

Tomasz BLEJARSKI\*  
Politechnika Śląska, Gliwice

## ANALIZA NUMERYCZNA OBUDOWY KRÓTKIEGO PRZEPUSTU WYKONANEGO METODĄ PIPE - ROOFING

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono analizę numeryczną rurowej obudowy przepustu wykonanego metodą pipe - roofing.

### FEM ANALYSIS OF SHORT UNDERPASS HOUSING

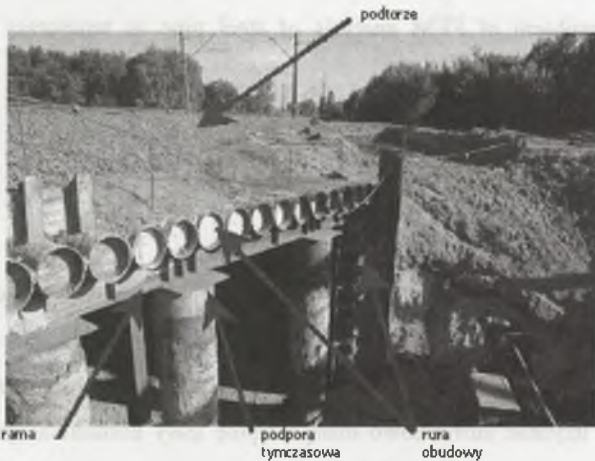
**Summary.** A problem of FEM analysis of steel pipe as temporary housing of road passage is presented.

#### 1. Wstęp

Płytkie tunele wykonywane w nasypach komunikacyjnych stają się powoli coraz częściej spotykanymi obiektami inżynieryjnymi w zurbanizowanym krajobrazie miast. Tunele te zastępują znane wszystkim inżynierom wiadukty i estakady. Pozwalają one przy niewielkich swoich gabarytach uzyskać stosunkowo dużą skrajnię trasy komunikacyjnej. Odległość od stropu tunelu do korony drogi kołowej lub szynowej może wynosić w skrajnych przypadkach tylko kilkadziesiąt centymetrów, najczęściej jednak odległość ta wynosi od 1,5 do 2 metrów. Płytkie tunele wykonywane są o długościach od kilkunastu do kilkudziesięciu metrów w zależności od szerokości trasy komunikacyjnej, jaką musimy pokonać. Takie rozwiązanie skrzyżowań tras komunikacyjnych pozwala zaoszczędzić miejsce oraz zminimalizować czas potrzebny na wykonanie obiektu. Szczególnie ważnym zagadnieniem jest utrzymanie nieprzerwanego ruchu nad wykonywanym tunelem. Wynika to z konieczności minimalizacji odkształceń podbudowy szlaku komunikacyjnego.

\* Opiekun naukowy: Prof. zw. dr hab. inż. Maciej Gryczmański

Tradycyjnymi metodami wykonywania tuneli są: metoda wykonania obiektu w wykopie szerokoprzestrzennym, metoda wykonywania tunelu segmentami z każdorazowym przełożeniem trasy ruchu nad obiektem oraz metoda przecisku hydraulicznego [1]. Wymienione metody, oprócz ostatniej, związane są z przynajmniej czasowymi ograniczeniami ruchu na istniejącej trasie komunikacyjnej, co niejednokrotnie dyskwalifikuje ich stosowanie. Ostatnia metoda najmniej ingeruje w pas drogowy, wymaga jednak stosowania wysoko wyspecjalizowanych urządzeń hydraulicznych oraz wybudowania kosztownego, bardzo masywnego bloku oporowego. Potrzeba bowiem bardzo dużych sił poziomych, niezbędnych do przeciskania wielkowymiarowych prefabrykatów żelbetowych. W sytuacji gdy ponad stropem wykonywanego tunelu pozostaje jedynie niewielka warstwa gruntu, istnieje niebezpieczeństwo deformacji naziomu. W takich sytuacjach niezastąpiona wydaje się metoda Pipe Roofing przedstawiona poniżej.



Fot. 1. Krótki tunel wykonywany metodą Pipe-Roofing we Włocławku  
 Pic. 1. The underpass executed by means of Pipe Roofing method in Włocławek

Metoda ta polega na przeciskaniu lub przebijaniu specjalnie przystosowaną palownicą rur obudowy przepustu. Rury montowane są poziomo, kolejno, zaczynając od rur stropu. Następnie montuje się obudowę ścian i jeśli to konieczne (w wypadku występowania słabego podłoża poniżej poziomu przepustu), obudowę spagu [3] [4]. Na przepusty o przekroju prostokątnym stosuje się rury jednej średnicy, natomiast na przepusty o przekroju eliptycznym można stosować rury o różnych średnicach. Rury najczęściej mają średnice od 400 do 1200 mm i ściankę o grubości pomiędzy 12 a 32 mm. Każda rura wyposażona jest w specjalny zamek spinający i prowadzący sąsiednią rurę podczas wprowadzania w grunt.

Kolejnym krokiem wykonania obudowy rurowej jest opróżnienie rur z gruntu i wypełnienie ich wnętrza mieszanką betonową. Następnie końce rur wystające poza skarpy nasypu rozpiera się ramami stalowymi złożonymi z rygli dolnego i górnego oraz słupów. Dodatkowo ramy wzmacnia się w narożach.



Fot. 2. Tunel w trakcie budowy. Etap rozpoczęcia wybierania gruntu z wnętrza obudowy  
Pic. 2. The underpass during construction

Po osadzeniu ram po obydwóch stronach przepustu następuje stopniowe wybieranie gruntu z wnętrza obudowy z jednoczesnym instalowaniem kolejnych ram.

Ostatnim etapem wykonania tunelu jest betonowanie przestrzeni pomiędzy ramami stalowymi. Betonowanie to odbywa się metodą kombinowaną. Ściany betonuje się tradycyjnie, natomiast strop betonuje się w technologii narzutowej.



Fot. 3. Krótki tunel po zakończeniu prac budowlanych

Pic. 3. Short underpass after finishing of civil work

## 2. Zakres prowadzonych analiz numerycznych

Obecnie prowadzone są badania numeryczne mające na celu ustalenie faktycznego rozkładu naprężeń w ośrodku gruntowym otaczającym rurę przeciskową, zaburzeń rozkładu naprężeń wywołanych wprowadzeniem rury do ośrodka gruntowego oraz ocenę sił wewnętrznych występujących w rurze.

Budowany model numeryczny ma za zadanie możliwie wiernie odwzorować wpływ technologii na zmianę rozkładu obciążeń na obudowę przepustu. Analiza prowadzona jest w płaskim stanie odkształcenia dla przekroju charakterystycznego, poza obrębem wpływu zaburzeń brzegowych. Autor zdaje sobie sprawę, iż w rozpatrywanym krótkim przepuszcie drogowym płaski stan odkształcenia występuje prawdopodobnie jedynie na niewielkiej szerokości, a wpływ zaburzeń brzegowych obserwuje się na dużych obszarach przy obydwóch końcach przepustu.

Obecnie autor posiada jedynie wersję programu, umożliwiającą analizę dwuwymiarową, co wymusiło jej ograniczenie do charakterystycznego przekroju środkowego (poza strefą zaburzeń brzegowych).

Analizie poddaje się model numeryczny zbudowany w programie Z\_Soil wersja 6.27. Model składa się z elementów czterowęzłowych oraz trójwęzłowych. Zamodelowano ośrodek gruntowy o wymiarach 4 x 4 metry, centrycznie umieszczono rurę stalową o średnicy 0,5 m i

grubości ścianki 25 mm. Przyłożono obciążenie powierzchniowe na grunt poprzez zamodelowaną warstwę betonu o grubości 50 cm.

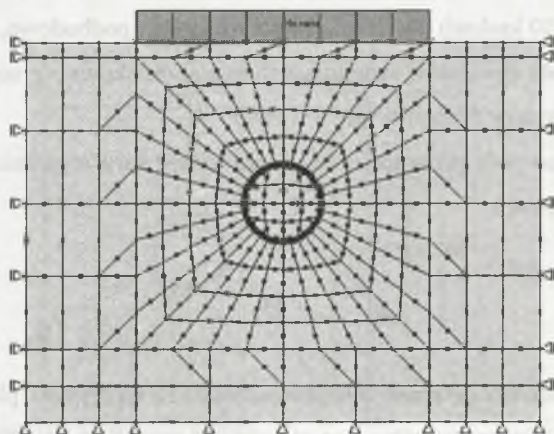
Analizę prowadzi się dla następujących modeli materiałowych [2]:

- podłoże gruntowe – model MCC (Modified Cam Clay),
- rura stalowa – model liniowo – sprężysty,
- podbudowa betonowa – model liniowo – sprężysty

o poniższych parametrach:

- podłoże gruntowe -  $\lambda=0,1$   $\kappa=0,05$ ,  $\gamma=18\text{kN/m}^3$ ,
- rura stalowa –  $E=205$  GPa,  $\nu=0,3$ ,
- podbudowa betonowa -  $E=30$  GPa,  $\nu=0,2$ .

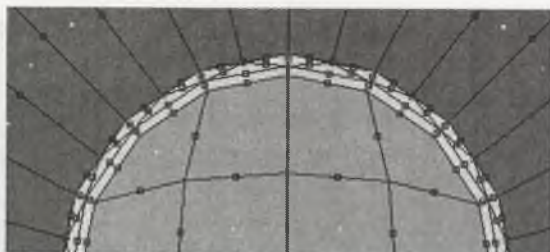
Model numeryczny wraz z podziałem na siatkę MES przedstawia rys. 1.



Rys. 1. Model numeryczny w stanie wyjściowym

Fig. 1. FEM model in initial state

Podbudowę zamodelowano jedną warstwą elementów skończonych o znacznych wymiarach. Rurę stalową zamodelowano w postaci szesnastoboku foremnego, złożonego z dwóch warstw wąskich elementów. Wewnętrzna warstwa zbudowana jest z elementów czworobocznych czterowęzłowych, a zewnątrz z trójkątnych elementów trójwęzłowych.



Rys. 2. Model numeryczny po zmianie materiału i przed opróżnieniem wydobyciem urobku  
 Fig. 2. FEM model after material change and before excavation

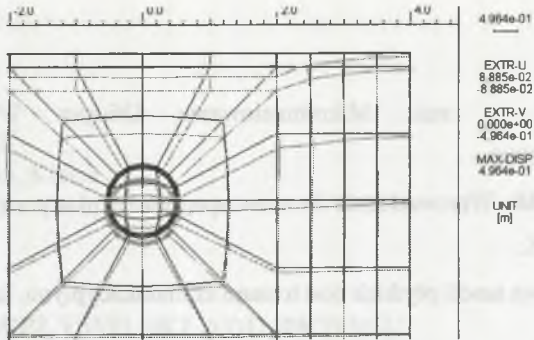
Badanie numeryczne przebiega w następujących krokach pseudoczasowych:

- 1) przeliczenie stanu początkowego,
- 2) zmiana materiału elementów symulujących układ podbudowy – grunt na beton,
- 3) przyłożenie w 10 krokach obciążenia zewnętrznego na podbudowę,
- 4) zmiana materiału elementów symulujących rurę przeciskową – grunt na stal,
- 5) usunięcie elementów z wnętrza rury – wykop.

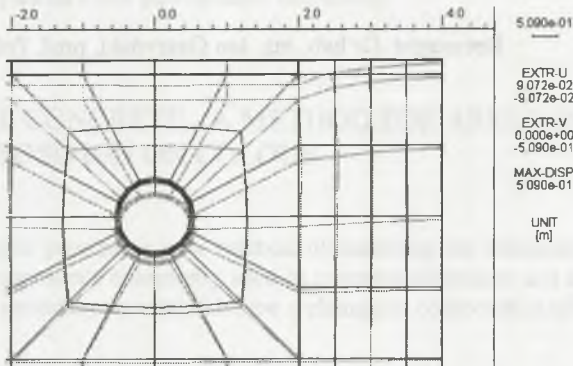
Na rys. 3 pokazano pole przemieszczeń gruntu wokół rury wypełnionej gruntem, a na rys. 4 po wydobyciu urobku.

### 3. Wnioski

Wszystkie obliczenia powinny być prowadzone dla sprężysto - plastycznych modeli ośrodka gruntowego. Niedopuszczalne jest stosowanie modeli sprężystych ze względu na brak możliwości uchwycenia w nich wpływu kolejności prowadzonych prac na zmianę rozkładu naprężeń, w tym na zmianę rozkładu parcia na poszczególne elementy konstrukcji przepustu. Istnieją podejrzenia, iż obciążenie grupy rur, szczególnie w partii stropowej przepustu, znacznie odbiega od rozkładu parcia na pojedynczy element stropowy. Ten aspekt zachowania się będzie badany w następnej kolejności.



Rys. 3. Deformacja siatki krok przed wydobyciem urobku  
 Fig. 3. FEM mesh deformation one step before excavation



Rys. 4. Deformacja siatki po wydobyciu urobku  
 Fig. 4. FEM mesh deformation one step after excavation

Wnioski wynikające z przeprowadzonej analizy jednego elementu rurowego:

1. wprowadzenie rury powoduje znaczną koncentrację naprężeń w jej materiale oraz w bliskim sąsiedztwie,
2. po wykonaniu rury pojawiają się dodatkowe pionowe przemieszczenia zależne od sztywności gruntu,
3. wpływ wybrania urobku z wnętrza rury na przemieszczenie naziemu jest znikomy.

## LITERATURA

1. Madryas C. i inni: Mikrotunelowanie Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej 2002.
2. Gryczmański M.: Wprowadzenie do opisu sprężysto – plastycznych modeli gruntów. IKE, Warszawa 1995.
3. Ryż K.: Budowa tuneli płytkich pod trasami komunikacyjnymi. Inżynieria Bezwykopowa – sierpień 2003.
4. Madryas C.: Niekonwencjonalne wykorzystanie mikrotunelowania. Geoinżynieria i Tunelowanie, 02/2004.

Recenzent: Dr hab. inż. Jan Gaszyński, prof. Politechniki Krakowskiej