

Sposoby przewidywania i odtwarzania zachowań konstrukcji budowlanych poddanych wpływom górniczym

Modeling methods for prediction and recreation of the behavior of building structures subjected to mining influences



Mgr inż. Jan Jamrozik^{*)}



Dr hab. inż. Lidia Fedorowicz^{**)}



Dr hab. inż. Jan Fedorowicz^{**)}

Treść: Skutkiem efektów oddziaływań górniczych, pojawiających się na powierzchni terenu jest wymóg projektowania eksploatacji z uwzględnieniem zarówno ochrony powierzchni, jak i wszelkiego typu obiektów budowlanych oraz infrastruktury znajdujących się na terenach górniczych. Wymóg ten wiąże się z umiejętnością właściwej oceny zależności pomiędzy deformacjami podłoża górniczego a zachowaniem obiektu budowlanego – w tym deformacjami budowli i jej uszkodzeniami. Wraz z coraz powszechniejszym stosowaniem modelowania numerycznego przy opisie powyższych zagadnień powinno się w zasadzie mówić o ocenie zachowania interaktywnego układu: obiekt budowlany – górnicze podłoże gruntowe. Wyznaczanie w budownictwie wartości efektów oddziaływań górniczych są bezpośrednio sprzęgnięte ze sposobem przekazywania obciążeń z podłoża gruntowego na model obliczeniowy konstrukcji. W pracy przedstawiamy problem, w jakim stopniu ocena efektu (oraz ocena spełnienia warunku *PSGU*) jest zależna od: – sposobu modelowania układu budowa - podłoże górnicze, – opisu konstytutywnego podłoża gruntowego, – wyboru modelu konstytutywnego konstrukcji budowlanej.

Abstract: The effects of mining influences occurring on the surface area entail a requirement to plan exploitation taking into account both the protection of the surface and any type of built features as well as the infrastructure located in mining areas. This requirement refers to the skill of correct evaluation of the relationship between mining subsoil deformations and built feature behaviour, including deformations of the structure and its damage. Along with the increasingly common application of numerical modeling by description of the abovementioned issues, the essence should be evaluation of interactive behaviour of the built feature – mining subsoil system. The structure-indicated values of the mining influence effects are directly coupled with the method of transferring loads from the mining subsoil on the structure calculation model. This paper presents the issue of degree in which the effect assessment (with the assessment of meeting the serviceability limit state requirement) depends on the: - modeling method of the built feature – mining subsoil system, - description of the essential mining subsoil and - selection of essential model for a building structure.

Słowa kluczowe:

oddziaływania górnicze, model podłoża górniczego, modelowanie konstrukcji, stany graniczne

Key words:

mining influences, mining subsoil model, building structure modeling, limit states

1. Wprowadzenie

Całością niekorzystnych wpływów wywieranych na powierzchnię i obiekty budowlane, będących wynikiem prowadzonej eksploatacji górniczej określany jest mianem szkód górniczych.

Podstawę określania oddziaływań górniczych stanowi prognoza deformacji powierzchni, przy czym spełniona powinna być nierówność

$$(w_{\max}, \varepsilon_{\max}, T_{\max}, K_{\max}) < (w_{\text{dop}}, \varepsilon_{\text{dop}}, T_{\text{dop}}, K_{\text{dop}}) \quad (1)$$

zgodnie z którą maksymalne wartości wskaźników deformacji powierzchni terenu muszą być mniejsze od wartości dopuszczalnych dla obiektu budowlanego.

^{*)} Zakład Budynków Miejskich Spółka z o.o., Bytom

^{**)} Politechnika Śląska w Gliwicach

Ocena możliwości eksploatacji wynika:

- z wyboru teorii prognozowania wpływów (dającej najlepszą zgodność z obserwacjami w danych warunkach geologiczno-górnicyznych),
 - prawidłowego określenia parametrów przyjętej do obliczeń teorii,
 - wyznaczenia wartości maksymalnych wskaźników deformacji, przy których spełniona jest nierówność (1)
- Objektom oraz terenom chronionym przypisuje się zatem:
- dopuszczalne wartości wskaźników deformacji (w , ε , T , K dla deformacji ciągłych podłoża), oraz
 - akceptowalne drgania podłoża (w odniesieniu do wstrząsów wywołanych działalnością górnicyz).

Warunek spełnienia stanów granicznych SGU, zgodnie z wymaganiami normowymi, zapiszemy natomiast w postaci

$$E_k < C_k \quad (2)$$

gdzie: E_k obliczeniowy efekt w konstrukcji od obciążeń charakterystycznych, C_k wartość graniczna, określająca dopuszczalny efekt obciążenia (zgodny np. z obserwacjami *in situ* dla określonego rodzaju konstrukcji [10, 13], lub symulowany w odpowiednich analizach obliczeniowych [3, 15]).

Zachowanie powierzchni terenu górnicyz, rejestrowane pomiarami, może w pewnych przypadkach odbiegać od stanów prognozowanych [11, 12]; np. dla górotworu obciążonego wielokrotnie prowadzoną eksploatacją. Złożoność zarówno warunków eksploatacji, jak i warunków geologicznych może się zatem przyczynić do powstania nadmiernych zniszczeń w starej zabudowie miejskiej, jak w spektakularnym przypadku ujawnienia się asymetrii odkształceń i ustalenia położenia wklęsłej strefy niecki w obrębie ciągu kamienic Wirka [6], bądź w przypadku Bytomia – Karbia [9]. Rysunek 1 pokazuje przykładowe obrazy zniszczeń budynków z tego obszaru.

Niezgodności zachowań prognozowanych z rzeczywistymi mogą być także wynikiem czynników geologicznych, takich jak: nachylenie pokładów, wychodnie pokładów, czy uskoki. Właściwe rozpoznanie strefy współpracy budowli z podłożem gruntowym o specyficznych przewarstwieniach (jak na rys. 2 a) oraz określenie parametrów adekwatnego modelu konstytutywnego podłoża pozwala na analityczne potwierdzenie (lub wcześniejsze przewidywanie) nietypowych zachowań obiektów budowlanych w takich obszarach [2 18]. Problemem, na który należy zwrócić uwagę, istotnym dla pracy budynków na obszarach podlegających wpływom eksploatacji, jest wprowadzanie zmian bezpośrednio w obszarze współpracy budowli z podłożem gruntowym. Mogą być to zmiany związane zarówno z przebudowami, jak też



Rys. 1. Przykładowe obrazy zniszczenia budynków z obszaru Bytomia

Fig. 1. Examples of images with building destruction in the city of Bytom

wzmocnieniem podłoża. Rysunek 2 b pokazuje przykładową kamienicę z obszaru Bytomia, ulegającą wychyleniu po uaktywnieniu słabego podłoża (projektowane zabiegi wzmocniające opisano w [19]).

Dla przeprowadzenia oceny zachowania konstrukcji na terenach górnicyz uznaje się, że każda forma przedstawienia prognozowanych przemieszczeń powierzchni prowadzi ostatecznie do określenia w analizowanym obszarze wartości:

- promienia krzywizny R , oraz
- odkształcenia poziomego ε_x .

Przebieg wymaganej oceny, zgodnej z nierównością (1), można przedstawić ogólnie:

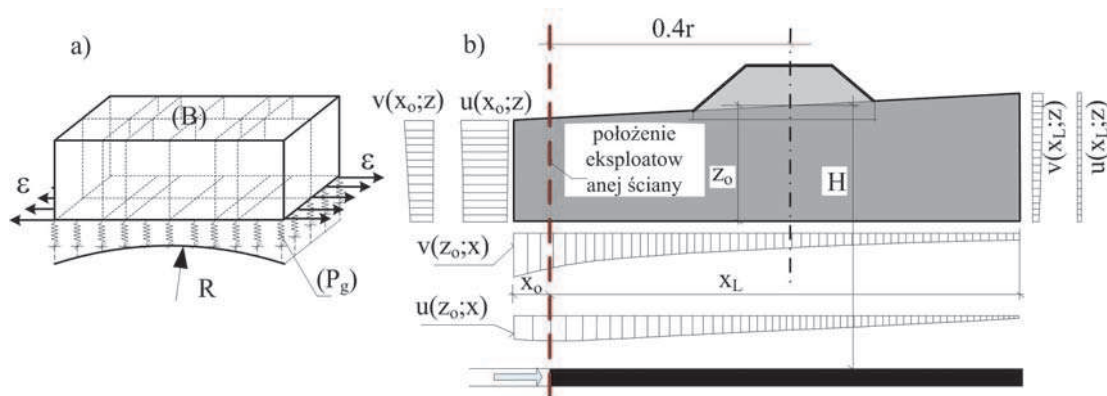
- jako zgodny z podejściem klasycznym, o charakterystycznym sposobie przekazywania wpływów górnicyz na konstrukcję – rys.3 a,
- jako rozbudowany, uwzględniający w analizach obszar podłoża górnicyz, aktywnie oddziałującego na obiekt budowlany – rys.3 b.

Podejście drugie stanowi pewną próbę zatarcia granic rozdzielających obszar zainteresowań górnicyz od oceny efektów działań górnicyz, wchodzących w zakres analiz



Rys. 2. a) Specyficzne przewarstwienia podłoża gruntowego w rejonie eksploatacji górnicyz; b) Kamienica z obszaru Bytomia

Fig. 2. a) Specific interbeddings in the mining subsoil; b) Building in the city of Bytom



Rys. 3. a) Tradycyjny sposób przekazywania wpływów górniczych na konstrukcję budowlaną; b) Przekazywanie wpływów górniczych z podłoża na konstrukcję w modelu numerycznym

Fig. 3. a) Traditional method for mining influences... Numerical model for mining influences transmission on the building structure

budowlanych, pozwalając równocześnie (przy odpowiednim opisie konstytutywnym podłoża gruntowego) na ocenę stanu bezpieczeństwa całego układu budowla-podłoże górnicze [3].

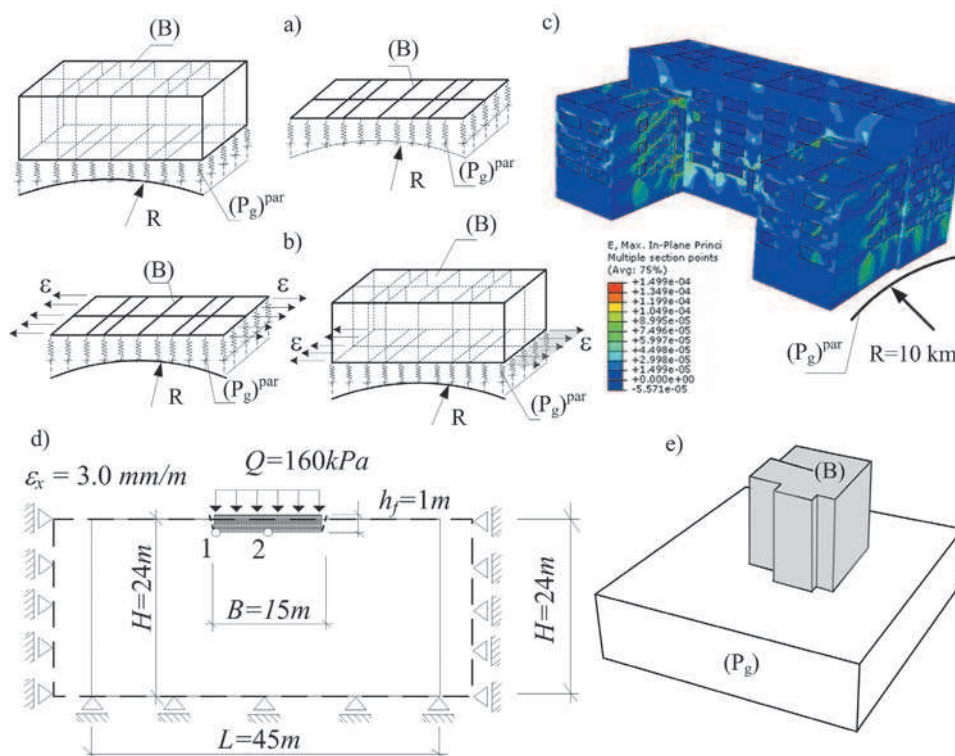
2. Sposoby postępowania w analizach budowlanych oceniających efekty działalności górniczej

Zgodnie z uwagami przedstawionymi we wprowadzeniu możemy stwierdzić, że tradycyjnie nierówność (2) odnosi się do zachowania obiektu budowlanego – ocenianego dowolną metodą obliczeniową – wynikającego z obciążenia obiektu przewidywanymi (lub pomierzonymi) deformacjami powierzchni terenu górniczego; opisywanymi promieniem krzywizny R oraz odkształceniem poziomym ϵ_x .

Rysunek 4 obrazuje sposoby obliczeniowe stosowane przy ocenie lewej strony nierówności (2), dając równocześnie obraz przekształcania się klasycznych schematów mechaniki budowli w numeryczne modele obliczeniowe MES.

W praktyce złożone zagadnienie kontaktowe budowla – deformujące się podłoże górnicze sprowadzone zostaje, niezależnie od złożoności opisu konstrukcji, do zagadnienia oceny odpowiedzi budowli na stany wymuszone poprzez:

- A) deformowanie warstwy podłoża parametrycznego (podłoża typu Winklera), reprezentującego wyginające się podłoże górnicze współpracujące z konstrukcją budowlaną (rysunki 4 a i 4 c), bądź
- B) przemieszczenia realizujące prognozowane odkształcenia poziome terenu, przykładowe zwykle do fundamentów konstrukcji (rys.4 b), lub przenoszone na fundamenty konstrukcji poprzez rozluźnianą warstwę podłoża gruntowego (rys.4 d).



Rys. 4. Sposoby obliczeniowe stosowane przy ocenie lewej strony nierówności (2)

Fig. 4. Methods of calculation used to assess the left side of the inequality (2)

Analizy obliczeniowe, w których rozbudowywany jest ciągły model podłoża (przedstawiany modelem MES), a realizowane jest postępowanie zgodne z powyższymi ścieżkami (A) i (B) obarczone są wieloma ograniczeniami [3, 5], nieuwzględnienie których może obciążać ocenę wielkości E_i (reprezentujących lewą stronę nierówności (2)) jeszcze większą niepewnością wyników, aniżeli przy stosowaniu dla celów inżynierskich udokumentowanego [8, 7, 16, 17] opisu podłoża typu Winklera.

Rysunek 5 przedstawia propozycję oceny prawej strony nierówności (2), czyli wartości granicznej C_k , określając wartości efektu oddziaływań górniczych dla przykładowej konstrukcji ściennej. Analizowana ściana wyodrębniona została z konstrukcji zabezpieczonej na wpływy III kategorii deformacji górniczych.

Rozwiązanie (rys. 5), otrzymane dla przyrostowo realizowanego procesu deformacji ściany w modelu sprężysto-plastycznym z degradacją materiału, odpowiada lokalnie zachowaniu ściany sprężystej dla promienia krzywizny $R=6$ km. Wartość odkształcenia θ_b {wyznaczone} $\approx \theta_b$ {dopuszczalne} otrzymano dla $R=10$ km (przy parametrach materiałowych zgodnych z badaniami). Pokazano otrzymane obszary degradacji materiału w ścianie, o maksymalnej wartości degradacji $d \approx d_t \approx 38\%$ wartości możliwej; gdzie d_t degradacja towarzysząca rozciąganiu. Ekstremalne wartości dla $R=6$ km wynoszą: $\theta_b \approx 0,596 \times 10^3$, $\theta_{t2} \approx 0,71 \times 10^3$, $d \approx d_t \approx 63\%$.

Można zauważyć, że niesprężysta analiza odkształcenia ściany obiektu zabezpieczonego na wpływ III kategorii deformacji terenu górniczego klasyfikuje badaną ścianę do (2) kategorii odporności obiektów (zgodnie z [13, 16]), podczas gdy analiza sprężysta pozwala zakwalifikować ją do (3) kategorii odporności.

Zrozumiałe w analizach bardziej zaawansowanych, zwykle o charakterze badawczym, dążenie do tworzenia modeli MES, opisując pełny układ budowla – podłoża górnicze (rys. 4 e) natrafia na rozliczne problemy, w tym wiodący w zagadnieniach interakcji:

– problem jednoznacznego określenia rzeczywistego obszaru współpracy budowli z podłożem górniczym, sprzęgnięty bezpośrednio z

– opisem konstytutywnym podłoża gruntowego.

Przy wykorzystaniu pełnego układu MES stosuje się w praktyce dwie ścieżki analiz numerycznych, bazujących na:

I. klasycznym rozprężeniu prognozowanego stanu deformacji podłoża na:

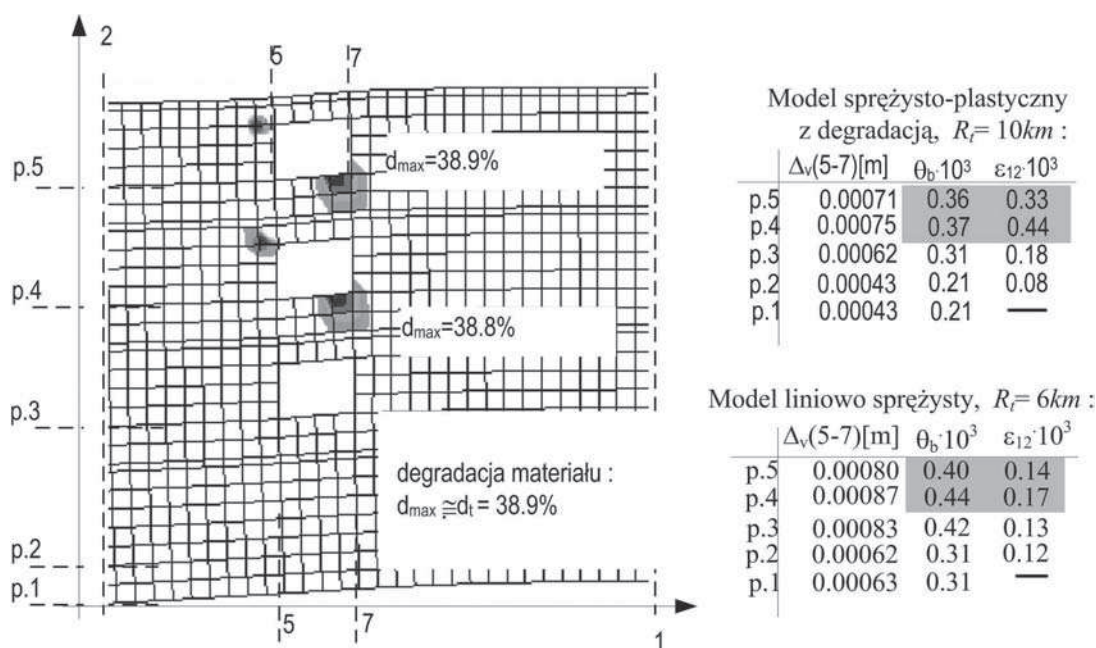
– stan przemieszczeń pionowych tworzących krzywiznę terenu (opisaną promieniem R_{charakt}), oraz

– stan przemieszczeń poziomych, wywołujących odkształcenia poziome ϵ_x (o wartości $\epsilon_{\text{charakt}}$),

II. odtworzeniu stanu prognozowanych (lub pomierzonych) deformacji powierzchni terenu w modelu numerycznym podłoża; w pełnym układzie budowla – deformujące się podłożo „część” tego stanu przekazuje się na budowlę, powodując jej deformacje.

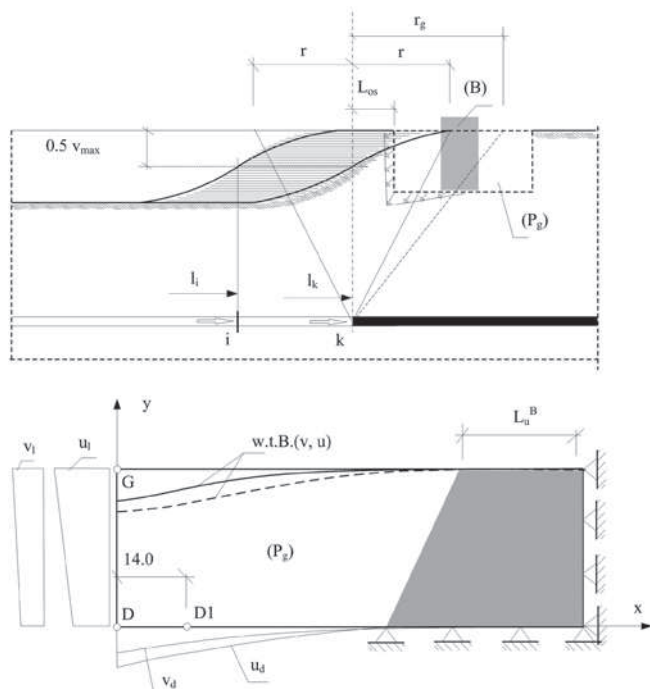
Niejednoznaczności w analizach prowadzonych zgodnie ze ścieżką (I) przedstawiono w pracy [3]. Ścieżka (II), mimo że jest badawczo bardzo obiecująca, wymaga wprowadzenia właściwych kinematycznych warunków brzegowych $\{u, v\}$, odpowiadających przemieszczeniom poziomym i pionowym pojawiającym się na brzegach modelu (P_g), jako pewnego skończonego podobzaru podłoża gruntowego deformującego się w wyniku eksploatacji. Rysunek 6 pokazuje charakter takiej analizy; gdzie warunki brzegowe wynikają z teorii Knothe-Budryka [3, 4].

„Parametrami” wyróżniającymi obszar (P_g) są jego wymiary (długość i wysokość) oraz usytuowanie obszaru względem wędrującej niecki górniczej; gdzie pojęciu wędrującej niecki odpowiada zjawisko zmian odkształceń powierzchni w wyniku postępującego frontu eksploatacji. Odpowiedni dobór tych trzech wielkości wpływa na adekwatność oceny skutków przemieszczania się niecki deformacji w obszarze (P_g) – m.in. na zasięg rozprzestrzeniania się fali deformacji w obszarze podłoża (rys. 6 b) oraz właściwą numeryczną odpowiedź przemieszczeniową (w porównaniu do prognozowanej) na



Rys. 5. Propozycja oceny prawej strony nierówności (2) w modelu sprężysto-plastycznym z degradacją materiału (e-p-d)

Fig. 5. Proposal of evaluation of the right side of inequality (2) in the elastic-plastic material model with stiffness degradation (e-p-d)



Rys. 6. Usytuowanie obszaru (P_g) względem przemieszczającej się niecki górniczej oraz postać warunków brzegowych $\{u,v\}$
 Fig. 6. Location of the area (P_g) on the moving mining trough and the form of boundary conditions $\{u,v\}$

górnym brzegu (lub powierzchni) obszaru (np. zasięg strefy nieaktywnej L_u^B).

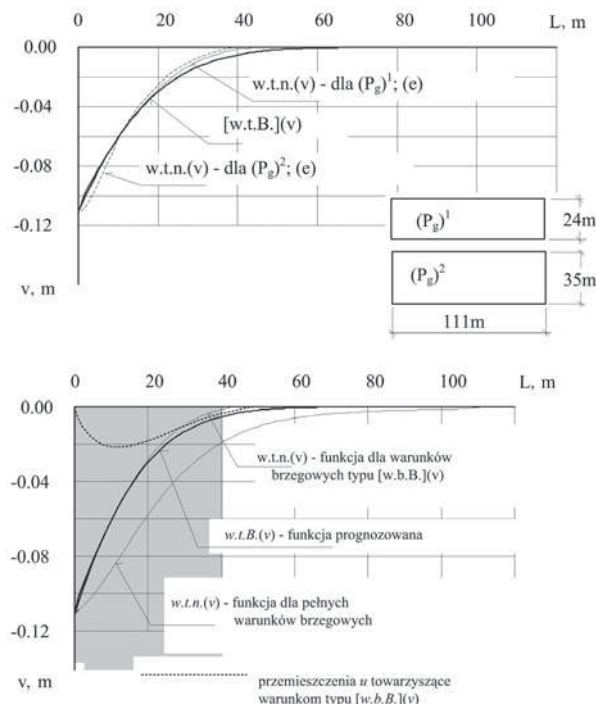
W klasycznych sposobach przekazywania deformacji podłoża górniczego na budowlę zachodzi rozdzielanie rzeczywistego stanu deformacji na składowe pionowe i poziome.

Postępowanie to jest zgodne z praktyką wyrażania stanu prognozowanych (lub pomierzonych) deformacji powierzchni w postaci parametrów deformacji ϵ_x , R lub K . Konsekwencje takiego „przeniesienia” do analiz układów (B)-(P_g) pokazano na rys. 7.

Rejestrowane są funkcje deformacji powierzchni modeli (P_g), oznaczone jako *w.t.n.*, przy rozdzielonych (niepełnych) przemieszczeniowych warunkach brzegowych Knothego-Budryka oznaczonych jako:

- w.b.B (v) – warunki brzegowe zawierające jedynie pionowe składowe przemieszczeń, gdzie
- *w.t.B* (v) i *w.t.B* (u) – prognozowane funkcje przemieszczeń wolnego terenu,
- *w.t.n* (v) i *w.t.n* (u) – funkcje uzyskane numerycznie, w podłożu (P_g) opisanym modelem sprężystym (e).

Wprowadzenie niepełnych warunków brzegowych w analizach obszarów (P_g) powoduje wprawdzie niemal wierne numeryczne odtworzenie funkcji prognozowanych przemieszczeń pionowych wolnego terenu *w.t.B* (v). Stanom tym towarzyszą jednak „fały” sztucznie wywołanych składowych przemieszczeń pominiętych we wprowadzanych warunkach brzegowych. Pominięcie składowych poziomych $\{u\}$ w warunkach brzegowych zaburza analizy zachowania podłoża górniczego, nie może być zatem podstawą oceny bezpieczeństwa układu budowla-podłoże górniczne.



Rys. 7. Niepełne warunki brzegowe wg teorii Knothego-Budryka; model sprężysty (e)
 Fig. 7. Incomplete boundary conditions according to Knothego-Budryk theory; elastic model (e)

3. Wpływ warunków brzegowych oraz modelu konstytutywnego na przemieszczeniową odpowiedź modelu podłoża górniczego. Wnioski

Ogólnie przyjmuje się, że prawidłowo prowadzona eksploatacja górnicza może wywołać jedynie kontrolowane, ciągłe deformacje powierzchni terenu, a deformacje powierzchni nie powinny wywołać stanów awaryjnych w konstrukcji zabezpieczonej na wpływy górniczne.

Zgodnie z opisem przedstawionym w p. 2, aby wprowadzić odpowiednie zabezpieczenie konstrukcji budowlanej na podłożu górniczym należy wpiąć ocenę prac tej konstrukcji na podłożu odkształcającym się w wyniku eksploatacji. Ocenę wytrzymałości i deformacji budowli można przeprowadzić dwojako:

- posługując się metodami mechaniki budowli w sposób klasyczny (gdzie schemat budowli jest zwykle uproszczony, a podłoże opisane jest w sposób parametryczny),
- korzystając z analiz numerycznych MES, prowadzonych dla stanów (2D) lub (3D).

Należy jednak podkreślić, że wiarygodność wyników analiz zachowania układów budowla – podłoże górniczne jest szczególnie silnie związana:

- z zastosowanym modelem podłoża gruntowego,
- z wprowadzonymi do obliczeń warunkami brzegowymi.

Poprzez analogię zachowań przypowierzchniowych warstw podłoża gruntowego na terenach górniczych obserwowanych w stanie *in situ* (w stosunku do obserwacji i wyników badań laboratoryjnych) można stwierdzić, że w pewnych obszarach podłoża gruntowego podlegającego deformacji może dojść do powstania stanu równowagi granicznej [13, 14]. Potwierdzają to analizy stanów naprężenia i odkształcenia w modelach górotworu i „wyodrębnionych” z niego

modelach podłoża gruntowego (P_g) o odpowiednim opisie konstytutywnym [1]

Ogólnie zjawisko zniszczenia w gruncie jest rezultatem zmobilizowania maksymalnych naprężeń ścinających, jakich grunt może doznać, np. pod wpływem zmiany obciążenia.

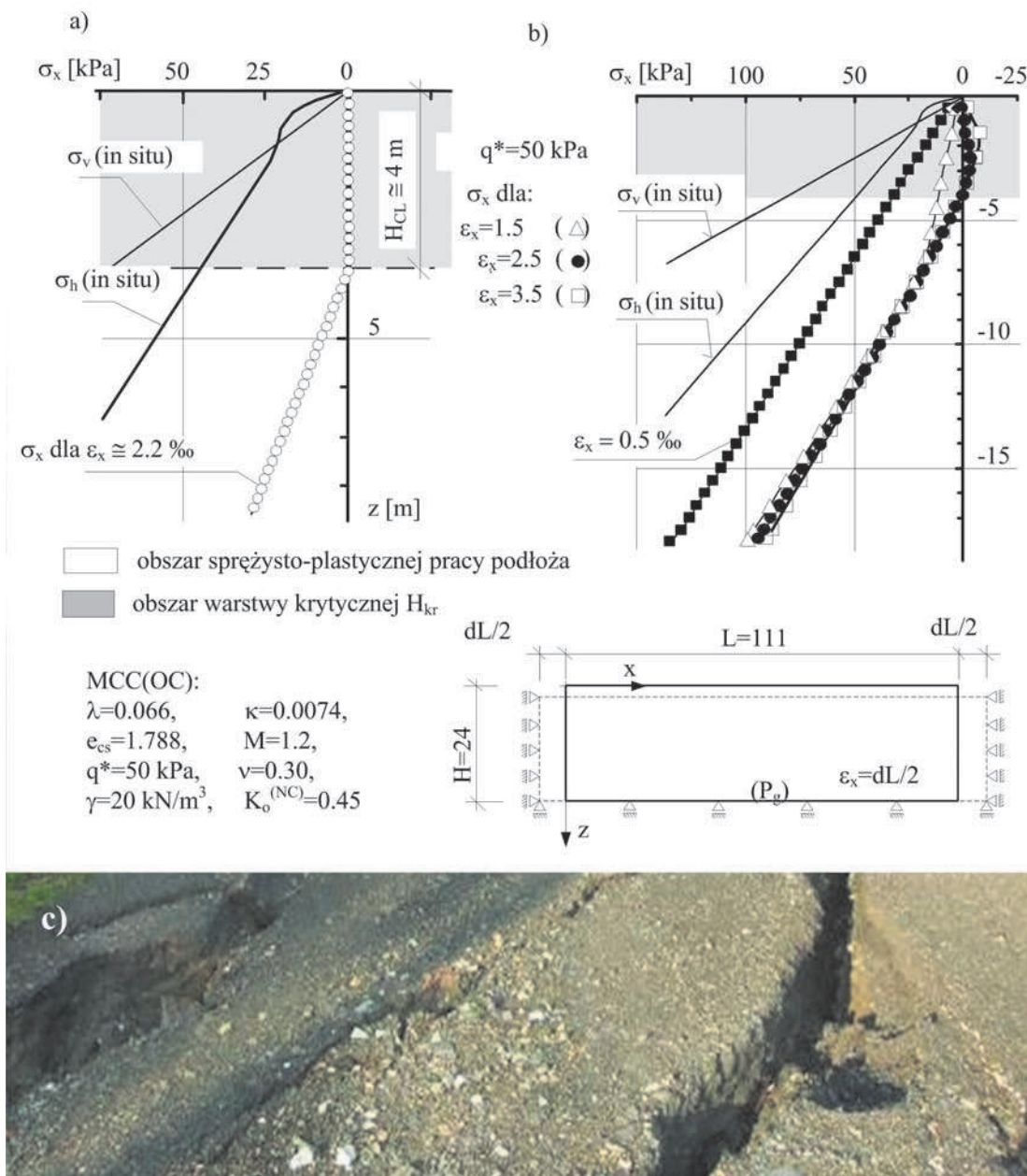
Pełny opis zachowania gruntu powinien łączyć opis stanu naprężenia z wynikającymi stąd zmianami objętości – dając efekt obserwowany na rys. 8, będący obrazem powstawania w określonych warunkach gruntowych odkształceń odpowiadających nieciągłościom w gruncie, niemożliwym do przewidzenia w prognozach, nieuwzględniających stanu gruntu w przypowierzchniowej warstwie górotworu. Do opisu konstytutywnego warstwy zastosowano model stanu krytycznego Modified Cam-Clay uwzględniający stan prekonsolidacji gruntu (o parametrach podanych na rys. 8).

Wymuszając przyrostowo przemieszczenia brzegów modelu zarejestrowano wartości odkształceń powodujących spadek pierwotnych naprężeń poziomych w przypowierzchniowej warstwie podłoża do wartości bliskiej zero ($\sigma_x \approx 0$).

Obserwujemy zatem proces tworzenia się stanu granicznego w podłożu w miarę wzrostu wartości odkształceń, aż do określonej prognozowanej wartości ε_x^{prog} . Przy określonej wartości $\varepsilon_x = \varepsilon_o$, tworzy się „warstwa krytyczna”, przy której każdy punkt warstwy reprezentuje zachowanie gruntu pod powierzchnią stanu w modelach stanu krytycznego. Dla zapewnienia bezpieczeństwa (stateczności) układu konstrukcja liniowa – podłoża górnice dla prognozowanej wartości ε_x^{prog} powinno zachodzić $\varepsilon_x \leq \varepsilon_o^{prog} \leq \varepsilon_o$.

Modele „pełne”, uwzględniające ciągle opisy MES dla obu podukładów, budowli i podłoża, stosowane w analizach badawczych cechuje szereg wprowadzanych założeń upraszczających:

- warunki brzegowe przyjmowane zgodnie z teorią Knotheho-Budryka,
- podłoża górnice modelowane jako jednorodne z zastosowaniem modeli: zwykle sprężystego (e), sprężysto-idealnie sprężystego (e-p), ewentualnie sprężysto-plastycznego z powierzchnią stanu krytycznego, np. modelu Modified Cam-Clay (MCC).



Rys. 8. Tworzenie się stanu równowagi granicznej w modelu MCC podłoża
Fig. 8. Formation of the limit equilibrium state in the Modified Cam-Clay model

Można zauważyć, że model (e) odtwarza najlepiej opis przemieszczeniowy wolnego terenu (wg teorii Knothego-Budryka); [3, 6]

Model (MCC) natomiast, pozwala na:

- odtworzenie zachowania podłoża zgodne z badaniami [1, 3, 16],
- potwierdzenie obserwacji *in situ*, wskazujących, że zmiany na powierzchni terenu obciążonego konstrukcją – gdy deformacje są większe od przewidywanych – związane są ze zmianą stanu gruntu; gdy następuje przejście ze stanu prekonsolidacji (OC) do stanu normalnej konsolidacji (NC), oraz na

- niezmiernie istotne stwierdzenie, że zmiany stanu gruntu, wynikające z deformacji górniczych wywołane są bezpośrednio przemieszczeniami (odkształceniami) poziomymi.

Powyższy przegląd podejść do analiz układów budowla – podłoża górnicze pozwala na wskazanie elementów brakujących do utworzenia bardziej zwartego i kompleksowego opisu zagadnienia, a mianowicie:

1. Wprowadzenia pełniejszego opisu przemieszczeniowych warunków brzegowych w modelu podłoża górniczego.
2. Lepszej, aniżeli dotychczas oceny obszaru współpracy budowli z podłożem górniczym.
3. Opisu konstytutywnego podłoża bazującego na modelach nieujawniających wrażliwości na wysokość numerycznego modelu podłoża [5].

Punkty (1) i (2) powinny mieć związek ze współczesnymi badaniami *in situ*; gdzie za obiecujące można uznać poszukiwania np. z wykorzystaniem inklinometrów do oceny zmian deformacyjnych podłoża.

Literatura

1. *Fedorowicz J., Lubecka M.*: Numeryczna ocena obciążenia pionowej ściany zagłębionej w gruncie na terenie górniczym. „Modelowanie inżynierskie”, 2011, nr 42, s. 123-130.
2. *Fedorowicz J., Słowik L.*: Interpretation of the behavior of a system building object - difficult subsoil in modern numerical modeling. Proceedings of the 11th International Conference on New Trends in Statics and Dynamics of Buildings October 3-4, 2013 Bratislava, Slovakia Faculty of Civil Engineering, STU Bratislava 2013 (full tekst on CD-ROM).
3. *Fedorowicz J.*: Zagadnienia kontaktowe budowla-podłoże gruntowe. Część 2. Kryteria tworzenia i oceny modeli obliczeniowych układów konstrukcja budowlana-podłoże górnicze. „Zeszyty Naukowe Pol. Śląskiej, seria Budownictwo, 2008, z. 114.
4. *Fedorowicz L., Fedorowicz J.*: Zastosowanie modelu krytycznego do oceny zasięgu współpracy budowli z podłożem górniczym. „Górnictwo i Geoinżynieria”, 2010, z. 34/2, s. 247-253.
5. *Fedorowicz L.*: Zagadnienia kontaktowe budowla-podłoże gruntowe. Część I. Kryteria modelowania i analiz podstawowych zagadnień kontaktowych konstrukcja budowlana-podłoże gruntowe. „Zeszyty Naukowe Pol. Śląskiej, seria Budownictwo”, 2006, z. 107.
6. *Florkowska L.*: Zastosowanie numerycznej mechaniki nieliniowej w zagadnieniach ochrony budynków na terenach górniczych. Archiwum Górnictwa, Monografia nr 11, 2011.
7. Instrukcja 364/2000, Wymagania techniczne dla obiektów budowlanych wznoszonych na terenach górniczych. Wydawnictwo ITB, Warszawa 2000.
8. Instrukcje, Wytyczne, Poradniki, 416/2006, Projektowanie budynków na terenach górniczych. Wydawnictwo ITB, Warszawa 2006.
9. *Kawulok M., Chomicki L., Parkasiewicz B., Słowik L.*: Wyburzenie 25 budynków mieszkalnych spowodowane intensywnymi wpływami eksploatacji górniczej. Materiały XXVI Konferencji Naukowo-Technicznej „Awarie Budowlane” 2013, s. 348-354.
10. *Kawulok M.*: Szkody górnicze w budownictwie. Wydawnictwo ITB, Warszawa 2010.
11. *Klabis L., Kowalski A.*: Deformacje powierzchni spowodowane eksploatacją pojedynczej ściany z zawałem stropu. „Przegląd Górniczy”, 2013, nr 8, s. 62-70.
12. *Kowalski A.*: Przykłady porównania prognozowanych z pomierzonymi wskaźnikami deformacji powierzchni. „Przegląd Górniczy”, 2008, nr 7.
13. *Kwiatek J.*: Obiekty budowlane na terenach górniczych. Wydawnictwo GIG, Katowice 2007.
14. *Mika W.*: Wpływ wielkości i historii odkształcenia na stan naprężenia w warstwie gruntu terenu górniczego. III Naukowe seminarium, Budownictwo na terenach górniczych. GIG, Katowice 1994, s. 77-82.
15. *Mrozek D.*: Nieliniowa analiza numeryczna dynamicznej odpowiedzi uszkodzonych budynków. Rozprawa doktorska, Politechnika Śląska, Gliwice 2010.
16. Praca zbiorowa: Ochrona obiektów budowlanych na terenach górniczych. Wydawnictwo GIG, Katowice 1997.
17. Praca zbiorowa: Ochrona powierzchni przed szkodami górniczymi. Wydawnictwa Śląsk, Katowice 1980.
18. *Słowik L.*: The computational analysis of the construction effort of the slanting multi-storey building. Proceedings of the 10th International Conference on New Trends in Statics and Dynamics of Buildings, October 3-5, 2012 Bratislava, Slovakia Faculty of Civil Engineering, STU Bratislava 2012 (full tekst on CD-ROM).
19. *Sternik K., Gromysz K.*: Podcięcie fundamentów jako sposób na stabilizację wychylonego budynku. Materiały XXVI Konferencji Naukowo-Technicznej „Awarie Budowlane” 2013, s. 425-432.