

ZESZYTY NAUKOWE
POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ



GÓRNICtwo

Z. 39

25-LECIE
POLITECHNIKI
ŚLĄSKIEJ

GLIWICE 1969

SPIS TREŚCI

	Str.
I. Wstęp	3
II. Krótki zarys teorii	4
III. Metoda grafikonów kołowych	10
1. Opis metody	10
2. Przykłady konstrukcji grafikonów kołowych	13
IV. Badanie wpływu eksploatacji o różnych kształtach frontów na odkształcenia na powierzchni terenu, dla głębokości $H_1 = 535$ m ($b_1 = 0,675$)	20
V. Metoda grafikonów paskowych	26
VI. Badanie wpływu eksploatacji o różnych kształtach frontów na odkształcenia na powierzchni terenu, dla głębokości eksploatacji $H_2 = 307$ m i $H_3 = 194$ m	34
1. Głębokość eksploatacji $H_3 = 194$ m ($b_3 = 0,975$)	37
2. Głębokość eksploatacji $H_2 = 307$ m ($b_2 = 0,825$)	39
3. Analiza sposobu eksploatacji podanego przez Władysława Batkiewicza	40
VII. Rozważania ogólne na temat wpływu kształtu frontu eksploatacyjnego na rozkład i wielkość odkształceń	44
VIII. Możliwość zmniejszenia deformacji górotworu przez odpowiednie prowadzenie eksploatacji	47

POLITECHNIKA ŚLĄSKA

ZESZYTY NAUKOWE

Nr 250



GÓRNICtwo

ZESZYT TRZYDZIESTY DZIEWIĄTY

GLIWICE 1969

ANNALE UNIVERSITATIS
POLITECHNICAE GLIWICENSIS
REDAKTOR NACZELNY ZESZYTÓW NAUKOWYCH
POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ

Fryderyk Staub

REDAKTOR DZIAŁU

Jerzy Nawrocki

SEKRETARZ REDAKCJI

Witold Gużkowski

Dział Wydawnictw Politechniki Śląskiej
Gliwice, ul. M. Strzody 18

Nakł. 200+110 Ark. wyd. 3,58 Ark. druk. 4,75 Papier offsetowy kl. III, 70x100, 70 g
Oddano do druku 19. 4. 1969 Podpis. do druku 16. 9. 1969 Druk ukoń. w grudniu 1969
Zam 831 19. 4. 1969 O-22 Cena zł 4,50

Skład, fotokopie, druk i oprawę
wykonano w Zakładzie Graficznym Politechniki Śląskiej w Gliwicach

TADEUSZ KOCHMAŃSKI, JAN MAGDZIORZ
Katedra Zwalczenia Szkód Górniczych

ZMNIEJSZENIE ODKSZTAŁCEN PRZEZ KSZTAŁTOWANIE FRONTU EKSPLOATACJI GÓRNICZEJ

Streszczenie. W oparciu o teorię ruchów górotworu T. Kochmańskiego, przebadano możliwości zmniejszenia odkształceń względnych poziomych na powierzchni terenu, przez prowadzenie eksploatacji poziomo zalegającego złoża kopaliny użytecznej frontem odpowiednio ukształtowanym. Wykorzystano do tego metodę bardzo ułatwiającą obliczanie wskaźników deformacji (metoda grafikonów). Analizy przeprowadzone zostały dla trzech głębokości pokładu, a to: 193, 307 i 537 m. Uzyskano bardzo dobre rezultaty, mianowicie dla niektórych kształtów frontów eksploatacyjnych zmniejszenie odkształceń względnych poziomych jest przeszło trzykrotne, w stosunku do eksploatacji pokładu frontem prostoliniowym.

I. Wstęp

Teoretyczne rozważania oparte na teorii statystycznej T. Kochmańskiego - [1], wskazują na możliwość zmniejszenia deformacji górotworu przez eksploatację odpowiednio ukształtowaną. Fakt ten ma bardzo duże znaczenie przy prowadzeniu eksploatacji pod obiektami. W innych przypadkach, mając do czynienia z obiektami mniej czułymi, gdzie wahamy się, czy eksploatować na zawał (z możliwością pewnych uszkodzeń), czy na podsadzkę (co może być znowu zbyt ostrożne), problem może nam rozwiązać eksploatacja prowadzona frontem odpowiednio ukształtowanym lub też

eksploatacja poszczególnych płatów pokładu według z góry narzuconej kolejności.

Rozwiązanie w ten sposób powyższych problemów, powinno dać spore efekty ekonomiczne, a w niektórych przypadkach pozwolić na eksploatację tam, gdzie dotychczas było to niemożliwe. Precyzyjne rozwiązanie problemu wpływu kształtu eksploatacji i kolejności wybierania złoże na deformacje, stało się możliwe dopiero po zbudowaniu potrzebnego aparatu matematycznego i obliczeniowego. Katedra Zwalczania Szkód Górniczych Politechniki Śląskiej dysponuje już wstępnie odpowiednimi środkami i praca ta jest dalej kontynuowana.

W pracy niniejszej są przykłady zmniejszenia poziomych odkształceń górotworu na powierzchni, dla pokładów poziomo zalegających.

Obliczenia prowadzono dla parametru teorii: $b = 0,975, 0,825$ i $0,675$, co odpowiada głębokościom eksploatacji ok.: $H = 193$ m, 307 m i 537 m, obejmując w ten sposób szeroki zakres głębokości najczęściej spotykanych.

II. Krótki zarys teorii

Teoria T. Kochmańskiego opublikowana jest w pracy pt. "Obliczanie ruchów punktów górotworu pod wpływem eksploatacji górniczej" - [1]. Zrekapitulujemy najważniejsze idee tej teorii:

1. Jest to teoria statystyczno-całkowa, oparta na średnim oddziaływaniu elementu odbudowy, w danej odległości od badanego punktu. Ta jej cecha umożliwia, poprzez sumowanie wpływów poszczególnych elementów wybieranego złoże, uzyskanie wielkości wpływów dla dowolnego kształtu eksploatacji.

2. Teoria wyciąga wnioski na podstawie pomiarów ruchów górotworu pod wpływem eksploatacji. Uwzględnia się przy tym zarówno ruchy pionowe, ustalone przy pomocy niwelacji, jak i ruchy poziome - przy pomocy zmian odległości punktów lub zmiany współrzędnych punktów.

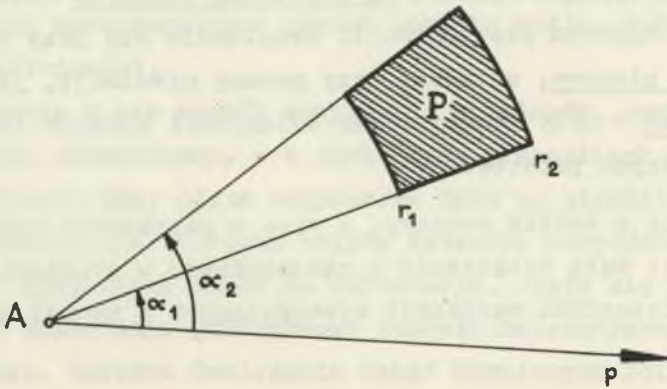
To oparcie o ścisłe pomiary, a więc o obiektywne fakty, zapewnia teorii dużą dokładność i niezawodność w granicach stwierdzonych obliczeniami wariancji występujących w teorii parametrów.

3. Teoria przyjmuje założenia bardzo proste, a mianowicie: że występuje w górotworze linia, wzdłuż której wpływy są największe, zwana "linią odniesienia" oraz że w pewnej odległości od linii odniesienia wpływy te są mniejsze. Zmniejszenie wpływów można zawsze wyrazić krzywą wykładniczą, o takiej ilości parametrów, ile to jest wystarczające dla osiągnięcia potrzebnej dokładności. Teoria przyjęła trzy parametry charakteryzujące tę krzywą, co okazało się zarówno konieczne jak i zupełnie wystarczające.

Dzięki powyższym trzem cechom, teoria ta odpowiada bardzo dokładnie temu co obserwujemy przy pomocy pomiarów i nigdy nie zdarzyło się, by wnioski osiągnięte na jej podstawie odbiegały w znaczny sposób od rzeczywistości.

Weźmy eksploatację o kształcie wycinka pierścienia kołowego i punkt A na powierzchni lub w głębi górotworu położony w środku okręgów, których częściami są łuki wycinka (rys. 1).

Promień pierwszego okręgu wycinka wynosi r_1 , drugiego zaś r_2 . Z punktu A prowadzimy poziomą oś p , w kierunku której chcemy obliczyć wskaźniki deformacji górotworu. Kąty mierzone od osi p do promieni ograniczających wycinek wynoszą α_1 i α_2 .



Rys. 1

Osiadanie oraz odkształcenie właściwe pionowe w punkcie A, są niezależne od kierunku osi p . Pozostałe natomiast wskaźniki deformacji górotworu (przesunięcie poziome, odkształcenie właściwe poziome, nachylenie, krzywizna pionowa, skręcenie w poziomie, krzywizna pozioma), są w ścisłym związku z kierunkiem osi p , zależą zatem od kątów α_1 i α_2 .

W niniejszej pracy korzystano z wzorów na następujące wskaźniki deformacji górotworu:

a) Przesunięcie poziome

$$u = -ag r_0 \frac{db}{dz} \Delta \psi \Delta \frac{\sin \alpha}{2\pi}, \quad (1)$$

gdzie: z jest współrzędną pionową, przy czym $z = 0$ przyjmujemy teoretycznie w stropie pokładu; b i r_0 są parametrami teorii; $\Delta \sin \alpha = \sin \alpha_2 - \sin \alpha_1$; $\Delta \psi = \psi(\varrho_2) - \psi(\varrho_1)$, gdzie funkcja $\psi(\varrho)$ jest określona poniżej wzorem (4), natomiast:

$$\varrho_2 = \frac{r_2}{r_0}, \quad \varrho_1 = \frac{r_1}{r_0}.$$

b) Odkształcenie względne (właściwe) pionowe

$$\varepsilon_z = -ag \frac{db}{dz} \Delta\lambda \Delta \frac{\alpha}{2\pi} \quad (2)$$

gdzie: $\Delta\lambda = \lambda(\varrho_2) - \lambda(\varrho_1)$, przy czym funkcja λ jest określona poniżej wzorem (5), natomiast: $\Delta\alpha = \alpha_2 - \alpha_1$.

c) Odkształcenie względne poziome

$$\varepsilon_p = ag \frac{db}{dz} \Delta\mu' \Delta \frac{\alpha}{2\pi} - ag \frac{db}{dz} \Delta\mu' \Delta \frac{\alpha + \frac{1}{2} \sin 2\alpha}{2\pi} \quad (3)$$

gdzie: $\Delta\mu = \mu(\varrho_2) - \mu(\varrho_1)$, $\Delta\mu' = \mu'(\varrho_2) - \mu'(\varrho_1)$, przy czym funkcje μ i μ' będą omówione poniżej.

Wzór (1) jest uogólnieniem wzoru na przesunięcie poziome, zamieszczonego w wymienionej publikacji T. Kochmańskiego (wzór 61 na str. 31). Można przy jego pomocy obliczyć składową przesunięcia w dowolnym kierunku względem pola eksploatacyjnego, podczas gdy tamten dawał przesunięcie tylko do środka eksploatacji.

Uwaga. W naszym wzorze (1) funkcja:

$$\psi(b, \varrho) = \int_0^{\varrho} \frac{\partial \varphi(b, \sigma)}{\partial b} d\sigma \quad (4)$$

we wzorze (2) funkcja:

$$\lambda'(b, \varrho) = \frac{\partial \varphi(b, \varrho)}{\partial b} \quad (5)$$

Ta pewna modyfikacja we wzorach (1) i (2) ma na celu wyraźniejszy i wygodniejszy zapis matematyczny wzorów na wskaźniki deformacji górotworu, co zobaczymy dalej.

Wyprowadzenie wzoru (3) nie było dotychczas publikowane. Zostanie to zrobione w przygotowywanej w Katedrze Zwalczenia Szkód Górniczych następnej publikacji. W publikacji tej projektuje się podanie również pewnego wyciągu z tablic funkcji:

ψ, λ, μ, μ'

W powyższych wzorach pozostałe symbole oznaczają:

- a - współczynnik eksploatacyjny, zależny od sposobu wybierania i stosowanej podsadzki,
- g - średnia grubość wybieranego pokładu,
- $b = b(H, z)$ - parametr teorii, zależny w głównej mierze od głębokości eksploatacji (H , w metrach) i od wysokości punktu nad pokładem (z). Dla powierzchni górnotworu można wyznaczyć go z tymczasowych wzorów empirycznych:

$$\begin{aligned} b(H) &= 2,69 - 0,75 \lg H, \quad \text{dla } H < 400 \text{ m,} \\ b(H) &= 2,04 - 0,50 \lg H, \quad \text{dla } H \geq 400 \text{ m,} \end{aligned} \quad (6)$$

$r_0 = r_0(H, z)$ - parametr teorii - tzw. parametr poziomego oddziaływania - którego wielkość zależy w głównej mierze od składu litologicznego warstw górnotworu nad wybieranym pokładem, a także od głębokości H i wysokości nad stropem pokładu z .

$\frac{db}{dz}$ - pochodna, którą można obliczyć mając przebieg parametru $b = b(H, z)$ w górnotworze (dla $H = \text{constans}$ dla danego pokładu).

Do naszych rozważań przyjmiemy empiryczny wzór na powyższą pochodną, obowiązujący dla powierzchni górnotworu:

$$\frac{db}{dz} = \frac{-c}{H} \quad (7)$$

gdzie: C oznacza współczynnik nieznacznie zależny od głębokości eksploatacji. Mianowicie nieco maleje on od wielkości przeciętnej 1,2 do wielkości przeciętnej 0,6.

ψ, χ, μ, μ' - są to tzw. funkcje radialne, zależne przy danym r_0 od parametru b i promienia

$$\varrho = \frac{r}{r_0}, \quad (8)$$

w jednostkach bezwymiarowych. Możemy zatem napisać ogólnie, że funkcje radialna:

$$R = R(b, \varrho). \quad (9)$$

W naszych wzorach potrzebny jest przyrost funkcji radialnej

$$\Delta R = R(b, \varrho_2) - R(b, \varrho_1). \quad (10)$$

$\frac{\alpha}{2\pi}, \frac{\sin \alpha}{2\pi}, \frac{\alpha + \frac{1}{2} \sin 2\alpha}{2\pi}$ - są to tzw. funkcje katowe, zależne

od kąta α .

Oznaczmy je ogólnie:

$$K = K(\alpha). \quad (11)$$

Przyrost funkcji katowej będzie:

$$\Delta K = K(\alpha_2) - K(\alpha_1). \quad (12)$$

Dowolny wskaźnik deformacji górotworu D , możemy zatem zapisać ogólnym wzorem:

$$D(a, g, b, r_0, P) = \sum_{i=1}^n W_i(a, g, b, r_0) \Delta R_i(b, \varrho) \Delta K_i(\varrho), \quad (13)$$

gdzie:

W_i - odpowiedni współczynnik,

ΔR_i - przyrost funkcji radialnej = $R_i(\varrho_2) - R_i(\varrho_1)$,

ΔK_i - przyrost funkcji kątowej = $K_i(\varrho_2) - K_i(\varrho_1)$.

Wskaźnik deformacji wyrażony wzorem (13), jest - ogólnie biorąc - sumą kilku składników. Każdy z tych składników jest iloczynem trzech wielkości. W naszych wzorach (1) i (2), będziemy mieć do czynienia z jednym składnikiem ($n = 1$), zaś we wzorze (3) - z dwoma składnikami ($n = 2$).

Wzór (13) odnosi się do eksploatacji w kształcie wycinka pierścienia kołowego. Mając jakąś dowolną eksploatację, należy do obliczeń zamienić ją na równoważny wycinek pierścienia kołowego lub na sumę kilku wycinków pierścieni kołowych. W tym drugim przypadku deformacja, pod wpływem całej eksploatacji, będzie sumą deformacji pod wpływem poszczególnych wycinków pierścieni kołowych (zgodnie z prawem superpozycji).

III. Metoda grafikonów kołowych

III.1. Opis metody

Zmiana danej eksploatacji na kilka wycinków pierścieni kołowych jest pracochłonna i niewygodna, a ponadto narażeni jesteśmy na pomyłki. Również zamiana danego pola na równoważny pod względem działania wycinek pierścienia kołowego jest niedokładna.

Zadanie to możemy rozwiązać w inny sposób. Możemy mianowicie podzielić płaszczyznę wokół jakiegoś punktu (np. punktu A), na małe wycinki pierścieni kołowych w ten sposób, aby wpływ każdego z nich na określoną deformację w punkcie A (lub część tej deformacji wynikającą ze wzoru 13), był jednakowy co do bezwzględnej wartości. Te małe wycinki pierścieni kołowych nazwijmy polami jednostkowymi. Przyrost funkcji radialnej dla pola jednostkowego oznaczmy przez δR , zaś przyrost funkcji kątowej - przez δK .

Można w ten sposób podzielić płaszczyznę na pola jednostkowe, że np.:

$$\delta R = \text{constans} \quad (14)$$

$$\text{ i } \quad \delta K = \text{constans}, \quad (15)$$

a co za tym idzie:

$$\delta R \delta K = \text{constans}. \quad (16)$$

Ogólnie lepszym jednak podziałem jest podział na takie wycinki pierścieni kołowych, że:

$$(m \delta R) \left(\frac{1}{m} \delta K \right) = \text{constans},$$

lub

$$\left(\frac{1}{m} \delta R \right) (m \delta K) = \text{constans}, \quad (17)$$

gdzie:

k - jest całkowitym współczynnikiem wielokrotności - najlepiej parzystym.

Stosując powyższe operacje (wzory 17), możliwe jest zbudowanie pól jednostkowych o kształcie zbliżonym do kwadratu lub

dla pól wokół centrum grafikonu - o kształcie zbliżonym do trójkąta równobocznego. Tak skonstruowany grafikon jest bardzo wygodny przy liczeniu.

Podziału płaszczyzny na pola jednostkowe dokonujemy na kalce technicznej lub innym przezroczystym materiale rysunkowym, otrzymując tzw. grafikon kołowy. Nazwa grafikon mówi nam, że mamy do czynienia z graficznym przedstawieniem wpływów. Funkcje wpływów eksploatacji są całkami, stąd metoda grafikonów jest w przybliżeniu metodą "graficznego całkowania".

Centrum grafikonu jest środkiem kół grafikonu. Przykładamy centrum na punkt, dla którego chcemy przeprowadzić obliczenia i zwracamy oś grafikonu (jeżeli grafikon posiada oś), w kierunku, dla którego chcemy obliczyć deformację. Teraz obliczamy ilość jednostkowych pól mieszczących się w powierzchni eksploatacji. Tam, gdzie eksploatacja zajmuje tylko część pola, uwzględniamy tę część, z dokładnością np. do jednej dziesiątej. Ostateczna więc ilość pól będzie liczbą ułamkową (np. 26,4).

Grafikony budujemy dla każdego z członów danego wzoru na wskaźnik deformacji. Ogólnie wskaźnik deformacji górotworu będzie się przedstawiał wzorem:

$$D = \sum_{i=1}^n W_i \sigma_{R_i} \sigma_{K_i} j_i, \quad (18)$$

gdzie j_i jest ilością pól danego grafikonu mieszczących się w powierzchni eksploatacji o ile znaki deformacji są te same lub $j_i = (j_i)_2 - (j_i)_1$, o ile znaki deformacji dla poszczególnych pól jednostkowych są różne.

Jeżeli wzór (18) składa się z kilku części (a więc dla wskaźnika $i > 1$), wtedy wygodnie jest, aby dla poszczególnych części zachodził związek:

$$\sigma_{R_1} \sigma_{K_1} = \sigma_{R_1} \sigma_{K_1} = \sigma_{R_2} \sigma_{K_2} = \dots = \sigma_{R\sigma K} = \text{const.} \quad (19)$$

Upraszczamy w ten sposób obliczenie, ponieważ $\sigma_{R\sigma K}$ możemy wyciągnąć przed znak sumy.

Metoda grafikonów kołowych jest metodą uniwersalną. Może mieć zastosowanie przy liczeniu dowolnych całek powierzchniowych. Musimy tylko mieć dane tablice funkcji radialnych i kątowych względnie ich wykresy. Jest szczególnie wygodna w przypadku skomplikowanej postaci matematycznej tychże funkcji lub gdy można obliczyć ich wartość jedynie w sposób numeryczny. Może również znaleźć zastosowanie tam, gdzie przebieg zmienności funkcji ustalamy w sposób empiryczny.

III.2. Przykłady konstrukcji grafikonów kołowych

Zbudujemy grafikonu dla odkształceń względnych pionowych i przesunięć poziomych, dla parametrów: $b = 1,05$, $r_0 = 50$ m, $a_g = 1$ m i skali mapy, na której mamy naniesioną eksploatację: 1:5000.

1. Wzór na odkształcenie względne pionowe w ujęciu metody grafikonów przedstawia się następująco:

$$\epsilon_z = - a_g \frac{db}{dz} \sigma_{\chi} \sigma_{\frac{\alpha}{2\pi}} f', \quad (20)$$

gdzie:

$\frac{db}{dz} = \frac{-1,2}{H}$ - wzór empiryczny na pochodną, przyjmowany w ekspertyzach,

σ_{χ} - przyrost funkcji radialnej dla pola jednostkowego,

$\sigma_{\frac{\alpha}{2\pi}}$ - przyrost funkcji kątowej dla pola jednostkowego,

f' - ilość pól jednostkowych mieszczących się w polu eksploatacyjnym.

Odształcenie względne pionowe spowodowane eksploatacją pola jednostkowego będzie wynosić:

$$(\varepsilon_z)_c = - \operatorname{ag} \cdot \frac{db}{dz} \delta \lambda \delta \frac{\alpha}{2\pi}. \quad (21)$$

Możemy więc napisać, że odształcenie:

$$\varepsilon_z = (\varepsilon_z)_c f'. \quad (22)$$

Wykres funkcji radialnej λ' uwidoczniiony jest na rys. 2. Widzimy, że funkcja najpierw rośnie od zera do swej maksymalnej wartości $\lambda'_{\max}(\varrho_m)$, a później maleje do zera. Tę maksymalną wartość λ'_{\max} , podzielmy na pewną ilość równych części. U nas podzieliliśmy na pięć części (linie poziome ciągłe). Niektóre części podzielono jeszcze na połowę (na rys. 2: linie przerywane). Teraz na osi ϱ odczytamy wartości promieni kół w jednostkach bezwymiaryowych.

Grafikon konstruujemy dla danego parametru r_0 i danej skali mapy. Parametr r_0 w skali mapy oznaczymy przez r'_0 . Zatem:

$$r'_0 = \frac{r_0}{M} [\text{cm}], \quad (23)$$

gdzie:

r_0 - parametr teorii w cm,

M - mianownik skali mapy.

Promienie kół grafikonu skonstruowanego dla mapy w skali 1:M będą wynosić:

$$r'_i = r'_0 \varrho_i, \quad (24)$$



Rys. 2. Wykres funkcji radialnej χ'

gdzie:

r'_i - promienie kół grafikonu w centymetrach,

ρ_i - promienie kół grafikonu w jednostkach bezwymiarowych,

i - kolejny numer promienia.

Przyrost funkcji radialnej będzie najpierw dodatni (rys. 2), a później ujemny (po przekroczeniu maksymalnej wartości funkcji). Zaznaczymy to na grafikonie, rysując pola poza r'_m liniami przerywanymi (rys. 3). Jeżeli eksploatacja będzie obejmowała te pola, wtedy ilość pól będziemy brać ze znakiem ujemnym.

Kąt między promieniami grafikonu przyjęto równy 10° , a więc:

$$\sigma \frac{\alpha}{2\pi} = \sigma \frac{\alpha^\circ}{360^\circ} = \frac{10^\circ}{360^\circ}.$$

Obliczmy odkształcenie jednostkowe dla naszego grafikonu (rys. 3), dla $ag = 1$ metr. Przyrosty funkcji wynoszą:

$$\delta\lambda = \frac{1}{5} \lambda'_{\max} = \frac{0,857}{5},$$

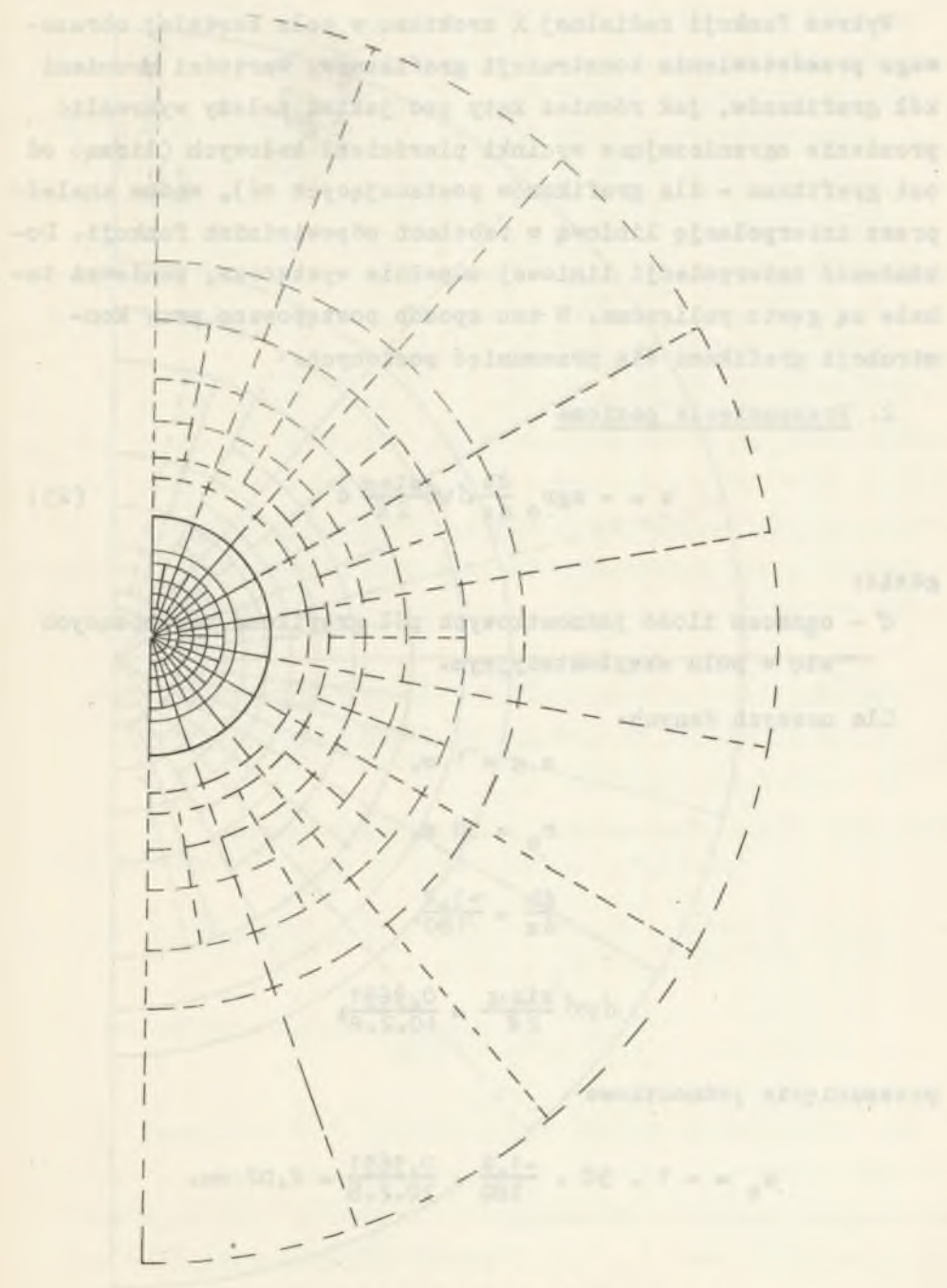
$$\sigma \frac{\alpha}{2\pi} = \frac{10}{360}.$$

Przyjęty przez nas parametr $b = 1,05$, odpowiada głębokości eksploatacji ok. $H = 180$ m (wg wzorów 6). Pochodna

$$\frac{db}{dz} = \frac{-1,2}{180}.$$

Odkształcenie jednostkowe pionowe:

$$(\varepsilon_z)_c = -1 \cdot \frac{-1,2}{180} \cdot \frac{0,857}{5} \cdot \frac{10}{360} = 0,0317\%.$$



Rys. 3. Grafikon odkształceń pionowych

Wykres funkcji radialnej χ' zrobiono w celu bardziej obrazowego przedstawienia konstrukcji grafikonów. Wartości promieni kół grafikonów, jak również kąty pod jakimi należy wykreślić promienie ograniczające wycinki pierścieni kołowych (licząc od osi grafikonu - dla grafikonów posiadających oś), można znaleźć przez interpolację liniową w tabelach odpowiednich funkcji. Dokładność interpolacji liniowej zupełnie wystarcza, ponieważ tabele są gęsto policzone. W ten sposób postępowano przy konstrukcji grafikonu dla przesunięć poziomych.

2. Przesunięcie poziome

$$u = - \operatorname{sgn} r_0 \frac{db}{dz} \delta \psi \delta \frac{\sin \alpha}{2\pi} d', \quad (25)$$

gdzie:

d' - oznacza ilość jednostkowych pól grafikonu mieszczących się w polu eksploatacyjnym.

Dla naszych danych:

$$a g = 1 \text{ m},$$

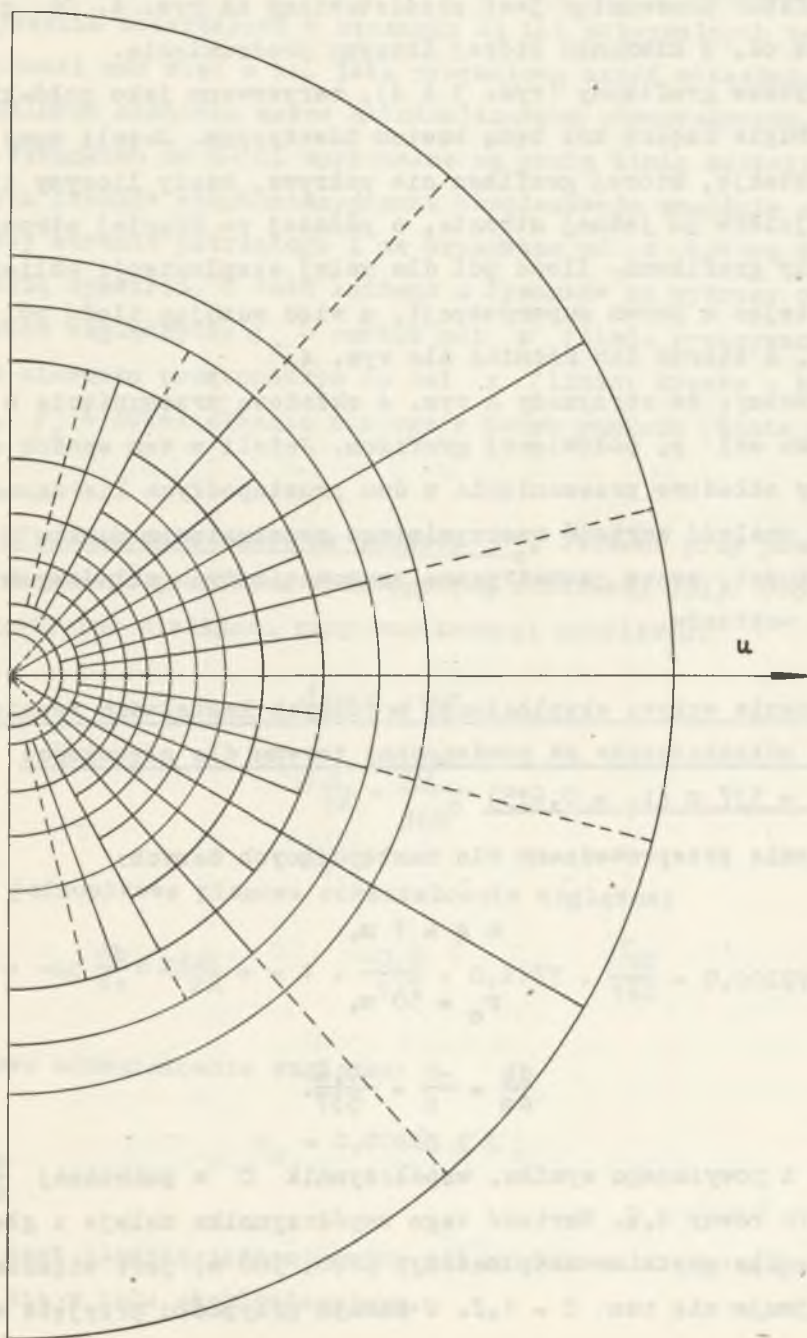
$$r_0 = 50 \text{ m},$$

$$\frac{db}{dz} = \frac{-1,2}{180},$$

$$\delta \psi \delta \frac{\sin \alpha}{2\pi} = \frac{0,9691}{10,2,8},$$

przesunięcie jednostkowe

$$u_c = - 1 \cdot 50 \cdot \frac{-1,2}{180} \cdot \frac{0,9691}{10,2,8} = 2,02 \text{ mm}.$$



Rys. 4. Grafikon przesunięć

Grafikon przesunięć jest przedstawiony na rys. 4. Oś p oznacza oś, w kierunku której liczymy przesunięcia.

Powyższe grafikony (rys. 3 i 4), narysowano jako połówki kół. Drugie części kół będą bowiem identyczne. Jeżeli mamy eksploatację, której grafikon nie pokrywa, wtedy liczymy ilość pól najpierw po jednej stronie, a później po drugiej stronie średnicy grafikonu. Ilość pól dla całej eksploatacji obliczymy korzystając z prawa superpozycji, a więc sumując ilość pól dla rys. 3, a biorąc ich różnicę dla rys. 4.

Zauważmy, że otrzymamy z rys. 4 składową przesunięcia w kierunku osi p , połowiącej grafikon. Jeżeli w ten sposób obliczymy składowe przesunięcia w dwu prostopadłych kierunkach, możemy znaleźć wartość rzeczywistego przesunięcia punktu i jego kierunek, przez geometryczne zsumowanie tych składowych jako dwu wektorów.

IV. Badanie wpływu eksploatacji o różnych kształtach frontów na odkształcenia na powierzchni terenu dla głębokości

$$\underline{H_1 = 537 \text{ m} \quad (b_1 = 0,675)}$$

Obliczenia przeprowadzono dla następujących danych:

$$a \quad g = 1 \text{ m},$$

$$r_0 = 50 \text{ m},$$

$$\frac{db}{dz} = \frac{-C}{H} = \frac{-0,6}{537}.$$

Jak z powyższego wynika, współczynnik C w pochodnej $\frac{db}{dz}$ przyjęto równy 0,6. Wartość tego współczynnika maleje z głębokością. Dla płytkich eksploatacji (200, 300 m) jest większa i przyjmuje się tam $C = 1,2$. W naszym przypadku przyjęta war-

tość współczynnika C nie ma znaczenia, ponieważ badamy zmniejszenie odkształceń w stosunku do ich maksymalnych wartości. Chodzi nam więc o to, jaką procentową część odkształceń maksymalnych stanowią nasze zminimalizowane odkształcenia.

Na rysunkach od 5-10, wyrysowane są grubą linią kształty badanych frontów eksploatacyjnych. Eksploatacja znajduje się po lewej stronie patrzącego i ma wrysowaną oś x będącą dla niej osią symetrii. U dołu każdego z rysunków są wykresy odkształceń względnych: ε_x - wzdłuż osi x (linia przerywana), ε_y - w kierunku prostopadłym do osi x (linia: kreska - kropka) i ε_z - odkształcenie pionowe w danym punkcie (linia ciągła).

1. Odkształcenia względne pionowe ε_z , liczone przy pomocy skonstruowanego grafikonu kołowego (wg rozdziału III). Oto charakterystyczne wielkości przy konstrukcji grafikonu:

$$\delta\lambda' = 0,2157,$$

$$\delta \frac{\alpha}{2\pi} = \frac{10^\circ}{360^\circ}.$$

A więc jednostkowe pionowe odkształcenie względne:

$$(\varepsilon_z)_c = -ag \frac{db}{dz} \delta\lambda' \delta \frac{\alpha}{2\pi} = -1 \cdot \frac{-0,6}{537} \cdot 0,2157 \cdot \frac{10}{360} = 0,00669\%,$$

a pionowe odkształcenie względne:

$$\varepsilon_z = 0,00669 f' \%,$$

gdzie:

f' - jest ilością jednostkowych pól grafikonu mieszczących się w polu eksploatacyjnym.

Obliczone dla poszczególnych kształtów eksploatacji odkształcenia naniesione są na rysunki (od 5-10).

2. Odkształcenia względne poziome ε_x , liczone w sposób pośredni z przesunięć poziomych. Nie był wtedy bowiem znany wzór (3). Ponieważ odkształcenia właściwe poziome są pochodnymi przesunięć - korzystano ze wzoru:

$$\varepsilon_x = \frac{du(x)}{dx}.$$

Do tego celu należało policzyć przesunięcia punktów znajdujących się na osi x . Do liczenia przesunięć posłużono się grafikonem przesunięć, dla którego:

$$\delta\psi = 0,3\pi,$$

$$\delta \frac{\sin\alpha}{2\pi} = \frac{1}{16.2},$$

a więc przesunięcie poziome

$$\begin{aligned} u &= -ag r_o \frac{db}{dz} \delta\psi \delta \frac{\sin\alpha}{2\pi} d' = \\ &= -1.50 \cdot \frac{-0,6}{537} \cdot 0,3 \cdot \pi \cdot \frac{1}{16.2} \cdot d' = 0,000 523 d' \text{ [m]} = \\ &= 0,523 d' \text{ [mm]}, \end{aligned}$$

gdzie:

d' - jest ilością pól grafikonu mieszczących się w eksploatacji.

Grafikonów ε_z i u ze względu na duże rozmiary nie zamieszczono w pracy.

Wykresy przesunięć są naniesione na rysunkach (od 5-10). ε_x odczytano z wykresów przesunięć (jako tangens nachylenia stycznej w danym punkcie). Obok wykresów przesunięć są wrysowane nachylenia odpowiadające odkształceniom równemu 1%.

Ostatnie odkształcenie - ε_y - obliczono ze związku, że suma odkształceń względnych w trzech wzajemnie prostopadłych kierunkach jest równa zeru. Założenie to jest słuszne przy założeniu, że nie następuje zmiana objętości elementu górotworu. Podkreślimy, że założenie to dość dobrze sprawdza się dla nieckii końcowej po długim okresie czasu od wykonania eksploatacji. Ostatnie przeliczenia wskazują jednak, że dla niecek dynamicznych (w czasie eksploatacji), założenia takiego nie można przyjąć jako przybliżonego. Jednakże to skomplikowane zagadnienie o podstawowym znaczeniu dla mechaniki górotworu jest dopiero w trakcie opracowywania, przy czym przytoczone w tej pracy wzory dla odkształceń względnych są koniecznym warunkiem dla jego rozwiązania. A więc zakładamy że:

$$\varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z = 0, \quad (26)$$

z tego

$$\varepsilon_y = -\varepsilon_x - \varepsilon_z.$$

Na każdym z rysunków od 5-10 (po prawej stronie), podano maksymalne deformacje u i ε_x , dla eksploatacji tzw. nieukończonyj półpłaszczyzny, oraz ε_z dla eksploatacji tzw. koła niebezpiecznego (przy $\sigma_i = \sigma_m$). Są to:

$$u_{\max} = -\sigma g r_0 \frac{db}{dz} \cdot \psi'_{\max} = 537 \text{ mm},$$

$$(\varepsilon_z)_{\max} = \pm \operatorname{sg} \frac{db}{dz} \chi_{\max} = \pm 2,41 \text{‰},$$

$$(\varepsilon_x)_{\max} \approx 0,4(\varepsilon_z)_{\max} = \pm 0,96 \text{‰}.$$

Wymienione wyżej rysunki pokazują różne możliwości, z których można znaleźć najkorzystniejszą dla obiektu na powierzchni kombinację frontu eksploatacji.

Na rysunku 5 przyjęto wycinek pierścienia kołowego jako powierzchnię eksploatacji, dla promienia sięgającego od wartości r_m (w bezwymiarowych wielkościach ρ_m), do nieskończoności. Przypadek ten okazał się jednak niezbyt korzystny, ponieważ odkształcenia właściwe poziome rozciągające dochodziły do 1%.

W rysunku 6 przyjęto powyżej odległości r_m , równoległy do siebie przebieg brzegów eksploatacji. Szerokość eksploatacji wynosi tutaj 396 m. Wynik jest już dużo lepszy - front ten daje bowiem 0,6% odkształceń rozciągających.

Rysunek 7 przyjmuje "wypustkę" eksploatacji wychodzącą poza front pełnej eksploatacji, jak to widać na rysunku. Odkształcenia właściwe rozciągające są większe od poprzedniego przypadku - maksymalne wynoszą tu 0,85%.

Pozostałe trzy następane przypadki (rys. 8, 9 i 10), można traktować łącznie. Mają one tę samą szerokość eksploatacji: $2 r_m = 560$ m. Wskutek tego mogą być na siebie nakładane (wykresy zrobić można na kalce) i przez odejmowanie wpływów - wynikające z prawa superpozycji - można otrzymać natychmiast dane dla konkretnych eksploatacji nie idących do nieskończoności.

Na rysunku 8 otrzymano maksymalne rozciągające odkształcenia względne poziome 0,75%, na rys. 9 - analogicznie: 0,65%, a na rys. 10 : 0,50%.

Bardzo często mamy do czynienia z eksploatacją wewnątrz filarów ochronnych, przy czym już wiele eksploatacji wykonano na zewnątrz od tych filarów, więc obiekty powierzchniowe doznały już znacznych rozciągających odkształceń poziomych. Z tego wynika, że są one szczególnie wrażliwe na dalsze rozciągania, natomiast mało wrażliwe na ściskania. A więc zależy nam na zminimalizowaniu głównie odkształceń rozciągających.

Toteż pod tym kątem widzenia rozpatrywano powyższe kształty eksploatacji. Widzimy, że najlepszą jest eksploatacja pokazana na rysunku 10. Maksymalne odkształcenie rozciągające w poziomie wynosi tutaj zaledwie 0,50%. Przy tym szerokość tej eksploatacji wynosi $2 r_m$, co w przybliżeniu odpowiada szerokości filarów ochronnych.

Obliczmy jakie procentowe zmniejszenie odkształceń daje nam ta eksploatacja w stosunku do nieskończonej półpłaszczyzny. Będziemy mieli: $\frac{0,50}{0,96} \approx 0,52$, a więc dostajemy zmniejszenie odkształceń o 48%.

Przy porównaniu z eksploatacją na rys. 8: $\frac{0,50}{0,75} \approx 0,67$. Tutaj dostajemy zmniejszenie o 33%. To drugie porównanie jest istotniejsze. Mamy bowiem dwa pasy eksploatacji o tej samej szerokości ($2 r_m$), których czoła są różnego kształtu: jedno jest odcinkiem prostym (rys. 8), natomiast drugie stanowi wklęsły front (rys. 10).

Jeżeli obrócimy nasze rysunki (rys. 5-10), o 180° , wtedy wykresy odkształceń obowiązują dla eksploatacji stanowiących dopełnienie do całej płaszczyzny eksploatacji pierwotnych. Oczywiście - odkształcenia, które były uprzednio dodatnie teraz będą ujemne i odwrotnie. A więc nad osią - odkształcenia dodatnie, a pod osią - ujemne.

Jeżeli natomiast chcemy rozpatrywać eksploatację w kształcie pasa o tej samej szerokości, ale o czole eksploatacji, które jest dopełnieniem czoła przed obrotem rysunku - wtedy obowiązują tylko wykresy dla odkształceń ε_x . Kombinacje takie mogą być robione z rysunkami od 6-10.

V. Metoda grafikonów paskowych

Badanie wpływu różnych frontów eksploatacyjnych na odkształcenia poziome, dla głębokości $H_2 = 307$ m i $H_3 = 194$ m (czyli dla parametrów $b_2 = 0,825$ i $b_3 = 0,975$), przeprowadzono przy pomocy innej, bardziej przejrzystej metody. Pokażemy teraz cały tok postępowania.

Odształcenia względne poziome liczono tu wzorem (3). Nie było więc konieczności liczenia najpierw przesunięć, a z nich odkształceń.

Obliczenia przeprowadzono dla $a g = 1$ m i pochodnej $\frac{db}{dz} = \frac{-1,2}{H}$. W tabelicy 1 i 5 podane są wartości funkcji radialnych $\mu' i \mu''$, dla interesujących nas parametrów b . Maksymalne wartości $\mu' i \mu''$ dla tego samego b są jednakowe. Przy konstrukcji grafikonów przyjęto zasadę podziału maksymalnych wartości funkcji radialnych i kątowych na 20 części. Napiszmy wzory na odkształcenia:

Dla

$$\underline{b_2 = 0,825:}$$

$$\frac{db}{dz} = \frac{-1,2}{307}$$

$$\delta \mu' = \delta \mu'' = \delta R = \frac{1}{20} \cdot 2,725,$$

$$\delta \frac{\alpha}{2\pi} = \delta \frac{\alpha + \frac{1}{2} \sin 2\alpha}{2\pi} = \delta K = \frac{1}{20} \cdot \frac{1}{2} \frac{\pi}{\pi} = \frac{1}{80}.$$

Tablica 1

Funkcja μ' i μ'' dla $b = 0,825$

ϱ	$10^3\mu'$	$10^3\mu''$	ϱ	$10^3\mu'$	$10^3\mu''$
1	2	3	4	5	6
0,0	0	0	3,8	1833	1139
0,1	5	0	4,0	1904	1222
0,2	19	1	4,2	1970	1303
0,3	42	2	4,4	2031	1381
0,4	72	6	4,6	2088	1458
0,5	108	11	4,8	2141	1531
0,6	149	18	5,0	2190	1602
0,7	194	28	5,2	2235	1670
0,8	242	35	5,4	2277	1735
0,9	293	47	5,6	2315	1797
1,0	347	63	5,8	2351	1856
1,1	404	83	6,0	2384	1912
1,2	463	110	6,2	2414	1965
1,3	523	130	6,4	2442	2016
1,4	583	157	6,6	2467	2064
1,5	644	186	6,8	2491	2109
1,6	705	217	7,0	2512	2151
1,7	766	250	7,5	2559	2247
1,8	827	284	8,0	2596	2332
1,9	894	330	8,5	2626	2403
2,0	966	377	9,0	2649	2462
2,2	1082	455	9,5	2668	2512
2,4	1194	537	10,0	2682	1554
2,6	1301	621	11,0	2703	2622
2,8	1403	707	12,0	2714	2668
3,0	1499	794	13,0	2719	2695
3,2	1591	881	14,0	2722	2710
3,4	1677	968	15,0	2723	2718
3,6	1758	1055	20,0	2725	2725

A więc:

$$\delta_R \delta K = \frac{2,725}{1600}.$$

Odształcenie względne poziome:

$$\varepsilon_p = ag \frac{db}{dz} (\delta\mu' \delta \frac{\alpha}{2\pi} m' - \delta\mu'' \delta \frac{\alpha + \frac{1}{2} \sin 2\alpha}{2\pi} m''), \quad (27)$$

gdzie:

m' - oznacza ilość cząstkowych pól grafikonu funkcji μ' ,

m'' - oznacza ilość cząstkowych pól grafikonu funkcji μ'' .

Ponieważ

$$\delta\mu' \delta \frac{\alpha}{2\pi} = \delta\mu'' \delta \frac{\alpha + \frac{1}{2} \sin 2\alpha}{2\pi} = \delta_R \delta K = \text{const.}, \quad (28)$$

możemy napisać wzór na odształcenie względne poziome w ujęciu metody grafikonów:

$$\varepsilon_p = ag \frac{db}{dz} \delta_R \delta K (m' - m''). \quad (29)$$

Wstawimy teraz nasze dane do tego wzoru:

$$\varepsilon_p = 1 \cdot \frac{-1,2}{307} \cdot \frac{2,725}{1600} \cdot (m' - m'') = - \underline{0,006657 (m' - m'')\%o}.$$

Natomiast dla:

$$\underline{b_3 = 0,975:}$$

$$\frac{db}{dz} = \frac{-1,2}{194},$$

$$\delta\mu' = \delta\mu'' = \delta_R = \frac{1}{20} \cdot 1,837,$$

$$\delta \frac{\alpha}{2\pi} = \delta \frac{\alpha + \frac{1}{2} \sin 2\alpha}{2\pi} = \delta_K = \frac{1}{80}.$$

Odkształcenie względne poziome:

$$\varepsilon_p = 1 \cdot \frac{-1,2}{194} \cdot \frac{1,837}{1600} \cdot (m' - m'') = \underline{\underline{-0,007\ 102 (m' - m'')\%}}.$$

Promienie kół grafikonów znaleziono interpolując liniowo w tabelach funkcji μ' i μ'' . Obliczenia tych promieni znajdują się w tablicach 2 i 6. Również kąty pod jakimi należy wykreślać (licząc od osi grafikonu), promienie ograniczające pola cząstkowe grafikonów funkcji μ'' - interpolowano liniowo w tablicy 3. Wartości znalezionych kątów przedstawia tablica 4. W pierwszych kolumnach tablic 2, 6 i 4 są "numery" poszczególnych promieni wzgl. kątów. Liczby całkowite odpowiadają podziałowi danych funkcji na 20 części, natomiast ułamkowe oznaczają podział poszczególnych części na mniejsze. Grafikony wykreślimy więc zgodnie z zasadą przedstawioną we wzorach (17).

Parametr r'_0 w skali mapy przyjęto równy: $r'_0 = 2$ cm. Grafikony funkcji μ' i μ'' dla parametrów $b_2 = 0,825$ i $b_3 = 0,975$, zbudowano jako ćwiartki kół (rys. 11, 12, 15 i 16).

Przejdziemy teraz do właściwego etapu, a mianowicie: budowy "grafikonów paskowych". Nazwano je paskowymi, dlatego, że przedstawiają wpływ pasów eksploatacji na odkształcenia. Pole wyeksploatowane jest oznaczone przez zakreskowanie (rys. 13, 17 i 18). Szerokość pasków przyjęto równą wielokrotności r'_0 , a mianowicie dla $b = 0,825$ mamy pięć pasków o szerokości $1 r'_0$, a reszta o szerokości $2 r'_0$, natomiast dla $b = 0,975$: trzy o szerokości $1 r'_0$ i reszta - $2 r'_0$.

Omówimy najpierw grafikon paskowy dla $b = 0,825$. Na grafikony (rys. 11 i 12), naniesiono pasy o wyżej podanej szeroko-

Tablica 2

Promienie kół grafikonów dla $b = 0,825$

Nr	Wartość funkcji	e_1 dla μ'	e_1 dla μ''	r_1' dla μ [cm]	r_1' dla μ'' [cm]
1	2	3	4	5	6
1	136	0,57	1,32	1,14	2,64
2	272	0,86	1,76	1,72	3,52
3	409	1,11	2,08	2,22	4,16
4	545	1,34	2,42	2,68	4,84
5	681	1,56	2,74	3,12	5,48
6	818	1,79	3,06	3,58	6,12
7	954	1,98	3,34	3,96	6,68
8	1090	2,21	3,68	4,42	7,36
9	1226	2,43	4,01	4,86	8,02
10	1362	2,72	4,35	5,44	8,70
11	1499	3,00	4,71	6,00	9,42
12	1635	3,30	5,10	6,60	10,20
13	1771	3,63	5,52	7,26	11,04
14	1908	4,01	5,99	8,02	11,98
15	2044	4,45	6,52	8,90	13,04
16	2180	4,96	7,15	9,92	14,30
17	2316	5,61	7,91	11,22	15,82
18	2452	6,48	8,92	12,96	17,84
19	2589	7,90	10,51	15,80	21,02
20	2725	20,00	20,00	40,00	40,00
0,0625	8,5		0,45		0,90
0,125	17		0,59		1,18
0,25	34	0,26	0,79	0,52	1,58
0,5	68	0,39	1,02	0,78	2,04
1,5	204	0,72	1,56	1,44	3,12
2,5	341	0,99	1,92	1,98	3,84
3,5	477		2,25		4,50
4,5	613		2,58		5,16
5,5	749		2,90		5,80
17,5	2384	6,00	8,37	12,00	16,74
18,5	2521	7,10	9,61	14,20	19,22
19,5	2657	9,21	11,76	18,42	23,52
19,75	2691	10,43	12,85	20,86	25,70
18,875	2708	11,45	13,87	22,90	27,74
19,9375	2716	12,40	14,75	24,80	29,50

Tablica 3

α°	$\alpha + \frac{1}{2} \sin 2\alpha$	α°	$\alpha + \frac{1}{2} \sin 2\alpha$
1	2	3	4
0	0,0000	45	1,2854
1	0,0349	46	1,3026
2	0,0698	47	1,3191
3	0,1047	48	1,3351
4	0,1394	49	1,3503
5	0,1741	50	1,3651
6	0,2087	51	1,3792
7	0,2432	52	1,3928
8	0,2774	53	1,4056
9	0,3116	54	1,4180
10	0,3455	55	1,4297
11	0,3793	56	1,4410
12	0,4128	57	1,4516
13	0,4461	58	1,4617
14	0,4790	59	1,4712
15	0,5118	60	1,4802
16	0,5443	61	1,4887
17	0,5763	62	1,4966
18	0,6081	63	1,5041
19	0,6394	64	1,5110
20	0,6705	65	1,5175
21	0,7011	66	1,5235
22	0,7313	67	1,5291
23	0,7611	68	1,5341
24	0,7905	69	1,5389
25	0,8193	70	1,5431
26	0,8478	71	1,5470
27	0,8757	72	1,5505
28	0,9032	73	1,5537
29	0,9301	74	1,5565
30	0,9566	75	1,5590
31	0,9826	76	1,5612
32	1,0079	77	1,5631
33	1,0328	78	1,5648
34	1,0570	79	1,5661
35	1,0807	80	1,5673
36	1,1038	81	1,5682
37	1,1264	82	1,5690
38	1,1484	83	1,5696
39	1,1698	84	1,5701
40	1,1905	85	1,5703
41	1,2107	86	1,5706
42	1,2303	87	1,5707
43	1,2493	88	1,5708
44	1,2676	89	1,5708
		90	1,5708

Tablica 4

Nr	$\alpha + \frac{1}{2} \sin 2\alpha$	Kąt
1	2	3
1	0,0785	2° 15'
2	0,1571	4° 31'
3	0,2356	6° 47'
4	0,3142	9° 05'
5	0,3927	11° 24'
6	0,4712	13° 46'
7	0,5498	16° 10'
8	0,6283	18° 39'
9	0,7069	21° 12'
10	0,7854	23° 50'
11	0,8639	26° 35'
12	0,9425	29° 28'
13	1,0210	32° 32'
14	1,0996	35° 49'
15	1,1781	39° 24'
16	1,2566	43° 24'
17	1,3352	48° 00'
18	1,4137	53° 39'
19	1,4923	61° 27'
20	1,5708	90° 00'
18,5	1,4530	57° 08'
19,25	1,5119	64° 08'
19,5	1,5317	67° 29'
19,75	1,5512	72° 13'
19,875	1,5610	75° 55'
19,9375	1,5660	78° 55'

ści. Teraz, aby obliczyć funkcje względnych odkształceń poziomych dla punktów położonych na osi p grafikonu paskowego (rys. 13), podzielono jeszcze paski na drobne części (jak to widać na rysunkach 11 i 12 grafikonów kołowych). Obecnie liczone ilości pól grafikonów kołowych (a więc m' i m''), mieszczących się w odpowiednich prostokątach, czy też kwadratach. Sumy ilości m' i m'' dla każdego z pasków powinny być jednakowe, a więc jeżeli uwzględnimy znaki, to po odjęciu tych sum powinniśmy dostać zero. Ze względu na nieuniknione błędy przy liczeniu, dostajemy pewną odchyłkę, którą rozrzucano proporcjonalnie do ilości pól jako poprawki. $\sum(m' - m'')$ daje nam różnicę ilości pól grafikonów funkcji μ' i μ'' dla punktów odległych od czoła paska o wielkość p w jednostkach r'_0 . Przez wymnożenie tej sumy przez odkształcenie poziome jednostkowe otrzymano odkształcenie względne poziome. W ten sposób obliczone wartości, których nie zamieszczono w pracy, naniesiono na rysunek 13 - otrzymując wykresy odkształceń. Po dodatniej stronie osi p mamy odkształcenia rozciągające (+), a po ujemnej stronie osi p (nad eksploatacją) - odkształcenia ściskające (-). Każdy z wykresów przedstawia odkształcenia poziome pod wpływem eksploatacji paska, na którym jest dany wykres narysowany, dla punktów położonych na osi p .

Grafikonem paskowym, narysowanym na przezroczystym materiale rysunkowym, możemy liczyć wskaźniki deformacji dla dowolnego pola eksploatacyjnego i w dowolnym kierunku. Mamy np. pole eksploatacyjne P i grafikon paskowy dla określonego wskaźnika deformacji górotworu. Chcemy obliczyć deformację w punkcie A i w kierunku osi p (rys. 14). W tym celu wykreślamy z punktu A linię $p + 90^\circ$, prostopadłą do osi p . Teraz grafikon nakładamy na naszą eksploatację w ten sposób, aby oś główna grafikonu pokrywała się z osią p . Wzdłuż tej osi przesuwamy gra-

fikon do chwili aż czoło danego paska będzie w równoważnym położeniu, jak czoło paska rzeczywistej eksploatacji (wg rysunku). Tak robimy z każdym paskiem, odczytując za każdym razem deformację na wykresie paska, w miejscu, gdzie przechodzi prosta $p + 90^\circ$. Odczyty te sumujemy. Następnie analogicznie postępujemy z lewą stroną. Teraz od wartości deformacji z prawej strony, odejmujemy wartość deformacji z lewej strony, otrzymując deformację dla pola P. Jeżeli eksploatacja zajmuje część jakiegoś paska (np. dla paska I), wtedy postępujemy w podobny sposób, biorąc taki ułamek obliczonej deformacji, jaką część szerokości paska zajmuje eksploatacja. Na rys. 14 tę część oznaczono linią przerywaną. Błąd wynikły z powyższego uproszczenia nie jest duży i ta dokładność w zupełności wystarcza.

W analogiczny jak wyżej sposób skonstruowano grafikony paskowy dla parametru $b = 0,975$ (rys. 17). Potrzebne grafikonu kołowe znajdują się na rysunkach 15 i 16. Dla tego parametru skonstruowano jeszcze grafikony paskowy odkształceń w kierunku prostopadłym do osi p , a więc w kierunku $p + 90^\circ$. Jest to grafikony ε_{p+90° , zamieszczony na rysunku 18. Grafikon ε_{p+90° jest bardzo wygodny przy kształtowaniu frontów eksploatacyjnych, co wyraźnie zobaczymy w następnym rozdziale pracy.

VI. Badanie wpływu eksploatacji o różnych kształtach frontów na odkształcenia na powierzchni terenu, dla głębokości eksploatacji $H_2 = 307$ m i $H_3 = 194$ m

Obliczenia przeprowadzono przy pomocy grafikonów paskowych, uzyskanych przez zrobienie odbitek na papierze światłoczułym. Grafikonu te pocięto na poszczególne paski. Dla wyraźniejszego zaznaczenia wykresów odkształceń, pokolorowano je: odkształ-

Tablica 5

Funkcja μ' i μ'' dla $b = 0,975$

ρ	$10^3 \mu'$	$10^3 \mu''$
1	2	3
0,0	0	0
0,1	6,3	0
0,2	23	2
0,3	48	5
0,4	80	9
0,5	119	16
0,6	162	24
0,7	210	36
0,8	261	50
0,9	315	68
1,0	371	87
1,1	428	111
1,2	485	147
1,3	542	165
1,4	600	197
1,5	658	231
1,6	714	267
1,7	769	304
1,8	823	343
1,9	876	385
2,0	927	426
2,2	1023	511
2,4	1113	599
2,6	1195	687
2,8	1269	773
3,0	1336	858
3,5	1476	1057
4,0	1580	1226
4,5	1656	1366
5,5	1713	1484
6,0	1779	1647
7,0	1811	1740
8,0	1826	1788
9,0	1832	1815
10,0	1835	1828
13,0	1837	1837

Tablica 6

Promienie kół grafikonów dla $b = 0,975$

Nr	Wartość funkcji	ρ_1 dla μ'	ρ_1 dla μ''	r'_1 dla μ' [cm]	r'_1 dla μ'' [cm]
1	2	3	4	5	6
1	92	0,43	1,02	0,86	2,04
2	184	0,65	1,36	1,30	2,72
3	276	0,83	1,62	1,66	3,24
4	367	0,99	1,86	1,98	3,72
5	459	1,16	2,08	2,32	4,16
6	551	1,32	2,29	2,64	4,58
7	643	1,47	2,50	2,94	5,00
8	735	1,64	2,71	3,28	5,42
9	827	1,81	2,93	3,62	5,86
10	918	1,98	3,15	3,96	6,30
11	1010	2,17	3,38	4,34	6,76
12	1102	2,38	3,63	4,76	7,26
13	1194	2,60	3,90	5,20	7,80
14	1286	2,85	4,21	5,70	8,42
15	1378	3,15	4,55	6,30	9,10
16	1470	3,48	4,94	6,96	9,88
17	1561	3,91	5,47	7,82	10,94
18	1654	4,49	6,08	8,98	12,16
19	1745	5,48	7,10	10,96	14,20
20	1837	13,00	13,00	26,00	26,00
0,0625	5,7	0,09	0,32	0,18	0,64
0,125	11	0,13	0,43	0,26	0,86
0,25	23	0,20	0,59	0,40	1,18
0,5	46	0,29	0,77	0,58	1,54
0,75	69		0,90		1,80
1,5	138	0,54	1,18	1,08	2,36
2,5	230	0,74	1,50	1,48	3,00
3,5	321	0,91	1,74	1,82	3,48
4,5	413	1,07	1,97	2,14	3,94
5,5	505	1,24	2,19	2,48	4,38
17,5	1607	4,18	5,75	8,36	11,50
18,5	1699	4,88	6,56	9,76	13,12
19,5	1791	6,38	8,11	12,76	16,22
19,75	1814	7,20	8,96	14,40	17,92
19,875	1826	8,00	9,85	16,00	19,70
19,9375	1831	8,83	11,00	17,66	22,00

cenia dodatnie innym kolorem (np. zielonym), a ujemne innym (np. czerwonym).

Dostaliśmy w ten sposób zestaw pasków eksploatacji, którymi możemy dowolnie żonglować (oczywiście z zachowaniem kolejności następowania po sobie pasków). Jeżeli mamy eksploatację o kształcie symetrycznym względem osi x (rys. 19-30), wtedy powyżej tej osi układamy paski grafikonu ε_p (w naszym przypadku będzie to ε_x), a poniżej osi - paski grafikonu ε_{p+90° (w naszym przypadku ε_y). Teraz możemy tak przesuwac poszczególne paski, parami po obu stronach osi x , aby dostać najbardziej korzystny rozkład odkształceń ε_x i ε_y . Pokolorowane wykresy obrazowo przedstawiają nam wpływ poszczególnych eksploatacji na odkształcenia względne poziome i to co do ich wartości bezwzględnej, jak i znaku odkształcenia. Odkształcenia kolejnych punktów osi x znajdujemy przez sumowanie (najlepiej cyrklem), wartości odkształceń dla kolejnych pasków w miejscach na wykresach, gdzie je przecina prostopadła wystawiona do osi x . Prostopadła ta wychodzi z punktu, dla którego liczymy odkształcenia.

Jeżeli mamy tylko grafikon ε_p , postępujemy podobnie jak w przypadku opisanym dla rys. 14.

VI.1. Głębokość eksploatacji $H_3 = 194 \text{ m}$ ($b_3 = 0,975$)

Zajmiemy się minimalizacją odkształceń poziomych rozciągających, a więc tam gdzie poprzednie eksploatacje spowodowały już pewne rozciągania. Zachodzi to na ogół w przypadku eksploatacji w filarach ochronnych. Średnice filarów szybowych są w przybliżeniu równe $2 r_m$, weźmy więc taką szerokość naszego badanego frontu. U nas (dla $b = 0,975$), $\varepsilon_m = 2,6$ - w przybliżeniu 3, a zatem $2 r_m = 2 \cdot 3 r_0 = 6 r_0$. Szerokość frontu wynosić więc będzie $6 r_0$.

Najpierw rozpatrywano front prostolinijny (rys. 19). Na tym rysunku zrobiony jest wykres odkształceń ε_x - linia ciągła i ε_y - linia przerywana. Na każdym z wykresów wypisano wartości ekstremalnych odkształceń. U dołu w prawym rogu rysunku napisana jest maksymalna wartość odkształcenia względnego poziomego, dla tzw. nieskończonej półpłaszczyzny eksploatacji. Wynosi ona w naszym przypadku $\pm 2,32\%$. Odkształcenia maksymalne ε_x , spowodowane naszą eksploatacją są nieco mniejsze ($\pm 2,03\%$), natomiast $\varepsilon_y = -3,20\%$ przewyższa co do bezwzględnej wartości maksymalne odkształcenie dla nieskończonej półpłaszczyzny. Jest to spowodowane wpływem dwóch frontów eksploatacyjnych równoległych do siebie. Biorąc pod uwagę tylko odkształcenia rozciągające, to w powyższym przypadku są one nieco mniejsze w stosunku do wartości maksymalnej: $2,32 - 2,03 = 0,29\%$.

Drugi badany przypadek to front "wklęsły" (rys. 20). Tutaj dostaliśmy zmniejszenie odkształceń poziomych rozciągających w stosunku do maksymalnych o: $2,32 - 1,60 = 0,72\%$, a w stosunku do frontu prostoliniowego o tej samej szerokości o: $2,03 - 1,60 = 0,43\%$.

Następny przykład, to również front wklęsły, ale o większym wyprzedzeniu ($2 r_0$ na rys. 21). Będziemy dalej rozpatrywać zmniejszenie odkształceń w stosunku do frontu prostoliniowego o tej samej szerokości (na rys. 19). Mamy więc: $2,03 - 1,00 = 1,03\%$, co stanowi zmniejszenie odkształceń o ponad 50% w stosunku do eksploatacji frontem prostoliniowym tej samej szerokości. W dotychczasowych kombinacjach odkształcenia ε_y były zawsze ujemne; tutaj natomiast - w pewnej odległości przed frontem są dodatnie i największe wynoszą $+0,55\%$.

Dalsze badania prowadzono w kierunku znalezienia frontu, dla którego maksymalne odkształcenia rozciągające ε_x i ε_y byłyby jednakowe i możliwie najmniejsze. Front narysowany na

rys. 22 nie spełnił pokładanych nadziei. Wprawdzie ϵ_x zmalało do $+0,74\text{‰}$, ale ϵ_y wzrosło do $+2,56\text{‰}$. Jest to front o szerokości większej niż poprzednia ($10 r_0$). Przypadek taki mógłby jednak mieć znaczenie, gdyby obiekt był wrażliwy na odkształcenia w kierunku osi x , a niewrażliwy w kierunku osi y .

Rysunek 23 przedstawia front o zwiększonym wyprzedzeniu zewnętrznych części eksploatacji o $1 r_0$, w stosunku do rys. 21. Uzyskaliśmy tu odkształcenia rozciągające $\epsilon_x = +0,83\text{‰}$ a $\epsilon_y = +0,68\text{‰}$. Wielkości tych odkształceń różnią się między sobą o $0,15\text{‰}$.

Spróbowano jeszcze bardziej zmniejszyć odkształcenia, co udało się dla eksploatacji na rys. 24. Wyprzedzenie przyjęto tu $2,5 r_0$. Odkształcenia rozciągające ϵ_x i ϵ_y możemy przyjmując, że są równe i wynoszą $\epsilon_x = \epsilon_y = +0,74\text{‰}$. Obliczymy jakie to jest zmniejszenie w stosunku do frontu prostoliniowego o tej samej szerokości: $2,03 - 0,74 = 1,29\text{‰}$, co stanowi $\frac{1,29}{2,03} \approx 64\%$ zmniejszenia odkształceń rozciągających w poziomie. Inaczej biorąc, dostaliśmy $\frac{2,03}{0,75} \approx 2,75$ - krotne zmniejszenie odkształceń. Natomiast w stosunku do eksploatacji nieskończonej półpłaszczyzny: $2,32 - 0,74 = 1,58\text{‰}$, co stanowi 68% zmniejszenia lub inaczej przeszło trzykrotne zmniejszenie (3,15). Gdyby paski nie były nieskończone długie wówczas zmniejszenie mogłoby być jeszcze znacznie większe.

VI.2. Głębokość eksploatacji $H_0 = 307$ m ($b_2 = 0,825$)

Dla tej głębokości przeanalizowano inny sposób eksploatacji, mianowicie eksploatację łamanym frontem na całej jego szerokości (rys. 25). Front ten składa się z wypustek i wnęk o wymiarach podanych na rysunku. Nad wnęką i nad wypustką zrobiono wykresy odkształceń właściwych poziomym. Wykresy ϵ_x dla tych miejsc są podobne, natomiast ϵ_y są co do bezwzględnej

wartości jednakowe, i nad wypustką są ujemne, a nad wnęką dodatnie.

Maksymalne odkształcenia właściwe poziome wynoszą $\varepsilon_x = \pm 1,48\text{‰}$. Mamy więc zmniejszenie odkształceń o: $2,06 - 1,48 = 0,58\text{‰}$, co stanowi $\frac{0,58}{2,06} = 28\text{‰}$ zmniejszenia. Odkształcenia ε_y natomiast - są mniejsze i wynoszą $\pm 0,85\text{‰}$.

VI.3. Analiza sposobu eksploatacji podanego przez Władysława Batkiewicza

Sposób ten został opublikowany w pracy [2]. Autor powyższej pracy zakładał zmniejszenie odkształceń poziomych drogą zmniejszenia odkształceń pionowych - na podstawie związków (18) i (19). Jak się okazało zależności te nie są dokładne. Zostały one ustalone przez Autora na podstawie analizy wykresów odkształceń właściwych, dla prostokąta eksploatacji o wymiarach $2 r_o \times 4 r_o$, przy $b = 0,95$ (rys. 7 w cytowanej pracy). Otóż okazało się, że wykresy odkształceń ε_x i ε_y na tym rysunku są błędne. Autor do obliczenia odkształceń posłużył się wzorem przybliżonym (9), który daje niedokładne wartości odkształceń, obarczone dość dużymi błędami. Ponieważ ε_y liczono ze związku: $\varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z = 0$, więc i te odkształcenia są niedokładne.

W niniejszej pracy wykonano podobne wykresy odkształceń dla przedmiotowej eksploatacji (rys. 26), przy założeniu tych samych parametrów. Najpierw obliczono skonstruowanym do tego celu bardzo dokładnym grafikonem kołowym, przesunięcia poziome punktów linii x . Wykres przesunięć jest narysowany cienką linią. Odkształcenia poziome ε_x znaleziono jako tangens nachylenia stycznej do krzywej przesunięć, zgodnie z wzorem:

$$\varepsilon_x = \frac{du(x)}{dx}$$

Odształcenia właściwe pionowe obliczono grafikonem kołowym, natomiast ε_y obliczono ze związku: $\varepsilon_y = -\varepsilon_x - \varepsilon_z$. Grafikonów, o których mowa nie zamieszczono w pracy.

Powyższe obliczenia zostały przeprowadzone w tych samych jednostkach, w jakich zrobił je Autor cytowanej pracy. W tabelicy 7, zestawiono odkształcenia poziome ε_x obliczone wg wzoru uproszczonego W. Batkiewicza (kolumna 2) i te same odkształcenia odczytane z wykresu na rys. 26 naszej pracy. Kolumna 4 tabelicy przedstawia różnice między tymi wartościami.

Tabelica 7

$[r_0^x]$	$\varepsilon_x = -10^3 \cdot \frac{\sin \alpha}{\Delta \varrho} \cdot \frac{\Delta(\Delta \psi)}{\Delta \varrho}$	ε_x odczytane z rys. 26	Różnica
1	2	3	4k. = 3k. - 2k.
1,0	- 600	- 500	100
2,0	- 340	- 260	120
2,9	- 179	+ 50	229
3,9	+ 56	+ 147	91
4,9	+ 82	+ 127	45
6,0	+ 55	+ 75	20
7,0	+ 34	+ 45	11
8,0	+ 21	+ 27	6
9,0	+ 11	+ 15	4

Jak widzimy, błędy spowodowane obliczeniem przy pomocy wzoru przybliżonego na odkształcenie poziome - przyjętym przez W. Batkiewicza - są bardzo duże, przekraczające czasem nawet wielkości obliczane.

Konsekwencją powyższego jest to, że wnioski wysnute na podstawie obliczeń Autora pracy, o której mówimy (wzory na str. 19 pracy), są błędne. U nas mianowicie (rys. 26), odkształce-

nie ε_x wewnątrz konturu eksploatacji, dla ekstremalnych odkształceń:

$$\varepsilon_x = -0,603 \varepsilon_{z(m)}, \quad (30)$$

i poza obszarem, biorąc ekstremalne wartości odkształceń:

$$\varepsilon_x = -1,95 \varepsilon_z, \quad (31)$$

natomiast

$$\varepsilon_y = -(\text{od } 0 - 0,398) \varepsilon_{z(m)}, \quad (32)$$

co jest niezgodne ze wzorami na str. 19 w pracy [2].

Rysunki 27 i 28 w naszej pracy przedstawiają wykresy odkształceń dla parametru $b = 0,975$. Cienkimi liniami narysowano wykresy dla samej wypustki, natomiast grubymi - dla frontu nieskończonej półpłaszczyzny z wypustką. Wykres odkształceń ε_y jest wspólny.

Wymiary wypustek obliczono wzorem W. Batkiewicza (praca [2], wzór (20)). Tak więc długość większego boku wypustki

$$d = r_0 \left(\frac{7}{6} - 3 \right) = r_0 \left(\frac{7}{0,975} - 3 \right) = 4,17 r_0.$$

Ze względu na wygodę przy liczeniu naszymi grafikonami paskowymi przyjęto $d = 4 r_0$. Różnica ta nie ma większego znaczenia.

Front na rysunku 27, jest dla stosunku boku krótszego wypustki do dłuższego: $\lambda = 0,5$. Obliczymy jakie uzyskaliśmy zmniejszenie odkształceń przed frontem eksploatacji: $2,32 - 2,25 = 0,07$, co stanowi 3% zmniejszenia. Natomiast dla wypustki o kształcie kwadratu, czyli dla $\lambda = 1,0$, zmniejszenie

odkształceń przed frontem wynosi: $2,32 - 1,90 = 0,42$, co stanowi 18% zmniejszenia w stosunku do nieskończonej półpłaszczyzny.

Dla wyraźniejszego pokazania różnicy między wykresami odkształceń ε_x z pracy [2], gdzie przyjęto $\varepsilon_x = -\varepsilon_z$, a naszymi obliczeniami - na rys. 27 i 28 linią kropkowaną narysowano wykres $-\varepsilon_z$. Widzimy jak duże są różnice między wykresami ε_x i $-\varepsilon_z$.

Wykresy odkształceń dla samych wypustek są podobne jak na rys. 26. Na rysunkach wypisano związki zachodzące między ekstremalnymi odkształceniami - analogiczne do wzorów (30), (31) i (32) pracy [2]. Widzimy, że współczynniki w tych wzorach są zależne od parametru b i od kształtu i wymiarów eksploatacji, co jest zresztą logiczne.

Na rysunkach 29 i 30 przedstawione są wykresy odkształceń względnych ε_x i ε_y dla frontów z wypustkami, dla parametru teorii $b = 0,825$. Rys. 29 jest przy $\lambda = 0,5$, a rys. 30 dla frontu z wypustką o $\lambda = 1,0$. Długość większego boku wypustek:

$$d = r_0 \left(\frac{7}{6} - 3 \right) = r_0 \left(\frac{7}{0,825} - 3 \right) = 5,48 r_0.$$

Długość tę przyjęto w przybliżeniu równą $6 r_0$, z podobnych co uprzednio względów.

Zmniejszenie odkształceń poziomych rozciągających (przed frontem), wynosi dla:

$$\lambda = 0,5: \quad \frac{2,06 - 1,97}{2,06} = \frac{0,09}{2,06} = 4,5\%,$$

zaś:

$$\lambda = 1,0: \quad \frac{2,06 - 1,7}{2,06} = \frac{0,36}{2,06} = 17,5\%.$$

Oczywiście wyżej obliczone zmniejszenia odkształceń nie będą zgodne z wartościami obliczonymi ze wzoru (21) w pracy [2], na procentowe zmniejszenie odkształceń:

$$p = \lambda(107 - 54 \lambda).$$

Mamy więc dla:

$$\lambda = 0,5: \quad p = 0,5(107 - 54 \cdot 0,5) = 40\%,$$

i

$$\lambda = 1,0: \quad p = 1,0(107 - 54 \cdot 1,0) = 53\%.$$

Wzór powyższy podaje bowiem zmniejszenie odkształceń pionowych, a nie poziomych.

VII. Rozważania ogólne na temat wpływu kształtu frontu eksploatacyjnego na rozkład i wielkość odkształceń

Wszystkie zamieszczone w niniejszej pracy wykresy odkształceń są dla eksploatacji znajdującej się po lewej stronie patrzącego. Dla tych rysunków obowiązują prawidła (przy obrocie ich o 180°), o których była mowa w zakończeniu rozdziału IV. Jest to dla nas b. korzystne, ponieważ niejako podwaja się nam ilość badanych kształtów frontów eksploatacyjnych.

Jeżeli przyjrzymy się dokładnie wykresom odkształceń dla naszych frontów eksploatacyjnych, stwierdzimy, że lepszym frontem jest front wklęsły. Bezwzględne wartości odkształceń ϵ_x dla takiego frontu, po stronie wklęsłości są mniejsze - niż po stronie przeciwnej.

Możemy uzyskać taki rozkład odkształceń poziomych, że będą one dodatnie i równe sobie (jak to otrzymaliśmy w przypadku pokazanym na rys. 24). Jest to możliwe tylko dla frontu wklęsłego, ponieważ wtedy tylko możemy otrzymać dodatnie odkształ-

cenia ε_y . Idealnym rozwiązaniem jest więc, aby maksymalne odkształcenia poziome były równe:

$$\varepsilon_x = \varepsilon_y = -\frac{1}{2} \varepsilon_z.$$

Ponieważ ε_z przed frontem jest ujemne, więc ε_x i ε_y muszą mieć znaki dodatnie.

Popatrzmy jeszcze raz na rysunki 27 i 29. Otóż największe odkształcenia poziome ε_x i ε_y po stronie wklęsłej frontu, są co do bezwzględnej wartości mniejsze od odkształceń po stronie wypukłej. Wynika z tego, że nieskończona półpłaszczyzna z wnęką daje lepsze efekty - większe zmniejszenie odkształceń poziomych. Mianowicie maksymalne wartości odkształceń nie przekraczają na rys. 27 wartości 1,84‰. Dostaniemy więc zmniejszenie o $2,32 - 1,84 = 0,48\%$, co stanowi około 21% zmniejszenia, zaś dla rys. 29 : $2,06 - 1,64 = 0,42\%$, co stanowi również ok. 21% zmniejszenia odkształceń.

Efekty powyższe uzyskaliśmy dla $\lambda = 0,5$. Natomiast $\lambda = 1,0$ jest gorszym przypadkiem. Wprawdzie dostajemy tu duże zmniejszenie ε_x , jednak bardzo wzrasta ε_y . Na pewno można uzyskać jeszcze lepsze efekty zmniejszenia odkształceń przy innych rozmiarach i kształcie prostokątnych wnęk we fronce nieskończonej półpłaszczyzny.

Jak z powyższego wynika, można uzyskać dobre wyniki zmniejszenia odkształceń, odwracając kształt frontu proponowany przez W. Batkiewicza. Mianowicie zbliżać się do obiektu frontem z wnęką, która przechodzi pod obiektem we front prostoliniowy, zaś oddalać się frontem z wypustką.

W zależności od charakteru obiektu, jego wrażliwości na deformacje oraz od swobody w prowadzeniu eksploatacji, będziemy mieli do czynienia z różnymi charakterystycznymi kształtami

eksploatacji. I tak np.: dla obiektu skupionego - jeżeli dotychczas nie był narażony na odkształcenia - najlepszym wydaje się front z wnęką, a później wypustką eksploatacyjną. Jeżeli natomiast mamy do czynienia z eksploatacją w filarze ochronnym obiektu skupionego i była prowadzona eksploatacja na zewnątrz tego filara wtedy zastosowanie mogą znaleźć fronty o skończonej szerokości, odpowiednio ukształtowane (rys. 20-24). Te kształty frontów mogą mieć również szczególne zastosowanie przy eksploatacji pod obiektami wydłużonymi (np. rurociągi), dla których szczególnie szkodliwe są deformacje w kierunku dłuższej osi obiektu, a mało szkodliwe lub wręcz nieszkodliwe - deformacje w kierunku prostopadłym do tej osi.

Zmniejszenie deformacji górotworu na dużej powierzchni (w przypadku miast, osiedli, dużych zakładów przemysłowych itp.), może być prowadzone frontem pokazanym na rys. 25.

Patrząc na nasze fronty eksploatacyjne z kierunku osi y , a więc równoległe do generalnej linii frontu, możemy powiedzieć, że wraz z przesuwaniem się w kierunku osi x zmienia się "gęstość eksploatacji" w danym pasie pokładu, którą zdefiniujemy jako procent wyeksploatowania pokładu w określonym przekroju pionowym. Przed najbardziej wysuniętymi polami eksploatacyjnymi wynosi ona 0, w miejscu ukształtowanego frontu jest zawarta w granicach od 0-1, natomiast w głębi eksploatacji, tam gdzie nie zmienia się jej szerokość, wynosi 1.

Powyższy fakt powoduje zmniejszenie innych deformacji oprócz rozpatrywanych przez nas odkształceń, a więc powoduje większe niżby nam się wydawało na podstawie obliczeń, zmniejszenie uszkodzeń obiektów. Zmniejszenie wszystkich szkodliwych dla obiektu deformacji jest bardzo korzystne, ponieważ deformacje te wpływają wzajemnie na siebie w sposób katalizujący. Np. odkształcenia poziome są groźniejsze w przypadku występowania dużych krzywizn pionowych czy poziomych.

VIII. Możliwość zmniejszenia deformacji górotworu przez odpowiednie prowadzenie eksploatacji.

Niektóre z rozpatrywanych przez nas frontów eksploatacyjnych nie będą mogły ze względów technicznych znaleźć zastosowania w praktyce górniczej. Chodziło o to, aby pokazać wpływ kształtu eksploatacji na rozkład odkształceń.

Zmniejszenie deformacji nie musi być koniecznie prowadzone jakimś specjalnym frontem. Może to być celowe rozmieszczenie płatów eksploatacyjnych pokładu nawet nie związanych ze sobą, dających odpowiednie co do wielkości i znaku deformacje w punkcie na powierzchni górotworu lub w jego wnętrzu. Takie płaty mogą być różnych kształtów i wymiarów w zależności od możliwości i wygody prowadzenia eksploatacji w danych miejscach. Dużą wygodą jest to, że eksploatacja mająca na celu zmniejszenie deformacji w dowolnym miejscu, może być prowadzona w różnych pokładach, na różnych głębokościach.

Mamy więc tu do czynienia już nie z kształtowaniem frontu eksploatacji, a z odpowiednim planowaniem eksploatacji. To planowanie zależy od wielu czynników narzuconych nam przez przyrodę (jak uskoki, różnego rodzaju zagrożenia, skład górotworu, zaburzenia itd.). Zagadnienia tego nie sposób rozwiązać schematycznie. Celowym natomiast jest stworzenie odpowiednich metod obliczeniowych do szybkiego i dokładnego przewidywania deformacji spowodowanych eksploatacją, przy czym można z łatwością obliczać szereg wariantów, które są do przyjęcia przez kopalnię, co wymaga stałej konsultacji z kopalnią przy wykonywaniu ekspertyzy. W tym właśnie kierunku idą prace w naszej Katedrze. Nowe, gotowe już rozwiązania, zostaną opublikowane w następnych pracach.

Nasze rozważania zostały przeprowadzone z pominięciem wpływu czasu na deformację. W bardziej precyzyjnych opracowaniach

czynnik ten musi być uwzględniony. Ze wstępnych rozważań wynika, że uwzględnienie czasu będzie dawało jeszcze większe możliwości zmniejszenia deformacji przez odpowiednie prowadzenie eksploatacji. Niestety sprawa ta jest bardzo skomplikowana i wymaga dużego i dokładnego materiału obserwacyjnego do jej rozwiązania.

Bardzo ważną sprawą przy kształtowaniu eksploatacji jest dokładna znajomość parametrów teorii, bowiem kształt i wielkość eksploatacji powinny być uzależnione od tych parametrów. Mając za mało dokładnie ustalone parametry, możemy w ogóle nie otrzymać zmniejszenia deformacji lub otrzymać je bardzo małe, albo gorzej: możemy otrzymać zwiększenie deformacji pod wpływem zaprojektowanego frontu. Dlatego też konieczną rzeczą jest znalezienie wielkości parametrów teorii dla górotworu, przez odpowiednio zaplanowane i odpowiednio dokładne pomiary przed eksploatacją i w czasie jej prowadzenia.

LITERATURA

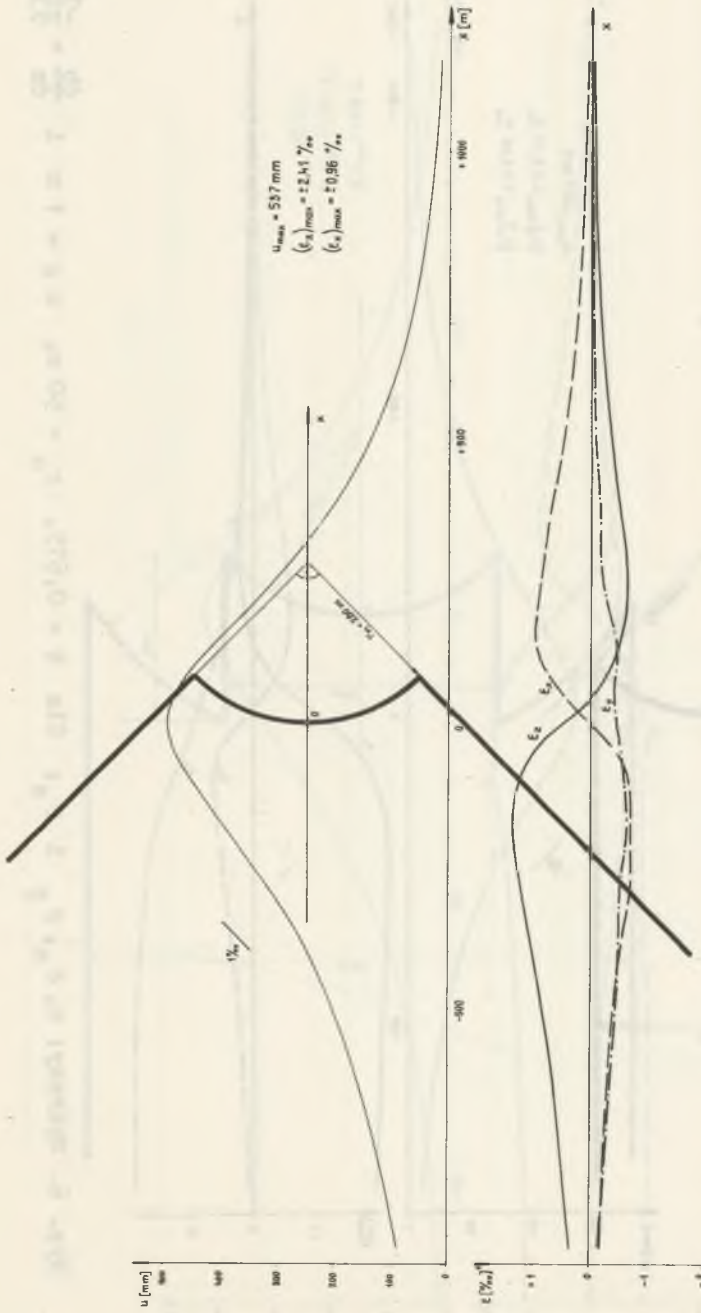
- [1] Kochmański Tadeusz - Obliczanie ruchów punktów górotworu pod wpływem eksploatacji górniczej - PWN, Warszawa 1956 r.
- [2] Batkiewicz Władysław - Zmniejszenie deformacji górotworu przez prowadzenie eksploatacji frontem o specjalnym kształcie - Zeszyty Naukowe AGH, Kraków 1965 r.

С о д е р ж а н и е

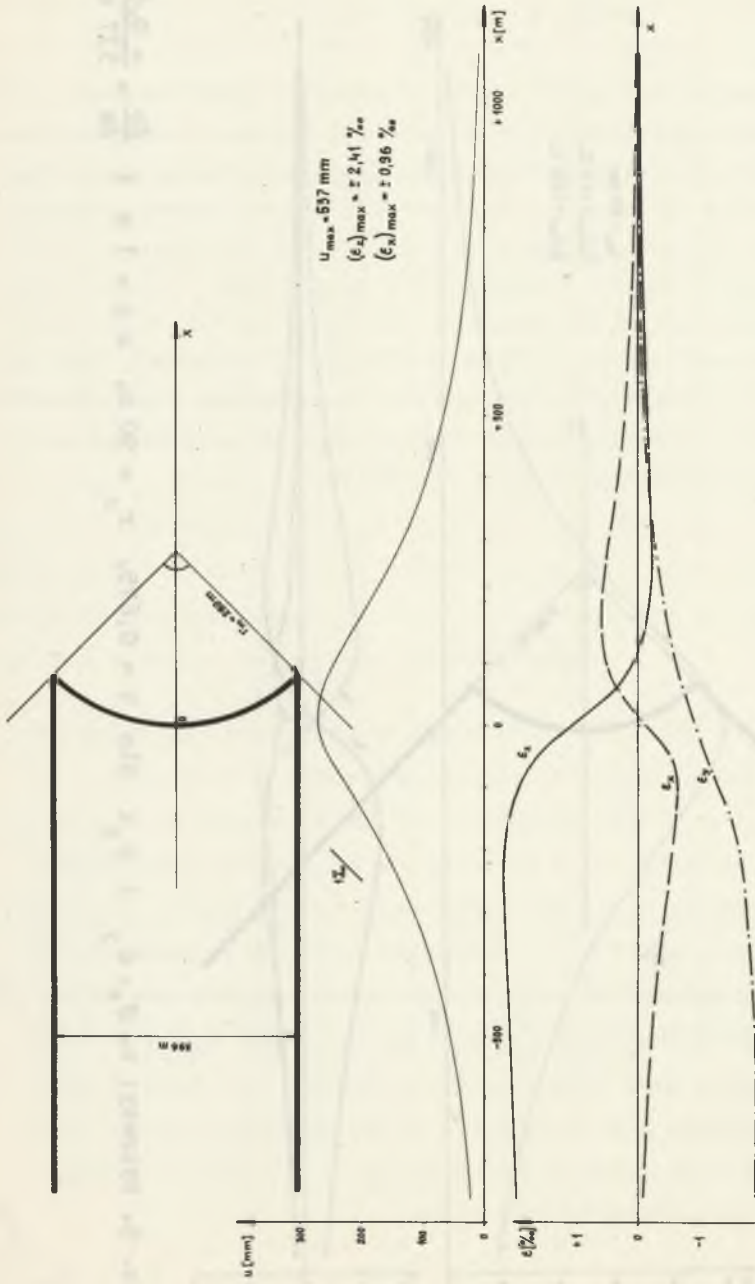
Опираясь на теорию движения горного массива Т. Кожманского были исследованы возможности уменьшения горизонтальных релятивных деформаций на поверхности территории, благодаря эксплуатации залегающего месторождения полезного ископаемого фронтом соответствующе сформированным. Для этого был использован метод очень облегчающий расчёт коэффициента деформации (метод графиконов). Анализ был ведён для трёх глубин пластов: 194, 307, 537 м. Приобретено очень хорошие результаты, а именно, для некоторых видов эксплуатационных фронтов уменьшение горизонтальных релятивных деформаций свыше трёхкратное по отношению к эксплуатации пластов фронтом прямолинейным.

S u m m a r y

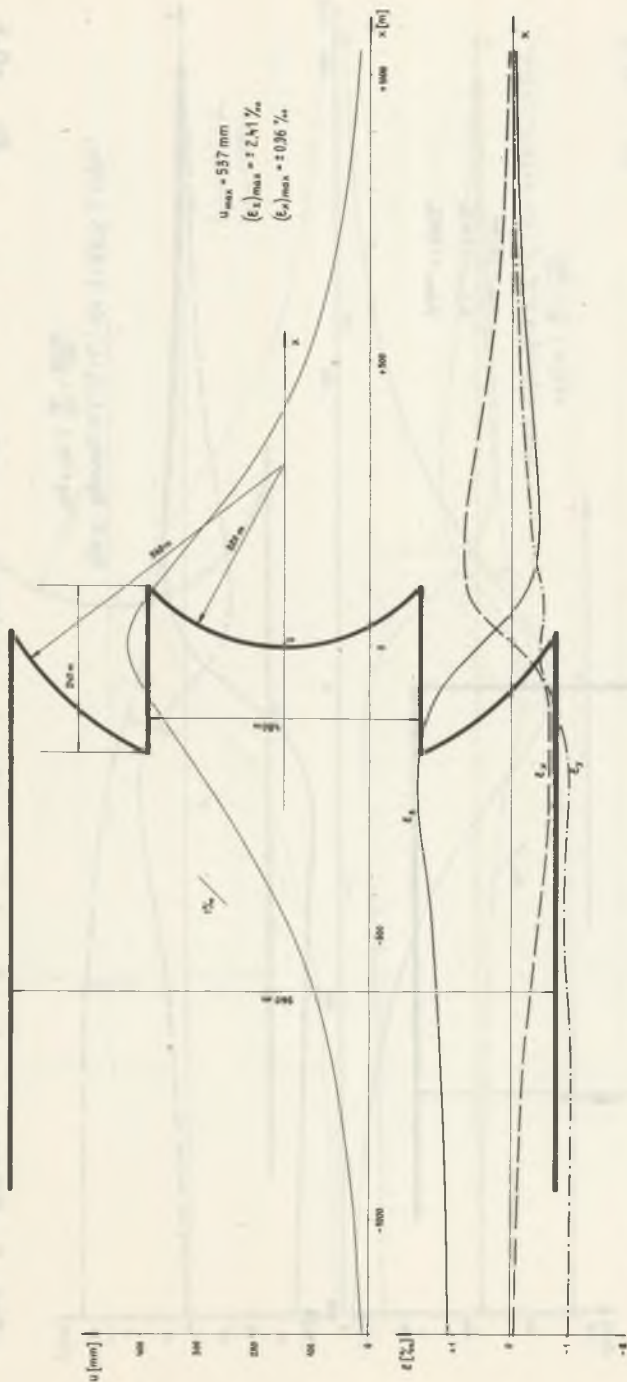
On the ground of prof. T. Kochmanski's theory of mountain movements, the possibilities of reducing relative horizontal deformations on the ground surface have been investigated. It has been done by means of exploitation of the horizontal mining layers carried out with a properly shaped front. To this purpose a method making easy computation of deformation indicators (graphicons method) has been used. Analyses have been carried out for three bed depths, viz: 194, 307 and 537 m. Very good results have been achieved namely, for same shapes of exploited fronts the horizontal relative deformations have been over threefold reduced in relation to the bed exploitation by means of a direct-line front.



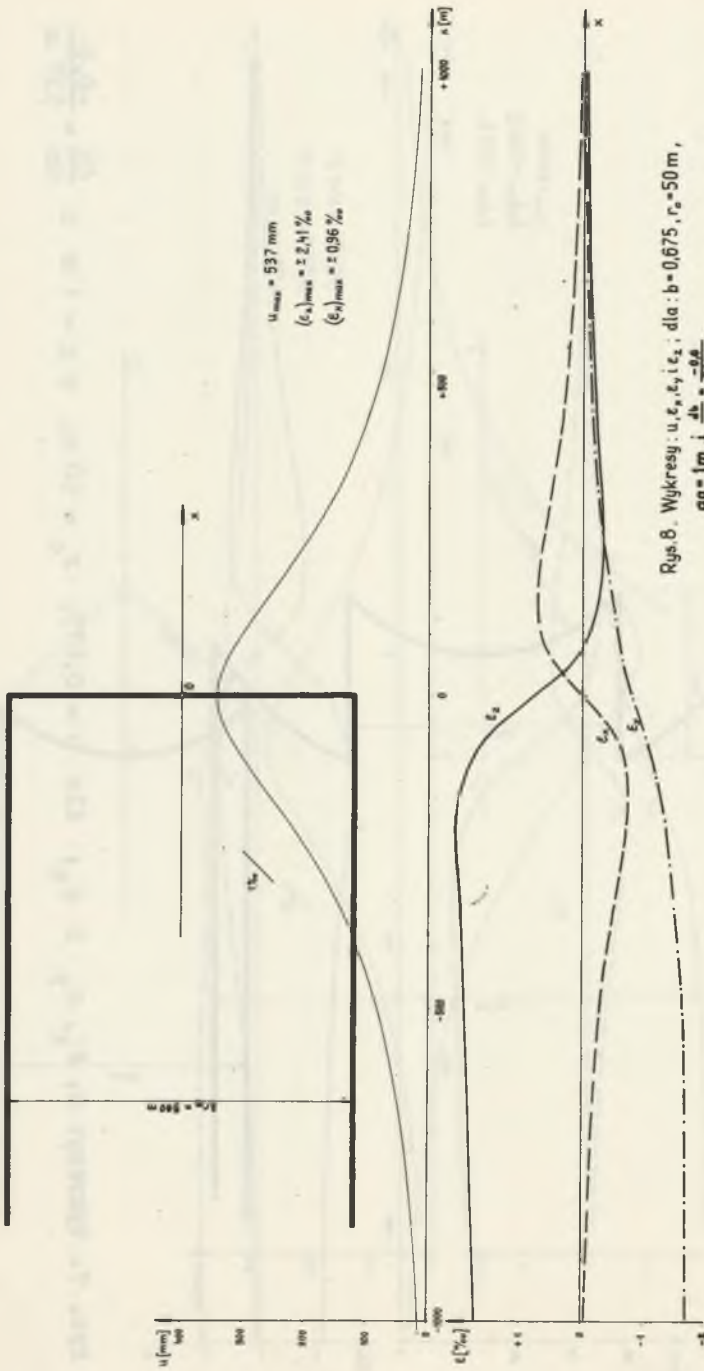
Rys. 5. Wykresy: u , ϵ_x , ϵ_y i ϵ_z ; dla $b = 0,675$, $r_0 = 50 \text{ m}$, $a g = 1 \text{ m}$ i $\frac{db}{dz} = -\frac{0,6}{537} \text{ m}$



Rys. 6. Wykresy: u , ϵ_x , ϵ_y i ϵ_z ; dla $b = 0,675$, $r_0 = 50 \text{ m}$, $a g = 1 \text{ m}$ i $\frac{db}{dz} = \frac{-0,6}{537 \text{ m}}$

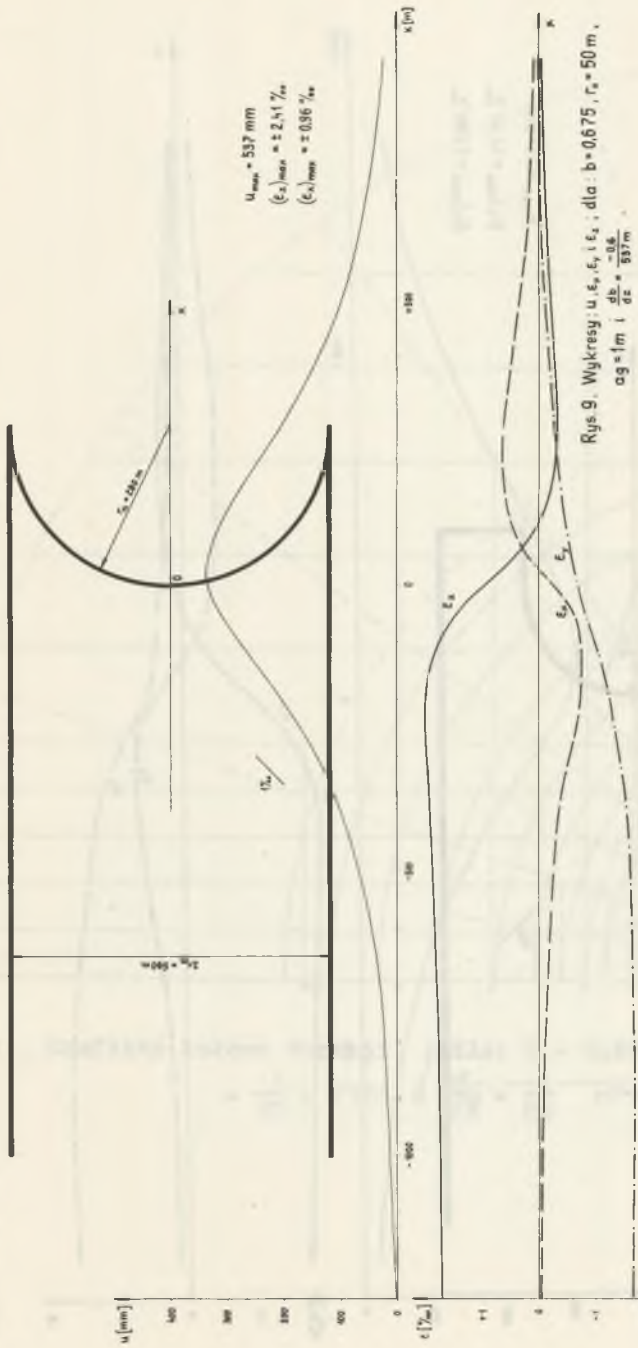


Rys. 7. Wykresy: u , ϵ_x , ϵ_y i ϵ_z dla $b = 0,675$, $r_0 = 50 \text{ m}$, $a \epsilon = 1 \text{ m}$ i $\frac{db}{dz} = \frac{-0,6}{537 \text{ m}}$



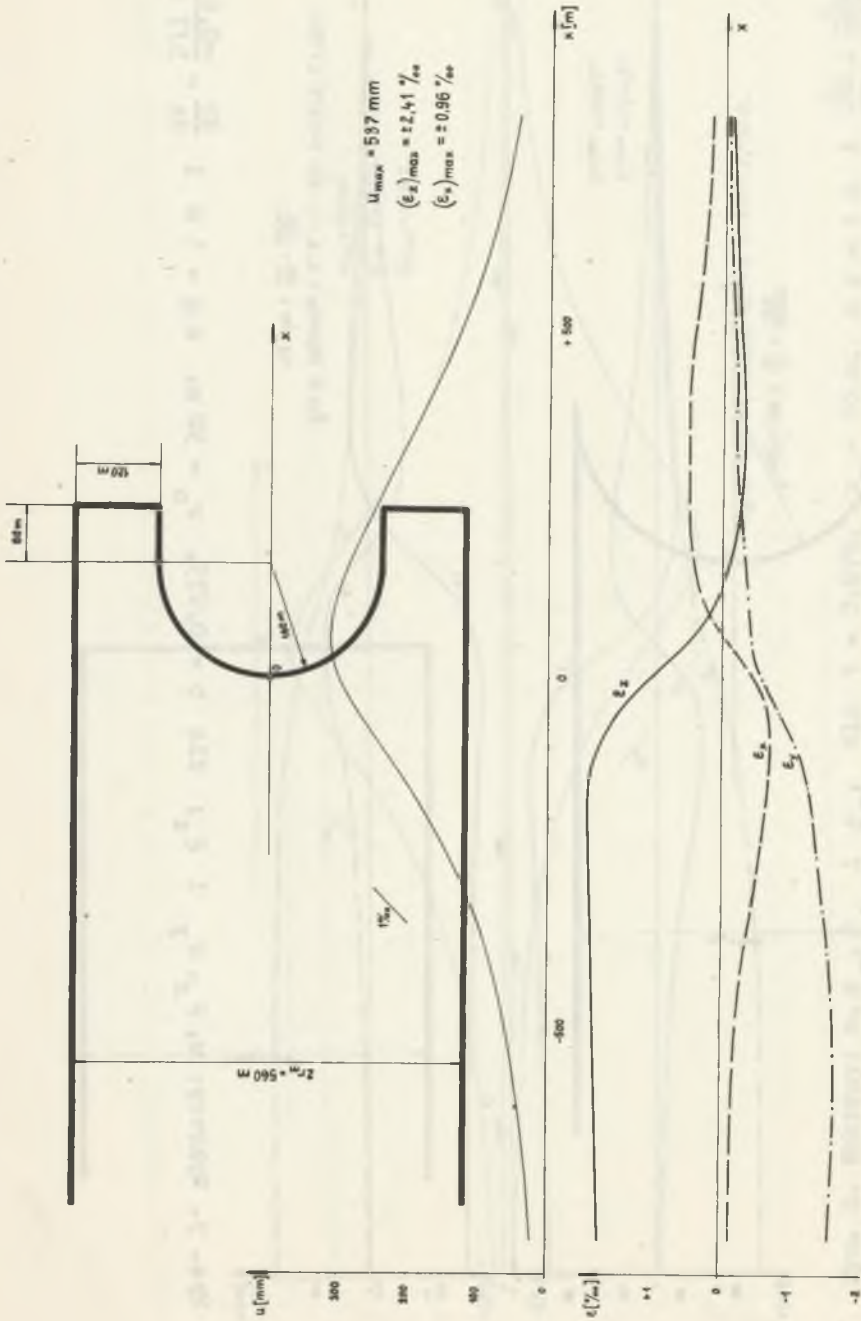
Rys 8. Wykresy: $u, \epsilon_x, \epsilon_y, i \epsilon_z$; dla: $b = 0,675, r_0 = 50 \text{ m}$,
 $ag = 1 \text{ m}, i \frac{db}{dz} = \frac{-0,6}{537 \text{ m}}$.

Rys. 8. Wykresy: $u, \epsilon_x, \epsilon_y$ i ϵ_z dla $b = 0,675, r_0 = 50 \text{ m}, a g = 1 \text{ m}$ i $\frac{db}{dz} = \frac{-0,6}{537 \text{ m}}$

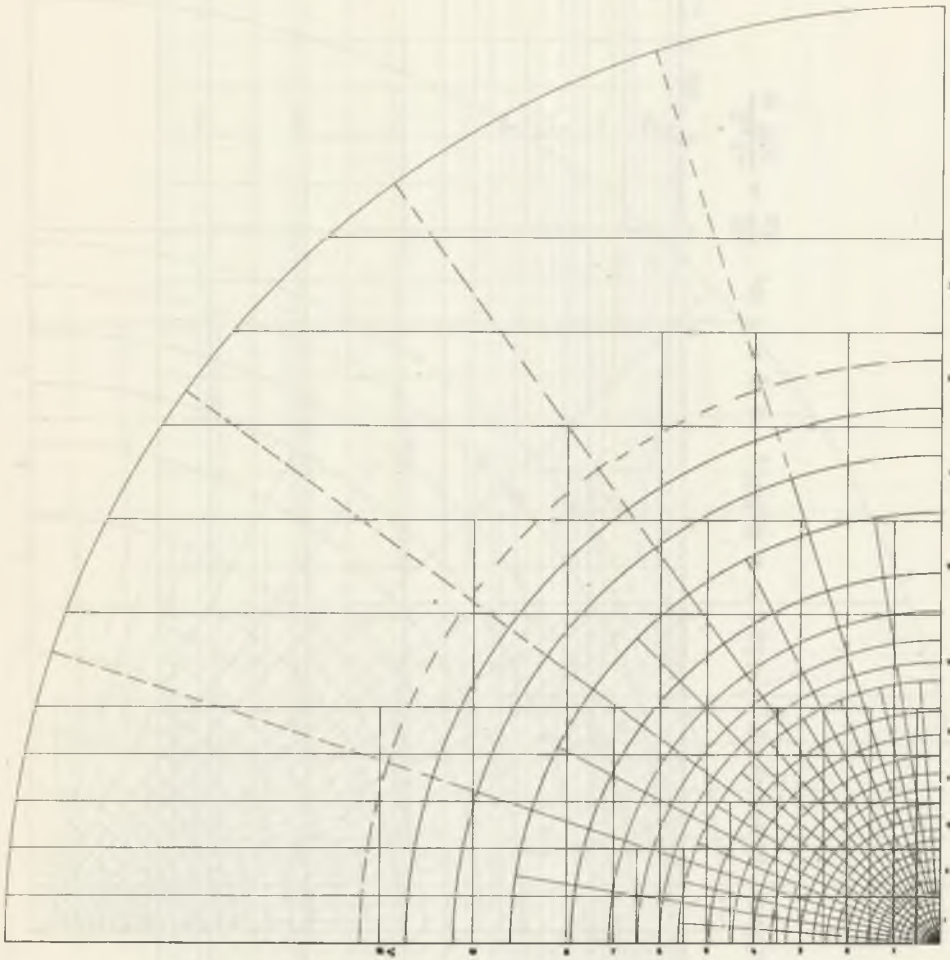


Rys. 9. Wykresy $u, \epsilon_y, \epsilon_x$ i ϵ_x , dla: $b = 0,675$, $r_0 = 50 \text{ m}$,
 $ag = 1 \text{ m}$ i $\frac{db}{dz} = \frac{-0,6}{537 \text{ m}}$.

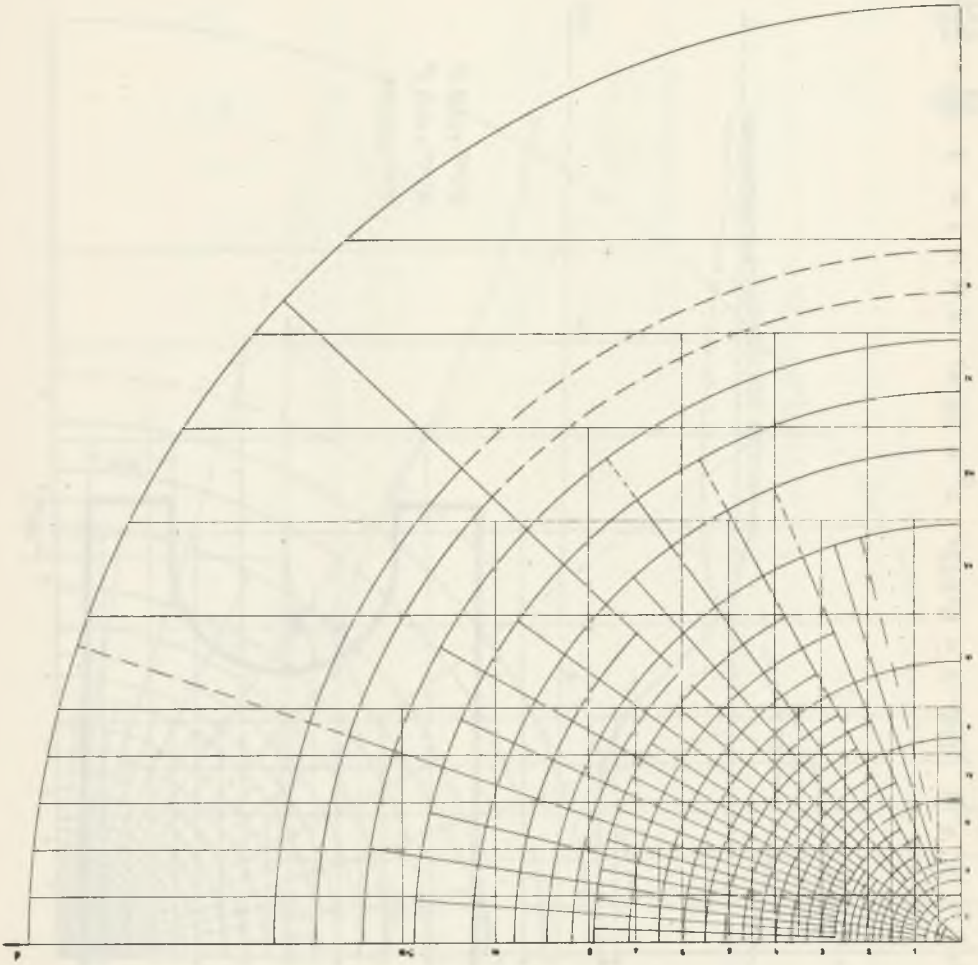
Rys. 9. Wykresy: $u, \epsilon_x, \epsilon_y$ i ϵ_z ; dla $b = 0,675$, $r_0 = 50 \text{ m}$, $a g = 1 \text{ m}$ i $\frac{db}{dz} = \frac{-0,6}{537 \text{ m}}$



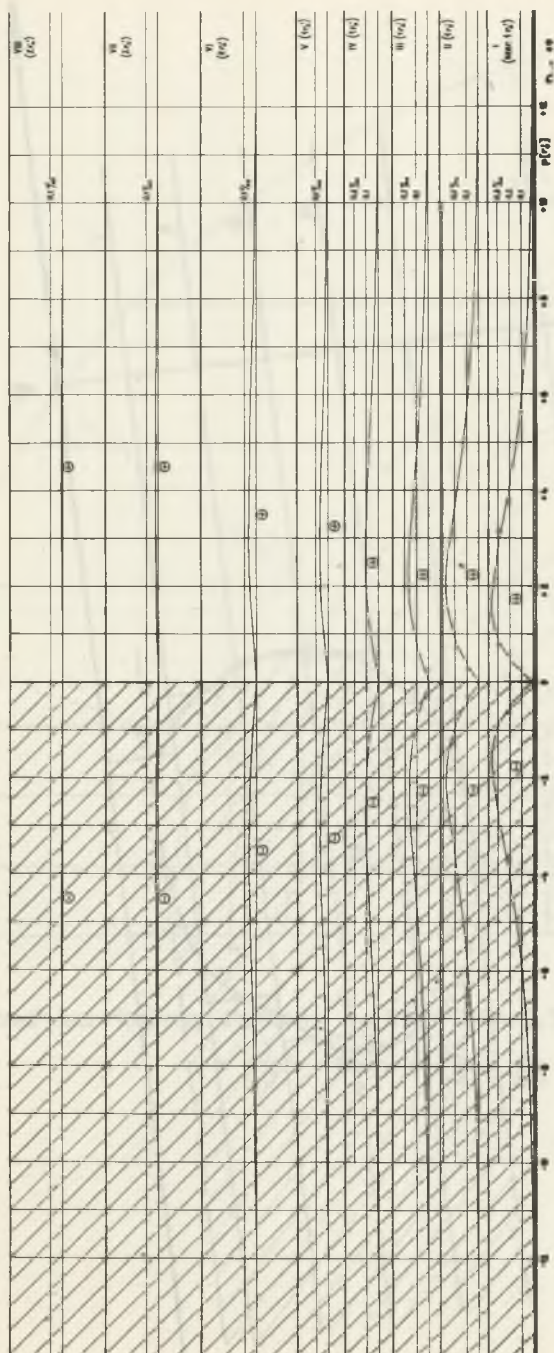
Rys. 10. Wykresy: $u, \epsilon_x, \epsilon_y$ i ϵ_z dla $b = 0,675$, $r_0 = 50 \text{ m}$, $a g = 1 \text{ m}$ i $\frac{db}{dz} = \frac{-0,6}{537} \text{ m}$



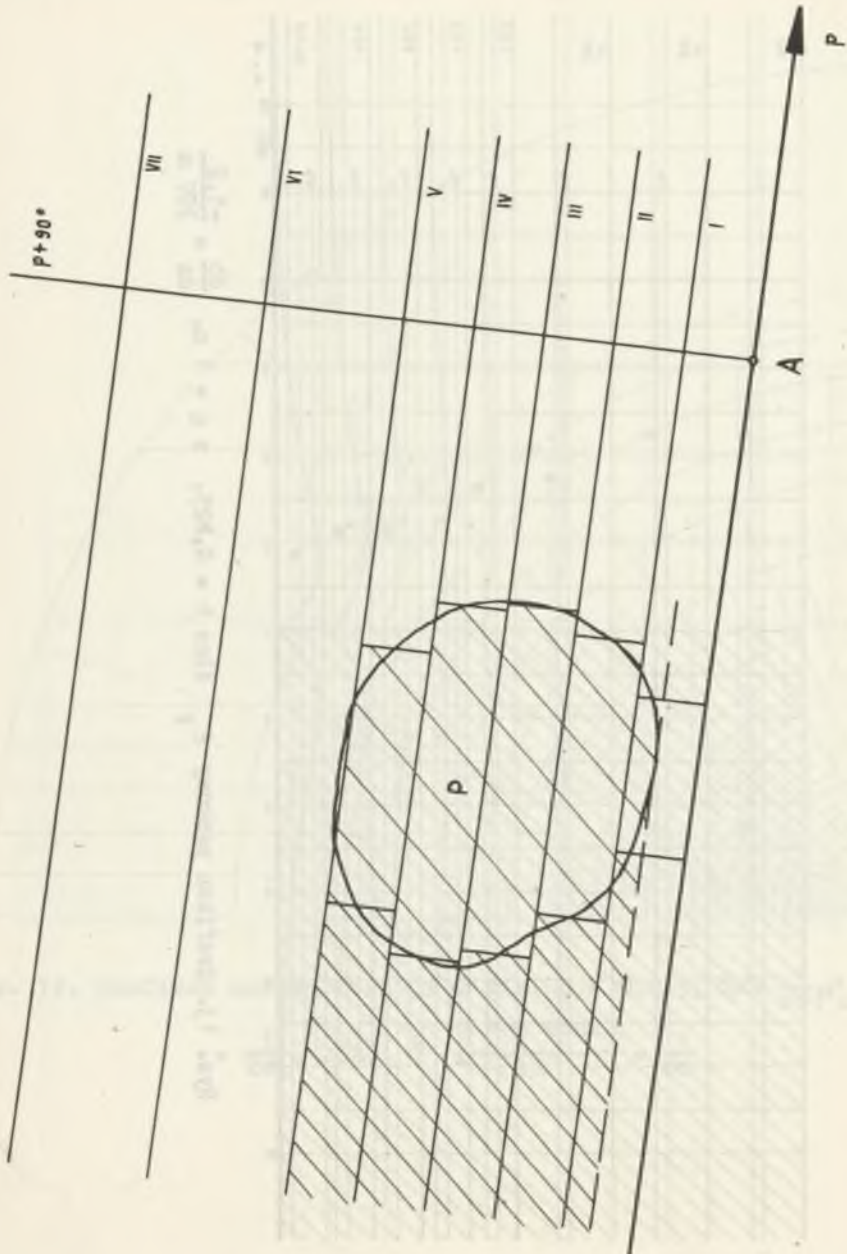
Rys. 11. Grafikon kołowy funkcji μ dla: $b = 0,825$, $\delta\mu = \frac{1}{20}\mu'_{\max} =$
 $= \frac{1}{20} \cdot 2725$, $\delta \frac{\alpha}{2\pi} = \frac{1}{80}$



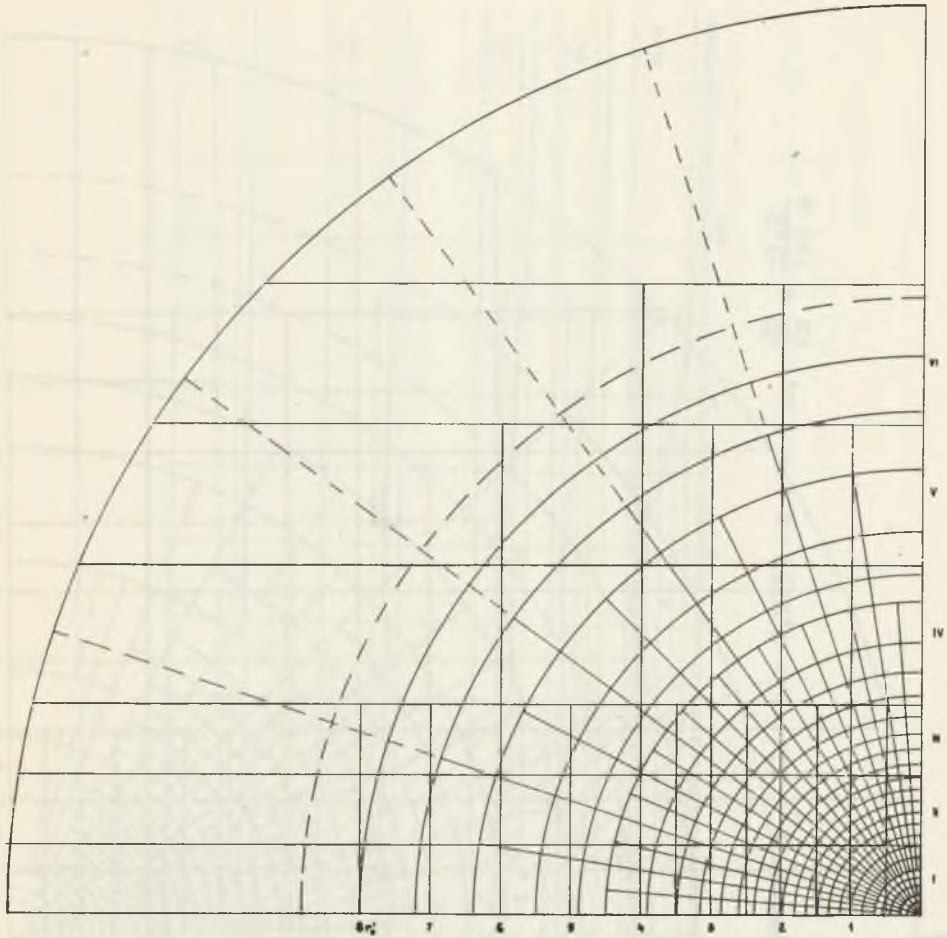
Rys. 12. Grafikon kołowy funkcji μ' dla: $b = 0,825$, $\delta\mu' = \frac{1}{20}\mu'_{\max} =$
 $= \frac{1}{20} \cdot 2725$, $\delta \frac{\alpha + \frac{1}{2} \sin 2\alpha}{2\pi} = \frac{1}{80}$



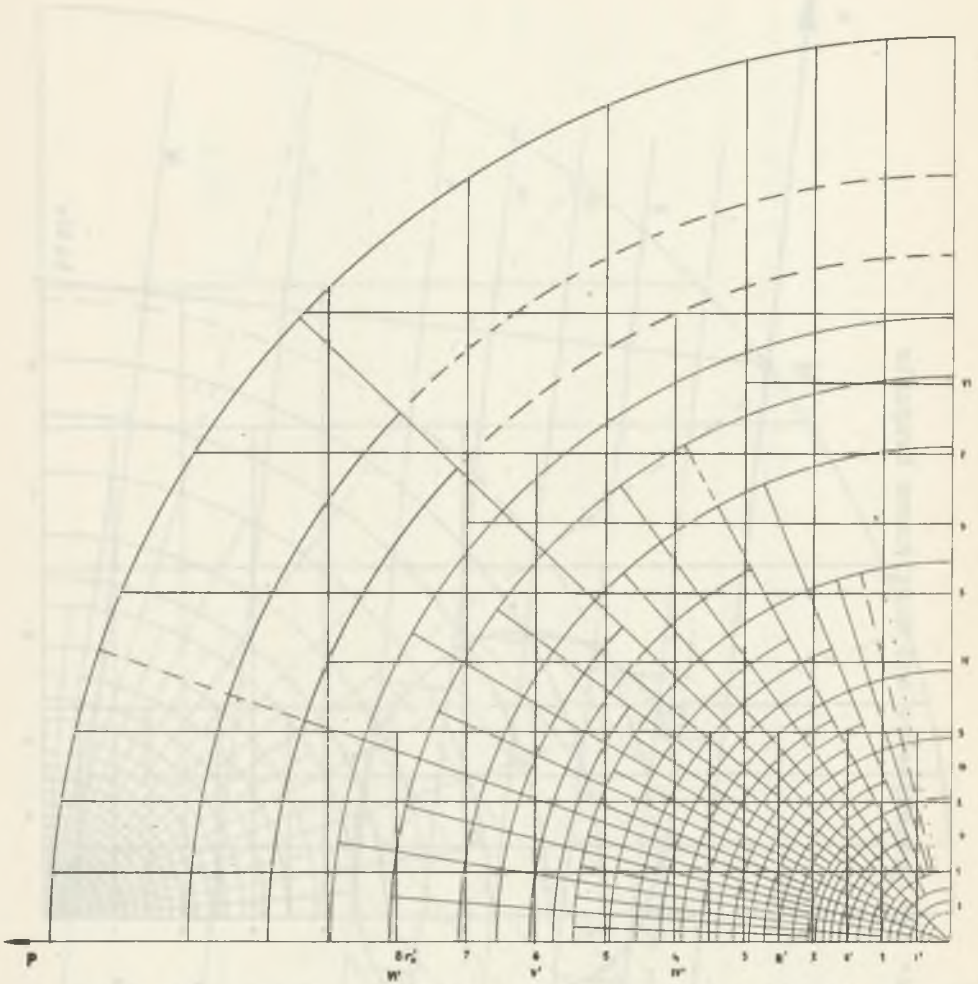
Rys. 13. Grafikon paskowy ε_p dla: $b = 0,825$, $ag = 1$ m, $\frac{db}{dz} = \frac{-1,2}{307}$ m



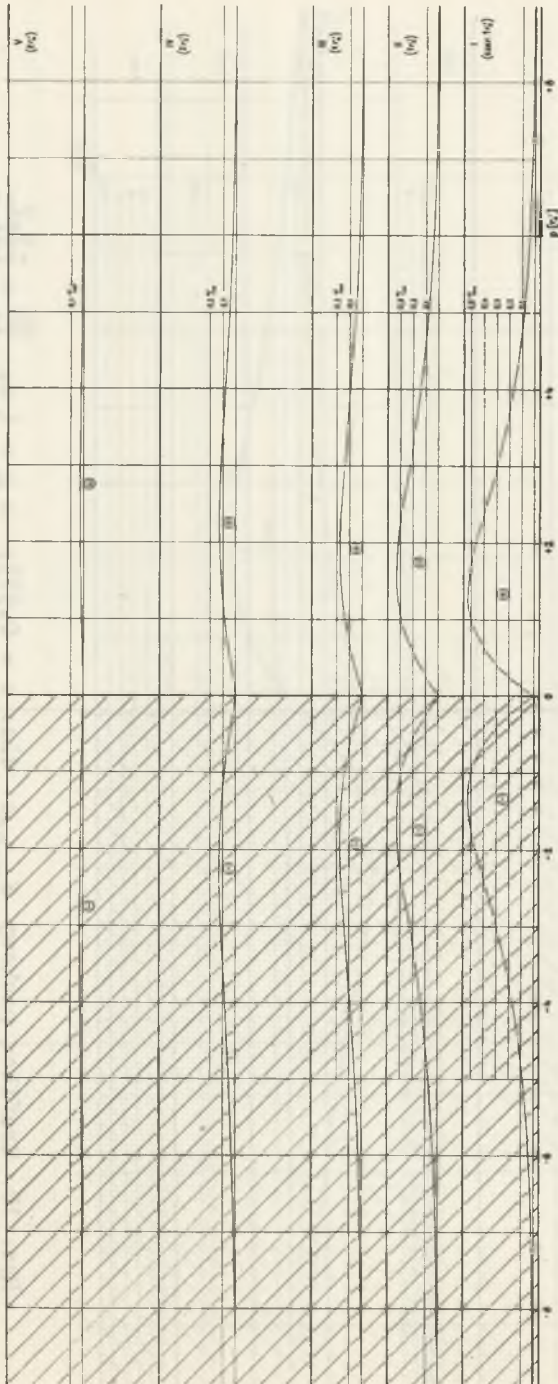
Rys. 14. Postępowanie się grafikonem paskowym



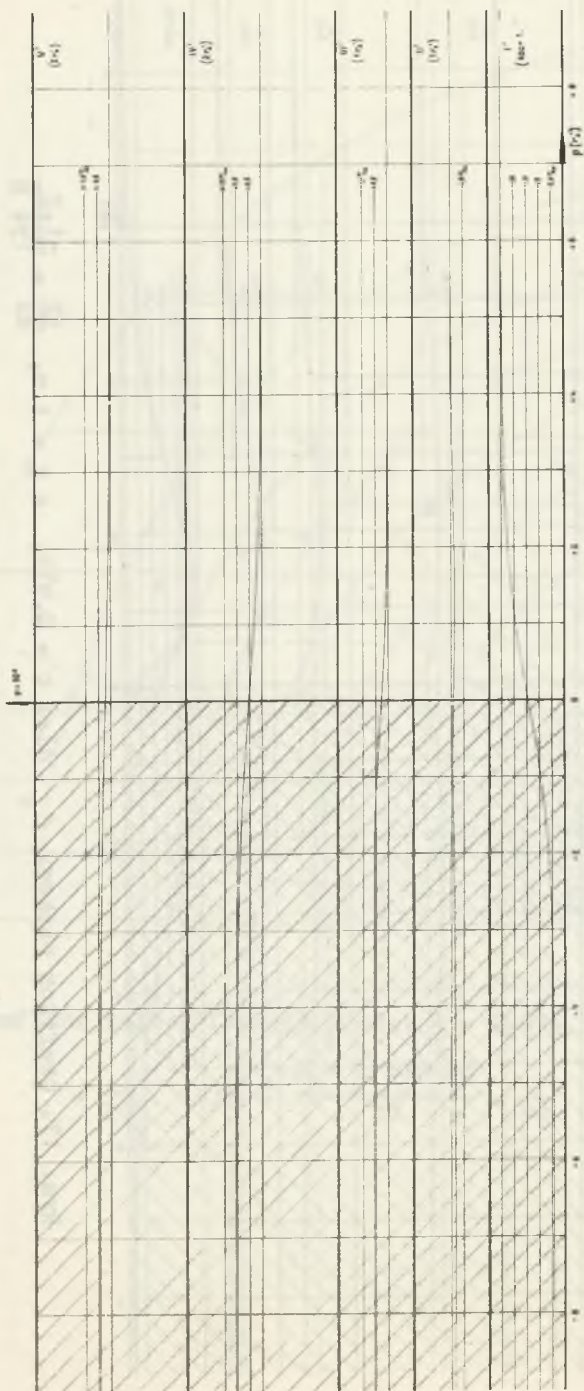
Rys. 15. Grafikon kołowy funkcji μ' dla: $b = 0,975$, $\delta\mu' = \frac{1}{20}\mu'_{\max} =$
 $= \frac{1}{20} \cdot 1837$, $\delta \frac{\alpha}{2\pi} = \frac{1}{80}$



Rys. 16. Grafikon kołowy funkcji μ'' dla: $b = 0,975$, $\delta\mu' = \frac{1}{20}\mu''_{\max} =$
 $= \frac{1}{20} \cdot 1837, \delta \frac{\alpha + \frac{1}{2} \sin 2\alpha}{2\pi} = \frac{1}{80}$

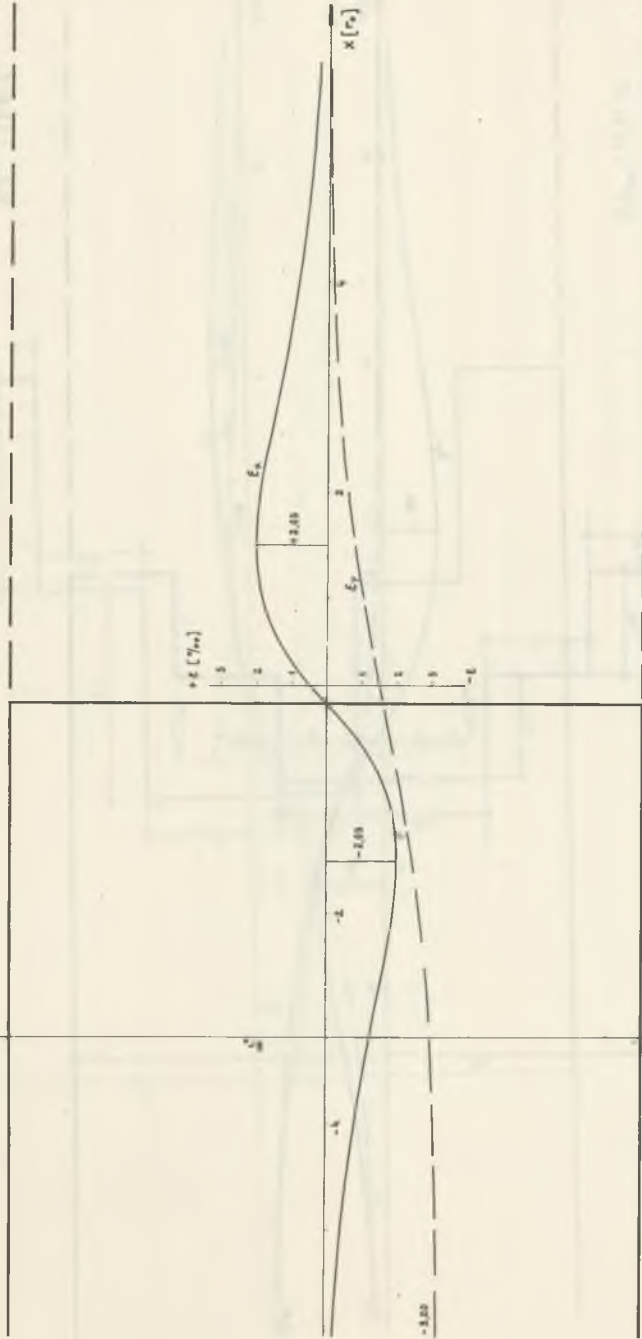


Rys. 17. Grafikon paskowy ϵ_p dla: $b = 0,975$, a $g = 1$ m, $\frac{db}{dz} = \frac{-1,2}{194}$ m



Rys. 18. Grafikon paskowy ϵ_{p+90° dla: $b = 0,975$, $a \xi = 1$ m, $\frac{db}{dz} = \frac{-1,2}{194}$ m

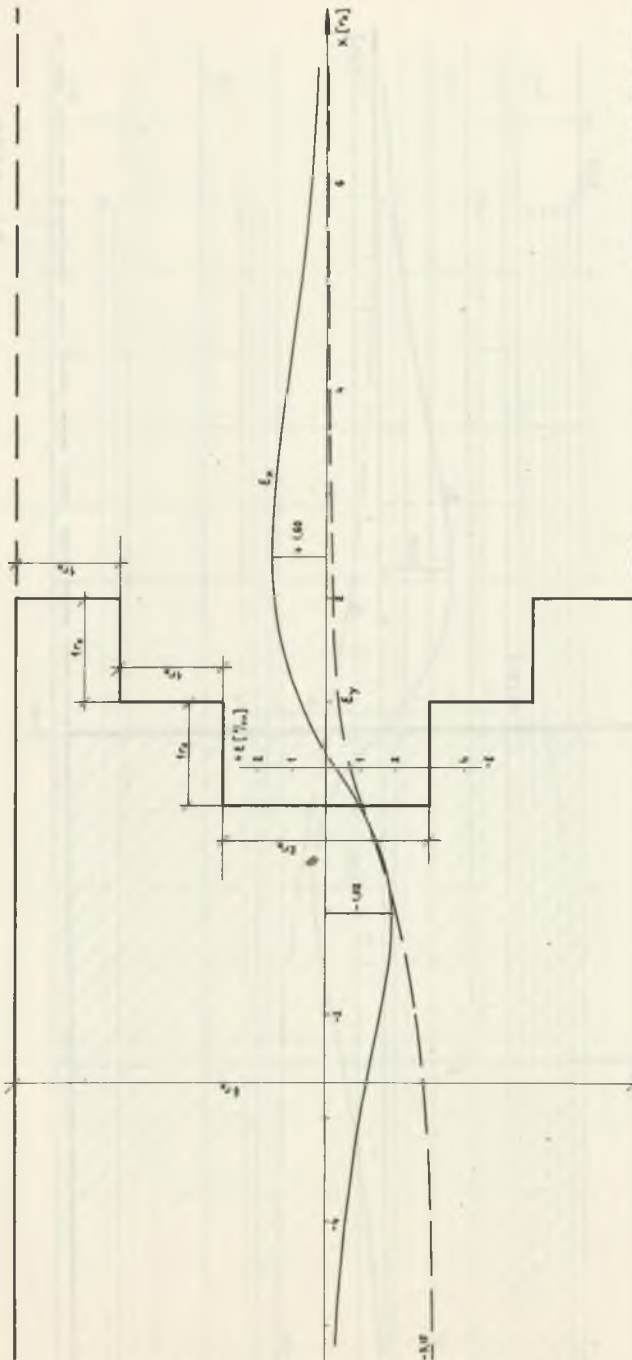
$b = 0,975$



$(\epsilon)_{max} = \pm 2,32\%$

Rys. 19

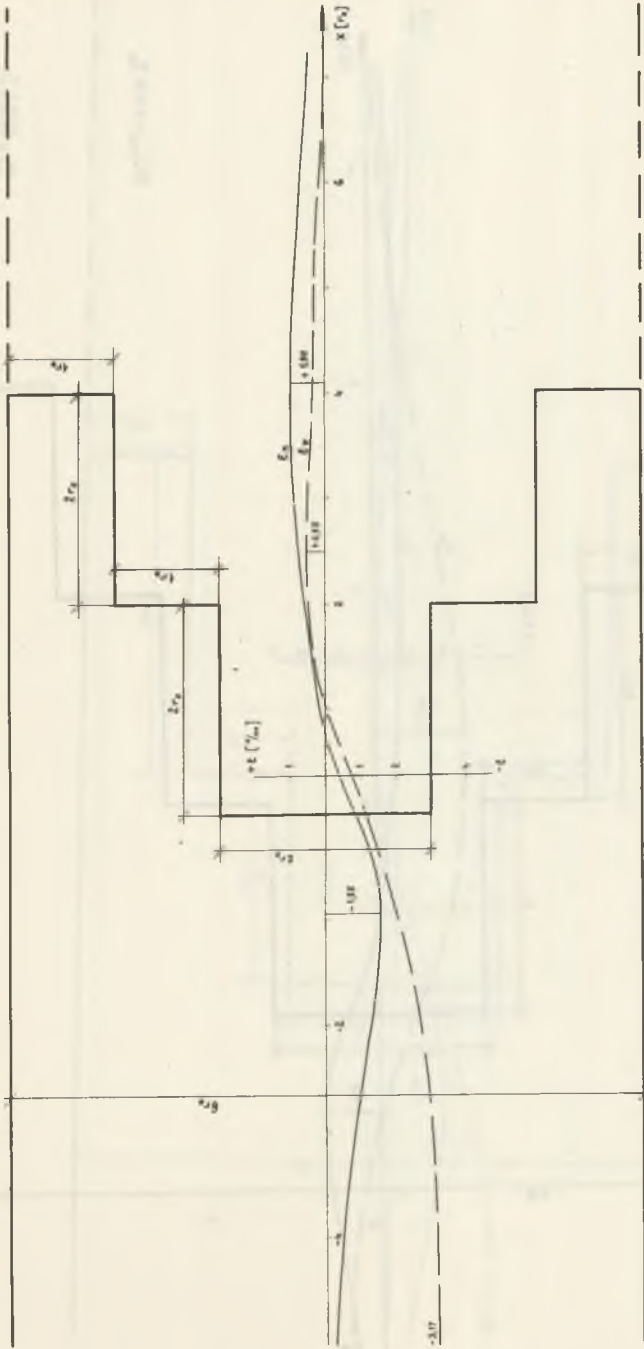
$b = 0,975$



Rys. 20

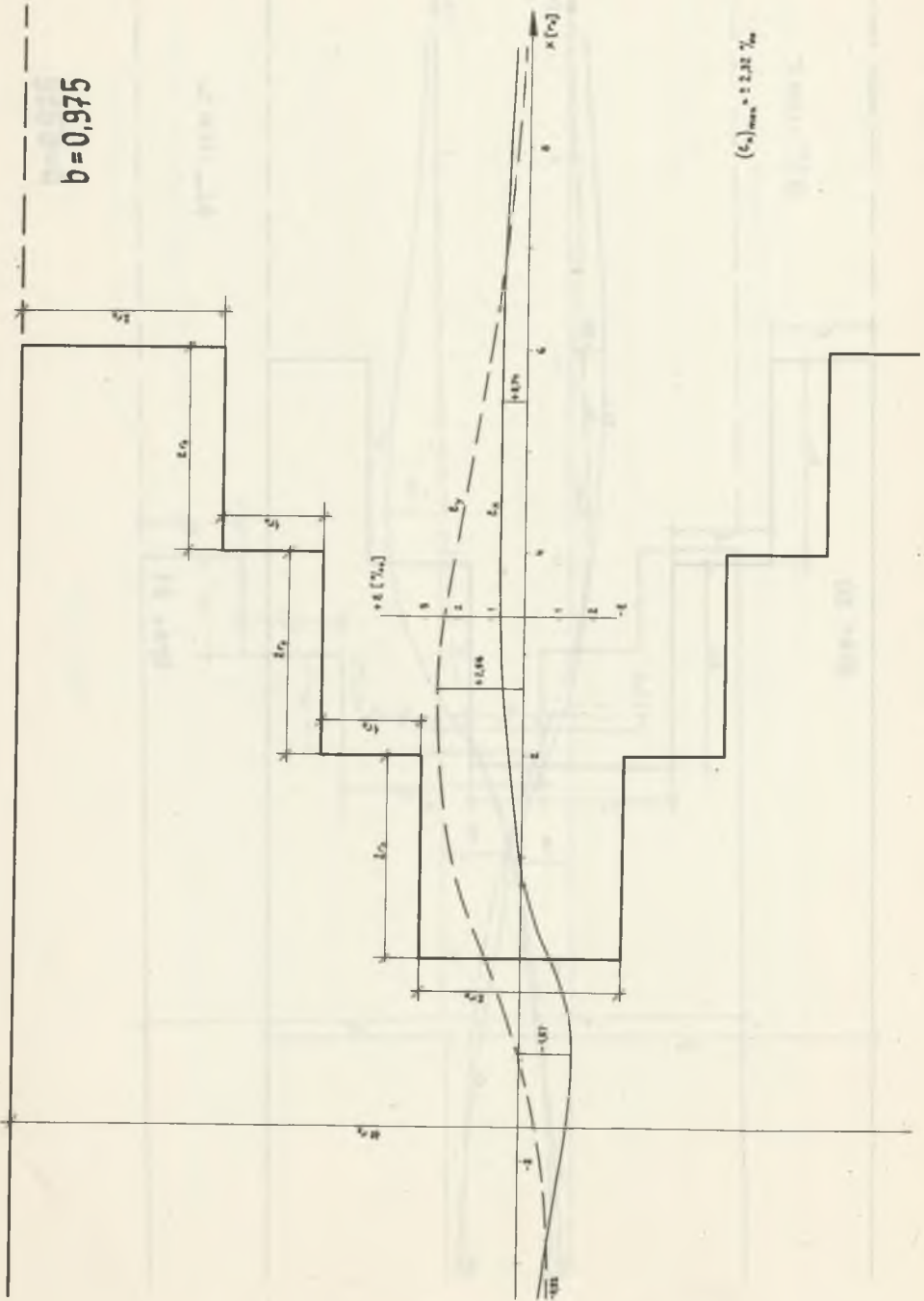
$(\sigma_x)_{max} = \pm 2,32 \%$

$b = 0,975$



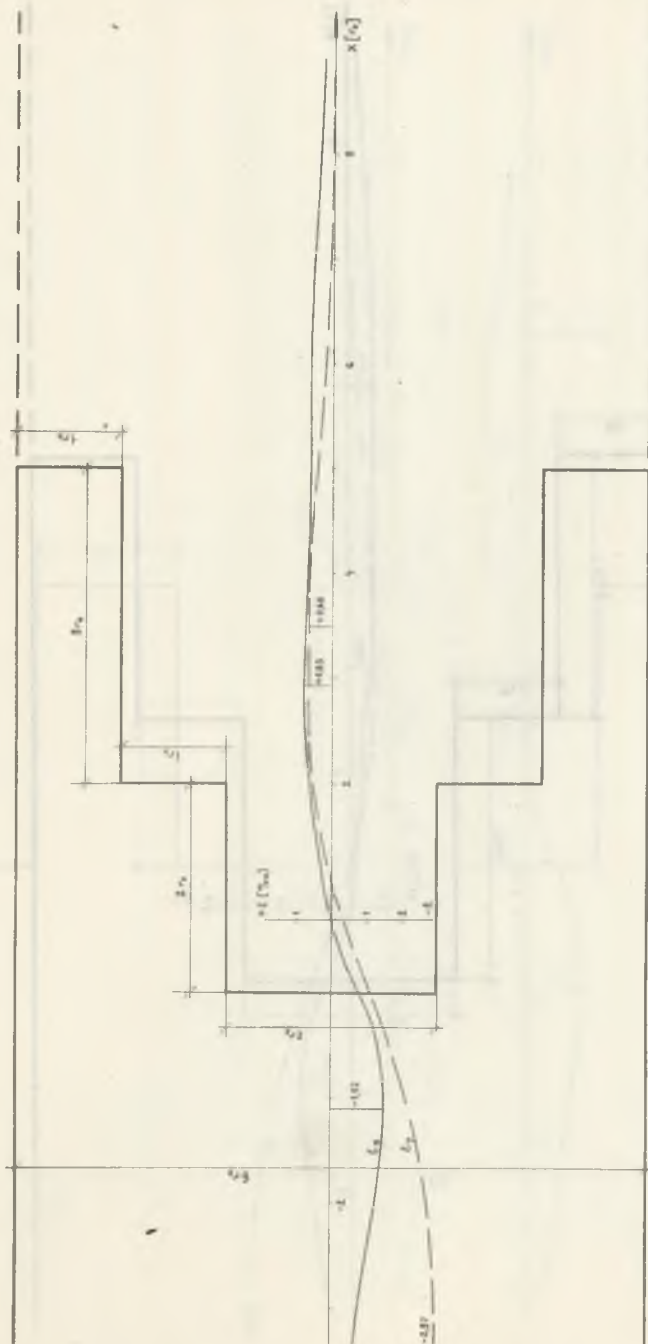
$(\epsilon_{\sigma})_{max} = 2,32 \cdot 10^{-4}$

Rys. 21



Rys. 22

$b = 0,975$

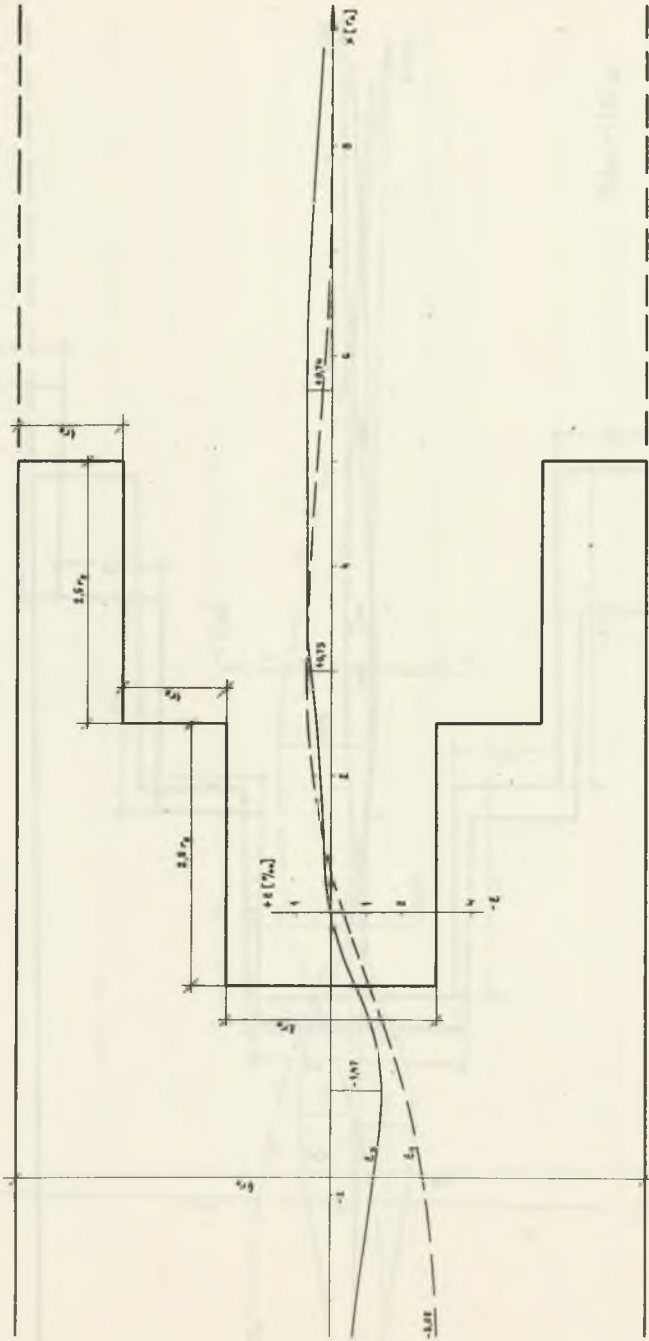


$(\epsilon_1)_{max} = 2,82 \%$

Rys. 23

0-0312

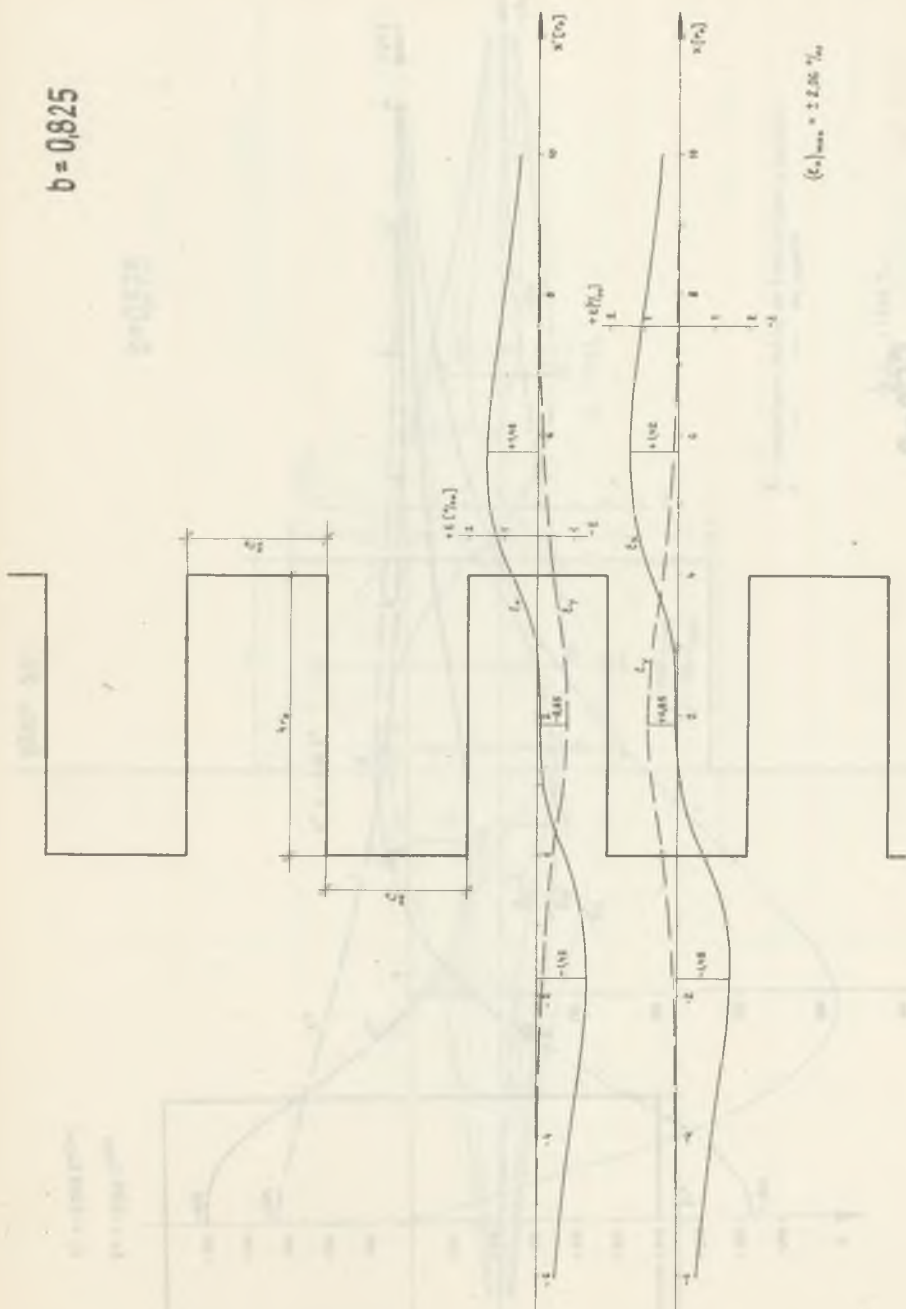
$b = 0,975$



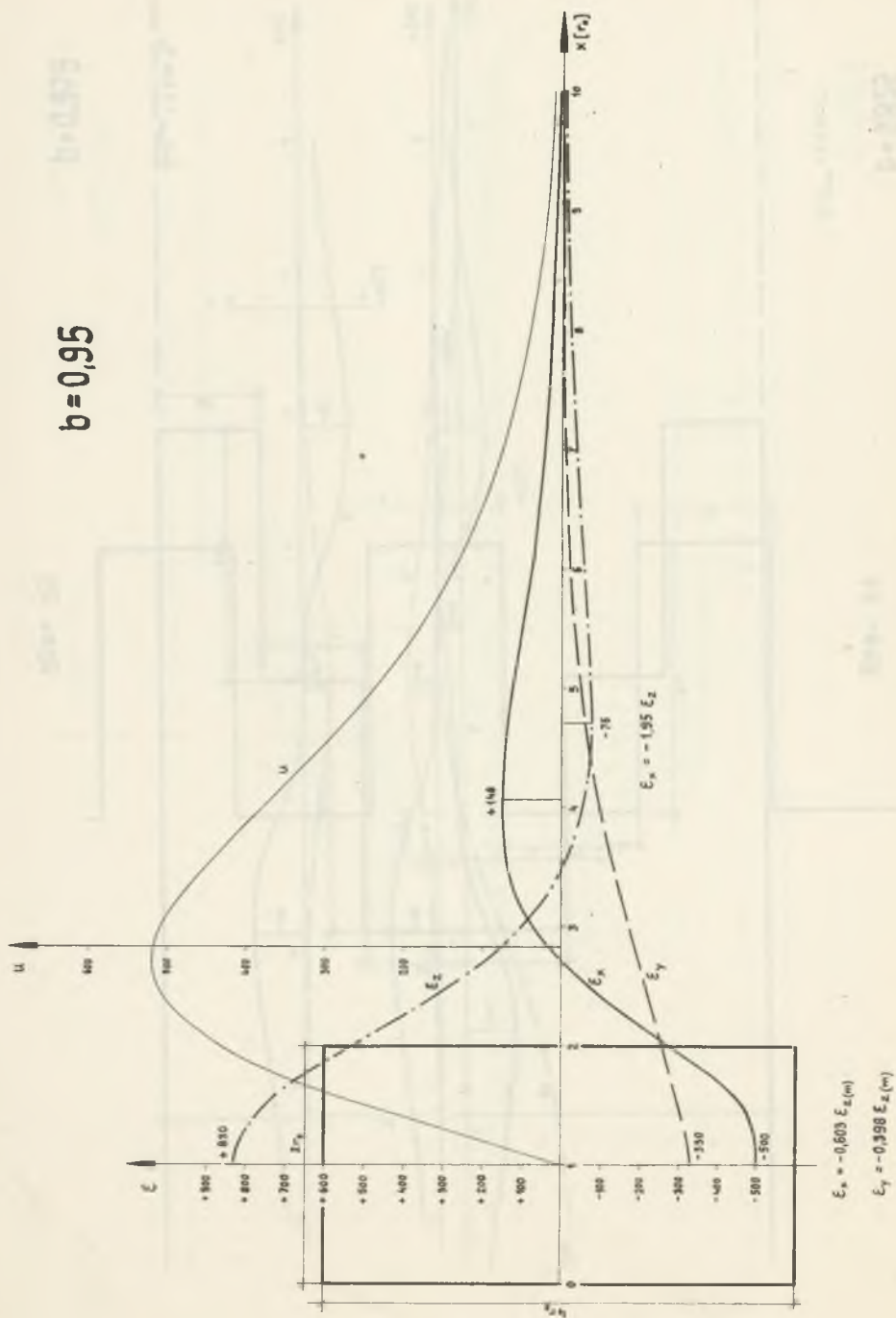
$(\sigma_x)_{max} = 1,232 \gamma_{max}$

Rys. 24

$b = 0,825$

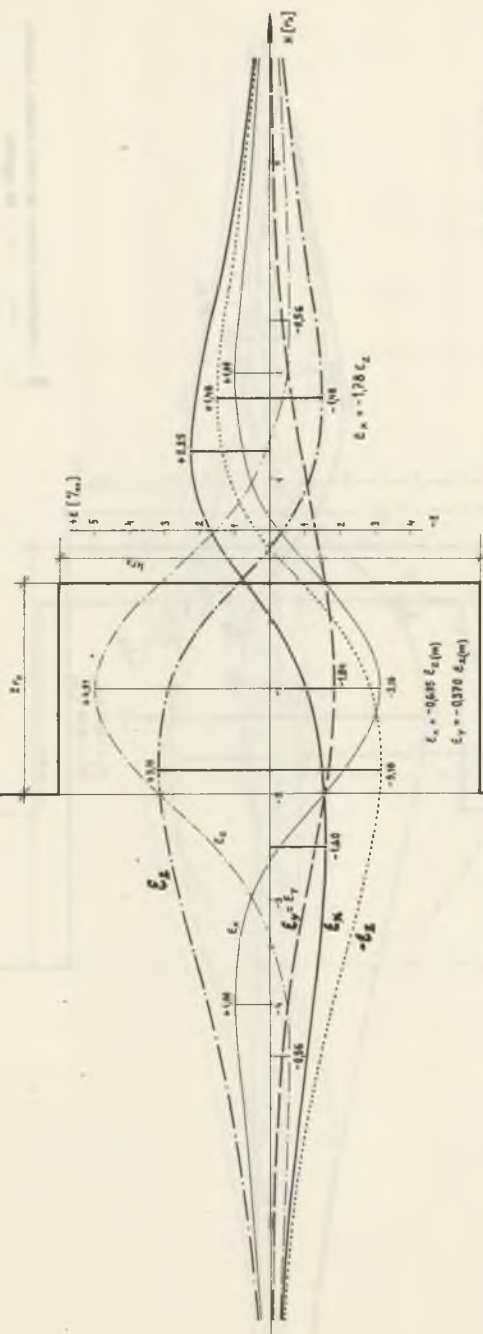


Rys. 25

$b = 0,95$


Rys. 26

$b=0.975$

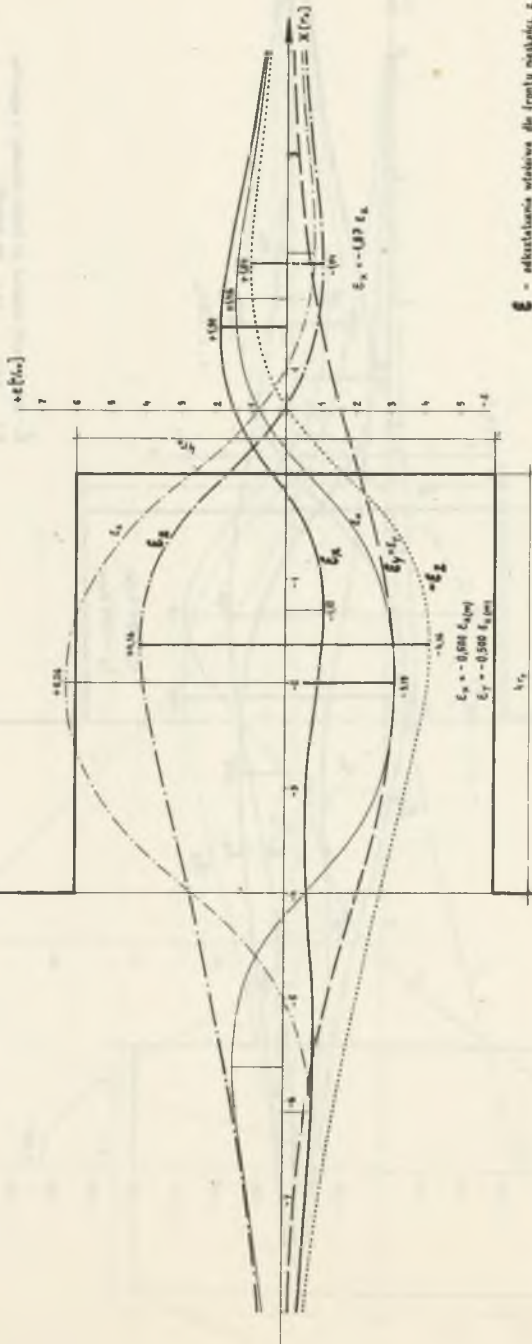


ϵ - odkształcenia obliczone dla frontu młoteczki
 ϵ - dla wypukłości

$(\epsilon_x)_{max} = \pm 2.32 \text{ ‰}$

Rys. 27

$b = 0,975$

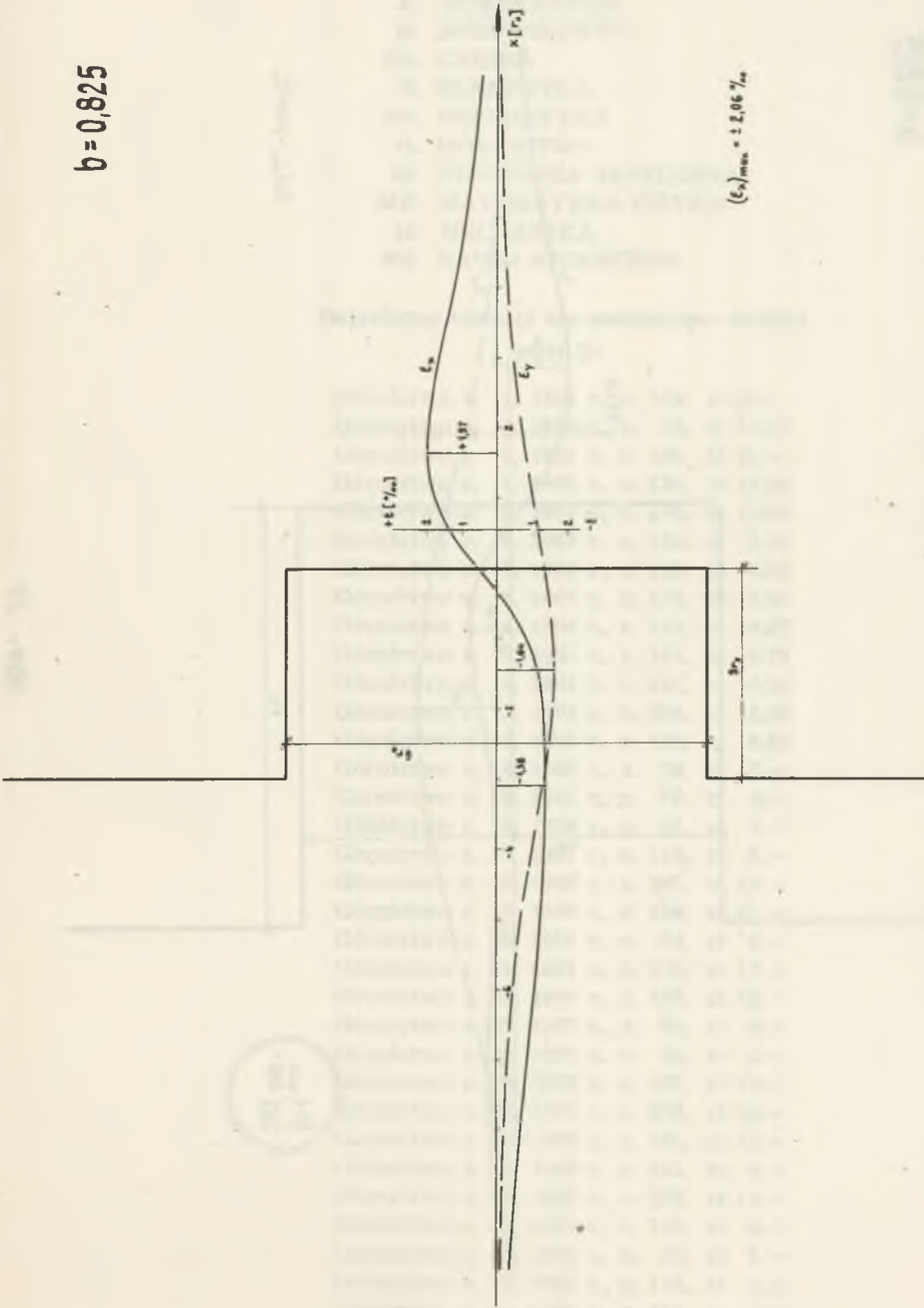


E - odkształcenia względnie dla frontu nieliniowego z wyparciem
 E - ... do wyparci

$(E)_{max} = 2,25\%$

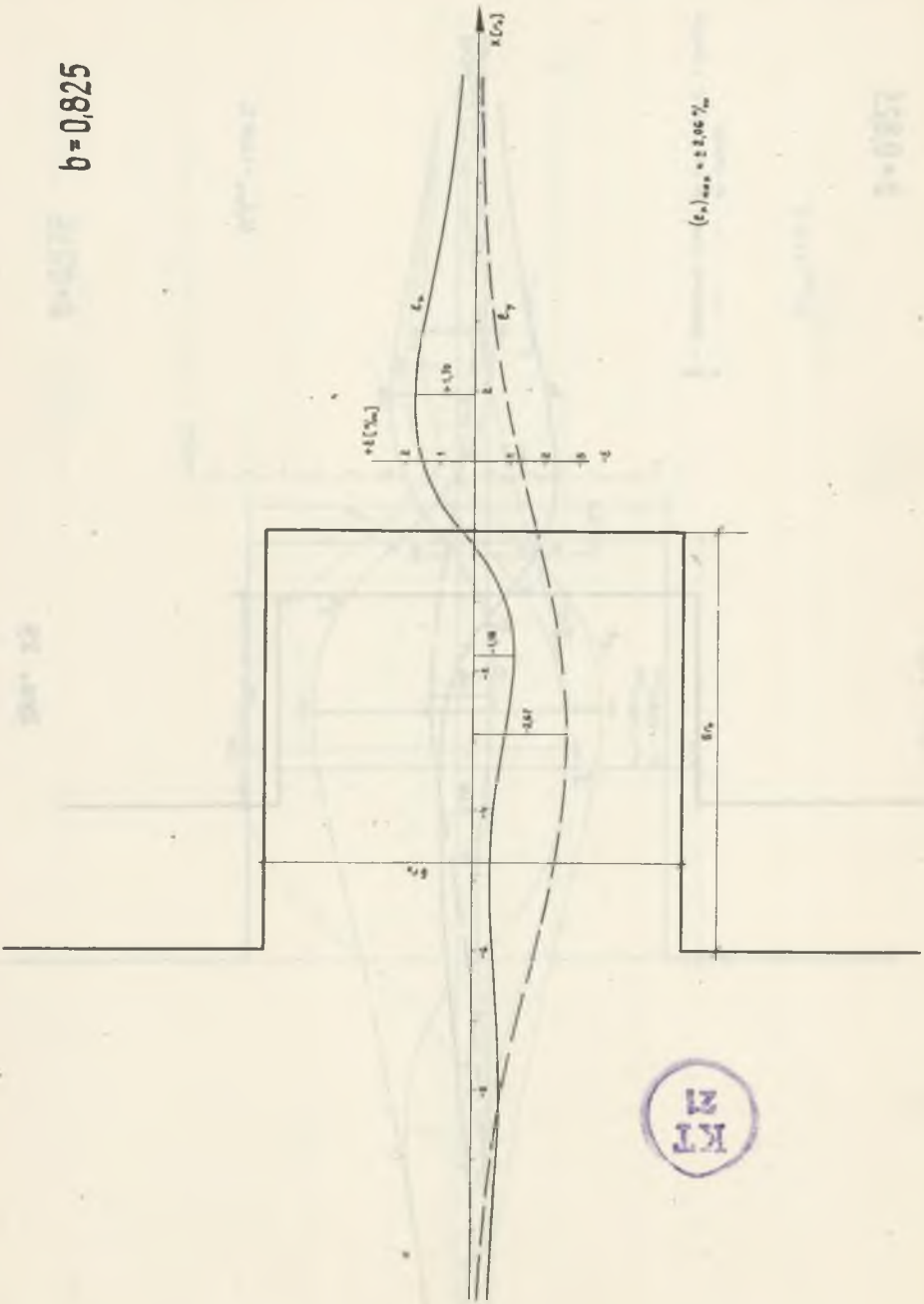
Rys. 28

$b = 0,825$



Rys. 29

$b = 0,825$



$(E_x)_{max} = 2,806 \frac{N}{cm^2}$

ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ

ukazują się w następujących seriach:

- A. AUTOMATYKA
- B. BUDOWNICTWO
- Ch. CHEMIA
- E. ELEKTRYKA
- En. ENERGETYKA
- G. GÓRNICTWO
- IS. INŻYNIERIA SANITARNA
- MF. MATEMATYKA-FIZYKA
- M. MECHANIKA
- NS. NAUKI SPOŁECZNE

Dotychczas ukazały się następujące zeszyty
serii G:

- Górnictwo z. 1, 1956 r., s. 134, zł 20,—
- Górnictwo z. 2, 1959 r., s. 96, zł 17,10
- Górnictwo z. 3, 1961 r., s. 130, zł 21,—
- Górnictwo z. 4, 1962 r., s. 134, zł 10,95
- Górnictwo z. 5, 1963 r., s. 158, zł 11,90
- Górnictwo z. 6, 1963 r., s. 154, zł 8,50
- Górnictwo z. 7, 1963 r., s. 129, zł 6,80
- Górnictwo z. 8, 1964 r., s. 175, zł 10,20
- Górnictwo z. 9, 1964 r., s. 133, zł 10,50
- Górnictwo z. 10, 1964 r., s. 157, zł 8,75
- Górnictwo z. 11, 1964 r., s. 221, zł 13,10
- Górnictwo z. 12, 1964 r., s. 304, zł 15,20
- Górnictwo z. 13, 1965 r., s. 145, zł 8,40
- Górnictwo z. 14, 1965 r., s. 78, zł 5,—
- Górnictwo z. 15, 1966 r., s. 79, zł 5,—
- Górnictwo z. 16, 1966 r., s. 91, zł 7,—
- Górnictwo z. 17, 1966 r., s. 113, zł 8,—
- Górnictwo z. 18, 1966 r., s. 291, zł 16,—
- Górnictwo z. 19, 1966 r., s. 150, zł 11,—
- Górnictwo z. 20, 1966 r., s. 84, zł 5,—
- Górnictwo z. 21, 1967 r., s. 270, zł 17,—
- Górnictwo z. 22, 1967 r., s. 196, zł 12,—
- Górnictwo z. 23, 1967 r., s. 69, zł 4,—
- Górnictwo z. 25, 1967 r., s. 96, zł 5,—
- Górnictwo z. 26, 1968 r., s. 137, zł 10,—
- Górnictwo z. 27, 1967 r., s. 378, zł 24,—
- Górnictwo z. 28, 1968 r., s. 185, zł 11,—
- Górnictwo z. 29, 1968 r., s. 161, zł 9,—
- Górnictwo z. 30, 1968 r., s. 237, zł 14,—
- Górnictwo z. 31, 1968 r., s. 119, zł 8,—
- Górnictwo z. 32, 1968 r., s. 97, zł 6,—
- Górnictwo z. 33, 1968 r., s. 113, zł 6,—
- Górnictwo z. 34, 1968 r., s. 111, zł 7,—
- Górnictwo z. 35, 1968 r., s. 143.
- Górnictwo z. 36, 1969 r., s. 243. zł 13,50

Cena zł 4,50