

Sieci uzbrojenia podziemnego na terenach górniczych

■ doc. dr inż. Barbara Kliszczewicz, Katedra Dróg i Mostów, Wydział Budownictwa Politechniki Śląskiej

Podziemna eksploatacja górnicza wpływa negatywnie na warunki funkcjonowania sieci uzbrojenia terenu. W artykule omówiono wpływ poszczególnych wskaźników deformacji na różne rodzaje sieci. Przedstawiono także przegląd obliczeniowych metod rurociągów z uwzględnieniem oddziaływań górniczych oraz omówiono założenia, zakres i wyniki numerycznej analizy układu rura – grunt, wykonanej w programie Z_Soil ver. 7.41. W analizie tej rozpatrzono przypadek usytuowania rurociągu równoległe do frontu eksploatacji górnicznej (płaski stan odkształcenia), wariantując intensywność poziomych odkształceń ϵ o charakterze ściskającym i rozciągającym, działających na rurę sztywną i podatną.

1. Wprowadzenie

W silnie zurbanizowanych terenach aglomeracji śląskiej infrastrukturę komunalną tworzą przede wszystkim rozbudowane systemy zaopatrzenia w wodę, systemy odbioru i oczyszczania ścieków, sieci gazowe i ciepłownicze wraz z obiektami towarzyszącymi. Sprawne funkcjonowanie tych systemów warunkuje odpowiednią jakość życia mieszkańców aglomeracji. Znaczna część sieci uzbrojenia podziemnego jest zlokalizowana na terenach górniczych. Zmiany w górotworze, wywołane robotami górnicznymi prowadzonymi najczęściej systemem na zawał, z czasem przenoszą się na powierzchnię terenu, tworząc rozległe niecki obniżeniowe (deformacje ciągłe) bądź też lokalne zapadliska, leje, progi czy szczeliny (deformacje nieciągłe) [1]. Powodują także zaburzenia stosunków wodnych oraz wstrząsy górniczne, towarzyszące postępującej deformacji powierzchni.

Intensywne wpływy górnicze, często występujące wielokrotnie, oddziałują niszcząco na przewody, armaturę i obiekty towarzyszące. Stan techniczny sieci, zastosowane materiały i zabezpieczenia przed skutkami wpływów podziemnej eksploatacji są bardzo zróżnicowane. O skali zjawiska świadczą podwyższone wskaźniki awaryjności sieci, wyraźnie przewyższające wartości właściwe terenom niegórnicznym. Obserwowane są charakterystyczne uszkodzenia sieci, takie jak pęknięcia rur na spawach i wzdłuż pobocznic, rozszczelnienie kompensatorów, zgniecenie rur i zniszczenie ich izolacji, uszkodzenia armatury, uszkodzenia płóz ślizgowych na podporach ciepłociągów, czy wreszcie – w przypadku przewodów kanalizacyjnych – zmiana niwelety kanałów, załamanie przewodów bądź zapadanie się studzienek [2, 3].

2. Charakterystyka wpływu podziemnej eksploatacji górnicznej na sieci uzbrojenia terenu

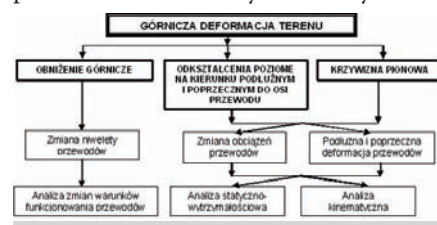
Deformacja powierzchni terenu o charakterze ciągłym, będąca następstwem podziemnej eksploatacji kopalni, opisywana jest za pomocą następujących wskaźników: pionowe przemieszczenia w (obniżenie terenu), poziome przemieszczenia u , nachylenia T , krzywizny K (lub promień krzywizny $R = 1/K$) oraz poziome odkształcenie ϵ [1, 4].

Najczęściej stosowana do obliczeń tych wskaźników teoria Budryka – Knothego posługuje się parametrami zależnymi od warunków górniczo-geologicznych (grubość i głębokość eksploatowanego pokładu, kąt zasięgu wpływów głównych i związany z nim promień zasięgu tych wpływów oraz współczynnik eksploatacyjny, charakteryzujący system eksploatacji).

Trzy ostatnie wskaźniki deformacji (T , R i ϵ) są podstawą kwalifikacji terenów górniczych pod względem ich przydatności do zabudowy. Trzeba jednak podkreślić, że informacja o terenie górniczym, podana w postaci jego kategorii, jest absolutnie niewystarczająca w kontekście obiektów liniowych, do których zalicza się rurociągi. Specyfika tych obiektów, a więc wydłużony kształt pojedynczych odcinków przewodów oraz przestrzenny charakter pracy systemów, wymagają dokumentowania prognozowanej deformacji w postaci izolinii wskaźników (wartości czasowo-ekstremalne lub obwiednie faz eksploatacji) bądź tabelarycznych zestawień ich wartości. Dla obiektów liniowych konieczne jest także wyznaczenie wartości prognozowanych wskaźników deformacji w dwóch charakterystycznych kierunkach: równoległym i prostopadłym do głównej osi rury, z uwzględnieniem planów robót górniczych w czasie porównywalnym z okresem trwałości przewodów.

W analizie współdziałania układu przewodów rurowy – ośrodek gruntowy uważa się za istotne obniżenia terenu w , nachylenia T , krzywizny K (w przy-

padku rurociągów o średnicy większej niż 500 mm) oraz poziome odkształcenia ϵ . Wpływ eksploatacji górnicznej na rurociągi, z uwzględnieniem usytuowania rurociągu względem frontu eksploatacji i głównych kierunków deformacji terenu, przedstawiono schematycznie na rycinie 1.



Ryc. 1. Wpływ eksploatacji górnicznej na rurociągi podziemne [5]

Górniczne obniżenie terenu może zaburzać hydrauliczno-technologiczną pracę systemów wodociągowych, głównie przez zmiany geometrycznych relacji między zbiornikiem wyrównawczym a strefą odbioru wody. Zmiany linii ciśnienia układu, będące skutkiem wystąpienia przestrzennej deformacji, mogą wymusić konieczność zastosowania redukcyjnych systemów ciśnienia w sieci lub przeciwnie – konieczność lokalnego podwyższenia ciśnienia za pomocą systemów hydroforowych [6]. Zmiana konfiguracji terenu może także wywołać zmianę wysokościowego położenia najwyższych i najniższych punktów sieci wodociągowej, a tym samym spowodować konieczność skorygowania lokalizacji punktów odwodnienia i odpowietrzenia.

Szczególnie wrażliwe na deformację terenu – obniżenia i towarzyszące im nachylenia – są grawitacyjne sieci kanalizacyjne, w tym zlokalizowane w pasie drogi sieci kanalizacji deszczowej. W zależności od intensywności deformacji, obniżenie terenu może wywołać zwiększenie lub zmniejszenie pierwotnego spadku kanału, wystąpienie przeciwsпадków bądź okresowe działanie kanału pod ciśnieniem. Utrata możliwości grawitacyjnego odprowadzenia ścieków wiąże się nieraz

z koniecznością zastosowania przepompowni ścieków.

Odształcenia poziome, będące efektem uaktywnienia się ośrodka gruntu w czasie ujawniania się deformacji terenu, oddziałują na przewody rurowe w kierunkach równoległym i prostopadłym do podłużnej osi rury. Wiąże się to z równoległym lub prostopadłym przebiegiem przewodu rurowego względem frontu eksploatacji. W pierwszym przypadku mamy do czynienia ze zmianami parcia gruntu na ścianę rurociągu (owalizacja poprzecznego przekroju rury), w drugim – ze zmianami długościowymi rurociągu (wydłużanie lub skracanie przewodu). Szczegółowy opis zjawiska występowania fali poziomych odształceń terenu wzdłuż i poprzecznie do przewodu rurowego podano w [7]. W przypadku odształceń poziomych zasadnicze znaczenie ma długość rurociągu i sposób łączenia rur oraz cechy materiałowe (sztywność lub odkształcalność przewodu).

Górnicza krzywizna terenu, powodująca dodatkowe uogólnione siły wewnętrzne w ściance przewodu, ma znaczenie jedynie wobec rurociągu o średnicy większej niż 500 mm oraz przy małych wartościach promienia krzywizny terenu.

3. Statyczno-wytrzymałościowa analiza rurociągu na terenach górniczych

3.1. Założenia

Liniowe i zwarte obiekty infrastruktury na terenach górniczych projektowane są zgodnie z wymaganiami Prawa budowlanego oraz obowiązujących rozporządzeń, polskich norm i przepisów szczegółowych. W projektowaniu tych obiektów stosowana jest metoda stanów granicznych (SG), z którą wiążą się pojęcia częściowych współczynników bezpieczeństwa i kombinacji oddziaływań. Oddziaływania spowodowane wpływem ciągłych deformacji podłoża kwalifikuje się do obciążeń zmiennych w części długotrwałych. Prognozowane parametry deformacji (ϵ , T , R) traktuje się jako charakterystyczne wartości oddziaływań górniczych (ϵ_k , T_k , R_k lub K_k), zaś ich obliczeniowe wartości (ϵ_d , T_d , R_d lub K_d) uzyskuje się przez pomnożenie wartości charakterystycznych przez częściowe współczynniki bezpieczeństwa γ_p przyporządkowane poszczególnym wskaźnikom deformacji [8].

Sprawdzeniu podlegają stany graniczne [4]:

– nośności (SGN), po przekroczeniu których konstrukcja przestaje spełniać

wymagania bezpieczeństwa. Sprawdzenie tego stanu sprowadza się do porównania maksymalnych naprężeń w ściance rurociągu, obliczonych z uwzględnieniem oddziaływań górniczych, z obliczeniową wytrzymałością f_d , uwzględniającą cechy materiału rur. Sprawdzenie jest wymagane w zakresie nowo projektowanych przewodów oraz niektórych istniejących przewodów, takich jak magistralne i rozprowadzające wodociągi, główne kolektory kanalizacyjne, średnio- i wysokoprężne gazociągi oraz magistralne ciepłociągi;

– użyteczności (SGU), po przekroczeniu których konstrukcja przestaje odpowiadać założonym wymaganiom użytkowemu, głównie dotyczącym zachowania ciągłości i szczelności połączeń sieci z zabudowanymi kompensatorami lub składających się z odcinków łączonych w sposób umożliwiający ich wzajemne przemieszczanie się i obroty oraz zapewnienia prawidłowych warunków przepływu w sieciach grawitacyjnych.

3.2. Modele obliczeniowe

W zestawieniach obciążeń rurociągu ułożonego w gruncie uwzględnia się trzy następujące ich grupy [10, 11]:

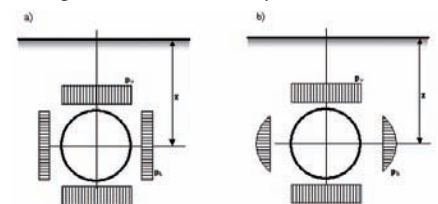
- obciążenia programowe – związane z funkcją rurociągu i jego ułożeniem w gruncie (ciśnienie wewnętrzne prowadzonego medium, ciężar gruntu i ewentualnie nawierzchni nad rurą, użytkowe, stałe lub zmienne obciążenie naziomu);
- obciążenia wtórne – wynikające z odształceń i przemieszczeń sieci w gruncie;
- obciążenia wynikające ze współpracy przewodu z górnico deformowanym podłożem gruntowym (w kierunkach prostopadłym i równoległym do osi przewodu).

Z uwagi na brak normy określającej sposób wyznaczania obciążeń przewodów gruntem, ich wartości wyznacza się według zasad mechaniki gruntów i mechaniki budowli [12, 13].

Obliczeniowy model układu rura – grunt najczęściej analizowany jest w płaskim stanie odształcenia. Odzworowuje poprzeczny przekrój rury, z obciążeniami rozłożonymi na kierunku pionowym i poziomym, o stałej lub zmiennej intensywności. Analizując ułożenie rurociągu na terenach podlegających wpływom górniczym, rozpatruje się model płaski – z obciążeniami programowymi i oddziaływaniami górniczymi – oraz model prętowy – reprezentujący prostoliniowy odcinek przewodu, poddany wpływowi poziomych odształceń ϵ działających wzdłuż osi przewodu.

3.3. Obliczenia rur sztywnych i podatnych

W modelu układu rura – grunt bez wpływów górniczych (ryc. 2a i 2b) równomiernie rozłożone obciążenia na kierunku pionowym p_v związane są z ciężarem gruntu oraz obciążeniem naziomu. Rozkład obciążeń na kierunku poziomym związany jest natomiast z odkształcalnością kołowego pierścienia rurowego [13]. W odniesieniu do rurociągu mało odkształcalnych intensywność obciążenia poziomego p_h jest stała, zaś jego wartość związana jest z wartością obciążenia pionowego p_v i rodzajem gruntu otaczającego rurę. Pozioma owalizacja poprzecznego przekroju odkształcalnej rury, następująca pod działaniem pionowych obciążeń, skutkuje zwiększonym bocznym odporem gruntu o nieliniowym rozkładzie.



Ryc. 2. Modele obliczeniowe układu rura – grunt (bez obciążeń górniczych): a) rurociągi mało odkształcalne, b) rurociągi odkształcalne [10]

Wartości obciążeń wyznacza się z relacji:

$$p_v = \gamma_{sr} \cdot z + p_n, \quad (1)$$

$$p_h = p_v \cdot k_0, \quad \text{rurociągi mało odkształcalne} \quad (2)$$

$$p_h = p_v \cdot \alpha, \quad \text{rurociągi odkształcalne} \quad (3)$$

gdzie:

k_0 – współczynnik spoczynkowego parcia gruntu

α – współczynnik oporu, obliczany według wzoru:

$$\alpha = \frac{0,103}{s_f + 0,066} \quad (4)$$

Wobec rurociągu usytuowanego równoległe do frontu eksploatacji modele obliczeniowe układu rura – grunt uwzględniają poprzeczną odkształcalność rurociągu (ryc. 3) [4] i odnoszą się do przypadków rozluźnienia gruntu (wpływ poziomych odształceń o charakterze rozciągającym) oraz zagęszczania gruntu (wpływ poziomych odształceń o charakterze ściskającym).

Zmianę poziomych obciążeń określają wzory:

– rurociągi mało odkształcalne

$$p_h^+ = 160 \cdot \epsilon \cdot p_v, \quad (5)$$

$$p_h^- = 0,2 \cdot p_v \quad (6)$$

– rurociągi o kształcalce

$$p_h^+ = 120 \cdot \epsilon \cdot p_v \quad (7)$$

$$p_h^- = 20 \cdot \epsilon \cdot p_v \quad (8)$$

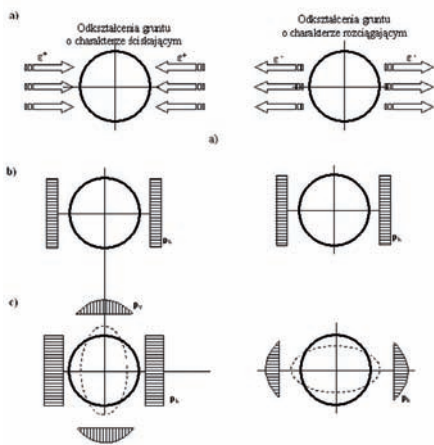
gdzie:

p_h^+ – przyrost poziomych obciążeń p_h ,
wywołany zagęszczeniem gruntu

p_h^- – zmniejszenie poziomych obciążeń
 p_h , wywołane rozluźnieniem
gruntu

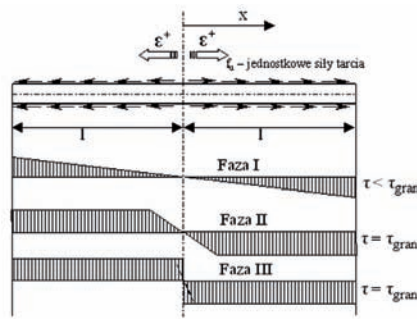
p_v – pionowe obciążenie rury

ϵ – poziome odkształcenie gruntu.



Ryc. 3. Modele obliczeniowe układu rura – grunt (z oddziaływaniami górnicyz): a) schemat oddziaływań górnicyz (poziome odkształcenia gruntu), b) rurociągi mało odkształcalne, c) rurociągi odkształcalne [4]

Usytuowanie rurociągu prostopadle do frontu eksploatacji skutkuje uaktywnieniem się sił tarcia między przesuwającymi się cząsteczkami gruntu a poboczną rurą. W efekcie powstają kontaktowe naprężenia styczne, równomiernie rozłożone na pobocznicę rury, których wypadkowa siła osiowa stanowi dodatkowe obciążenie przewodu na kierunku podłużnym, sumujące się z osiową siłą wynikającą z ciśnieniowej pracy rurociągu. Zagadnienie to analizowane było m.in. w pracach [7, 10 i 14]. W analizie wpływu poziomych odkształceń gruntu na obiekt liniowy za najważniejsze należy uznać właściwe oszacowanie wartości i rozkładu stycznych naprężeń podłoża gruntowego (τ). Naprężenia te zależą z jednej strony od intensywności deformacji górnicyz, z drugiej zaś od długości rozpatrywanego odcinka rurowego, głębokości ułożenia przewodu, rodzaju gruntu oraz wzdłużnej odkształcalności przewodu. W odniesieniu do ciągłego, mało odkształcalnego rurociągu można stosować model obliczeniowy (ryc. 4), dotyczący wpływu rozluźnienia gruntu.



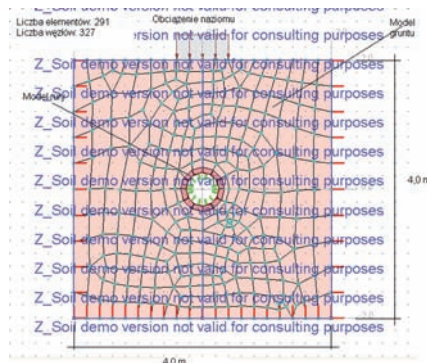
Ryc. 4. Prętowy model obliczeniowy układu rura – grunt (rozluźnienie gruntu wzdłuż podłużnej osi przewodu) [11]

Model współdziałania sieci z gruntem, uwzględniający różnorodność sieci oraz różne kierunki wystąpienia deformacji górnicyz, przedstawił Rudolf Mokrosz [11]. Model ten funkcjonuje jako implementacja komputerowa (program RC autorstwa Tadeusza Paszkiewicza).

4. Numeryczna analiza układu rura – grunt

4.1. Parametry modelu

Numeryczną analizę współpracy rury z gruntem przeprowadzono w programie Z_Soil ver 7.41 (Lic. SIL 0702). W modelu układu rura – grunt (ryc. 5) analizowano rurę o średnicy $\varnothing 600$ (warianty materiałowe: rura sztywna – żelbetowa, rura podatna – PVC), zagłębioną w gruncie ($h_z = 1,7$ m) i dodatkowo obciążoną naziemem ($q_n = 20,0$ kN/m). Bryłę gruntu (P_s) modelowano jako sprężysto idealnie-plastyczną (model Coulomba – Mohra), zaś pierścień rurowy – w zakresie sprężystym (program nie umożliwia wprowadzenia innego modelu konstytutywnego dla elementów typu Beam).



Ryc. 5. Model układu rura – grunt

4.2. Warianty analizy

W analizie wprowadzono trzy następujące warianty obliczeniowe, uwzględniające standardowe warunki pracy oraz alternatywnie oddziaływania górnicyz o intensywności $\epsilon = 1,5$ mm/m:

– wariant 1 – obciążenie warstwą

gruntu, obciążenie naziemem (narastająco w 5 krokach);

– wariant 2 – obciążenie warstwą gruntu, obciążenie naziemem (narastająco w 5 krokach) oraz poziome odkształcenia górnicyz o charakterze ściskającym (narastająco w 10 krokach);

– wariant 3 – obciążenie warstwą gruntu, obciążenie naziemem (narastająco w 5 krokach) oraz poziome odkształcenia górnicyz o charakterze rozciągającym (narastająco w 10 krokach).

Poziome odkształcenia ϵ reprezentowane są przez poziome przesunięcia o wartości $\Delta u = \pm 0,003$ m, przyłożone w węzłach pionowych krawędzi modelu.

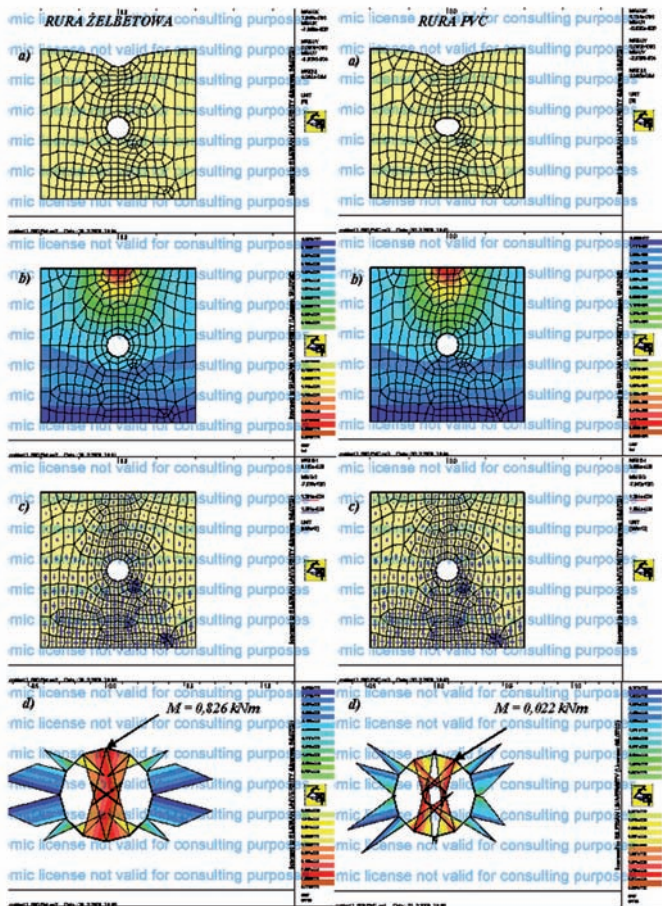
4.3. Wyniki

Wybrane wyniki analizy w wariantach obliczeniowych 1 i 2, dla rur żelbetowej i PVC przedstawiono w formie graficznej (ryc. 6 i 7). Rysunki obrazują deformację modelu – w tym rury – w standardowych warunkach pracy oraz przy uaktywnieniu się ośrodka gruntowego w fazie spełzania (poziome odkształcenia o charakterze ściskającym). Przytoczono także wykresy momentów zginających w pierścieniu rurowym, uzyskane w analizowanych wariantach obliczeniowych. Wyniki analizy dla 3 wariantu obliczeniowego uzyskano jedynie dla szóstego kroku analizy, nie są zatem traktowane jako miarodajne, a co za tym idzie – obecnie prezentowane.

5. Podsumowanie

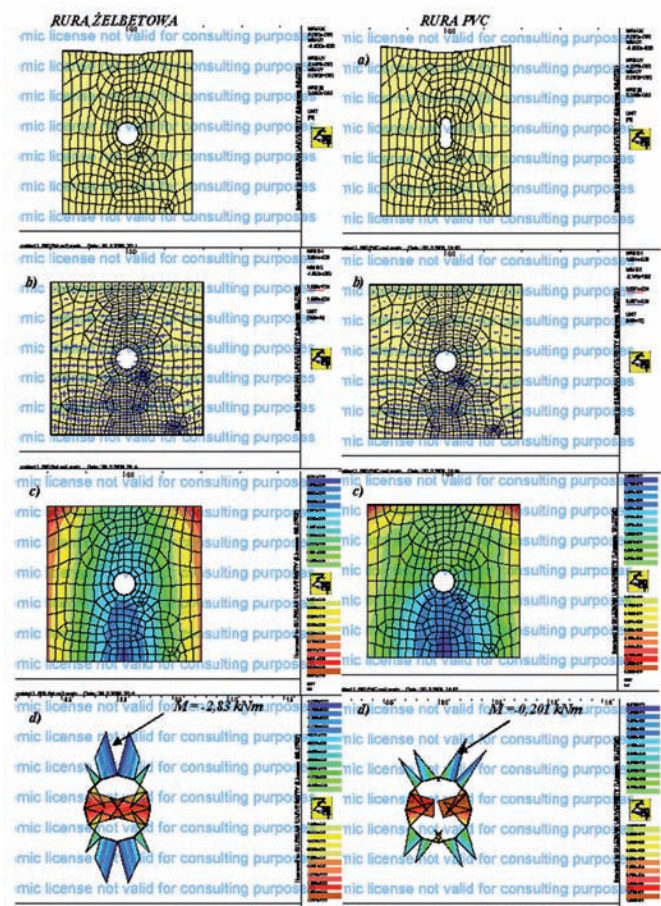
Z uwagi na stosunkowo niewielką liczbę wykonanych wariantów obliczeń prezentowana analiza ma charakter jakościowy. Otrzymane obrazy deformacji dokumentują zróżnicowany charakter współpracy sztywnej i podatnej rury z gruntem, zwłaszcza w wypadku ujawnienia się poziomych odkształceń górnicyz. Pokazują także wyraźną wrażliwość podatnej rury na rozkład obciążeń działających na nią w gruncie. Można więc uznać, że są to wyniki pokazujące pracę układu rura – grunt w skali makro. W dalszych analizach numerycznych należy przeprowadzić kalibrację modelu układu rura – grunt przez zbadanie wpływu parametrów analizy (m.in. wpływ wielkości bryły podłoża, wpływ gęstości podziału siatki, wpływ wprowadzonego konstytutywnego modelu gruntu, wpływ intensywności oddziaływań górnicyz) na uzyskiwane wyniki. Model należy także rozbudować, wprowadzając zróżnicowane warunki gruntowe (grunt rodzimy, obsypka) oraz symulując proces układania rury

WARLANT 1 – krok 5



Ryc. 6. Wyniki numerycznej analizy – wariant 1, rury żelbetowa i PVC: a) zdeformowana siatka modelu, b) rozkład naprężeń głównych, c) mapa przemieszczeń, d) wykres momentów zginających w pierścieniu rurowym

WARLANT 2 – krok 15



Ryc. 7. Wyniki numerycznej analizy – wariant 2, rury żelbetowa i PVC: a) zdeformowana siatka modelu, b) rozkład naprężeń głównych, c) mapa przemieszczeń, d) wykres momentów zginających w pierścieniu rurowym

w gruncie (wykonanie wykopu i jego zabezpieczenie, ułożenie rury, wykonanie i zagęszczenie obsypki, usunięcie deskowania).

Należy jednak już teraz podkreślić fakt, iż numeryczna analiza modelu rura – grunt pozwala na uwzględnianie i wariantowanie wytrzymałościowych parametrów materiału rury i gruntu oraz modelowanie relacji ich wzajemnych sztywności. Bardziej realistycznie oddaje warunki pracy rury w ośrodku gruntowym. Umożliwia także śledzenie zjawisk zachodzących w pierścieniu rurowym oraz otaczającym go gruncie w ujęciu czasowym (kolejne kroki analizy). Takich możliwości nie dają klasyczne wzory, cytowane w punkcie 3.3.

Literatura

1. Kwiatek J.: *Obiekty budowlane na terenach górniczych*. GIG. Katowice 2007.
2. Fukas-Płonka Ł.: *Analiza awaryjności sieci kanalizacyjnej*. „Ochrona środowiska” 1988, nr 3–4 (36–37).
3. Kliszczewicz B., Mendec J., Wystrychowska M.: „Katalog uszkodzeń ru-

rociągów na terenach górniczych”. Politechnika Śląska, Katedra Komunikacji Lądowej. Gliwice 1998.

4. *Ochrona obiektów budowlanych na terenach górniczych*. Praca zbiorowa. Red. J. Kwiatek. GIG. Katowice 1998.
5. Kliszczewicz B., Mendec J., Wystrychowska M.: *Zasady ochrony sieci wodociągowej i kanalizacyjnej przed wpływami podziemnej eksploatacji górniczej*. Materiały konferencyjne: Ochrona powierzchni i obiektów budowlanych przed szkodami górniczymi. GIG. Katowice 1997.
6. *Podstawy projektowania układów i obiektów wodociągowych*. Praca zbiorowa. Red. K. Kuś. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej. Gliwice 1995.
7. Kowalczyk A.: *Sieci wodociągowe i kanalizacyjne na terenach górniczych*. Materiały konferencyjne: Ochrona powierzchni i obiektów budowlanych przed szkodami górniczymi. GIG. Katowice 1999.
8. *Instrukcja 416/2006: Projektowanie budynków na terenach górniczych*. Wyd. ITB. Warszawa 2006.

9. Mokrosz R., Zawora J.: *Wpływ deformacji podłoża górniczego na zagłębione w nim rurociągi*. Materiały konferencyjne: Ochrona powierzchni i obiektów budowlanych przed szkodami górniczymi. GIG. Katowice 1997.
10. Mokrosz R.: *Sieci uzbrojenia podziemnego na terenach górniczych*. Materiały konferencyjne: Ochrona powierzchni i obiektów budowlanych przed szkodami górniczymi. GIG. Katowice 2002.
11. Kuliczkowski A.: *Rury kanalizacyjne. Własności materiałowe*. Monografie, studia, rozprawy nr 28. Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej. Kielce 2001.
12. Madryas C., Kolonko A., Wysocki L.: *Konstrukcje przewodów kanalizacyjnych*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej. Wrocław 2002.
13. Nowakowski A.: *Calculation of dilatation in sleeve Joints of pipelines located on areas being subjected to influence of mining deformation. New trends in statics and dynamics of buildings*. Bartislava 2003.