

Adam NOWAKOWSKI

O DYLATACJI RUROCIĄGÓW POŁOŻONYCH NA TERENIE PODLEGAJĄCYM WPŁYWOM EKSPLOATACJI GÓRNICZEJ

Streszczenie. W artykule przedstawiłone zostały zasady obliczania przemieszczeń rurociągów dylatowanych, znajdujących się pod wpływem górniczej deformacji terenu. Wyprowadzono wzory do obliczania wartości przemieszczeń segmentów rurowych, z uwzględnieniem zmienności przemieszczeń poziomych gruntu wzdłuż osi rury, w oparciu o uproszczony zapis niecki górniczej. Wzory te mogą znaleźć zastosowanie do obliczania długości urządzeń kompensacyjnych, szczególnie dla dłuższych odcinków rurowych.

1. Wstęp

Powszechnym sposobem zabezpieczania rurociągów układanych na terenach objętych eksploatacją górniczą przed ruchami powierzchni terenu jest stosowanie urządzeń kompensacyjnych. W przypadku stalowych rur używanych do celów wodociągowych, do których to rur w pierwszym rzędzie odnosi się niniejszy artykuł, stosuje się nasuwki kompensacyjne typu dławnicowego. Istotnymi elementami właściwego projektowania kompensacji rurociągu jest rozmieszczenie nasuwek oraz ustalenie wartości przemieszczeń końców rur w przerwie dylatacyjnej, decydujących o długości nasuwki. Z punktu widzenia racjonalnego projektowania rurociągu podlegającego wpływom eksploatacji górniczej słusze byłoby rozmieszczanie nasuwek jak najrzadziej przy możliwie ograniczonej ich długości. Działanie w tym kierunku może być osiągnięte jedynie przez uniknięcie przerośnięć w określaniu złożonego stanu naprężeń w ścianie rury jak też przez możliwie dokładną ocenę wartości bezwzględnych przemieszczeń wydylatowanego odcinka rury leżącej w zasięgu obrzeża niecki górniczej. Zasadniczym przypadkiem analizowanym przy tym jest zgodność kierunku poziomych przemieszczeń głównych terenu (ekstremalnych) z osią podłużną rurociągu. W stosowanych dotychczas sposobach obliczania bezwzględnych przemieszczeń odcinków rur przyjmowano, że przemieszczenie to równe jest poziomemu przemieszczeniu gruntu w rejonie środka długości rozpatrywanego segmentu rury. Sposób ten jest wystarczająco dokładny w przypadku krótkich odcinków rur, np. w granicach do 20 m. Natomiast rury o większej długości ulegają wyraźnemu wpływowi zmiennej wartości pełzania gruntu wzdłuż osi rury. Obliczenie rzeczywistych przemieszczeń rury występujących w takim przypadku stanowi zasadniczy temat niniejszej pracy.

2. Sposoby obliczania przerwy dylatacyjnej rurociągów na terenie podlegającym wpływowi górniczej deformacji terenu

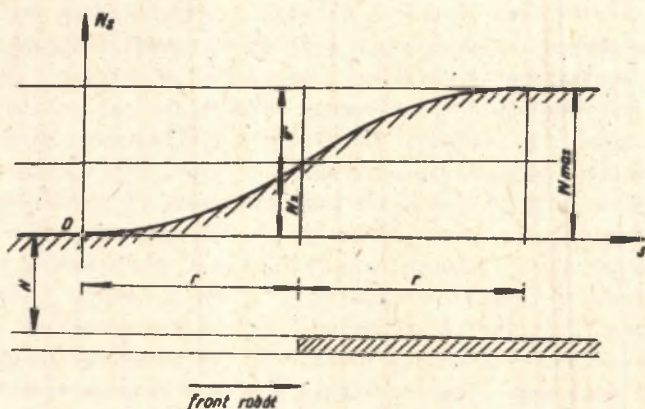
2.1. Wzory i pojęcia podstawowe

Na powierzchni terenu, pod którą prowadzona jest eksploatacja górnicza występuje stopniowo przebiegająca się niecka górnicza o kształcie zbliżonym najczęściej w rzucie poziomym do prostokąta. Powstała w ten sposób deformacja terenu powoduje tworzenie się odkształceń jego powierzchni oraz odkształceń i przemieszczeń obiektów, które się na nim znajdują. Dotyczy to także rurociągów. Z wystarczającą dla potrzeb budownictwa dokładnością można opisać profil obrzeża niecki górniczej (w płaszczyźnie prostopadłej do linii frontu robót lub bocznej krawędzi wyrobiska) w postaci elementarnej funkcji [1].

$$w_s = \frac{w_{\max}}{2} \left(\frac{s}{r} - \frac{1}{\pi} \sin \frac{\pi s}{r} \right), \quad (1)$$

gdzie:

- w_s - rzędna niecki osiadania,
- r - zasięg bezpośrednich wpływów górniczych,
- s - odcięta przyjęta jak na rys. 1,
- w_{\max} - maksymalne osiadanie terenu.



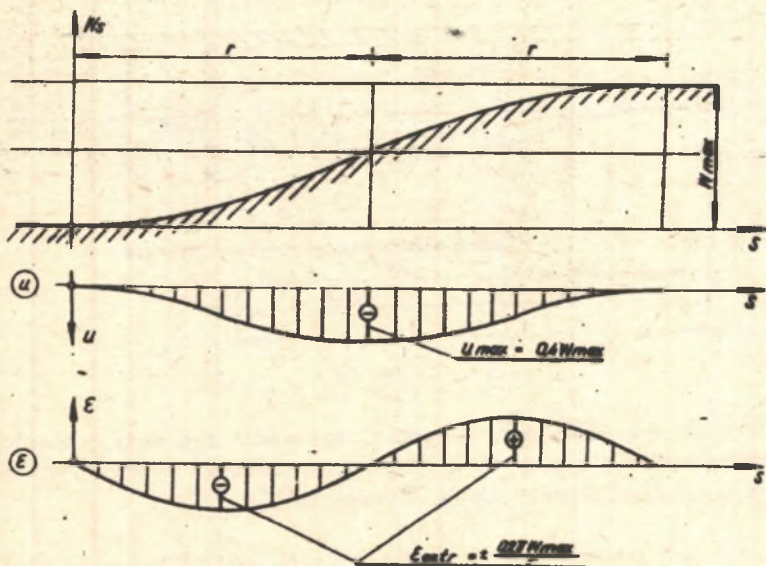
Rys. 1

W oparciu o równanie (1) można określić związki pomiędzy niektórymi wskaźnikami deformacji, w szczególności dla dalszych rozważań istotne jest określenie poziomych przemieszczeń terenu u oraz odkształceń jednostkowych ϵ (pełzań) ϵ [2] i [3].

$$u = -0,2 w_{\max} \left(1 - \cos \frac{\pi s}{r}\right) \quad (2)$$

$$\epsilon = -0,2 \frac{\pi w_{\max}}{r} \sin \frac{\pi s}{r} \quad (3)$$

Wykresy tych wielkości przedstawia rys. 2. Dla określenia przerwy dylatacyjnej pomiędzy segmentami, podstawowa znaczenia są wartości maksymalnego pełzania ϵ_{\max} oraz rozkład przemieszczeń poziomych u .



Rys. 2

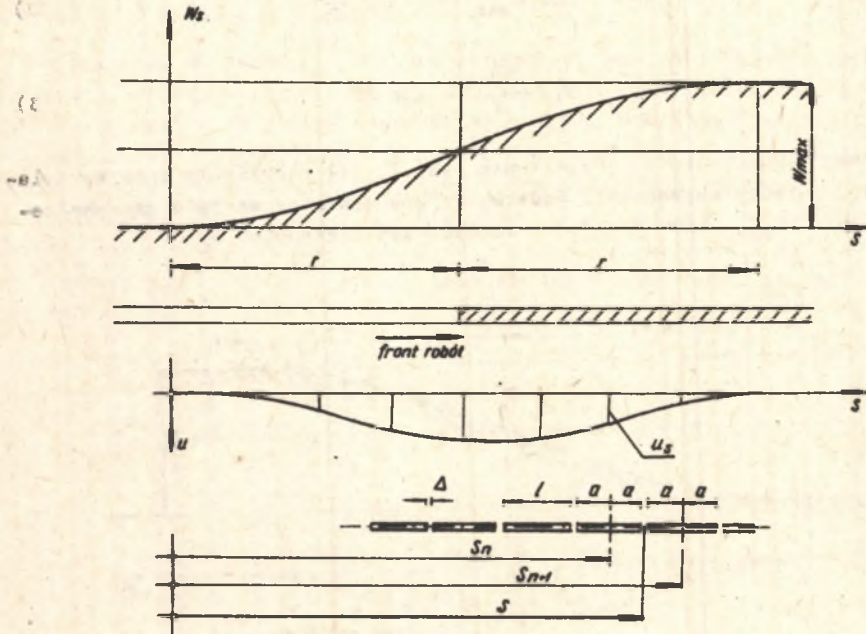
2.2. Zasada określenia przerwy dylatacyjnej w przypadku krótkich segmentów rurociągu

Rozwartość przerwy dylatacyjnej można określić w następujący sposób. Rozpatrujemy rurociąg znajdujący się w obrębie obrzeża niecki górniczej, której przebieg określony jest wzorem (1).

Przyjmuje się, że wielkość przerwy dylatacyjnej Δ jest różnicą pomiędzy przemieszczeniem u_{n+1} środka segmentu następnego s_{n+1} oraz przemieszczeniem u_n środka segmentu poprzedniego s_n .

A więc

$$\Delta = u_{n+1} - u_n \quad (4)$$



Rys. 3

Rozpatrując dwa jednakowej długości, sąsiednie segmenty w obrębie rączki górniczej zgodnie z rys. 3, dla znanego położenia styku tych segmentów oznaczonego za pomocą odciętej s otrzymano:

$$u_{n+1} = -0,2 w_{\max} \left[1 - \cos \frac{(\varrho + s)}{r} \right] \quad (5)$$

$$u_n = -0,2 w_{\max} \left[1 - \cos \frac{(\varrho - s)}{r} \right].$$

Korzystając ze wzorów (4) i (5) można napisać

$$\Delta = -0,2 w_{\max} \left[1 - \cos \frac{\pi(\varrho + s)}{r} \right] + 0,2 w_{\max} \left[1 - \cos \frac{\pi(\varrho - s)}{r} \right]$$

skąd

$$\Delta = -0,2 w_{\max} \left[\cos \frac{\pi(\varrho + s)}{r} - \cos \frac{\pi(\varrho - s)}{r} \right],$$

lub wreszcie

$$\Delta = -0,4 w_{\max} \sin \frac{\pi \varrho}{r} \sin \frac{\pi s}{r} \quad (6)$$

Aby określić wartość maksymalnej przerwy dylatacyjnej dwóch końcówek rurociągu należy obliczyć pierwszą pochodną

$$\frac{d\Delta}{ds} = - 0,4 w_{\max} \frac{\pi}{r} \sin \frac{\pi s}{r} \cos \frac{\pi s}{r}$$

Po przyrównaniu obliczonej pochodnej do zera otrzymano

$$\frac{\pi s}{r} = \frac{\pi}{2} \longrightarrow s' = \frac{r}{2} \quad (7)$$

$$\frac{\pi s}{r} = \frac{3}{2}\pi \longrightarrow s' = \frac{3}{2} r$$

Wyznaczone odcinki s' i s'' określają chwilowe położenie rozpatrywanego styku, względem początku obrzeża niecki górniczej, w których wartości wzajemnych przesunięć końców rur będą ekstremalne.

Wstawiając kolejno wartości s' i s'' według (7) do (6) otrzymujemy

$$\Delta_{\min} = - 0,4 w_{\max} \sin \frac{\pi s}{r}$$

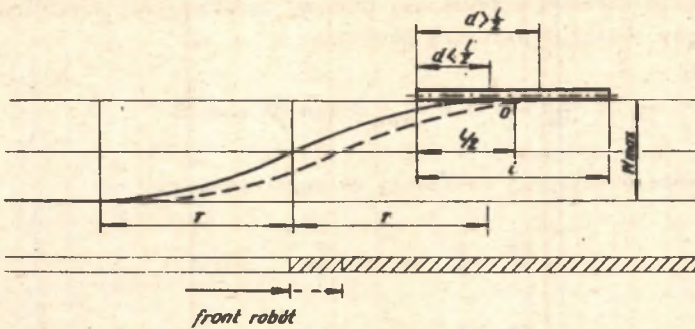
oraz

$$\Delta_{\max} = + 0,4 w_{\max} \sin \frac{\pi s}{r}$$

Obliczone wartości Δ_{\min} i Δ_{\max} służą do wyznaczenia początkowej wartości szczeliny między segmentami oraz długości nasuwki kompensacyjnej.

2.3. Dylatacja rurociągu w przypadku, gdy długość segmentu jest wprostmierna z długością profilu niecki

Sposób obliczenia przeprowadzony w punkcie 2.2 oparty był jak wiadomo na założeniu, że przemieszczenie segmentu rury równe jest przemieszczeniu poziomemu gruntu w środku odcinka rury. Przy dłuższych odcinkach rurociągu założenie takie prowadziłoby do zbyt dużych niedokładności. Gdy więc odcinki rur są wprostmierne z wymiarami niecki, należy postępować w sposób odmienny, omówiony w niniejszym punkcie opracowania. Rozpatrujemy odcinek rurociągu położonego na terenie górniczym w płaszczyźnie prostopadłej do linii frontu robót i poszukujemy wartości przemieszczenia tego odcinka. Można założyć, że przemieszczanie się segmentu wystąpi przy podchodzeniu niecki górniczej pod rurociąg dopiero wówczas, gdy jej profil obejmuje swym zasięgiem część rurociągu o długości $d > \frac{1}{2} l$; gdzie l oznacza długość segmentu. Gdy natomiast $d \leq \frac{1}{2} l$, wówczas rurociąg pozostanie w spoczynku (rys. 4).



Rys. 4

Przy określaniu wartości i przebiegu przemieszczeń odcinka rurociągu, należy korzystać z wykresu przemieszczeń poziomych gruntu w obrębie obrzeża niecki górniczej zgodnie z zależnością (2), którą przepisano stosując inne oznaczenia

$$F(x) = K(1 - \cos \frac{\pi x}{r}), \quad (8)$$

gdzie:

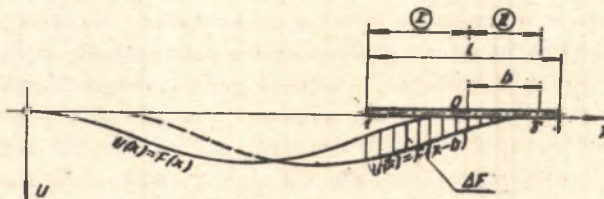
$F(x)$ - funkcja przemieszczeń poziomych terenu w płaszczyźnie prostopadłej do linii frontu robót,

K - $0,2 w_{\max}$,

x - odcięta mierzona zgodnie z rysunkiem 5 i 7,

r - zasięg bezpośrednich wpływów górniczych.

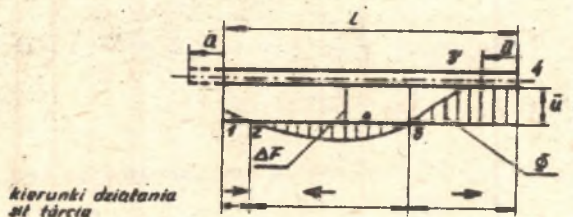
Rozpatrujemy przy tym dwa przypadki położenia segmentu rurociągu w stosunku do linii frontu robót; gdy rurociąg znajduje się częściowo w zasięgu niecki $b < \frac{1}{2} r$ (rys. 5) oraz gdy rurociąg znajduje się całkowicie w obrębie niecki górniczej $b > \frac{1}{2} r$ (rys. 7). Tok obliczeń przebiegu przemieszczeń rurociągu jest dla dwóch wymienionych przypadków różny.



Rys. 5

a) Rurociąg położony częściowo w zasięgu niecki górniczej $b < \frac{1}{2} l$

Wyznaczenie przemieszczenie \bar{u} rozpatrywanego segmentu rurociągu, nastąpi z równania pracy sił tarcia T gruntu oddziaływujących na jego boczną (rys. 6).



Rys. 6

Praca ta wynosi:

$$L \int_1^4 = \sum \int T \bar{\phi} dx, \quad (9)$$

gdzie

$$\bar{\phi} = \Delta F - \bar{u},$$

przy czym na odcinku

$$1 - 3' \bar{\phi} \int_1^{3'} = \Delta F - \bar{u} = F(x-b) - F(x) - \bar{u},$$

zaś na odcinku

$$3' - 4 \bar{\phi} \int_{3'}^4 = -\bar{u}.$$

Stąd przyrównując pracę przy przejściu do nowego stanu równowagi do zera uzyskamy:

$$L \int_1^4 = T \int_1^{3'} [F(x-b) - F(x) - \bar{u}] dx + T \int_{3'}^4 (-\bar{u}) dx = 0$$

lub

$$\int_1^{3'} \Delta F dx - \int_1^{3'} \bar{u} dx - \int_{3'}^4 \bar{u} dx = 0$$

stąd

$$\int_1^{3'} \Delta F \, dx - \bar{u}l = 0$$

ostatecznie

$$\bar{u} = \frac{1}{l} \int_1^{3'} \Delta F \, dx \quad (10)$$

Wprowadzając niezbędne granice całkowania oraz przyjmując kształt funkcji $F(x)$ według wzoru (8) otrzymano

$$\bar{u} = \frac{1}{l} \left(\int_1^0 \Delta F^I \, dx + \int_0^{3'} \Delta F^{II} \, dx \right), \quad (11)$$

gdzie:

$$\Delta F^I \Big|_1^0 = F(x-b) - F(x) = K \left[\cos \frac{\pi x}{r} - \cos \frac{\pi(x-b)}{r} \right].$$

Po wykonaniu działań uzyskuje się

$$\Delta F^I \Big|_1^0 = K \left[\cos \frac{\pi x}{r} (1 - \cos \frac{\pi b}{r}) - \sin \frac{\pi x}{r} \sin \frac{\pi b}{r} \right]$$

oraz

$$\Delta F^{II} \Big|_0^{3'} = F(x-b) = K \left[1 - \left(\cos \frac{\pi x}{r} \cos \frac{\pi b}{r} + \sin \frac{\pi x}{r} \sin \frac{\pi b}{r} \right) \right].$$

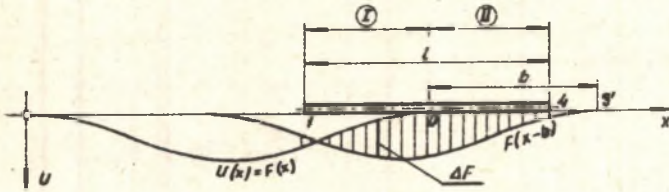
Stąd wartość przemieszczenia

$$\bar{u} = \frac{K}{l} \left\{ \int_{2r-\frac{1}{2}}^{2r} \left[\cos \frac{\pi x}{r} (1 - \cos \frac{\pi b}{r}) - \sin \frac{\pi x}{r} \sin \frac{\pi b}{r} \right] dx \right. \\ \left. \int_{2r}^{2r+b} \left[1 - \left(\cos \frac{\pi x}{r} \cos \frac{\pi b}{r} + \sin \frac{\pi x}{r} \sin \frac{\pi b}{r} \right) \right] dx \right\} \quad (12)$$

i ostatecznie po wykonaniu operacji całkowania otrzymano

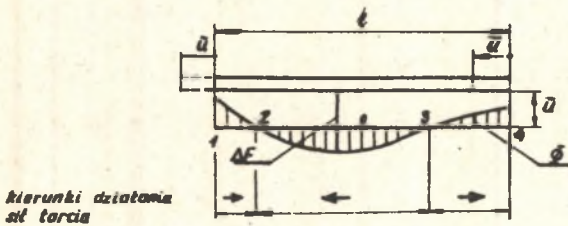
$$\bar{u} = \frac{K}{I} \left\{ b + \frac{r}{\pi} \left[\sin \frac{\pi l}{2r} - \sin \frac{\pi}{r} \left(\frac{l}{2} + b \right) \right] \right\} \quad (13)$$

b) Rurociąg położony całkowicie w obrębie niecki górniczej $b > \frac{1}{2} l$ (rys.7)



Rys. 7

Wielkość przemieszczenia segmentu w tym przypadku będzie wynikać ze wzoru podobnego jak wzór (10) lecz o różnych granicach całkowania



Rys. 8

$$\bar{u} = \frac{1}{I} \int_1^4 \Delta F dx \quad (14)$$

stąd

$$\bar{u} = \frac{1}{I} \left(\int_1^0 \Delta F^I dx + \int_0^4 \Delta F^{II} dx \right), \quad (15)$$

gdzie

$$\Delta F^I \Big|_1^0 = F(x-b) - F(x) = K \left[\cos \frac{\pi x}{r} - \cos \frac{\pi(x-b)}{r} \right].$$

Po wykonaniu działań uzyskuje się

$$\Delta F^I \Big|_1^0 = K \left[\cos \frac{\pi x}{r} (1 - \cos \frac{\pi b}{r}) - \sin \frac{\pi x}{r} \sin \frac{\pi b}{r} \right].$$

Wyrażenie

$$\Delta F^{II} \Big|_0^4 = F(x-b) = K \left[1 - \cos \frac{\pi(x-b)}{r} \right].$$

po przekształceniu przebierze postać

$$\Delta F^{II} \Big|_0^4 = K \left[1 - \left(\cos \frac{\pi x}{r} \cos \frac{\pi b}{r} + \sin \frac{\pi x}{r} \sin \frac{\pi b}{r} \right) \right].$$

Po podstawieniu do (15)

$$\begin{aligned} \bar{u} = \frac{K}{I} & \left\{ \int_{2r - \frac{1}{2}}^{2r} \left[\cos \frac{\pi x}{r} (1 - \cos \frac{\pi b}{r}) - \sin \frac{\pi x}{r} \sin \frac{\pi b}{r} \right] dx + \right. \\ & \left. + \int_{2r}^{2r + \frac{1}{2}} \left[1 - \left(\cos \frac{\pi x}{r} \cos \frac{\pi b}{r} + \sin \frac{\pi x}{r} \sin \frac{\pi b}{r} \right) \right] dx \right\} \end{aligned} \quad (16)$$

Ostatecznie

$$\bar{u} = \frac{K}{I} \left\{ \frac{1}{2} + \frac{r}{\pi} \left[\sin \frac{\pi}{2r} (1 - 2 \cos \frac{\pi b}{r}) \right] \right\} \quad (17)$$

3. Przykłady

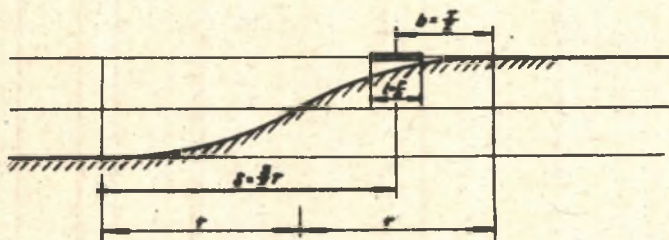
Celem porównania przemieszczeń segmentów rurociągowych, przeprowadzono obliczenia wartości przemieszczeń dla trzech pokazanych poniżej przypadków położenia segmentów względem profilu niecki (rys. 9, 10 i 11).

Dla każdego przypadku zastosowano inne długości segmentów, a to:

$$l = \frac{r}{4}, \quad l = \frac{r}{2} \quad \text{oraz} \quad l = \frac{3}{2} r$$

Wartość przemieszczeń obliczono za pomocą wzoru przybliżonego (2) oraz w sposób uwzględniający zmienność odkształceń na długości (13) i (17).
Wartość maksymalnego osiadania $w_{\max} = 1,0$ m.

3.1. Długość segmentu $l = \frac{r}{4}$



Rys. 9

a) Na podstawie wzoru (2) otrzymano wartość przemieszczenia

$$u_g = -0,2 \cdot 1,0(1 - \cos \frac{3\pi}{2}) = -0,2 \text{ m}$$

b) Z zależności (17) otrzymano

$$\bar{u} = \frac{-0,2 \cdot 1,0}{0,25r} \left\{ 0,125r + \frac{r}{3,14} \left[\sin \frac{0,25r}{2r} (1 - 2 \cos \frac{\pi \cdot 0,5r}{r}) \right] \right\}$$

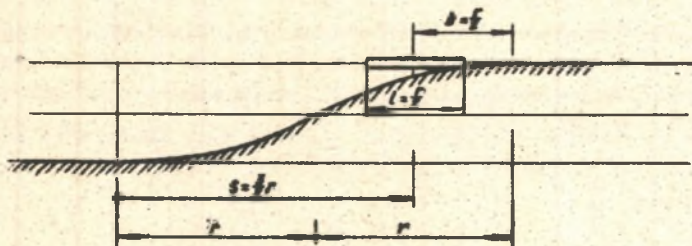
ostatecznie

$$\bar{u} = -0,197 \text{ m}$$

3.2. Długość segmentu $l = \frac{r}{2}$

a) Stosując wzór (2) otrzymano wartość u_g identyczną jak dla przypadku 1

$$u_g = -0,2 \cdot 1,0(1 - \cos \frac{3}{2}\pi) = -0,2 \text{ m}$$



Rys. 10

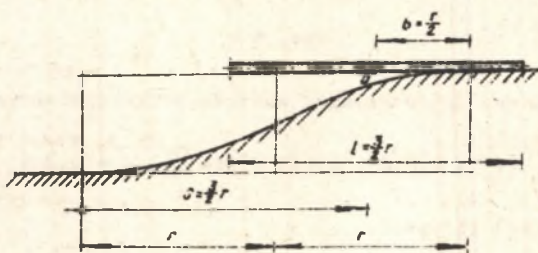
- b) W przypadku takiego ułożenia segmentu po zastosowaniu zależności (17) uzyskano

$$\bar{u} = - \frac{0,2 \cdot 1,0}{0,5r} \left\{ \frac{0,5r}{2} + \frac{r}{3,14} \left[\sin \frac{0,5r}{2r} (1 - 2 \cos \frac{0,5r}{r}) \right] \right\} = - 0,190 \text{ m}$$

3.3. Długość segmentu $l = \frac{3}{2} \cdot r$

- a) Ze wzoru (2) otrzymano

$$u_g = - 0,2 \cdot 1,0 (1 - \cos \frac{3}{2} \pi) = - 0,2 \text{ m}$$



Rys. 11

- b) Stosując w tym przypadku wzór (13) dla segmentu położonego częściowo w zasięgu niecki górniczej uzyskano wartość przemieszczenia segmentu

$$u = - \frac{0,2 \cdot 1,0}{1,5r} \left\{ 0,5r + \frac{r}{3,14} \left[\sin \frac{1,5r}{2r} - \sin \frac{\pi}{r} (0,75r + 0,5r) \right] \right\} = - 0,126 \text{ m}$$

4. Wnioski

- 4.1. Z przytoczonych obliczeń porównawczych wynika, że decydujący wpływ na rzeczywiste wartości przemieszczeń poziomych segmentu rurociągu posiada zmienność odkształceń δ wzdłuż obrzeża niecki górniczej.
- 4.2. Wpływ zmienności odkształceń na wartość przemieszczenia segmentu uwiadczenia się szczególnie dla odcinków rurociągu o długościach większych niż $\frac{r}{2}$.

4.3. Powyższe obliczenia porównawcze wskazują więc na możliwość zmniejszenia długości urządzeń kompensacyjnych w rurociągach, a co za tym idzie, również na uzyskanie pewnych oszczędności materiałowych.

LITERATURA

- [1] Budzianowski Z., Lessaer St.: O krzywiznach odkształconej powierzchni terenu podlegającego wpływom eksploatacji górniczej w zakresie potrzeb budownictwa. Archiwum Inżynierii Łądowej, tom XIV, Z. 3/1969.
- [2] Budzianowski Z., Lessaer St., Szumierz W.: Oddziaływanie niecki górniczej na obiekty liniowe. Inżynieria i Budownictwo, 3/1973.
- [3] Budzianowski Z., Lessaer St.: Poziome deformacje budowli w obszarze niecki górniczej. Inżynieria i Budownictwo, 2/1973.

О ДИЛАТАЦИИ ТРУБОПРОВОДОВ РАСПОЛОЖЕННЫХ НА ТЕРРИТОРИЯХ ОХВАЧЕННЫХ ГОРНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИЕЙ

Р е з ю м е

В статье показывается основы расчётов смещений дилатированных трубопроводов, находящихся под влиянием горной деформации поверхности. Выведены формулы для вычисления значений перемещений сегментов трубы с учётом изменчивости горизонтальных смещений грунта вдоль оси трубы на основе упрощённой записи горной мульды. Эти формулы могут найти применение к расчётам компенсационных устройств, особенно в длинных участках трубопроводов.

THE DILATANCY OF PIPELINES POSITIONED ON THE AREA BEING SUBJECTED TO THE INFLUENCE OF MINING

S u m m a r y

In the paper the author has presented the calculation principles of the displacement of dilatancied pipelines being under the influence of mining area deformation.

Formule's for the calculation of the displacement of pipe-segments have been derived, taking into consideration the variation of horisontal displacement of the ground along the axis of the pipe, on the basis of the simplified notation of the coal basin.

These formulae can be applied for the calculation of the lenght of compensation devices', particularlyly for longer sections of pipelines.