

Barbara TUMIDAJEWICZ

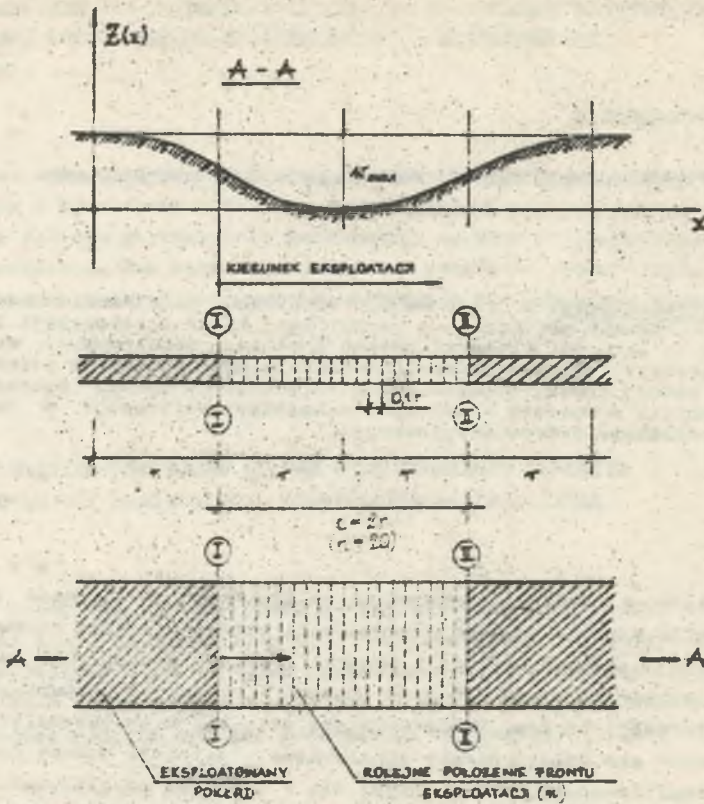
## OKREŚLENIE DYNAMICZNEGO KSZTAŁTOWANIA SIĘ NIECKI OBNIŻENIOWEJ Z PUNKTU WIDZENIA POTRZEB BUDOWLI LINIOWYCH

**Streszczenie.** W opracowaniu rozpatrzono zagadnienie oddziaływania wyrobiska górniczego w początkowej fazie eksploatacji ściany na obiekty liniowe. Przeanalizowano przebieg podstawowych wskaźników deformacji terenu od momentu rozcięcia pokładu, aż do wykształcenia się pełnej niecki obniżeniowej. Podano także sposób wyznaczania - w oparciu o wykresy - wartości wskaźników deformacji w zależności od położenia frontu eksploatacji.

### 1. Wstęp

Obecnie coraz częściej trasy obiektów liniowych realizowane są na terenach, podlegających wpływom eksploatacji górniczej. O ile parametry eksploatacji, a więc czas, system i warunki górnico-geologiczne są znane odpowiednio wcześniej, nowo budowane obiekty liniowe są zabezpieczone na wpływy deformacji terenu. Rozpatruje się przy tym stan ustabilizowany, po wykształceniu się pełnej niecki obniżeniowej. Istnieje jednak wiele obiektów już zrealizowanych, które znajdują się w obzearze oddziaływania rozpoczynanej właśnie eksploatacji złóż. Wpływy początku eksploatacji, a więc dynamicznego kształtowania się niecki obniżeniowej na powierzchni terenu na obiekty liniowe stały się tematem niniejszego opracowania.

W rozważaniach skupiono główną uwagę na analizie zmian wartości podstawowych wskaźników deformacji terenu w przedziale czasowym od rozcięcia pokładu do eksploatacji pola, wytwarzającego na powierzchni terenu pełną nieckę obniżeniową. Przyjęto przy tym model następujący (rys. 1): pokład zostaje rozcięty w przekroju I-I i eksploatacja jest prowadzona na długości odcinka co najmniej  $2r$  w jedną stronę. Front eksploatacji przesuwa się w sposób "skokowy" (założenie dyskretyzujące zjawisko ciągłe) od położenia I-I do położenia II-II, przy czym wartość skoku przyjęto jako wielokrotność promienia zasięgu wpływów górniczych  $r$ , a mianowicie  $\Delta x = 0,1 r$ . Odpowiada to - przy głębokości zalegania pokładu  $H = 400$  m rejestracji zmian wskaźników deformacji przy kolejnych, przesuwających się o  $20$  m położeniach frontu eksploatacji. Rzędne niecki obniżeniowej są sumą przednich niecek cząstkowych: stałej, wytworzonej nad przekrojem I-I oraz niecek odpowiadających kolejnym położeniom przesuwającego się frontu eksploatacji. Sumowanie takie odnosi się także do wszystkich analizowanych wskaź-



Rys. 1. Koncowy stan eksploatacji (niecka całkowicie wykształcona)

ników deformacji. W omawianym modelu wyróżnić można trzy charakterystyczne momenty - początek eksploatacji, gdy deformacja terenu jeszcze nie zachodzi; etap pośredni, gdy według przewidywań niektóre ze wskaźników mogą przyjąć wartości większe od ekstremalnych w przypadku niecki pełnej oraz etap końcowy, kiedy te wskaźniki deformacji zarówno co do matematycznego zapisu jak i graficznego przebiegu są znane [1].

W dalszej części opracowania przytoczono matematyczny zapis wskaźników deformacji terenu jako funkcję położenia frontu eksploatacji, a także przedstawiono za pomocą wykresów ich przebieg.

## 2. Analiza wskaźników deformacji przesuającej się niecki obniżeniowej w pośrednim etapie eksploatacji

W rozważaniach przyjęto uproszczony matematyczny zapis niecki obniżeniowej [1], wystarczająco dokładny dla celów budownictwa osuwianych w niniejszej pracy:

$$w = \frac{W_{\max}}{2} \left( \frac{x}{r} - \frac{1}{2} \sin \frac{\pi x}{r} \right) \quad - \text{rzędne osiedań}$$

$$u = -0,2 W_{\max} \left( 1 - \cos \frac{\pi x}{r} \right) \quad - \text{przesunięcia poziome}$$

$$\epsilon = -0,2 W_{\max} \frac{x}{r} \sin \frac{\pi x}{r} \quad - \text{odkształcenia poziome}$$

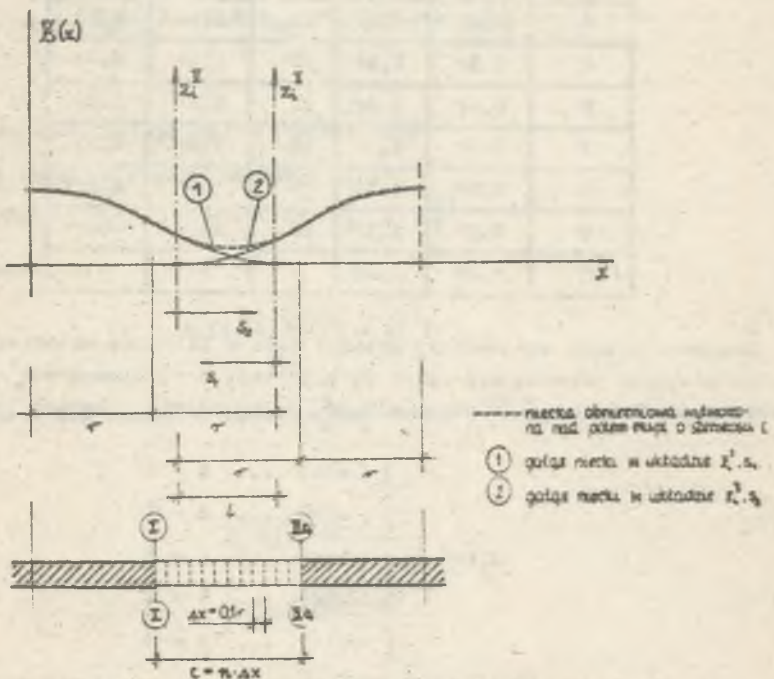
$$K = \frac{\pi W_{\max}}{2r^2} \sin \frac{\pi x}{r} \quad - \text{krzywizna tworzącej osiedania}$$

$$T = \frac{W_{\max}}{2r} \left( 1 - \cos \frac{\pi x}{r} \right) \quad - \text{nachylenie tworzącej osiedania}$$

Pośredni stan eksploatacji górniczej, a więc taki w którym pułka poklepałacyjna ma szerokość

$$c = n \cdot \Delta x \quad 0 \leq n \leq 20 \quad (1)$$

przedstawiono na rys. 2.



Rys. 2. Pośredni stan eksploatacji (niecka niepełna)



Jak już wspomniano wcześniej, rzędne niecki obniżeniowej wytworzonej nad wyeksploatowanym polem o szerokości  $c$ , są sumą rzędnych niecek częstokowych. Pierwsza z nich, związana z przekrojem I-I jest niecką pełną, ustabilizowaną i opisana jest w układzie współrzędnych  $z_1^I, s_1$ . Natomiast druga, uwzględniana przy sumowaniu niecków, przesuwaną się "skokowo" zgodnie z ruchem frontu eksploatacji, opisana jest w układzie  $z_1^{II}, s_2$ .

Sumowanie rzędnych zachodzi na odcinku 1, którego długość jest zmienna i zależy od położenia frontu eksploatacji. Zestawienie długości odcinków:  $c$  (szerokość pustki poeksploatacyjnej) oraz 1 (długość strefy współdziałania) dla kolejnych  $n$ -tych położań frontu eksploatacji zawiera tabela 1.

Tabela 1

n	c	1	n	c	1
1	2	3	1	2	3
0	0,0r	2,0r	11	1,1r	0,9r
1	0,1r	1,9r	12	1,2r	0,8r
2	0,2r	1,8r	13	1,3r	0,7r
3	0,3r	1,7r	14	1,4r	0,6r
4	0,4r	1,6r	15	1,5r	0,5r
5	0,5r	1,5r	16	1,6r	0,4r
6	0,6r	1,4r	17	1,7r	0,3r
7	0,7r	1,3r	18	1,8r	0,2r
8	0,8r	1,2r	19	1,9r	0,1r
9	0,9r	1,1r	20	2,0r	0,0r
10	1,0r	1,0r	-	-	-

Równanie niecki dynamicznej opisane jest w układzie współrzędnych  $Z_1, x$ . Uwagi powyższe odnoszą się także do pozostałych analizowanych wskaźników deformacji. Zatem uogólnioną wielkość  $Z_1(x)$  należy rozumieć jako:

$$Z_1(x) = \begin{cases} w(x) & \dots & i = 1 \\ u(x) & \dots & i = 2 \\ \varepsilon(x) & \dots & i = 3 \\ K(x) & \dots & i = 4 \\ T(x) & \dots & i = 5 \end{cases} \quad (2)$$

ześ uogólnione wielkości częstkowe:

$$z_1^I(s_1) = \begin{cases} w_1(s_1) = 0,5 W_{\max} \left[ \frac{s_1}{r} - \frac{1}{2} \sin \frac{\pi s_1}{r} \right] \dots & i = 1 \\ u_1(s_1) = 0,2 W_{\max} \left[ 1 - \cos \frac{\pi s_1}{r} \right] \dots & i = 2 \\ \xi_1(s_1) = -0,2 \pi W_{\max} r^{-1} \sin \frac{\pi s_1}{r} \dots & i = 3 \\ K_1(s_1) = \pi W_{\max} 2r^{-2} \sin \frac{\pi s_1}{r} \dots & i = 4 \\ T_1(s_1) = 0,5 W_{\max} r^{-1} \left[ 1 - \cos \frac{\pi s_1}{r} \right] \dots & i = 5 \end{cases} \quad (3)$$

$$z_1^{II}(s_1) = \begin{cases} w_2(s_2) = 0,5 W_{\max} \left[ \frac{s_2}{r} - \frac{1}{2} \sin \frac{\pi s_2}{r} \right] \dots & i = 1 \\ u_2(s_2) = -0,2 W_{\max} \left[ 1 - \cos \frac{\pi s_2}{r} \right] \dots & i = 2 \\ \xi_2(s_2) = -0,2 W_{\max} r^{-1} \sin \frac{\pi s_2}{r} \dots & i = 3 \\ K_2(s_2) = W_{\max} 2r^{-2} \sin \frac{\pi s_2}{r} \dots & i = 4 \\ T_2(s_2) = 0,5 W_{\max} r^{-1} \left[ 1 - \cos \frac{\pi s_2}{r} \right] \dots & i = 5 \end{cases} \quad (4)$$

gdzie:

$r$  - promień zasięgu wpływów górniczych,

$W_{\max}$  - maksymalna rzędna osiadań,

$s_1, s_2$  - odcięte punktu w układzie  $z_1^I$  i  $z_1^{II}$ .

Jak już wspomniano:

$$Z_1(x) = z_1^I(x) + z_1^{II}(x) \quad (5)$$

Uwzględniając przesunięcie układów  $z_1^I, s_1$  oraz  $z_1^{II}, s_2$  względem układu  $Z_1, x$ :

$$s_1 = 2r - x \quad (6)$$

$$s_2 = x - c \quad (7)$$

równania (3) i (4) można zapisać w następujący sposób:

$$\left. \begin{aligned} w_1(x) &= 0,5 w_{\max} \left[ \frac{2r-x}{r} - \frac{1}{\pi} \sin \frac{\pi(2r-x)}{r} \right] = \alpha_w \cdot \eta_1^3 \\ u_1(x) &= 0,2 w_{\max} \left[ 1 - \cos \frac{\pi(2r-x)}{r} \right] = \alpha_u \cdot \eta_2^3 \\ \varepsilon_1(x) &= -0,2 w_{\max} \pi r^{-1} \sin \frac{\pi(2r-x)}{r} = \alpha_\varepsilon \cdot \eta_3^3 \\ K_1(x) &= 2 w_{\max} r^{-2} \sin \frac{\pi(2r-x)}{r} = \alpha_K \cdot \eta_4^3 \\ T_1(x) &= 2 w_{\max} r^{-1} \left[ 1 - \cos \frac{\pi(2r-x)}{r} \right] = \alpha_T \cdot \eta_5^3 \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

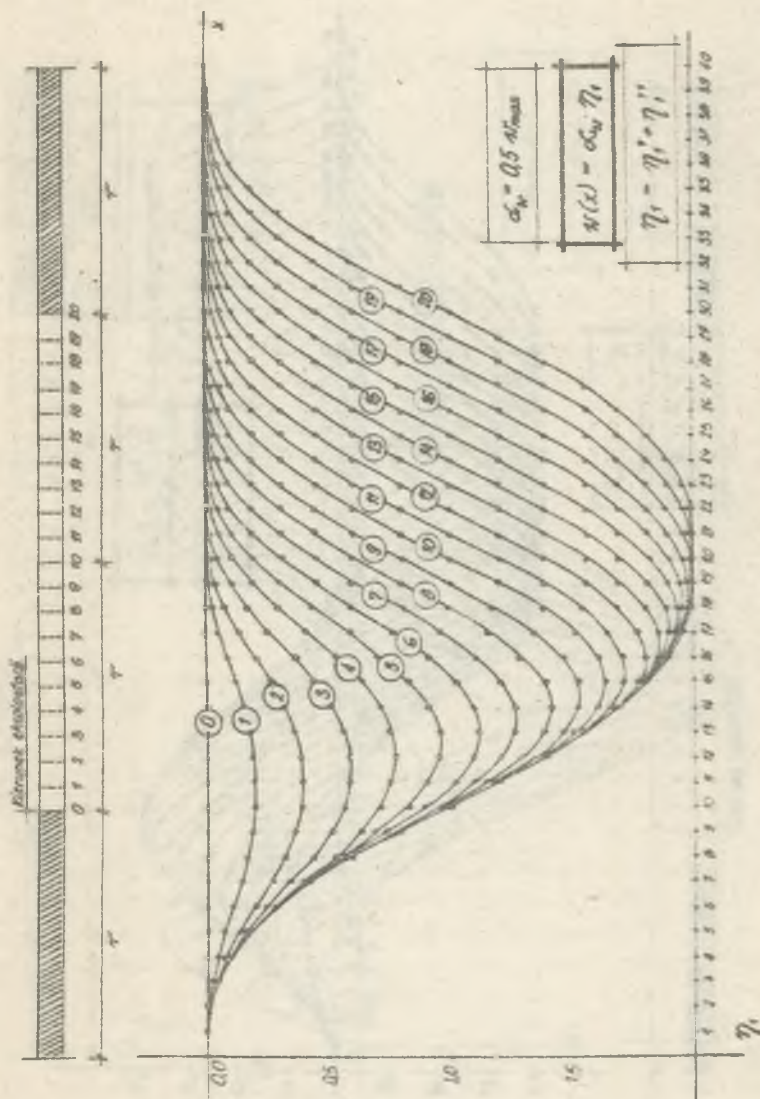
$$\left. \begin{aligned} w_2(x) &= 0,5 w_{\max} \left[ \frac{x-n\Delta x}{r} - \frac{1}{\pi} \sin \frac{\pi(x-n\Delta x)}{r} \right] = \alpha_w \cdot \eta_1'' \\ u_2(x) &= -0,2 w_{\max} \left[ 1 - \cos \frac{\pi(x-n\Delta x)}{r} \right] = \alpha_u \cdot \eta_2'' \\ \varepsilon_1(x) &= -0,2 w_{\max} \pi r^{-1} \sin \frac{\pi(x-n\Delta x)}{r} = \alpha_\varepsilon \cdot \eta_3'' \\ K_2(x) &= 2\pi w_{\max} r^{-2} \sin \frac{\pi(x-n\Delta x)}{r} = \alpha_K \cdot \eta_4'' \\ T_2(x) &= 2 w_{\max} r^{-1} \left[ 1 - \cos \frac{\pi(x-n\Delta x)}{r} \right] = \alpha_T \cdot \eta_5'' \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

Przypadki graniczne, a więc rozcięcie pokładu ( $n = 0$ ) i wybranie pola na odcinku  $c = 2r$  ( $n = 20$ ) przedstawiono w tabelicy 2.

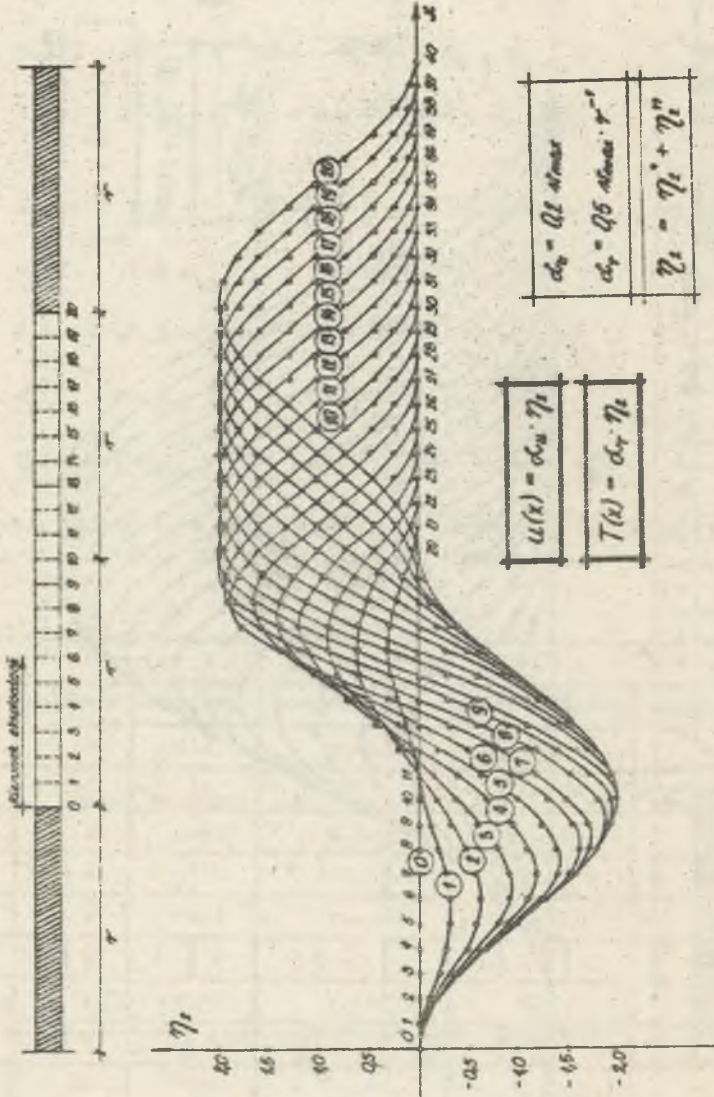
Tabela 2

n = 0						n = 20								
x=0	x=2r	x=0	x=2r	x=0	x=2r	x=0	x=2r	x=4r	x=0	x=2r	x=4r	x=0	x=2r	x=4r
$w_1(x)$		$w_2(x)$		$w(x)$		$w_1(x)$			$w_2(x)$			$w(x)$		
$w_{\max}$	0	0	$w_{\max}$	$w_{\max}$	$w_{\max}$	$w_{\max}$	0	-	-	0	$w_{\max}$	$w_{\max}$	0	$w_{\max}$
$u_1(x)$		$u_2(x)$		$u(x)$		$u_1(x)$			$u_2(x)$			$u(x)$		
0	0	0	0	0	0	0	0	-	-	0	0	0	0	0
$\varepsilon_1(x)$		$\varepsilon_2(x)$		$\varepsilon(x)$		$\varepsilon_1(x)$			$\varepsilon_2(x)$			$\varepsilon(x)$		
0	0	0	0	0	0	0	0	-	-	0	0	0	0	0
$K_1(x)$		$K_2(x)$		$K(x)$		$K_1(x)$			$K_2(x)$			$K(x)$		
c	0	0	0	0	0	0	0	-	-	0	0	0	0	0
$T_1(x)$		$T_2(x)$		$T(x)$		$T_1(x)$			$T_2(x)$			$T(x)$		
0	0	0	0	0	0	0	0	-	-	0	0	0	0	0



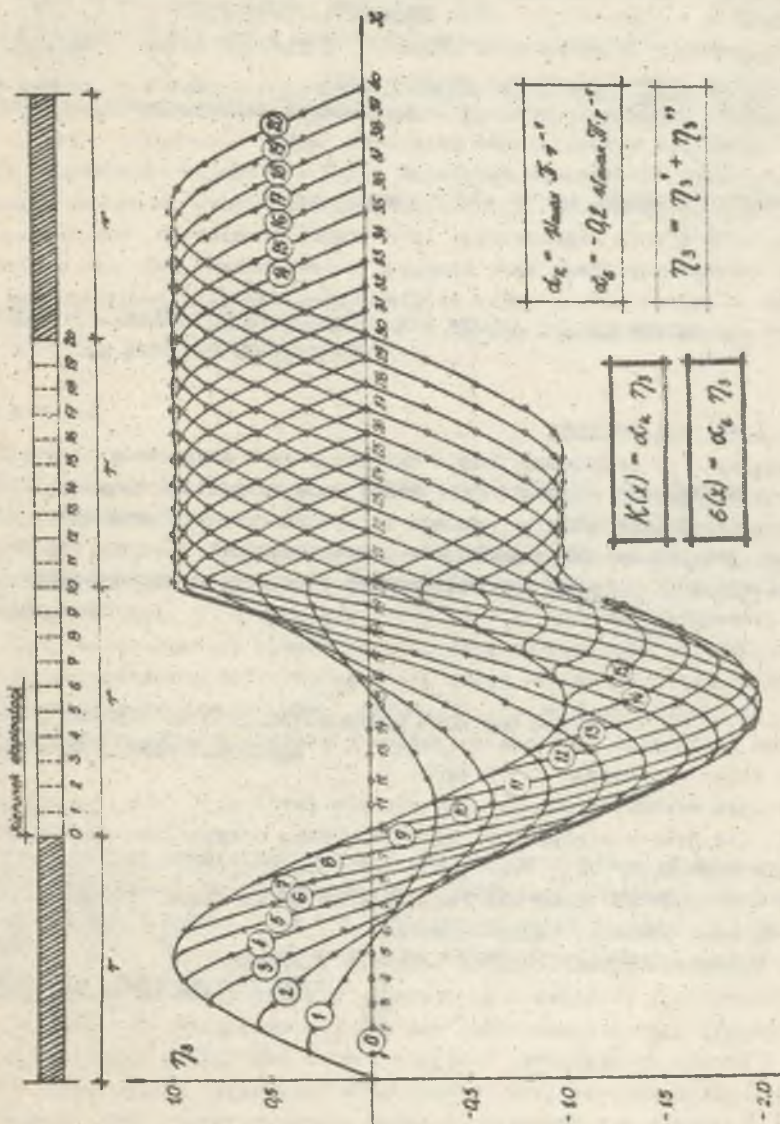


rys. 3. Przebieg rzędnych osiedlenia niecki  $w(x)$



Rys. 4. Przebieg przemieszczeń poziomych  $u(x)$  i nachyleń  $T(x)$





Rys. 5. Przebieg odkształceń poziomych  $\delta(x)$  i krzywizn pionowych  $\kappa(x)$

### 3. Przebiegi wartości wskaźników deformacji przy poszerzającej się strefie wyrobiska

Na podstawie przedstawionych w poprzednim rozdziale wzorów (8) i (9) przeprowadzono obliczenia wartości wskaźników deformacji przyjętego modelu obliczeniowego. Uzyskano pęk krzywych, z których każda odpowiada kolejnemu  $n$ -temu położeniu frontu eksploatacji.

I tak, rys. 3 przedstawia przebiegi rzędnych osiadania niecki  $w(x)$ , rys. 4 - przebiegi przemieszczeń poziomych  $u(x)$  i nachyleń  $T(x)$ , zaś rys. 5 przebiegi odkształceń poziomych  $\epsilon(x)$  i krzywizn pionowych  $K(x)$ . Każda z krzywych oznaczona jest numerem odpowiadającym numerowi opisującemu położenie frontu eksploatacji (stan robót górniczych wywołujący deformację zobrazowaną przez daną krzywą). Na rysunkach 3-5 nad wykresami zaznaczono w sposób schematyczny eksploatawany pokład i powiększającą się "ekokowo" pustkę poeksploatacyjną.

### 4. Uwagi i wnioski końcowe

wykresy przedstawione na rysunkach 3-5 mogą służyć do prostego wyznaczenia wskaźników deformacji, gdy znana jest szerokość pustki poeksploatacyjnej  $c$ . Wówczas z tabeli 1 dla znanego  $c$  należy odczytać z pierwszej kolumny odpowiadającą wartość  $n$ . To z kolei pozwoli na odszukanie krzywej oznaczonej numerem  $n$  i z niej, dla punktu  $w$  terenu opisanemu przez odciętą  $x$ , odczytać wartość interesującego nas wskaźnika. Postępowanie takie jest możliwe nie tylko dla tras obiektów przebiegających prostopadle do frontu eksploatacji. Istnieje bowiem możliwość wyznaczania wskaźników deformacji dla tras wytyczonych skośnie, przy uwzględnieniu odchylenia trasy we wzorach (3) i (4).

Analizując wykresy przebiegów wskaźników deformacji dla niecki przesuwającej się należy stwierdzić, że w przypadku odkształceń poziomych ( $x$ ) i krzywizn pionowych  $K(x)$  otrzymane wartości w przedziale  $1,4 r < x < 1,6 r$  i dla  $9 < n < 11$  są około dwa razy większe od wartości tychże wskaźników w przypadku niecki w pełni wykształconej. Ma to szczególnie duże znaczenie w przypadku zabezpieczania obiektów liniowych.

Przedstawiony w niniejszym opracowaniu problem zmian wartości wskaźników deformacji przy przesuwającym się froncie eksploatacji, został rozwiązany w sposób uproszczony. Przyjęto bowiem dwa założenia, które znacznie ułatwiają obliczenia lecz równocześnie sprawiają, że przyjęty model przebiegu zjawiska nie odpowiada w pełni rzeczywistości. Przy ścisłym rozwiązaniu problemu należałoby zatem przyjąć pełny zapis niecki osiadania oraz uwzględnić przesuwanie się frontu eksploatacji w sposób ciągły [2], [3].

## LITERATURA

- [1] Ochrona powierzchni przed uszkodzami górnictwymi, część I - praca zbiorowa, Wydawnictwo Śląsk, Katowice 1980.
- [2] Szustowicz A.: Zarys mechaniki górotworu. Wydawnictwo Śląsk, Katowice 1965.
- [3] Rosikoń A.: Budownictwo komunikacyjne na terenie objętych uszkodzami górnictwymi. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 1979.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Henryk Pierzchała

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКОГО ФОРМИРОВАНИЯ ВПАДИН С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ  
ПОТРЕБНОСТЕЙ ЛИНЕЙНЫХ СООРУЖЕНИЙ

## Резюме

В статье рассмотрен вопрос влияния горной разработки в начальной фазе эксплуатации стены, на линейные объекты. Дан анализ изменения основных показателей деформации окрестности от момента разрезки слоя к моменту полного оформления впадины. Дан также метод определения, на основе графиков, значений показателей деформации в зависимости от положения фронта эксплуатационных работ.

DYNAMIC FORMING OF DEPRESSION HUTCH FROM THE POINT  
OF VIEW OF LINEAR BUILDINGS

## Summary

A problem of excavation activity in the first stage of wall exploitation upon linear plants is considered. Most important deformation indices have been analysed starting from the bed cutting until forming of a depression hutch. A way of finding values of the deformation indices in the function of the place of a mining front.