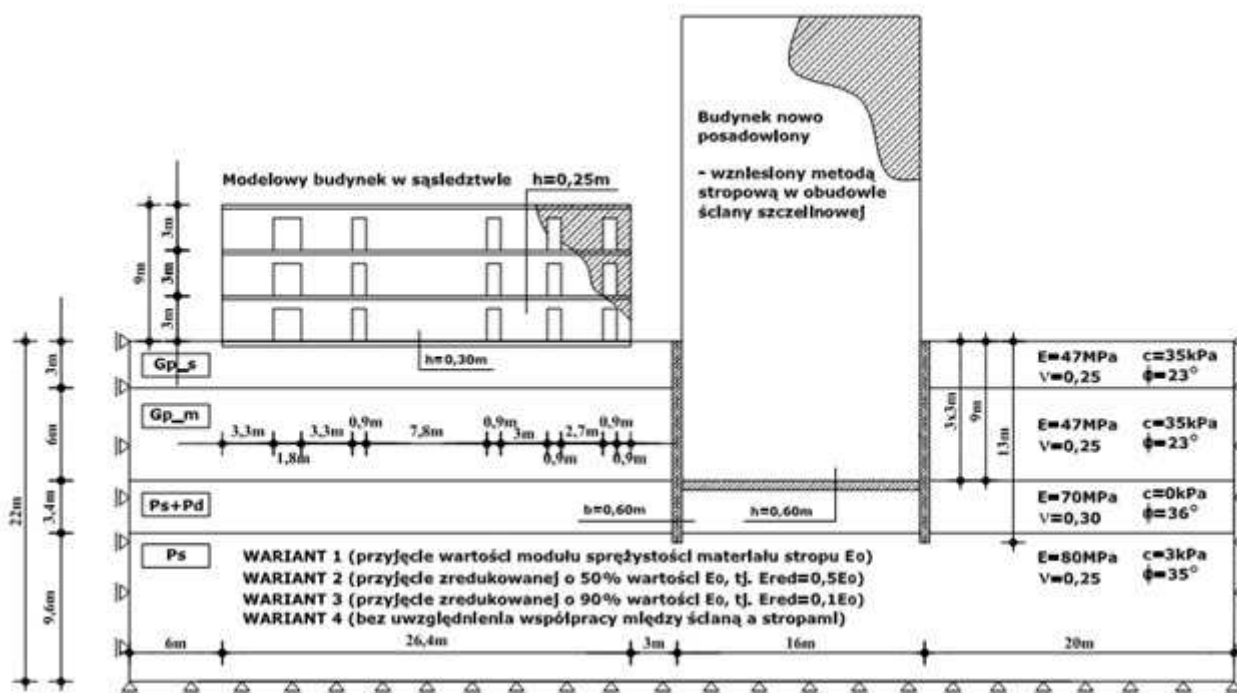
Redukcji modułu Younga dokonano ze względu na możliwe zjawiska reologiczne, długotrwałość obciążeń oraz możliwość zarysowania elementów konstrukcyjnych, a co za tym idzie redystrybucję sił wewnętrznych (Kosicyn, 1963 i 1977).

Analizy stanu wyężenia przekroju ściany wykonano w zależności od sztywności współpracujących stropów, dla czterech wariantów:

- wariant 1: przyjmując wartości modułu sprężystości materiału stropu E_0 ,
- wariant 2: dla zredukowanej o 50% wartości E_0 , to jest $E_{red} = 0,5E_0$,



Rys. 4. Trajektorie przemieszczeń wraz z deformacją siatki modelowego budynku w sąsiedniej zabudowie, wywołane: a) obciążeniem użytkowym i ciężarem własnym ściany i stropów, b) wymuszeniem kinematycznym od krzywej deformacji według metody Michalak



Rys. 5. Wariantowy model obliczeniowy MES do analizy głęboko posadowionego budynku wraz z sąsiednią zabudową (Siwik i Miedziatowski, 2012)

- wariant 3: dla zredukowanej o 90% wartości E_0 , to jest. $E_{red} = 0,1E_0$,
- wariant 4: bez uwzględnienia współpracy ściany i stropów (sama ściana).

Aby urzeczywistnić zachowanie się budynku posadowionego w pobliżu wykopu (to jest uwzględnić współpracę obiektu z podłożem gruntowym) zamodelowano pod fundamentem cienką warstwę podłoża gruntowego. Na styku dwóch materiałów wprowadzone tak zwane interfejsy, pozwalające budynkowi na nieswobodny poślizg po gruncie (Starosolski, 2009).

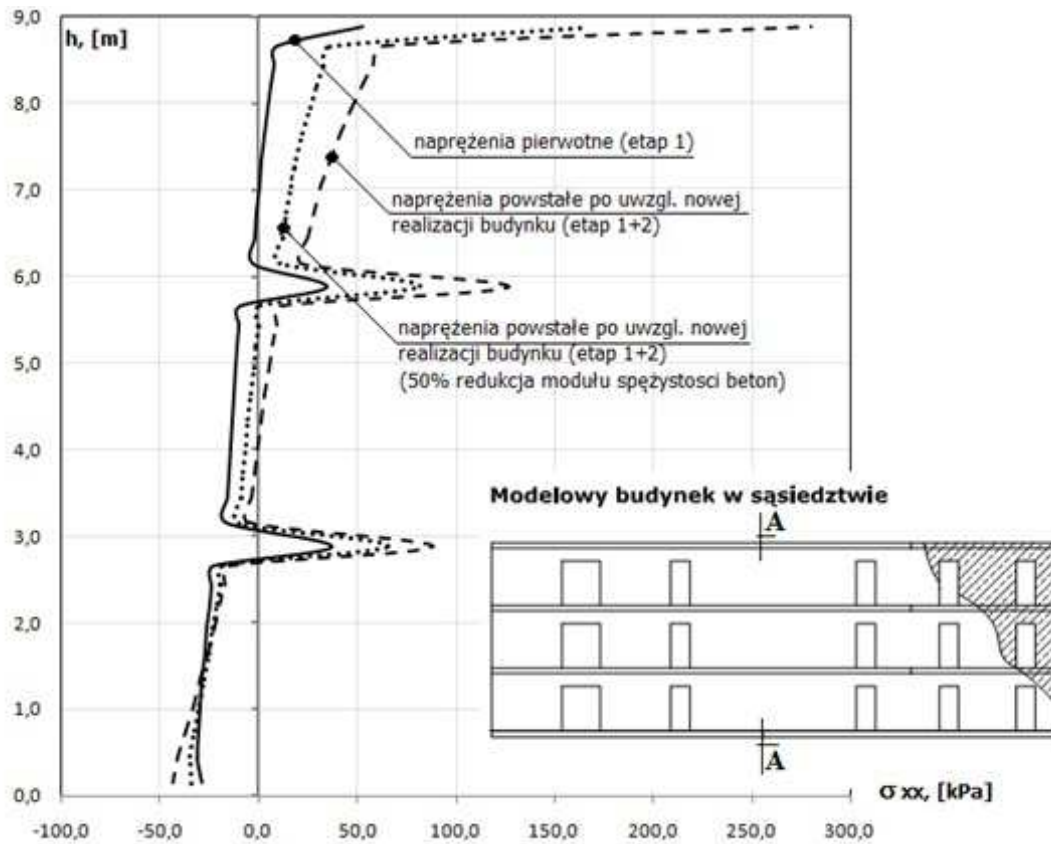
5.3. Analiza uzyskanych wyników

Uzyskane wyniki analiz przedstawiono na rysunkach 6 i 7. Z przeprowadzonych analiz wynika, że:

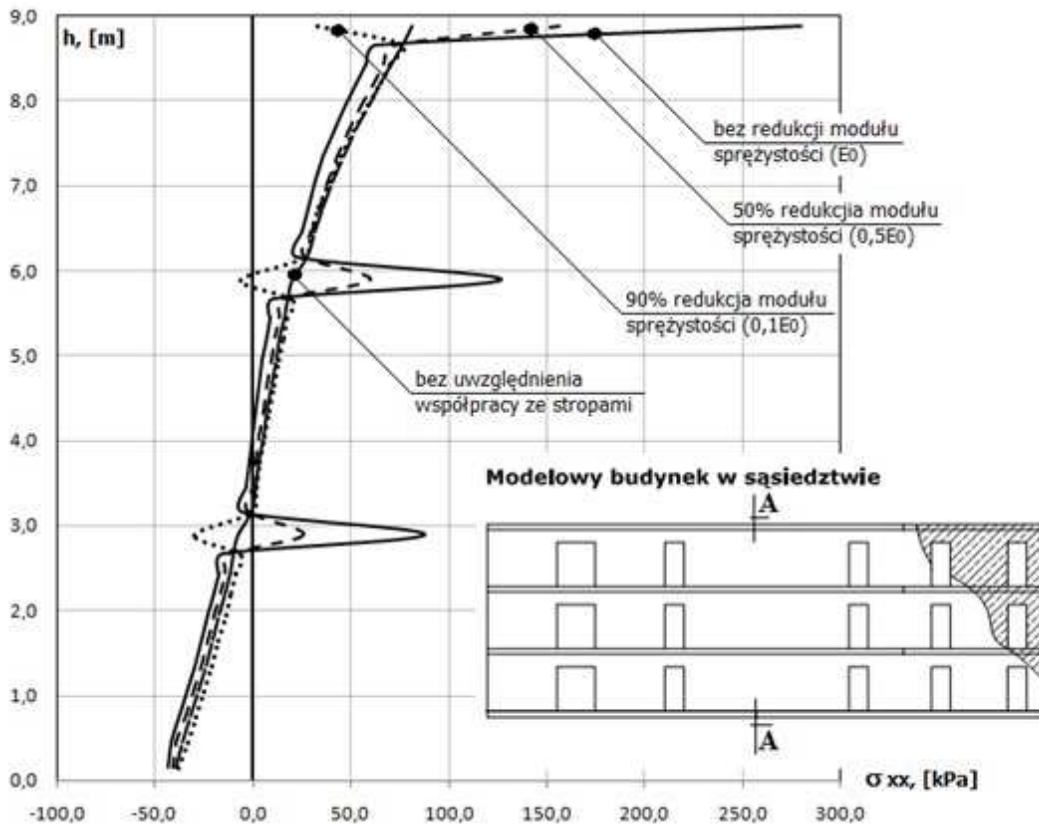
- nawet niewielka krzywizna terenu powstała pod wpływem wykopu, w znaczący sposób wpływa na rozkład sił wewnętrznych w ścianie modelowego budynku;

- najbardziej narażone na niekorzystny wpływ wykopu są najwyższe kondygnacje, gdzie naprężenia σ_{xx} osiągają wartości maksymalne (rys. 6);
- na podstawie szeregu testów numerycznych stwierdzono, że istotny wpływ na rozkład sił wewnętrznych w ścianie (szczególnie na styku ściany nośnej i stropu) ma przyjęta do obliczeń sztywność stropów (rys. 7).

Jednakże w przypadku analizy zagadnienia płaskiego rzeczywiste uwzględnienie podatności pasm stropowych jest dość trudne i możliwe wyłącznie przez modyfikację cech sprężystych materiału. Aby zbliżyć się do sytuacji rzeczywistej należałoby raczej, zabudowę w sąsiedztwie nowej realizacji budynku zamodelować w układzie przestrzennym. Jak podaje Szulc (2002) nieodpowiednie zamodelowanie współpracy stropu i ściany nośnej może doprowadzić do niedoszacowania sił wewnętrznych, a w rezultacie do poważnych zarysowań konstrukcji budynku.



Rys. 6. Rozkład naprężeń normalnych σ_{xx} w ścianie modelowego budynku w sąsiedztwie: linia przerywana – bez redukcji modułu sprężystości betonu, linia kropkowana – z uwzględnieniem 50% redukcji modułu sprężystości betonu



Rys. 7. Rozkład naprężeń normalnych σ_{xx} w ścianie modelowego budynku w sąsiedztwie bez i przy uwzględnieniu współpracy ściany i stropów

6. Podsumowanie

Zastosowana metodologia połączenia krzywych podanych (Michalak, 2008 i 2009) do opisu stanu deformacji podłoża za ścianą obudowy wykopu z metodą elementów skończonych wpływa znacząco na skrócenie czasu przeprowadzonych obliczeń (niewielka ilość niewiadomych). Dodatkowo, przy wykorzystaniu krzywych otrzymanych na podstawie pomiarów geodezyjnych, pomijany jest etap doboru parametrów materiałowych do przyjętego modelu gruntowego, tak jak jest to czynione przy wykorzystaniu klasycznego podejścia MES do zagadnień geotechnicznych. Jednakże istotny wpływ na kształt krzywej opisującej oddziaływanie wykopu na sąsiednią zabudowę ma geometria i sztywność samego budynku w sąsiedztwie (Michalak, 2008; Siwik i Miedziałowski, 2012). Dlatego, też aby potwierdzić otrzymane w pracy wyniki należałoby przeprowadzić symulacje numeryczne z wykorzystaniem klasycznego podejścia, uwzględniając podłoże gruntowe, „nowy” budynek oraz zabudowę istniejącą w sąsiedztwie w jednym modelu MES.

Z przeprowadzonych analiz wynika, że wpływ nowej realizacji budynku na zabudowę sąsiednią jest dość znaczący. Maksymalne wartości sił wewnętrznych występują na styku stropu i ściany, a więc na otrzymane wyniki, znaczący wpływ może mieć sposób modelowania samej konstrukcji budynku. Jednakże, aby rzeczywiście uwzględnić podatność tarcz stropowych oraz ich współpracę ze ścianami, należałoby zamodelować obiekt w układzie przestrzennym, co będzie przedmiotem dalszych prac. Dodatkowo takie podejście zapewni możliwość analizy układu przy nierównomiernych w planie osiadaniach, przy których występuje skręcanie budynku oraz inne efekty.

Literatura

- Ilichev V. A., Nikiforova N. S., Koreneva E. B. (2006). Method for calculating bed deformations of buildings near deep excavations. *Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Vol. 43, No. 6, 189-196.
- Jen L.C. (1998). The design and performance of deep excavations in clay. PhD thesis, *Massachusetts Institute of Technology*.
- Kosicyn B. A., Wolfson B. P. (1963). Deformativnost i prochnost panelnych konstrukcji pri pierkosach i ich pri rastiazenii. *Staticzeskije rasczety krupnopanelnyh zdanih*, Gossstroizdat, Moskwa.

- Kosicyn B. A. (1977). Staticzeskij rasczet krupnopanelnyh i karkasnyh zdanih. *Izdanielstwo Literatury po Stroitelstwu*, Moskwa.
- Kotlicki W., Wysokiński L. (2002). Ochrona zabudowy w sąsiedztwie głębokich wykopów. *Instytut Techniki Budowlanej*, Warszawa.
- Michalak H. (2008). Budynki głęboko posadowione a przemieszczenia podłoża i zabudowy w sąsiedztwie. *Geoinżynieria : drogi, mosty, tunele*, 04/2008, 66-76.
- Michalak H. (2009). Wybrane zagadnienia kształtowania konstrukcyjno-przestrzennego wielokondygnacyjnych garaży podziemnych w strefach śródmiejskich. *Górnictwo i Geoinżynieria*, Vol. 33, No. 3/1, 257-266.
- Michalak A., Szulborski K., Woźniak M. (2009). Zabezpieczenia i obserwacja obiektów w sąsiedztwie głębokich wykopów. W: *Materiały Ogólnopolskich Warsztatów Pracy Projektanta Konstrukcji*, Wisła 2009, 229-264.
- Siemińska-Lewandowska A. (2010). Głębokie wykopy. Projektowanie i wykonawstwo. *Wydawnictwo Komunikacji i Łączności*, Warszawa.
- Siwik D., Miedziałowski Cz. (2012). Głębokie posadowienia budynków i metody ich analizy statycznej, *Budownictwo i Inżynieria Środowiska*, Vol. 3, No. 4, 201-209.
- Starosolski W. (2009). Komputerowe modelowanie betonowych ustrojów inżynierskich. *Wydawnictwo Politechniki Śląskiej*, Gliwice.
- Szulc J. (2002). Wpływ przemieszczeń statycznych podłoża na budynki wielokondygnacyjne. Analiza teoretyczna i weryfikacja doświadczalna. Rozprawa doktorska, *Instytut Techniki Budowlanej*, Warszawa.
- Świeca M. (2011). Zasady projektowania geotechnicznego w nawiązaniu do Eurokodu 7 z zastosowaniem programów numerycznych. *Instytut Techniki Budowlanej*, Warszawa.
- Truty A. (2009). Modelowanie komputerowe w zagadnieniach geotechniczno-budowlanych. W: *Materiały Ogólnopolskich Warsztatów Pracy Projektanta*, Wisła 2009, 915-956.
- Zienkiewicz O. C., Taylor R. L., Zhu J. Z. (2005). The finite element method: its basis and fundamentals. *Elsevier*, Butterworth-Heinemann, Amsterdam.

INFLUENCE OF DEEP BUILDING FOUNDATION ON EXSISTING BUILDINGS

Abstract: The paper presents the calculation methods used for the analysis of the vertical displacement of the ground behind the wall of a deep excavation. The calculation example of estimation the internal forces in the model building in the direct neighborhood of a deep excavation using the analytical method and finite element method is presented.