

January Bien
Łucja Fukas-Płonka
Urszula Szymura
Krzysztof Szymański

NAPRĘŻENIA W RUROCIĄGACH KANALIZACYJNYCH NA TERENACH INTENSYWNEJ EKSPLOATACJI GÓRNICZEJ

Budowa rurociągów kanalizacyjnych w warunkach destrukcyjnego działania przesuwającego się terenu wymaga specjalnej techniki zapobiegającej awariom sieci. Głównymi zagrożeniami przewodów kanalizacyjnych w warunkach intensywnej eksploatacji górniczej są zagrożenia konstrukcji sieci oraz warunków hydraulicznych.

Z punktu widzenia racjonalnego projektowania sieci kanalizacyjnych, podlegających wpływom eksploatacji górniczej, niezbędna jest znajomość rozkładu naprężeń, przekazywanych na zewnętrzną powierzchnię obiektu przez odkształcający się poziomo grunt. Naprężenia styczne, występujące w płaszczyźnie styku obiektu z gruntem, są do pewnej granicy przemieszczenia gruntu względem obiektu liniowo zależne od przemieszczenia, a powyżej przyjmują stałą wartość graniczną. Wartość graniczna odpowiada wytrzymałości gruntu na ścinanie i pozwala na określenie układu naprężeń i współpracy gruntu z kanałem. Ze względu na zróżnicowane i specyficzne podejście projektowe i konstrukcyjne do podziemnych rurociągów na terenach górniczych, z punktu widzenia analizy statyczno-wytrzymałościowej i kinetycznej wyróżnić można trzy podstawowe typy rurociągów [1]:

- rurociągi dylatowane, składające się z krótkich segmentów,
- rurociągi składające się z dłuższych odcinków międzydylatacyjnych,
- rurociągi ciągłe.

Sieci kanalizacyjne układane są głównie z krótkich rur kamionkowych, betonowych, żelbetonowych, żeliwnych itp. Przewody te łączone są przede wszystkim za pomocą połączeń kielichowych, dwukielichowych albo połączeń nasuwkowych. Stosowanie rurociągów dylatowanych jest jak dotychczas podstawowym sposobem zabezpieczania sieci kanalizacyjnej przed wpływami górniczej deformacji terenu. W przypadku krótkich segmentów rurociągu zakłada się, że bezwzględne przemieszczenia odcinków rur są równe poziomym przemieszczeniom gruntu.

Rodzaje naprężeń w rurociągach

Przy omawianiu zagadnień związanych z rurociągami układanymi na terenach szkód górniczych, dokonuje się sprawdzenia wytrzymałości przewodów na dodatkowo pojawiające się siły, ściśle związane z wpływami górniczymi. Dominujący wpływ w tego typu rurociągach ma siła osiowa, powstająca w wyniku przekazywania naprężeń stycznych na pobocznice rury od rozluźniającego się lub zagęszczającego gruntu.

Średnią wartość naprężeń normalnych (na podstawie rozkładu parcia gruntu na rurociąg) można określić według wzoru [1, 2]:

$$\sigma_{sr} = \frac{\sigma_1 + 2 \cdot \sigma_3 + \sigma_2}{4} \quad (1)$$

Naprężenia styczne, przy których wystąpi ścinanie gruntu względem pobocznic rury, określają zależności:

$$\tau_{gran} = \sigma_{sr} \cdot \operatorname{tg} \xi' \quad (\text{dla gruntów sypkich}) \quad (2)$$

$$\tau_{gra} = \sigma_{sr} \cdot \operatorname{tg} \xi' + C \quad (\text{dla gruntów spoistych}) \quad (3)$$

gdzie:

$$\sigma_1 = \gamma_o \cdot h \quad (4)$$

$$\sigma_2 = \gamma_o \cdot (h + D_z) \quad (5)$$

$$\sigma_3 = \gamma_o \cdot \left(h + \frac{D_z}{2} \right) \cdot \xi \quad (6)$$

ξ — kąt tarcia wewnętrznego

C — kohezja

h — wysokość warstwy gruntu przykrywającej rurociąg

γ_o — objętościowy ciężar gruntu

ξ — współczynnik bocznego parcia gruntu,

$$\xi = \frac{\nu}{1 - \nu}$$

ν — współczynnik Poissona.

Wprowadzając wzory (4), (5) i (6) do wzoru (1) otrzymujemy:

$$\begin{aligned} \sigma_{sr} &= \frac{1}{4} \cdot \left[\gamma_o h + 2 \cdot \gamma_o \left(h + \frac{D_z}{2} \right) \cdot \xi + \gamma_o (h + D_z) \right] \\ &= \frac{1}{4} \cdot \gamma_o \cdot (1 + \xi) \cdot (2h + D_z) \end{aligned} \quad (7)$$

Zgodnie z przedstawioną formułą, na wzrost naprężeń mają wpływ: ciężar objętościowy gruntu i jego właściwości oraz głębokość posadowienia kanału. W tabeli 1 przedstawiono charakterystyczne parametry najczęściej spotykanych rodzajów gruntu.

Dr inż. J. Bien, dr inż. Ł. Fukas-Płonka, mgr inż. U. Szymura, mgr inż. K. Szymański: Instytut Inżynierii i Technologii Wody, Ścieków i Odpadów Politechniki Śląskiej, ul. Powstańców Warszawy 10, 41-100 Gliwice.

Z analizy wzoru (7) wynika, że dla zmniejszenia wartości naprężeń normalnych i stycznych, należy układać kanały możliwie płytko, co równocześnie umożliwi szybkie i tanie usuwanie ewentualnych awarii. Wzór ten nie uwzględnia obciążeń dynamicznych, w przypadku lokalizacji sieci w pasmach ulic. W związku z powyższym przy projektowaniu sieci kanalizacyjnych, dla zmniejszenia wartości naprężeń należy dążyć do układania rurociągów poza pasmami jezdni. Analiza parametrów charakterystycznych dla danego rodzaju gruntu (tab. 1) pozwala stwierdzić, że niesprzyjającymi (ze względów wytrzymałościowych) są dla budowy kanałów również tereny z gruntami spoistymi oraz gruntami o dużej wytrzymałości (grunty skaliste, gruboziarniste, gliny zwarte).

Tabela 1

**WARTOŚCI WSPÓŁCZYNNIKÓW: POISSONA (ν)
I BOCZNEGO PARCIA GRUNTU (ξ)**

Rodzaj gruntu	ν	ξ
Gliny i ily	0,20	0,250
Piaski zagęszczone	0,25	0,333
Piaski luźne i gliniaste	0,30	0,428
Gliny piaszczyste i twardoplastyczne	0,30—0,35	0,428—0,539
Iły twardoplastyczne	0,40	0,667
Grunt nieściśliwy	0,50	1,0

W innych opracowaniach [3—5] stwierdzono, że stopień zagrożenia rurociągu na terenach podlegających eksploatacji górniczej określa się za pomocą $R_{\min}$ (najmniejszy promień krzywizny terenu) i $\varepsilon_{\max}$ (maksymalne odkształcenie poziome). Naprężenia panujące w zginanym rurociągu, wywołane zmianą krzywizny terenu, obliczyć można przyjmując uproszczone równanie w postaci:

$$\sigma = \frac{E_s \cdot D_z}{2 \cdot R}, \text{ MN/m}^2 \quad (8)$$

gdzie:

E_s — moduł sprężystości materiału rury (dla stali $E_s = 2,1 \cdot 10^5 \text{ MN/m}^2$)

D_z — średnica zewnętrzna rury, cm

R — najmniejszy promień krzywizny terenu, km

Naprężenia w rurze pochodzące od siły podłużnej tarcia, spowodowanej przyczepnością odkształcającego się gruntu do ścian zewnętrznych rury, określa formuła:

$$\sigma = \frac{T_t \cdot L}{2 \cdot s \cdot m}, \text{ MN/m}^2 \quad (9)$$

gdzie:

T_t — siła tarcia gruntu o powierzchnię zewnętrzną rury (w warunkach GOP przyjmuje się $T_t = 25\,000 \text{ N/m}^2$)

L — odstęp elementów wyrównujących wydłużenie lub skrócenie rurociągu (kompensator, kielich, itp.), m

s — grubość ścianki rury, m

m — współczynnik jednorodności materiału ($m = 0,85$).

Wzór (9) nie uwzględnia wpływu głębokości ułożenia rurociągu. Przyjmuje się, że poniżej 1,50 m wpływ ten praktycznie ustaje. Powyższe założenie w kontekście wyników opracowania [2] wydaje się dyskusyjne.

Zgodnie z równaniem (8) można stwierdzić, że zmiana naprężeń wynikających ze zmiany promienia krzywizny terenu na skutek eksploatacji górniczej, dla przewodu lokalizowanego w podobnych warunkach, w zależności od kategorii terenu, kształtuje się następująco:

$$\frac{\sigma_x}{\sigma_I} = \frac{E_s \cdot D}{2 \cdot R_x} \cdot \frac{2 \cdot R_I}{E_s \cdot D} = \frac{R_I}{R_x} \quad (10)$$

Z przedstawionego wzoru (10) wynika, że współczynnik zmian wartości naprężeń jest odwrotnie proporcjonalny do zmian promienia krzywizny na skutek eksploatacji górniczej. Wartości liczbowe zmian wielkości naprężeń sugerują unikanie lokalizacji kanałów na terenach o intensywniej eksploatacji górniczej.

LITERATURA

1. **Praca zbiorowa:** Budowa i eksploatacja sieci uzbrojenia podziemnego na terenach górniczych. OBR „Energopol” (maszynopis), Gliwice, 1982.
2. **Praca zbiorowa:** Systematyka konstrukcji i budowy sieci wod.-kan. w aspekcie ich odporności na wpływy górnicze. OBR „Energopol” (maszynopis), Gliwice, 1983.
3. F. WASIKOWSKI: Wytyczne do projektowania rurociągów stalowych na terenach górniczych.

4. M. CHUDEK: Projektowanie rurociągów lokalizowanych w terenie objętym wpływami eksploatacji górniczej. Biuletyn BPPW Projekty — Problemy, 1968, 5.
5. J. BIEN, K. FUKAS-PŁONKA, U. SZYMURA, K. SZYMAŃSKI: Wybrane aspekty projektowania sieci kanalizacyjnej na terenach czynnej eksploatacji górniczej. Ochrona Środowiska, Wyd. PZITS nr 434/3—4(20—21), Wrocław 1984.
6. **Praca zbiorowa:** Ochrona powierzchni przed szkodami górniczymi (cz. 1), Śląsk, 1980.

J. Bień, Ł. Fukas-Płonka, U. Szymura, K. Szymański

STRESSES ACTING IN SEWER SYSTEMS OPERATED IN EXCAVATION AREAS

The effect of excavations on the distribution of stresses which occur in the pipes due to soil deformation is analyzed. The data obtained show that the

pipe system predominantly experiences two kinds of stresses — those originating from soil configuration changes, and tangential stresses produced by loosening or consolidation of soil. Stress variation in the pipes is inversely proportional to the variation in the radius of curvature. Analysis of the factors affecting the pipe strength under mining conditions substantiates the need of a careful design and a reliable construction of new sewer systems.