

Tomasz BLEJARSKI

Katedra Geotechniki
Politechnika Śląska

ANALIZA NUMERYCZNA WSPÓŁPRACY OBUDOWY KRÓTKIEGO PRZEPUSTU WYKONANEGO METODĄ PIPE – ROOFING Z GRUNTEM

Streszczenie. W artykule przedstawiono analizę numeryczną współpracy rurowej obudowy przepustu wykonanego metodą pipe – roofing z otaczającym podłożem gruntowym. Celem analizy jest zbadanie wpływu odwzorowania procesu technologicznego na zmiany rozkładu pola naprężeń i przemieszczeń ośrodka gruntowego w trakcie procesu wykonywania konstrukcji.

FEM ANALYSIS OF SHORT UNDERPASS HOUSING

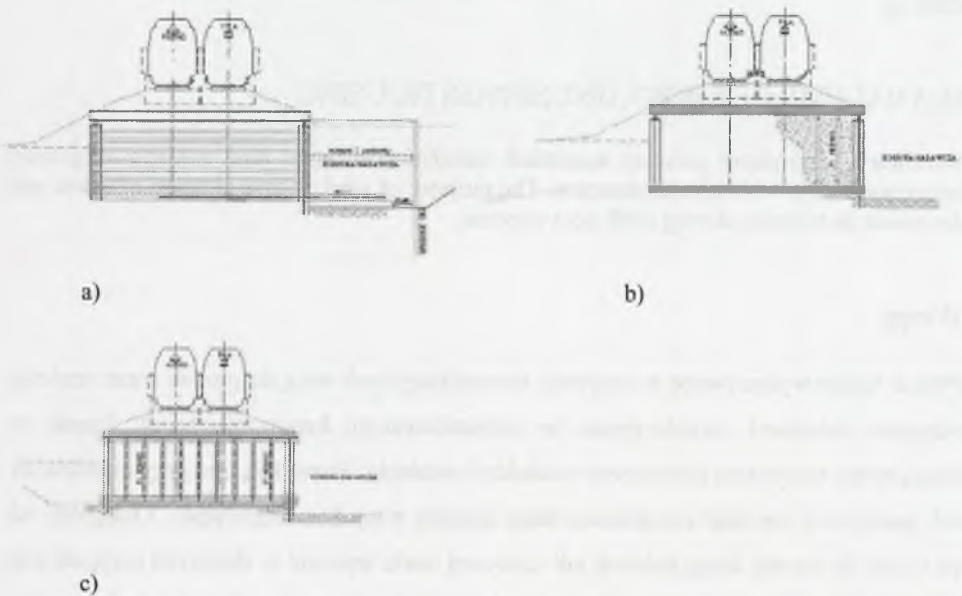
Summary. The paper presents numerical simulation of steel pipe passage temporary housing cooperation with subsoil structure. The purpose of work is investigation of stress and displacement distribution during civil work process.

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.

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]. Wszystkie 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.



Rys. 1. Etapy wykonywania przepustu metodą Pipe-Roofing: a) przeciskanie rur obudowy,

b) wybieranie urobku i montaż ram stalowych, c) wykonywanie elementów żelbetowych

Fig. 1. Stages of works during underpass executing by means of Pipe Roofing method: a) driving of pipes, b) excavation and steel frames montage, c) reinforcement concrete elements execution

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 spągu [3] [4]. Na przepusty o przekroju prostokątnym stosuje się rury jednej średnicy, natomiast na przepusty o przekroju eliptycznym można stosować rury o różnych średnicach [5]. 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, a następnie wypełnienie ich wnętrza mieszanką betonową. Następnie końce rur wystające poza skarpy nasypu rozpięra się ramami stalowymi złożonymi z rygli dolnego i górnego oraz słupów. Dodatkowo ramy wzmacnia się w narożach.

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.

2. Zakres prowadzonych analiz numerycznych

Obecnie prowadzone są badania numeryczne, mające na celu ustalenie faktycznego rozkładu naprężeń w ośrodku gruntowym otaczającym przepust, zmian rozkładu naprężeń wywołanych kolejnością prowadzonych prac oraz ocenę sił wewnętrznych występujących w elementach konstrukcji przepustu.

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.

Analizie poddaje się model numeryczny zbudowany w programie Z_Soil v. 6.27. Model składa się z około 4000 izoparametrycznych elementów czterowęzłowych.

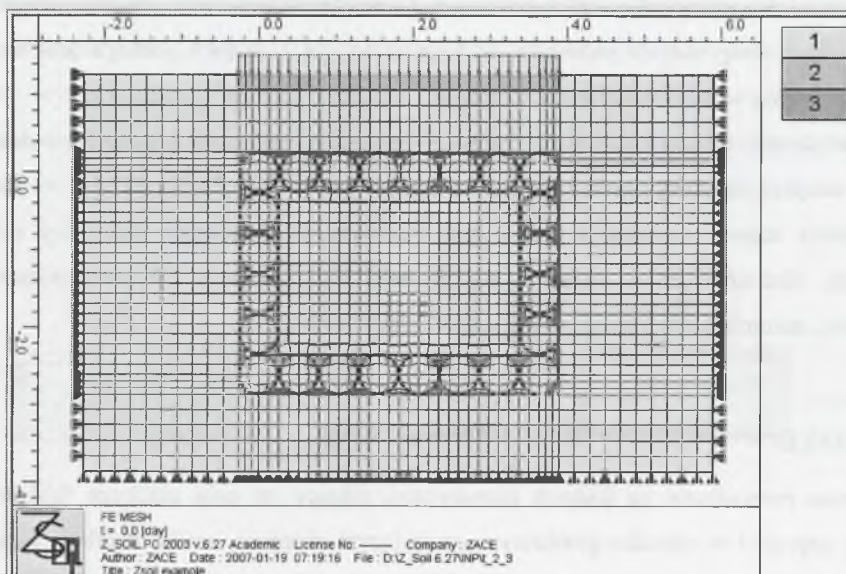
Analizę prowadzi się dla następujących modeli materiałowych [2]:

- podłoże gruntowe – model Duckera-Pragera,
- rura stalowa – model liniowo sprężysty,
- podbudowa betonowa – model liniowo sprężysty,

o poniższych parametrach:

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

Model numeryczny wraz z podziałem na siatkę MES przedstawia rys. 2.



Rys. 2. Model numeryczny w stanie wyjściowym

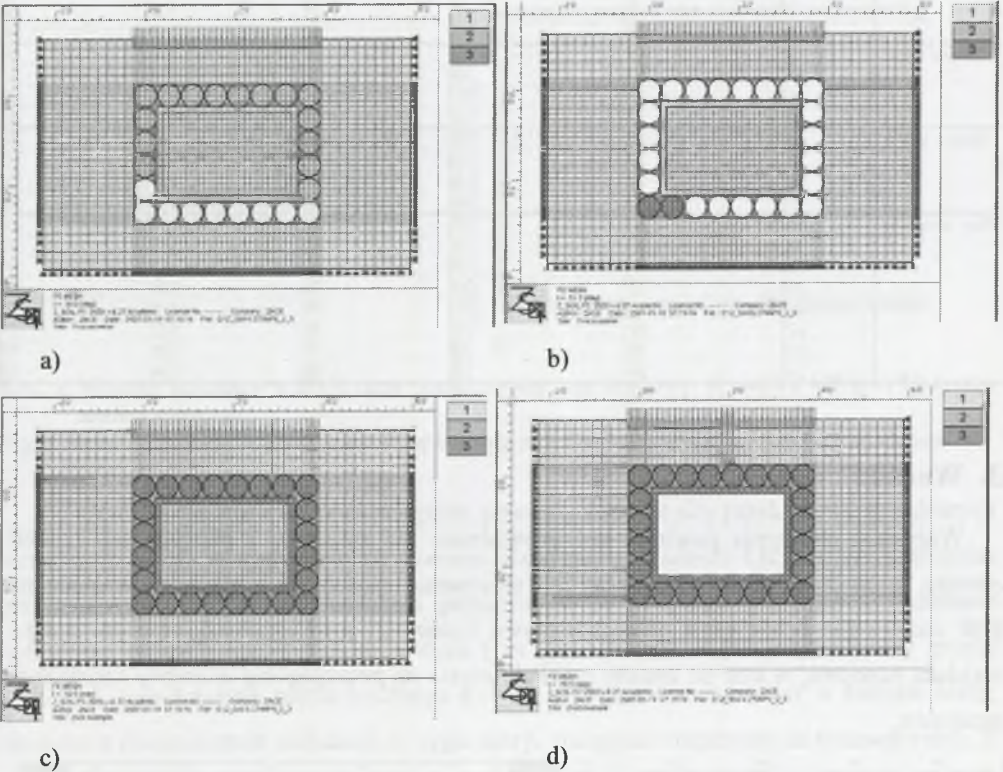
Fig. 2. FEM model in initial state

Podbudowę podtorza zamodelowano jedną warstwą elementów skończonych. Rury stalowe zamodelowano w postaci szesnastoboków foremnych, złożonych z trzech warstw wąskich elementów czterowęzłowych, sąsiadujące rury stykają się w jednym węźle.

Badanie numeryczne przebiega w następujących krokach pseudoczasowych:

- 1) przeliczenie stanu początkowego,
- 2) przyłożenie obciążenia,
- 3) zmiana materiału elementów symulujących rury – grunt na stal,

- 4) opróżnienie kolejno rur z urobku,
- 5) zabetonowanie wnętrza rur (kolejno),
- 6) wstawienie ram stalowych do wnętrza przepustu – zmiana materiału (grunt na stal),
- 7) usunięcie elementów z wnętrza przepustu – wykop.



Rys. 3. Etapy analizy numerycznej: a) opróżnianie rur z urobku, b) betonowanie wnętrza rur, c) wykonanie elementów stalowych rozporających rury obudowy, d) wykonanie przekopu
 Fig. 3. Stages of analysis: a) pipes interior excavation, b) pipes interior concreting, c) steel elements montage, d) excavation

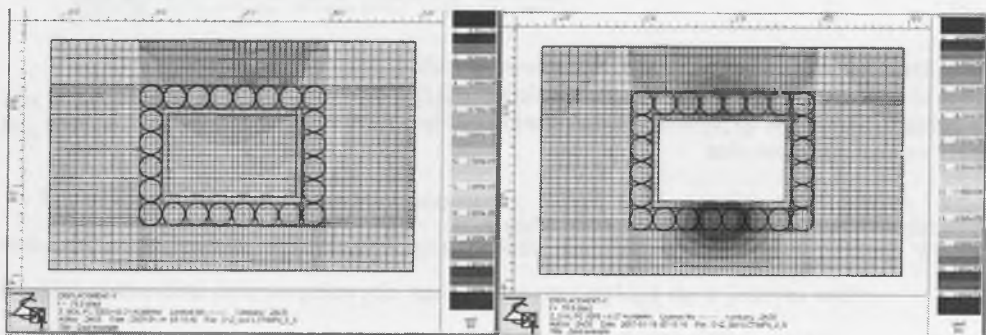
W tabeli 1 pokazano kolejność prowadzenia prac.

Tabela 1

Seria Rur	Nr rury	Czas zmianay materiału rury	Numer funkcji ex.	Czas opóźnienia urobku	Numer funkcji ex.	Czas zabetonowania
Rury denne	1	1	1	25	101	50
	2	2	2	26	102	51
	3	3	3	27	103	52
	4	4	4	28	104	53
	5	5	5	29	105	54
	6	6	6	30	106	55
	7	7	7	31	107	56
	8	8	8	32	108	57
Sciana lewa	9	9	9	33	109	58
	10	10	10	34	110	59
	11	11	11	35	111	60
	12	12	12	36	112	61
Sciana prawa	13	13	13	37	113	62
	14	14	14	38	114	63
	15	15	15	39	115	64
	16	16	16	40	116	65
Rury stropowe	17	17	17	41	117	66
	18	18	18	42	118	67
	19	19	19	43	119	68
	20	20	20	44	120	69
	21	21	21	45	121	70
	22	22	22	46	122	71
	23	23	23	47	123	72
	24	24	24	48	124	73

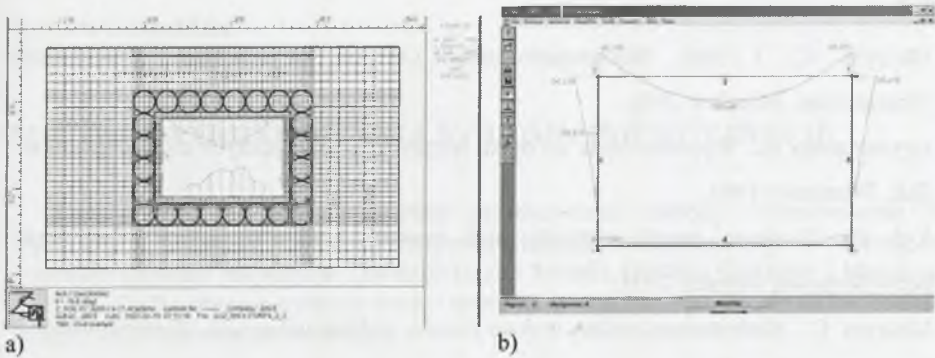
3. Wnioski

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.



Rys. 4. Przemieszczenia węzłów przed wydobyciem urobku oraz po wydobyciu
Fig. 4. FEM mesh displacement one step before and after excavation

Otrzymany z analizy numerycznej obraz przemieszczeń jest zgodny z obserwacjami konstrukcji istniejących. Po wydobyciu urobku z wnętrza przepustu nastąpiło zwiększenie pionowych przemieszczeń naziomu oraz pojawiły się przemieszczenia spągu w górę, co związane jest z pojawieniem się znacznych sił odporu podłoża.



Rys. 5. Moment zginający w ryglu ramy podpierającej rury stropowe: a) analiza MES, b) klasyczna analiza statyczna

Fig. 5. Bending moment in beam supporting housing pipes: a) MES analysis, b) Static calculation

Po usunięciu gruntu z wnętrza przepustu powstały znaczne siły przekrojowe w stalowych elementach ramy, w ryglu powstał moment przeszłowy o wartości 120 kNm/m szerokości przekroju (rys. 5a). Dla sprawdzenia poprawności otrzymanego rozwiązania wykonano obliczenia prętowej konstrukcji ramowych (rys. 5b). Przyjęto ciężar objętościowy gruntu 18 kN/m^3 , współczynnik parcia bocznego $K_0=0,5$, obciążenie naziomu jak w analizie MES; obciążenie równomiernie rozłożone na ryglu ramy, obciążenie trapezowe na ścianach ramy. Z obliczeń statycznych otrzymano wartość momentu zginającego w ryglu 100,4 kNm/m. Jest to wartość tego samego rzędu co wartość otrzymana z analizy MES.

Wnioski wynikające z przeprowadzonej analizy przekroju porzecznego:

1. kolejność prowadzonych prac ma wpływ zarówno na rozkład pola przemieszczeń i odkształceń w ośrodku gruntowym, jak i elementach konstrukcyjnych przepustu,
2. wyniki analizy MES i prostych obliczeń inżynierskich dają wyniki tego samego rzędu,
3. newralgicznym momentem budowy przepustu metoda pipe-fooring jest faza wglębnego wydobywania urobku z wnętrza konstrukcji – faza ta wymaga dogłębnego rozeznania metodą analizy MES 3D,

4. dodatkowo należy wykonać analizę obudowy żelbetowej, wykonywanej w ostatniej fazie budowy, która zostaje zamontowana w trakcie pracy stalowej, już odkształconej, konstrukcji obudowy.

Literatura

1. Madryas C. i inni: Mikrotunelowanie. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 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, luty 2004.
5. PRG Metro – Materiały Informacyjne Firmy.

Recenzent: Dr hab. inż. Anna Siemińska – Lewandowska, prof. Pol. Warszawskiej