

Zbigniew Budzianowski, Stanisław Lessaer

## O ROZKŁADZIE CIŚNIEŃ GRUNTU NA RURĘ UŁOŻONĄ W ZIEMI

### 1. Wstęp

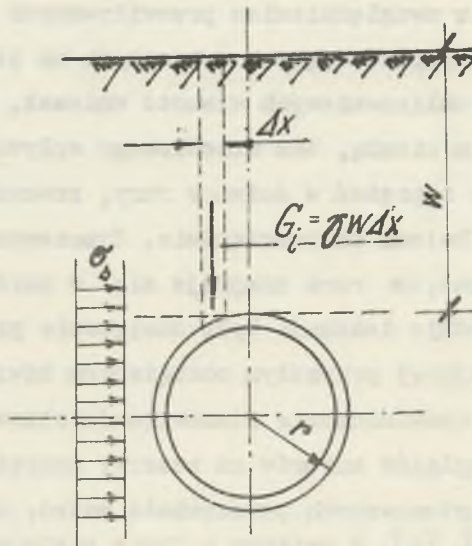
Autorzy niniejszego referatu spotkali się w praktyce z pewnym szczególnym przypadkiem wytrzymałości rur betonowych istniejącego przewodu kanalizacyjnego. Nad rozpatrywanym przewodem kanalizacyjnym znajdującym się od kilkunastu lat w gruncie należało ułożyć torowisko dźwigu budowlanego. Biuro projektowe sprawdziło pracę statyczną rur z uwzględnieniem przewidywanych zwiększonych obciążeń. Z obliczeń sprawdzających wykonanych na podstawie obecnie stosowanych metod obliczeniowych wysnuło wnioszek, że już samo obciążenie przekrycia ziemią, bez dodatkowego wpływu obciążenia naziomu, prowadzi do naprężeń w ścianie rury, znacznie przekraczających wytrzymałość betonu na rozciąganie. Tymczasem po dokonaniu odkrywki stwierdzono, że rura znajduje się w bardzo dobrym stanie mimo, że uprzednio dokonane było obciążenie próbne naziomu o wartości odpowiadającej przyszłym obciążeniom dźwigu budowlanego.

Przeprowadzone doświadczenie stanowiło dodatkowe potwierdzenie dotychczasowych poglądów autorów na rezerwy naprężeń uzyskiwanych z obliczeń według stosowanych powszechnie metod, na przykład według [1], [2], [3], [4]. W związku z tym w niniejszym referacie przedstawia się propozycję innego spojrzenia na zagadnienie pracy statycznej rury ułożonej w ziemi. Rozróznilo mianowicie trzy kolejne fazy zmieniających się w czasie, warunków obciążenia rury przez masę napierającej ziemi, przy równoczesnym uwzględnieniu wpływu "efektu sklepieniowego" wynikającego z wytworzenia się nad rurą jak gdyby sklepienia gruntowego, odciążającego rurę.

## 2. Założenia

W toku przeprowadzonych rozważań przyjęto następujące założenia:

- grunt jest jednorodnym materiałem sypkim, dla którego określony jest ciężar objętościowy " $\gamma$ ", kąt tarcia wewnętrznego " $\varphi$ ", moduł ściśliwości " $E_{gr}$ " oraz współczynnik Poissona " $\nu$ ";
- rura jest idealnie sztywna, a więc nieodkształcalna w przekroju poprzecznym (założenie odpowiada przypadkowi rur betonowych, żelbetowych i żeliwnych);
- z uwagi na znaczną głębokość ułożenia rury w stosunku do jej średnicy, przyjmuje się stałą wartość ciśnienia pionowego " $\gamma_w$ " na całej szerokości (rys. 1);

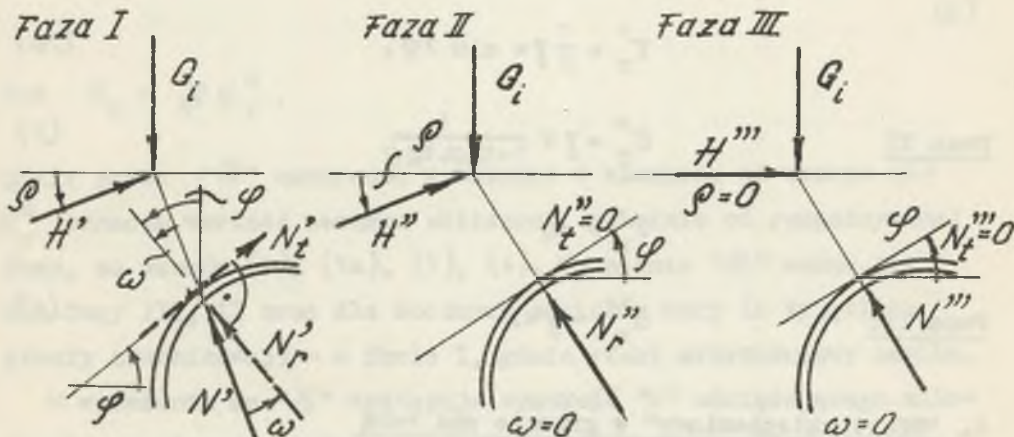


Rys. 1

- podobnie jak w stosowanych teoriach geodynamicznego parcia gruntu, wykorzystuje się jedynie warunki równowagi sił z pominięciem warunku równowagi momentów.

3. Fazy obciążeń rury gruntem

Rura ułożona w ziemi pracuje w przekroju poprzecznym jako pierścien kołowy poddany działaniu parcia gruntu. Rozkład nacisku na rurę ulega z biegiem czasu zmianom, przechodząc przez trzy zasadnicze fazy (rys. 2). W fazie I zachodzącej bezpośrednio po zasys-



Rys. 2

paniu rury ziemią w wykopie, występuje tarcie wewnętrzne w gruncie (kąt tarcia "g") oraz tarcie gruntu o ściankę rury (kąt tarcia "ω"). W fazie II zanika tarcie gruntu o ściankę ( $\omega = 0$ ), wreszcie w fazie III zanika ponadto tarcie wewnętrzne, w związku z czym ustala się geostatyczny charakter parcia gruntu na ściankę rury ( $\varphi = 0, \omega = 0$ ).

Dla nacisków gruntu na rurę (bez efektu sklepieniowego) wypro-wadzono następujące zależności jako funkcje kąta  $\varphi$  określającego położenie rozpatrywanego punktu:

Faza I

a) dla  $\omega < \varphi < \frac{\pi}{2}$

naprężenia normalne

$$\sigma_r' = \frac{\gamma w \cos \varphi \cos \omega}{\cos(\varphi - \omega) + \sin(\varphi - \omega) \operatorname{tg} \varrho} \quad (1)$$

naprężenia styczne  $\sigma_r' = \frac{\gamma w \cos \varphi \sin \omega}{\cos(\varphi - \omega) + \sin(\varphi - \omega) \operatorname{tg} \varrho}$ , (2)

b) dla  $0 < \varphi < \omega$

$$\sigma_r' = \gamma w \cos^2 \varphi, \quad (1a)$$

$$\tau_r' = \frac{1}{2} \gamma w \sin 2\varphi, \quad (2a)$$

Faza II

$$\sigma_r'' = \gamma w \frac{1}{1 + \operatorname{tg} \varphi \cdot \operatorname{tg} \varrho} \quad (3)$$

$$\tau_r'' = 0,$$

Faza III

$$\sigma_r''' = \gamma w. \quad (4)$$

#### 4. "Efekt sklepieniowy" w gruncie nad rurą

Na zmniejszenie wartości nacisków na obudowę okrągłych szybów studziennych zwrócił ogólnie uwagę Terzaghi już w r. 1919 [5].

W pracy określono sposób uwzględnienia takiego zmniejszenia nacisku działającego na powierzchnię rury, przez wyznaczenie siły "S" działającej w wytwarzającym się nad rurą sklepieniu gruntowym.

Siłę sklepieniową "S" uzyskuje się z rozpatrzenia równowagi elementarnego klina gruntu o wysokości "h" i kącie środkowym  $d\varphi$ ; uzyskano stąd w ogólnym przypadku wzór

$$S = \sigma_r^0 \cdot \pi \left[ \frac{\nu}{1 - \nu} + \frac{1 - \nu - 2\nu^2}{(1 - \nu)(1 - \nu^2)} \cdot \frac{1}{2} \ln \left| 1 + \frac{h}{r} \right| \right] \ln \left| 1 + \frac{h}{r} \right|. \quad (5)$$

Ponieważ ubytek nacisku na rurę wynosi  $\Delta\sigma_r = \frac{S}{r}$ , więc

$$\sigma_r = \sigma_r^0 - \Delta\sigma_r = \sigma_r^0 \left\{ 1 - \left[ \frac{\nu}{1-\nu} + \frac{1}{2} \frac{1-\nu-2\nu^2}{(1-\nu)(1-\nu^2)} \ln \left| 1 + \frac{h}{r} \right| \right] \ln \left| 1 + \frac{h}{r} \right| \right\} \quad (6)$$

lub  $\sigma_r = \mathcal{H} \sigma_r^0$ ;

gdzie przez " $\mathcal{H}$ " oznaczono wyrażenie w klamrze. We wzorze (6)  $\sigma_r^0$  oznacza wartość nacisku obliczoną, zależnie od rozpatrywanej fazy, ze wzorów (1), (1a), (3), (4). Wyrażenie " $\mathcal{H}$ " ważne jest dla fazy III, II oraz dla bocznych odcinków rury (z wyjątkiem strefy zwornikowej) - w fazie I, gdzie efekt sklepieniowy zanika.

W wyrażeniu na " $\mathcal{H}$ " występuje wysokość " $h$ " odciążającego sklepienia gruntowego, można ją dodatkowo obliczyć; ogólnie biorąc wielkość tę ocenia się, na przykład dla fazy III, jako pozostającą w przedziale  $h \cong (1,5-2,5) r$ .

#### LITERATURA

- [1] Hruscha A. - "Druckrohrleitungen der Wasserkraftwerke". Wien u Berlin 1929.
- [2] Klein G.K. - "Rasczot trub ułożennych w ziemle". Moskwa 1951.
- [3] Tombak L. - "Obliczenia statyczne i projektowanie przepustów prefabrykowanych". Prace IBD Warszawa 1958/3.
- [4] PN/B-03270 (projekt) - "Rurociągi podziemne i przepusty rurowe - obciążenia w obliczeniach statycznych".
- [5] Czebotariew G.P. - "Mechanika gruntów, ośnawiania i ziemlanyje sooruzeniya" - Moskwa 1968.