

*Lidia Fedorowicz\**, *Jan Fedorowicz\*\**

## ZASTOSOWANIE MODELU STANU KRYTYCZNEGO DO OCENY ZASIĘGU WSPÓŁPRACY BUDOWLI Z PODŁOŻEM GÓRNICZYM

---

### 1. Wprowadzenie

Jedynym, bezpośrednim źródłem informacji o deformacjach powierzchni terenu wywołanych eksploatacją górnictw są wyniki przeprowadzanych pomiarów. Podstawowe znaczenie mają tutaj geodezyjne metody pomiaru, służące od strony poznawczej lepszemu opisowi zjawiska deformacji powierzchni i doskonaleniu metod ich prognozowania, a od strony użytkowej pozwalające na wyznaczenie tzw. wskaźników deformacji terenu oraz korektę wartości wskaźników prognozowanych dla danego obszaru [4]. Należy tu dodać, że na podstawie licznych doświadczeń stwierdzono, że trafność prognoz radykalnie wzrasta, gdy dysponuje się wynikami obserwacji wskaźników deformacji na danym terenie lub na terenie charakteryzującym się podobnymi warunkami geologiczno-górnictwymi [7].

Konsekwencje dla konstrukcji budowlanej współpracującej z podłożem gruntowym atakowanym przez deformacje wywołane eksploatacją górnictw są zwykle daleko idące, aż po zagrożenie niespełnienia warunków granicznych. Podstawowe zjawiska występujące na styku konstrukcja–podłoże górnictw przedstawia przykładowo rysunek 1.

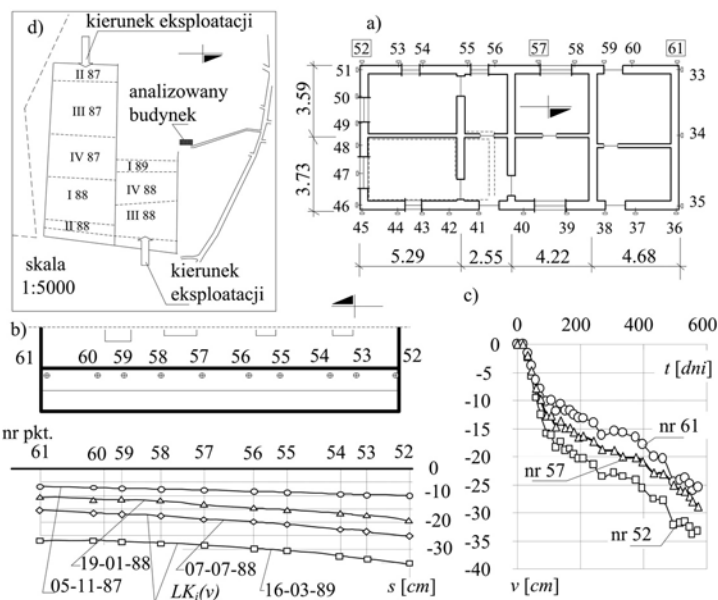
Konstrukcja dodatkowo wytężona w wyniku doznanych nierównomiernych przemieszczeń podłoża gruntowego doznaje zwykle licznych uszkodzeń. Zaradzić temu mają wprowadzane odpowiednio zabezpieczenia (w postaci dodatkowego zbrojenia ław, wieńców, ściągów itd. [4]). Nawet ciągły monitoring przemieszczeń konstrukcji (jak na rys. 1) nie daje jednak pełnego obrazu zaistniałego zjawiska — konstrukcja nie przemieszcza się bowiem zgodnie z prognozowanymi przemieszczeniami terenu, lecz w wyniku interakcji budowla–naruszone podłoże gruntowe doznaje zwykle dodatkowych

---

\* Katedra Budownictwa Ogólnego i Fizyki Budowli, Wydział Budownictwa, Politechnika Śląska, Gliwice

\*\* Katedra Teorii Konstrukcji Budowlanych, Wydział Budownictwa, Politechnika Śląska, Gliwice

osiadań trudnych do zarejestrowania przy pomiarze prowadzonym zwykle na budynku, bez bezpośredniego porównania z przemieszczeniami najbliższego otoczenia niewspółpracującego już jednak z budowlą [8].



Rys. 1. Budynek monitorowany na podłożu górnicyzm

Ponieważ prognozowane są deformacje wolnego terenu i one też są w terenie kontrolowane umykają bezpośredniemu „śledzeniu” oczywiste stany — dodatkowego osiadania konstrukcji, zależnego nie tylko od istniejących warunków gruntowych, ale także konstrukcyjnych (np. typów fundamentów, czy sztywności konstrukcji). Zjawisko to, jak pokazano w kolejnym rozdziale — opisując podłoże górnicze modelem stanu krytycznego Modified Cam-Clay (MCC) — jest związane z obszarem współpracy konstrukcji budowlanej z deformującym się podłożem górnicyzm; czyli zasięgiem wzajemnych oddziaływań ocenianych tu wzdłuż głębokości w osi fundamentu budowli.

## 2. Zasięg współpracy budowli z podłożem górnicyzm

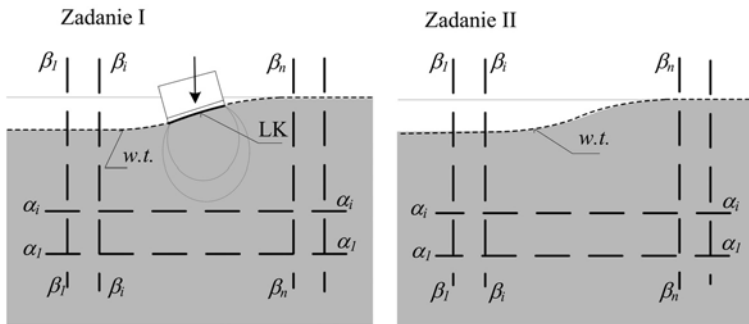
Definicja podłoża górnicyzma wiąże się bezpośrednio z pojęciem zasięgu współpracy obiektu budowlanego z deformującym się podłożem gruntowym. Pomimo wielu badań (laboratoryjnych oraz *in situ*) określany względem głębokości zasięg współpracy obiektu budowlanego z deformującym się podłożem nie został w sposób jednoznaczny zdefiniowany. Podłoże górnicyzma definiowane jest zatem [6] jako ta część przypowierzchniowej warstwy górotworu, zbudowanej najczęściej z gruntów, w której wpływ obiektu na stan naprężenia i odkształcenia w rozważanej

warstwie uznaje się za istotny. Rozpowszechnienie analiz numerycznych wymagało jednak dodatkowego sformułowania jednoznacznych warunków, których spełnienie pozwala uznać przyjęty model podłoża gruntowego jako numeryczny model podłoża górniczego [2].

Stosując zatem model podłoża górniczego, wykorzystujący jako opis pracy gruntu poddanego deformacjom górnicyz model stanu krytycznego MCC, poddajmy badaniom numerycznym trudne do prześledzenia w stanie rzeczywistym zjawisko tworzenia się obszarów współpracy konstrukcji z deformującym się podłożem gruntowym.

Rozważmy zatem dwa zadania z rysunku 2, zadanie kontaktowe  $(B)-(P_g)$  budowla-podłoże górniczne jako zadanie I, oraz zadanie pomocnicze opisujące deformacje wolnego terenu jako zadanie II. Łatwo zauważyć, że jeżeli jest tylko jedno rozwiązanie rzeczywiste, zadania I reprezentującego stan pracy układu budowla-podłoże górniczne w określonej fazie deformacji podłoża, gdzie znane są funkcje przemieszczeń wolnego terenu *w.t.* (poza konstrukcją  $(B)$ ) oraz funkcję kontaktu  $LK$  (w obrębie  $(B)$ ), a także, gdy znane jest rozwiązanie pomocniczego zadania II reprezentującego pracę wolnego (nie obciążonego konstrukcją) podłoża  $(P_g)$  w tej samej, określonej fazie deformacji, to zawsze:

- 1) Istnieją takie przekroje  $\alpha_i, \beta_i, \beta_n$ , że w przekrojach tych w zadaniu I i zadaniu II otrzymujemy te same wartości przemieszczeń  $(u, v)$ ,
- 2) Przekroje te wyznaczają granice obszaru wpływu deformującego się podłoża górniczego  $(P_g)$  na konstrukcję  $(B)$ .



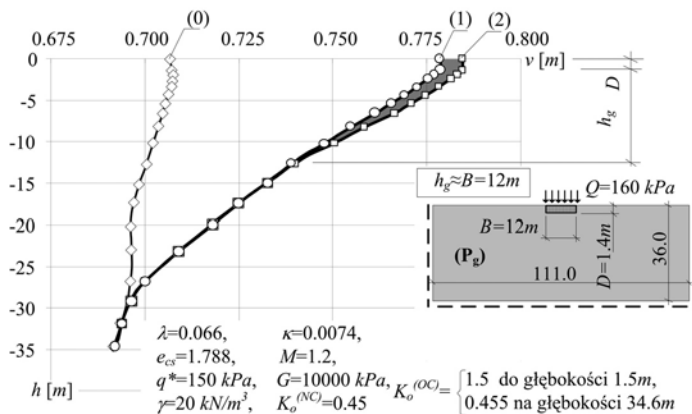
Rys. 2. Poszukiwanie granic obszaru wpływu podłoża górniczego na konstrukcję

Poniżej przedstawiono serię analiz układów  $(B)-(P_g)$  wykonanych w celu rozpoznania zasięgu powyższego obszaru wpływu (oznaczonego tu jako  $h_g$ ) — rysunki 3, 5, 6 i 7.

Analizy przeprowadzono, wykorzystując dla podłoża  $(P_g)$  model stanu krytycznego Modified Cam-Clay  $MCC (OC)$ . Analizę powtórzono kilkakrotnie, wprowadzając jako podkłady  $(B)$  fundamenty pojedyncze o różnych szerokościach oraz grupę fundamentów.

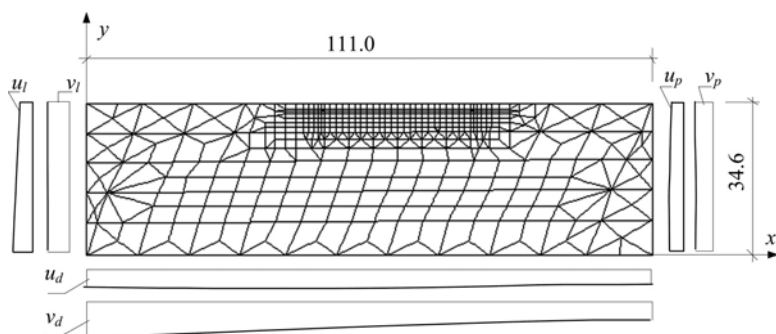
W analizowanych układach jako podłoże górniczne  $(P_g)$  wykorzystano obszar wewnętrzny, wycięty z obszaru górotworu, w którym prowadzona była symulacja procesu eksploatacji górnicyz, otrzymując w ten sposób wiarygodne przemieszczeniowe warunki brzegowe modelu  $(P_g)$ . (Symulację podziemnej eksploatacji górnicyz w stanie (2D) wykonano w Katedrze

Geomechaniki, Budownictwa Podziemnego i Ochrony Powierzchni Politechniki Śląskiej za pomocą programu *FLAC* [5]).



Rys. 3. Zasięg obszaru bezpośredniego kontaktu konstrukcji z podłożem górnictwem

Obszar podłoża górnictwa ( $P_g$ ) z siatką dyskretną MES (dopasowaną do rozwiązania zewnętrznego przeprowadzonego metodą różnic skończonych) pokazano na rysunku 4, warunki brzegowe w postaci przemieszczeń ( $u, v$ ) brzegów obszaru ( $P_g$ ) podano natomiast w tabeli 1.



Rys. 4. Siatka dyskretna obszaru ( $P_g$ )

Funkcje przedstawione na kolejnych rysunkach 3, 5 i 6 określają wartości przemieszczeń  $v$  wzdłuż linii pionowych zgodnych z osią fundamentu (lub grupy fundamentów):

- Funkcja (0) stanowi obraz przemieszczeń pionowych  $v(w.b.)$ , powstałych w deformującym się pod wpływem warunków brzegowych podłoża górnictwa ( $P_g$ ) nie obciążonym konstrukcją.
- Funkcja (1) daje ocenę stanu przemieszczeń pionowych w podłożu górnictwa ( $P_g$ ) obciążonym konstrukcją, z którą podłożo to jednak nie współpracuje.
- Funkcja (2) służy natomiast ocenie stanu przemieszczeń w podłożu ( $P_g$ ) współpracującym z konstrukcją.

TABELA 1

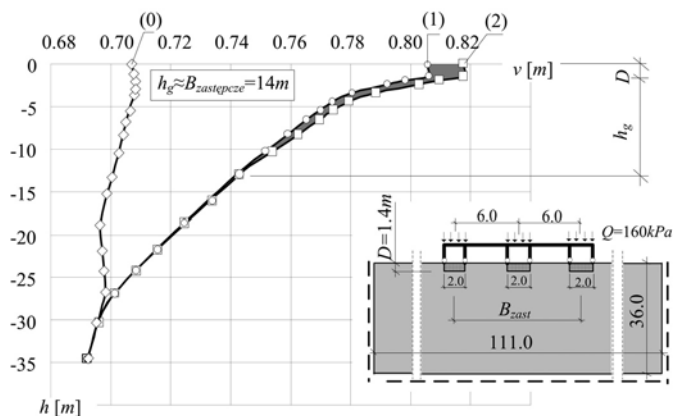
Wartości przemieszczeń ( $u$ ,  $v$ ) brzegów obszaru ( $P_g$ ) z rysunku 4

Brzeg poziomy dolny			Brzeg pionowy prawy		
$x$ [m]	$v_d$ [m]	$u_d$ [m]	$y$ [m]	$v_p$ [m]	$u_p$ [m]
			0,0	-0,520	-0,245
0,0	-1,021	-0,295	7,5	-0,520	-0,270
10,0	-0,967	-0,303	14,2	-0,500	-0,278
20,0	-0,912	-0,391	21,1	-0,490	-0,300
30,0	-0,857	-0,314	27,6	-0,500	-0,293
39,0	-0,801	-0,317	34,6	-0,508	-0,289
49,0	-0,745	-0,314	Brzeg pionowy lewy		
59,0	-0,692	-0,311	$y$ [m]	$v_l$ [m]	$u_l$ [m]
69,0	-0,642	-0,298	0,0	-1,021	-0,295
79,0	-0,596	-0,279	8,0	-1,021	-0,332
89,0	-0,556	-0,260	15,0	-1,019	-0,367
98,0	-0,525	-0,252	21,8	-1,015	-0,397
104,5	-0,523	-0,250	28,3	-1,012	-0,430
111,0	-0,520	-0,248	34,6	-1,013	-0,457

Funkcja (1) =  $v(Q) + v(w.b.)$  jest zatem złożeniem oddzielnych rozwiązań, gdzie:

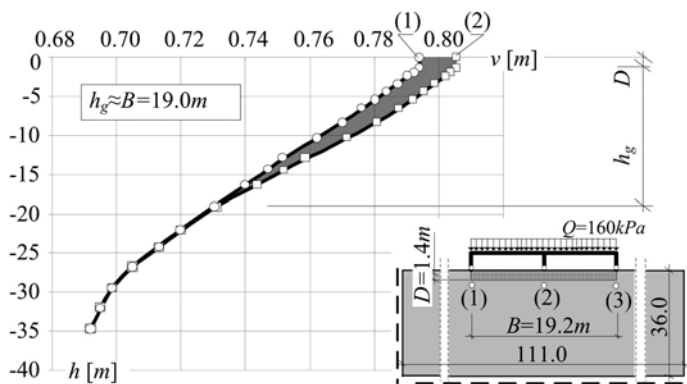
$v(Q)$  — to przemieszczenia w osi, powstające w wyniku obciążenia fundamentu w modelu podłoża jednorodnego o wysokości  $H$  (reprezentującego półprzestrzeń modelu MCC, [1]),

$v(w.b.)$  — przemieszczenia powstające w modelu podłoża (bez konstrukcji) w wyniku realizacji przemieszczeniowych warunków brzegowych imitujących deformacje górnicze.



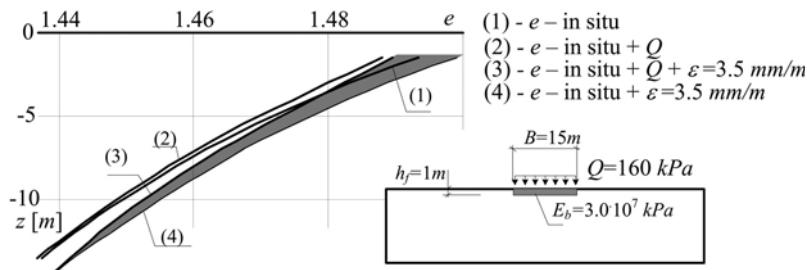
Rys. 5. Zasięg obszaru bezpośredniego kontaktu konstrukcji z podłożem górniczym

Funkcja (2) =  $(v(Q) + v(w.b.))$  jest pełnym rozwiązaniem zadania. Obciążenie przekazane jest z konstrukcji na podłoże, następnie realizowane są przemieszczeniowe warunki brzegowe symulujące deformację górnictwa.



Rys. 6. Zasięg obszaru bezpośredniego kontaktu konstrukcji z podłożem górnictwem

Obszar zacieniony o zasięgu  $h_g$  jest rejestracją istnienia warstwy podłoża, stanowiącej strefę bezpośredniego kontaktu konstrukcji i podłoża górnictwa, wpływającej na rzeczywistą „sztywnościową” odpowiedź deformującego się podłoża górnictwa. Inaczej, sztywność podłoża w strefie kontaktu „sprzęga się” niejako ze sztywnością własną konstrukcji, co w procesie interakcji podkładów  $(B)-(P_g)$  wpływa ostatecznie na stan wyężenia konstrukcji budowlanej. To, że zjawisko zmiany wyjściowej sztywności podłoża związane jest z obszarem współpracy budowli z podłożem, pokazuje czytelnie rysunek 7, zamykający przedstawione badania. Wykorzystując działanie modelu MCC, pokazuje on zmiany wskaźnika porowatości, jakie zachodzą w strefie bezpośredniego kontaktu fundamentu budowli z podłożem górnictwem; gdzie dla wyraźnego przedstawienia „mechanizmu” zachodzących zmian przyjęto w podłożu górnictwem stan czystego rozluźnienia do wartości odkształcenia  $\varepsilon_x = 3,5$  mm/m.



Rys. 7. Zmiany wskaźnika porowatości w strefie bezpośredniego kontaktu z fundamentem sztywnym

### 3. Wnioski

Skutki zmniejszenia sztywności podłoża doznającego deformacji górniczych znane są w obszarach podlegających takim działaniom z obserwacji *in situ* [7]. Przy ocenie przewidywanych lub zaistniałych już skutków deformacji powierzchni terenu, ujawniających się w konstrukcji budowlanej, niezbędne jest oszacowanie zmiany, jaka dokonała się w stosunku do wyjściowej sztywności podłoża gruntowego. Przyjmując, że analizy wyężenia konstrukcji podlegającej deformacji na podłożu górniczym prowadzone w sposób klasyczny, w modelu ze sparametryzowanym podłożem gruntowym, są w większości podstawowych przypadków projektowania zabezpieczeń [4] postępowaniem w pełni uzasadnionym, to analizy przedstawione w rozdziale 2 mogą niewątpliwie przyczynić się do lepszej (ilościowo) oceny spadku sztywności podłoża podlegającego deformacjom górniczym.

Zastosowanie modeli stanu krytycznego w analizach zachowań podłoża górniczego pozwalające ujawnić zjawiska spadku sztywności podłoża wraz z narastaniem deformacji [3], oraz umożliwiające ocenić strefę współpracy konstrukcji z podłożem górniczym pokazuje sensowność prowadzenia badań terenowych, które połączyłyby ciągły monitoring przemieszczeń budowli na deformującym się podłożu górniczym z dokładnym monitoringiem przemieszczeń samego podłoża gruntowego (w nawiązaniu do niezależnej sieci geodezyjnej) w bezpośrednim, niezaburzonym jednak współdziałaniem sąsiedztwie monitorowanej budowli.

#### LITERATURA

- [1] *Fedorowicz J.*: Zagadnienia kontaktowe budowla–podłoże gruntowe. Część I. Kryteria modelowania i analiz podstawowych zagadnień kontaktowych konstrukcja budowlana–podłoże gruntowe. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, seria Budownictwa, nr 1729, z. 107, Gliwice 2006
- [2] *Fedorowicz J.*: Zagadnienie kontaktowe budowla–podłoże gruntowe. Część II. Kryteria tworzenia i oceny modeli obliczeniowych układów konstrukcja budowlana – podłoże górnicze. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, seria Budownictwo, nr 1805, z. 114, Gliwice 2008
- [3] *Fedorowicz L., Fedorowicz J.*: Numeryczne modelowanie zjawisk *in situ* występujących w podłożach gruntowych w obszarach deformacji górniczych. Drogi lądowe, powietrzne, wodne, nr 11, 2009, s. 63–67
- [4] Instrukcje, Wytyczne, Poradniki 416/2006, Projektowanie budynków na terenach górniczych. Wydawnictwo Instytutu Techniki Budowlanej, Warszawa 2006
- [5] *Kwaśniewski M., Wang J.*: Badania nad strukturą geometryczną powierzchni i własnościami mechanicznymi sękań w skałach. Przdki ścianowe o wysokiej koncentracji produkcji. Wydawnictwo. Politechniki Śląskiej, Katowice-Gliwice 1994, s. 71–117
- [6] *Kwiatek J.*: Obiekty budowlane na terenach górniczych. Wydawnictwo Głównego Instytutu Górnictwa, Katowice 2007
- [7] Praca zbiorowa: Ochrona obiektów budowlanych na terenach górniczych. Wydawnictwo Głównego Instytutu Górnictwa, Katowice 1997
- [8] *Wojtas M.*: Przydatność danych geodezyjnych na terenach górniczych dla celów projektowych. Rozprawa doktorska, Wydział Budownictwa Politechnika Śląska, Gliwice 2010