# ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLASKIEJ Seria: BUDOWNICTWO z. 111

Nr kol. 1756

Barbara KLISZCZEWICZ, Ewelina DMYTRUK Katedra Dróg i Mostów Politechnika Ślaska

# ANALIZA WSPÓŁDZIAŁANIA ZBIORNIKA Z PODŁOŻEM GÓRNICZYM

Streszczenie. Przedmiotem analizy jest żelbetowy, prostokatny zbiornik posadowiony w zasięgu wpływów górniczych, w rejonie dwóch dużych uskoków. Układ "zbiornik-podłoże gruntowe" zamodelowano w programie Z Soil (analiza 2D). Analizowano zmiany pola przemieszczeń w bryle gruntu w miarę przesuwania się frontu eksploatacji względem zbiornika oraz przy jego sukcesywnym napełnianiu.

# THE INTERACTION ANALYSIS OF THE CONTAINER WITH MINING SUBSOIL

Summary. The subject of analysis is the rectangular reinforced concrete container bedding in reach of the mining influences, in the area of two considerable faults. The numerical model of soil-structure interactive system has been developed in the Z\_Soil program (2D analysis). Changes in field of tensions and dislocations were analyzed in ground lumps as the front of the exploitation was moving with respect to the container and at its successive filling.

## 1. Wstep

Dynamicznemu rozwojowi miejskich aglomeracji towarzyszy intensywna rozbudowa infrastruktury komunalnej. Infrastrukturę tę tworzą przede wszystkim rozległe systemy zaopatrzenia w wodę oraz systemy odbioru i oczyszczania ścieków, a więc podziemne sieci wraz z obiektami towarzyszącymi, w postaci zbiorników, obiektów oczyszczalni ścieków czy zbiorników retencyjnych. Sprawne ich funkcjonowanie może być zakłócone w razie ujawnienia się czynników zmieniających warunki posadowienia całych systemów lub obiektów towarzyszących. Z sytuacją taką mamy niewątpliwie do czynienia w rejonach

2007

poddanych wpływom podziemnej eksploatacji górniczej [6], gdzie rejestrowane są zmiany konfiguracji terenu, wywołane robotami górniczymi. Tworzą się wówczas rozległe niecki obniżeniowe (deformacje ciągłe) bądź też lokalne zapadliska, leje, progi czy szczeliny (deformacje nieciągłe). Dochodzić także może do zaburzenia stosunków wodnych lub wstrząsów górniczych o charakterze parasejsmicznym.

Analiza współdziałania obiektów z górniczo deformowanym podłożem gruntowym prowadzona jest najczęściej z wykorzystaniem metod komputerowych [3], [4], [7], przy czym model numeryczny obejmuje obiekt i współpracującą z nim bryłę gruntu. Oddziaływania górnicze reprezentowane są przez wymuszenia kinematyczne, przyłożone do brzegów siatki MES. Wartości tych wymuszeń odpowiadają najczęściej górniczym kategoriom terenu.

W niniejszej pracy podjęto próbę uwzględnienia w analizie wartości przemieszczeń, wyznaczonych na drodze symulacji komputerowej rzeczywistej podziemnej eksploatacji planowanej w jednej z kopalń GZW [5].

## 2. Modelowanie podziemnej eksploatacji górniczej

Symulację podziemnej eksploatacji górniczej wykonano w Katedrze Geomechaniki, Budownictwa Podziemnego i Ochrony Powierzchni Politechniki Śląskiej za pomocą programu FLAC (*Fast Lagrangian Analysis of Continua*). Płaski model numeryczny (rys. 1) obejmuje fragment górotworu zaburzony dwoma uskokami. Postęp frontu robót górniczych, prowadzonych na głębokości 535 m systemem ścianowym z zawałem stropu w pokładzie grubości 2,25 m, modelowano przez sukcesywne powiększanie pustki poeksploatacyjnej, od rozcięcia pokładu do osiągnięcia przez nią długości 1260 m. W miarę postępu robót górniczych krawędź eksploatacji zbliża się do obiektu, w ostatnim etapie prac znajduje się bezpośrednio pod zbiornikiem. Efektem tej komputerowej symulacji są wartości i rozkłady przemieszczeń węzłów modelu górotworu w kolejnych etapach eksploatacji.

Na potrzeby niniejszej analizy wyodrębniono w modelu górotworu obszar o wymiarach 100×40,75 m, schematycznie zaznaczony ramką na rys. 1. W obszarze tym zlokalizowanych jest 77 punktów węzłowych, rozmieszczonych co 10 m w sześciu warstwach. W punktach tych wyznaczono za pomocą programu FLAC wartości pionowych i poziomych przemieszczeń w sześciu etapach postępu robót górniczych.

Wartości obniżeń w ostatnim etapie eksploatacji (L 1260) w punktach leżących na powierzchni obszaru (H = 0) oraz na jego dnie (H = 40,45 m) przedstawiono na rys. 2. Z rozkładu wartości obniżeń widać, iż obszar zlokalizowany jest w obrębie wypukłej części niecki obniżeniowej, gdzie mamy do czynienia z dodatnią krzywizną i poziomymi odkształceniami o charakterze rozciągającym.

Wartości przemieszczeń w punktach leżących na brzegu obszaru przyjęto w dalszej analizie jako wymuszenia kinematyczne, stanowiące swoiste "obciążenie" brzegów modelu układu "zbiornik-podłoże gruntowe", zbudowanego w programie Z\_Soil.



Rys. 1. Model górotworu w rejonie eksploatacji pokładu [5] Fig. 1. Strata model in the region of the exploatation panel [5]



Rys. 2. Obniżenia punktów leżących na powierzchni i na dnie analizowanego obszaru w ostatnim etapie eksploatacji

Fig. 2. Subsidence of points on the top and bottom of analyzed zone in last stage of exploatation

## 3. Analiza układu "zbiornik-podłoże gruntowe"

#### 3.1. Model numeryczny

Przedmiotem analizy jest prostokątny zbiornik żelbetowy długości 1 = 30,0 m, szerokości b = 20,0 m i wysokości h = 4,0 m. Grubość płyty dennej wynosi  $g_1 = 0,7$  m, a grubość ściany  $g_2 = 0,5$  m. Podłoże reprezentowane jest przez jednorodną bryłę gruntu długości L = 90,0 m i głębokości H = 40,75 m. Z uwagi na zgodność głównej osi zbiornika z kierunkiem górniczej deformacji zagadnienie rozpatruje się z założeniem płaskiego stanu odkształcenia (2D), a jego komputerową analizę wykonano w programie Z\_Soil v.4.27 Demo. Dyskretny model współpracującego układu "zbiornik-podłoże gruntowe" (rys. 3) zbudowano ze 121 prostokątnych elementów (146 węzłów), zagęszczając siatkę w obrębie styku konstrukcji z gruntem. Z uwagi na ograniczenia programu Z\_Soil v.4.27 Demo w zakresie liczby węzłów i elementów nie modelowano warstwy kontaktowej. Siatka jest dostosowana do układu węzłów w modelu górotworu w programie FLAC.





#### 3.2. Parametry stref materialowych

W numerycznym modelu analizowanego układu wprowadzono dwie strefy materiałowe [1], których parametry podano w tabeli 1.

Ta	bela	1
		_

STREFA I	STREFA II		
(żelbetowy zbiornik)	(bryła gruntu)		
Madal kanati tuti numuu lini auvo	Model konstytutywny: spreżysto		
Model Konstytutywny. Innowo	idealnie plastyczny z warunkiem		
spręzysty	plastyczności Coulomba-Mohra		
Moduł sprężystości E = 30 GPa	Moduł sprężystości E = 30 GPa		
Współczynnik Poissona $v = 0,167$	Współczynnik Poissona $v = 0,32$		
Ciężar objętościowy $\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$	Ciężar objętościowy $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$		
	Spójność c = 20 kPa		
	Kąt tarcia wewnętrznego $\Phi = 16,5^{\circ}$		

## 3.3. Program analizy

W analizie uwzględniono sukcesywne napełnianie zbiornika wodą ( $\gamma = 10 \text{ kN/m}^3$ ) w pięciu krokach czasowych ( $t_0 = 0$ ,  $t_1 = 5$  dni) oraz narastanie deformacji górniczych w dziesięciu krokach czasowych ( $t_0 = 5$ ,  $t_1 = 15$  dni). Deformacje górnicze traktowano jako poziome przesunięcia i nierównomierne obniżenia podpór na brzegu modelu (rys. 4).



Rys. 4. Schemat modelowania deformacji górniczych Fig. 4. Mining deformation as a load of "container-subsoil" system

## 3.4. Prezentacja wyników analizy

Przemieszczenia punktów siatki modełu "zbiornik-podłoże gruntowe" w początkowej fazie analizy, tj. przy obciążeniu konstrukcji zbiornika parciem wody po zakończeniu jego napełniania (rys. 5a), wskazują, iż stosunkowo wiotkie dno wygina się, co z kolei skutkuje wychyleniem się ścian zbiornika do jego wnętrza (szczegół A). Deformacja siatki modelu (rys. 5b) wskazuje, iż wymuszenia kinematyczne przyłożone do brzegów siatki silnie propagują do powierzchni kontaktu konstrukcji z gruntem, konstrukcja zaś usiłuje się "dopasować" do narastającej deformacji. Konstrukcja zbiornika ulega wygięciu i przechyleniu w stronę pustki poeksploatacyjnej.





- Rys. 5. Deformacja siatki modelu: a) wpływ obciążenia wodą, b) wpływ górniczych deformacji (L 1260, krok 15)
- Fig. 5. Deformation of nodal nework: a) influence of water pressure, b) influence of minning deformation (L 1260, step 15)

Nachylenie ściany, wynikające z wartości maksymalnych przemieszczeń punktu nr 134 (najwyższy punkt ściany zbiornika) oraz punktu 128 (najniższy punkt ściany zbiornika) wynoszą:

0,45‰ – po obciążeniu wodą,

3,8‰ – po ujawnieniu się końcowej deformacji.

Lokalizację punktów 134 i 128 pokazano na rys. 6, a wartości przemieszczeń - w tabeli 2.



Rys. 6. Lokalizacja punktów na prawej ścianie zbiornika Fig. 6. Localization of points on container's right wall

Tabela 2

Nr	Przesunięcia ux [m]		Przesunięcia uy [m]	
punktu	Krok 5	Krok15	Krok 5	Krok 15
128	0,0006	-0,4046	-0,0157	-0,6923
134	-0,0024	-0,4197	-0,0158	-0,6923

Przeprowadzona w dalszej części analizy komputerowa symulacja zbliżania się krawędzi podziemnej eksploatacji do prostokątnego zbiornika żelbetowego wykazała – w kolejnych etapach postępu robót górniczych – znaczne narastanie oddziaływań górniczych w bryle podłoża w bezpośrednim otoczeniu obiektu.

Przemieszczenia punktów siatki nie tylko zwiększają swoje wartości, ale zwiększa się również obszar występowania intensywnych oddziaływań (rys. 7).







Rys. 7. Mapy przemieszczeń w wybranych etapach analizy numerycznej Fig. 7. Displacements maps in selected stage of analysis

Przemieszczenia punktów styku płyty dennej i podłoża gruntowego, wzrastające w miarę zbliżania się krawędzi eksploatacji do zbiornika, przedstawiono na rys. 8.



Rys. 8. Pionowe przemieszczenia punktów styku płyty fundamentowej z podłożem gruntowym Fig. 8. Vertical displacements of point on contact zone between slab foundation and subsoil

### 4. Podsumowanie

Współdziałanie żelbetowego, prostokątnego zbiornika znacznych rozmiarów z górniczo deformowaną bryłą podłoża jest niewątpliwie zagadnieniem przestrzennym (3D). Redukcja tego zagadnienia do dwóch wymiarów (2D), która w prezentowanej analizie została zastosowana, związana była z jednej strony z dwuwymiarowym charakterem symulacji robót górniczych (program FLAC – ver. 2D), a z drugiej – z ograniczonymi możliwościami programu Z\_Soil v.4.27 Demo. Konsekwencją przyjętych uproszczeń jest nieuwzględnienie tarczowej sztywności ścian podłużnych oraz ich współpracy ze ścianami poprzecznymi, i co się z tym wiąże, sztuczne zaniżenie giętnej sztywności konstrukcji.

Analizy współdziałania układu obiekt-podłoże najczęściej bazują na stosunkowo skąpej informacji dotyczącej wpływów górniczych, w postaci kategorii przydatności terenu do zabudowy [2]. W ramach kategorii operuje się konkretnymi wartościami wskaźników deformacji, bez uwzględnienia ich zmienności w czasie prowadzenia eksploatacji czy zaburzeń rozkładu wartości parametrów w bliskości stref uskokowych. Wartości i rozkłady parametrów, wyznaczone wg najbardziej popularnej teorii Budryka-Knothego, różnią się od uzyskanych w symulacjach komputerowych. Wpływ górniczej krzywizny terenu i poziomych odkształceń analizowany jest najczęściej oddzielnie, a wyniki są superponowane. Wprowadzanie wyników symulacji podziemnej eksploatacji do numerycznych analiz współpracy obiektów z podłożem górniczym wpływa w zasadniczy sposób na urealnienie warunków pracy obiektu, a co za tym idzie na bardziej realistyczne oszacowanie wytężenia konstrukcji.

## Literatura

- Gryczmański M.: Wprowadzenie do opisu sprężysto-plastycznych modeli gruntów. PAN, KILiW, Inst. Podst. Probl. Techn., Warszawa 1995.
- Instrukcja Nr 416: Projektowanie budynków na terenach górniczych. ITB, Warszawa 2006.
- Kliszczewicz B.: Analiza współdziałania żelbetowego zbiornika cylindrycznego z podłożem gruntowym poddanym rozpełzaniu. Rozprawa doktorska. Gliwice 1998.
- Kliszczewicz B.: Projektowanie zbiorników na terenach górniczych. Mat. Konf. Nauk.-Techn. "Problemy projektowania i ochrony obiektów budowlanych na terenach górniczych". ITB, Rudy-Raciborskie 1999, s. 125-138.
- Kwaśniewski M., Wang J.-A.: Symulacja komputerowa eksploatacji węgla systemem ścianowym z zawałem stropu. Cz. I. Pole przemieszczeń i strefy spękań w górotworze. Zesz. Nauk. Pol. Śl., Górnictwo, z. 221, Gliwice 1994, s. 239-266.
- 6. Kwiatek J.: Obiekty budowlane na terenach górniczych. GIG, Katowice 2002.
- Majewski S.: Sprężysto-plastyczny model współpracującego układu budynek-podłoże poddanego wpływom deformacji terenu. Zesz. Nauk. Pol. Śl., Budownictwo, z. 79, Gliwice 1995 (rozprawa habilitacyjna).

Recenzent: Dr hab. inż. Włodzimierz Brząkała, prof. Pol. Wrocławskiej