

Teodor Lubina

## MOŻLIWOŚĆ ZASTOSOWANIA ANALOGU OPTYCZNEGO DO OBLICZANIA DEFORMACJI GÓROTWORU WEDŁUG TEORII T. KOCHMAŃSKIEGO

**Streszczenie.** Przedstawiono zasady działania analogu optycznego oraz możliwość jego przystosowania do obliczania wskaźników deformacji górotworu i powierzchni wg teorii T. Kochmańskiego, znacznie upraszczając żmudną pracę rachunkową. Wskazano praktyczne sposoby wykonywania filtrów optycznych - istotnego elementu analogu - podobnych do grafików wpływów eksploatacji górniczej na górotwór wg teorii T. Kochmańskiego. Istnieje także możliwość zastosowania analogu do obliczeń deformacji wg teorii W. Budryk - St. Knothe, jak również innych teorii różniczkowo-całkowych.

Przy pomocy analogu można obliczyć ruchy punktów górotworu i powierzchni dla pokładów zalegających poziomo oraz pokładów nachylonych, a nawet stromych.

### 1. Wstęp

Modelowanie na analogu elektrycznym zjawisk zachodzących w górotworze zaburzonym robotami górniczymi jest trudnym zadaniem. Bardziej wdzięcznym medium modelującym wpływ eksploatacji na górotwór i powierzchnię terenu jest światło lub ciepło. Modelując natężenie i rozchodzenie się światła odpowiednimi filtrami można z wielkości fotoprądu wnioskować o wartości deformacji.

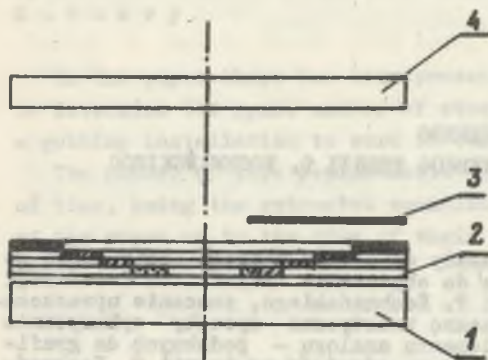
W niniejszej pracy przedstawiono zasady działania i konstrukcji analogu optycznego H. Kratzcha [13] oraz możliwość przystosowania go do obliczania wartości wskaźników deformacji górotworu i powierzchni według teorii T. Kochmańskiego.

### 2. Zasady działania analogu optycznego

Zasady działania i konstrukcji analogu optycznego H. Kratzscha zostały opisane w literaturze [12] [13] [14] [15] w odniesieniu do teorii i metod obliczania: R. Balsa, Meyersa i Drenta, G. Gronda, H. Zimmego, W. Korfmanna, F. Beyera, K. Lehmana, H. Fläschenrägera i innych.

Analog optyczny do obliczania wpływu eksploatacji górniczej jest urządzeniem składającym się z płaszczyzny świecącej, filtra optycznego sterowo osłabiającego natężenie promieniowania i elementu światłoczułego. Naj-

istotniejszym elementem jest filtr optyczny, który może być wykonany na astralonie lub folii filmowej przyłożonej na płaszczyznę świecąca (rys.1)



Rys. 1. Szkic przekroju przez analog optyczny z filtrem optycznym umieszczonym bezpośrednio na stole świetlnym

1 - stół świetlny, 2 - filtr optyczny składający się z czterech warstw folii z zaznaczonymi na każdej warstwie zaciemnionymi pierścieniami, 3 - zamodelowana czarnym, nieprzepuszczającym światła papierem eksploatacja górnicza, 4 - element światłoczuły

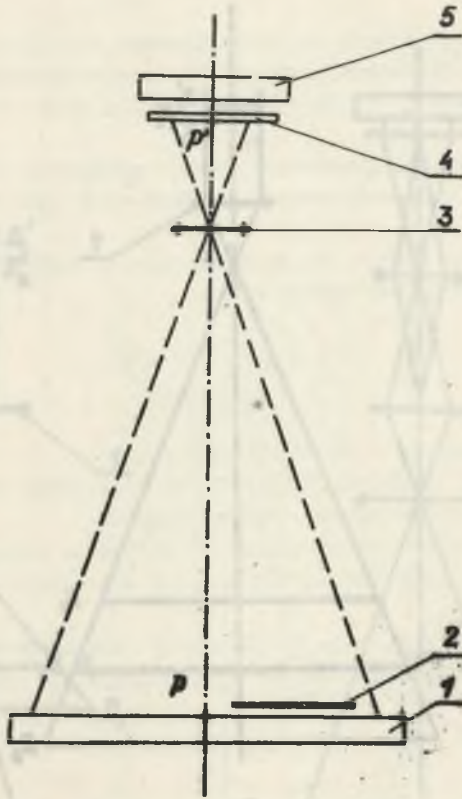
kształceń itd.) jest wielkość natężenia światła padającego na element światłoczuły. Przy nie przyskoniętym "odbudową górniczną" stołem świetlnym natężenie (energia) światła będzie największe - będzie to odpowiadało stanowi górotwora i powierzchni nie naruszonej robotami górnicznymi. Element światłoczuły połączony jest z galvanometrem lub innym urządzeniem mierzącym wielkość fotoprądu.

Analog optyczny, jaki schematycznie przedstawiono na rys. 1, ma szereg wad m.in. duża płaszczyzna elementu światłoczułego, "sztywna" skala filtru optycznego. Korzystniejszym do praktycznego stosowania jest analog wg rys. 2. Przesunięcie filtra optycznego z nad stołu świecącego bezpośrednio przed element światłoczuły i zastosowania układu soczewkowego umożliwia modelowanie eksploatacji na płaszczyźnie świecącej w dowolnej skali. Synchronizacja skali eksploatacji do skali filtra optycznego odbywa się przez odpowiednie ustawienie obiektywu i nastawienie ostrości obrazu pola górniczego na filtrze optycznym. Na rys. 3 i 4 przedstawiono układ optyczny analogu przy zastosowaniu różnych obiektywów: Tessar o ogniskowej  $f = 50$  mm i Angulon (szerokokątny) o ogniskowej  $f = 21$  mm.

Można również połączyć obydwa obiektywy w jeden układ (rys. 5). Tak sprężony układ pozwala na uzyskanie obrazu zamodelowanej eksploatacji na matówce.

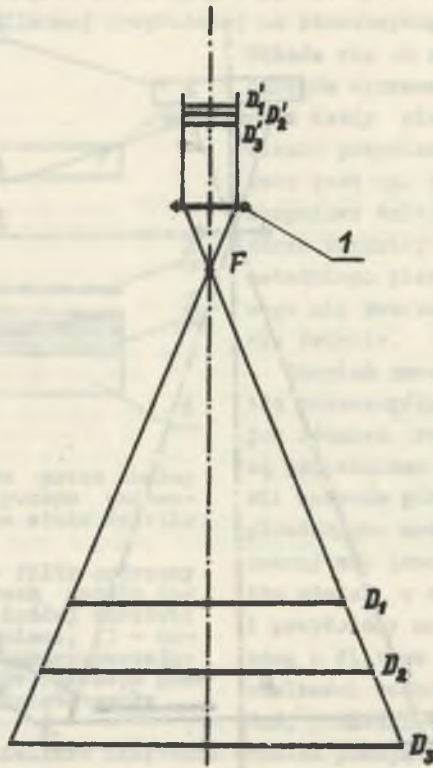
Składa się on ze współśrodkowych okręgów wyznaczających pierścienie. Każdy pierścień jest odpowiednio przyciemniony; środkowe koło jest np. nieprzyciemnione i stopniowo kolejne pierścienie są coraz bardziej zaciemniane do ostatniego pierścienia zewnętrznego nie przepuszczającego zupełnie światła.

Stopień przepuszczalności światła poszczególnego pierścienia, jak również rozmiary pierścieni są uzależnione od stosowanej teorii wpływów górnicznych. Pole eksploatacyjne modelowane jest przez czarny nie przepuszczający światła papier w odpowiedniej skali i przyłożony na płaszczyznę świecąca z filtrem optycznym. Miara wielkości ruchów górotwora (osiadań, przesunięć poziomych, od-



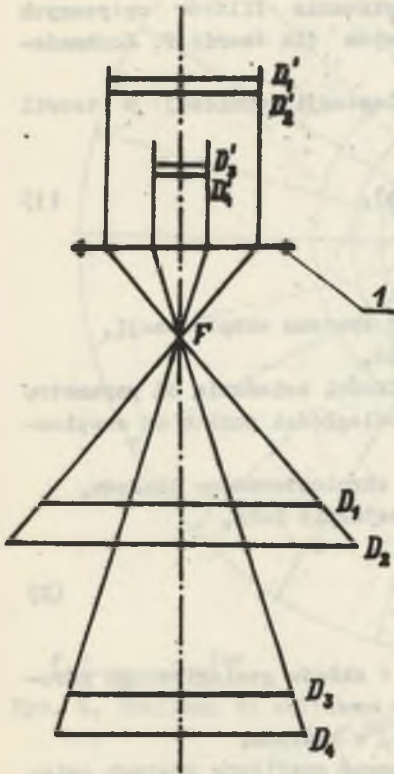
Rys. 2. Szkic przekroju analogu optycznego z filtrem optycznym umieszczonym bezpośrednio przed elementem światłoczułym

1 - stół świetlny, 2 - zamodelowane pole eksploatacyjne, 3 - obiektyw,  
4 - filtr optyczny, 5 - element światłoczuły



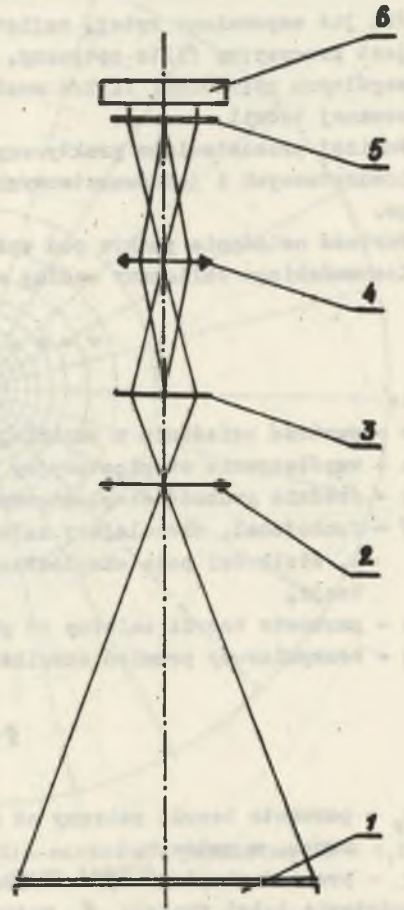
Rys. 3. Schemat biegu promieni w analogu optycznym wyposażonym w obiektyw Tessar o ogniskowej  $f = 50$  mm

$F$  - ognisko obiektywu; 1 - obiektyw Tessar;  $D_1, D_2, D_3$  - płaszczyzny stołu świetlnego z zamodelowaną eksploatacją;  $D_1', D_2', D_3'$  - obrazy odpowiadających płaszczyzn  $D_1, D_2, D_3$



Rys. 4. Schemat biegu promieni w analogu optycznym wyposażonym w obiektyw szerokokątny Angulon lub Super-Angulon o ogniskowej  $f=21$  mm

F - ognisko obiektywu; 1 - obiektyw Angulon;  $D_1, D_2, D_3$  i  $D_4$  płaszczyzny stołu świetlnego w różnych odległościach od obiektywu;  $D_1', D_2', D_3'$  i  $D_4'$  - obrazy odpowiadających płaszczyzn  $D_1, D_2, D_3$  i  $D_4$



Rys. 5. Schematyczny bieg promieni w analogu optycznym wyposażonym w układ optyczny składający się z obiektywu Tessar i Angulon

1 - płaszczyzna stołu świetlnego, 2 - szerokokątny obiektyw Angulon lub Super Angulon, 3 - matówka, 4 - obiektyw Tessar, 5 - filtr optyczny, 6 - element światłoczuły

### 3. Filtr optyczny

Jak już wspomniano wyżej, najistotniejszym elementem analogu optycznego jest precyzyjny filtr optyczny. Stopień przepuszczalności światła poszczególnych pierścieni filtra musi być analogiczny do diagramu wpływów stosowanej teorii.

Poniżej przedstawiono praktyczny sposób wykonania filtrów optycznych wielowarstwowych i jednowarstwowych segmentowych dla teorii T. Kochmańskiego.

Wartość osiadania punktu pod wpływem eksploatacji górniczej w teorii T. Kochmańskiego obliczamy według wzoru

$$w = a \cdot g \cdot \Psi(b, \varphi), \quad (1)$$

gdzie

- w - wartość osiadania w punkcie, w mm,
- a - współczynnik eksploatacyjny zależny od systemu eksploatacji,
- g - średnia grubość eksploatowanego pokładu,
- $\Psi$  - funkcjonal, określający zależność wielkości osiadania od parametru b, wielkości pola eksploatacyjnego i odległości punktu od eksploatacji,
- b - parametr teorii zależny od głębokości eksploatowanego pokładu,
- g - bezwymiarowy promień eksploatacji w kształcie koła,

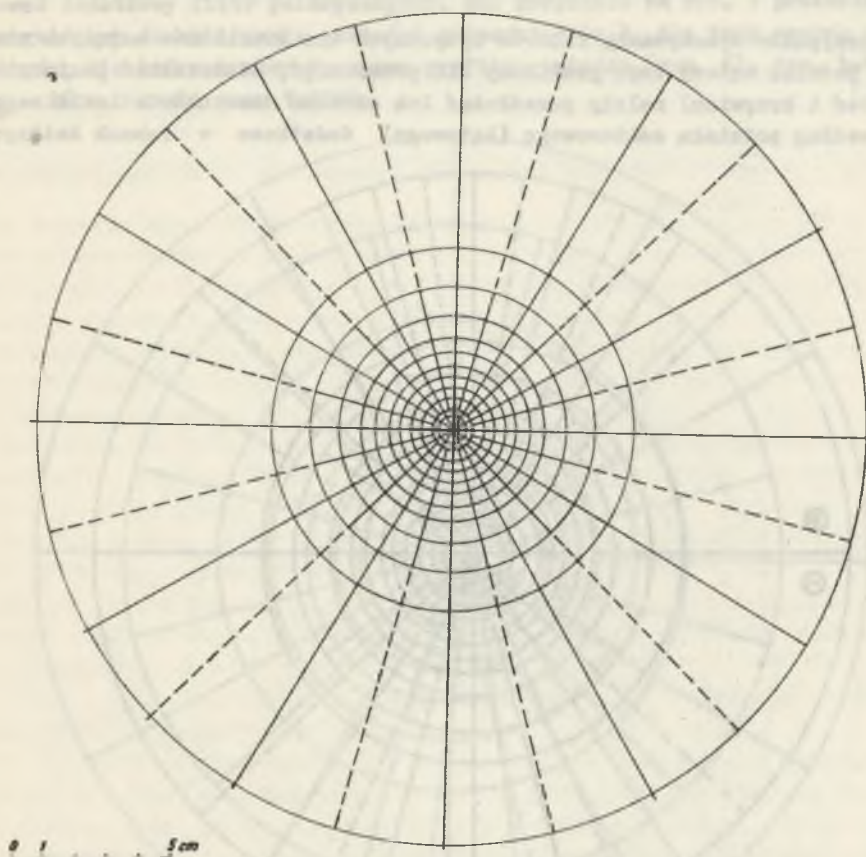
$$g = \frac{r}{r_0} \quad (2)$$

$r_0$  - parametr teorii zależny od struktury i składu geologicznego górotworu, w metrach,

r - promień eksploatacji w kształcie koła, w metrach.

Na podstawie tabel funkcji  $\Psi$  można skonstruować grafiki równych osiadań. Zasady budowy grafikonów dla osiadań, jak również dla innych wskaźników deformacji górotworu i powierzchni opublikowano m.in. w pracach [11] i [17]. Dla przykładu na rys. 6 przedstawiono grafikon osiadań dla parametru  $b = 1,05$  i  $r_0 = 26$  m w skali mapy 1:2000. Podział strefowy przyjęto na 10 części, natomiast podział sektorowy co  $15^\circ$ . Uzyskano w ten sposób efekt równego, co do wartości, oddziaływania każdego elementarnego segmentu, tzn. wycinka pierścienia kołowego.

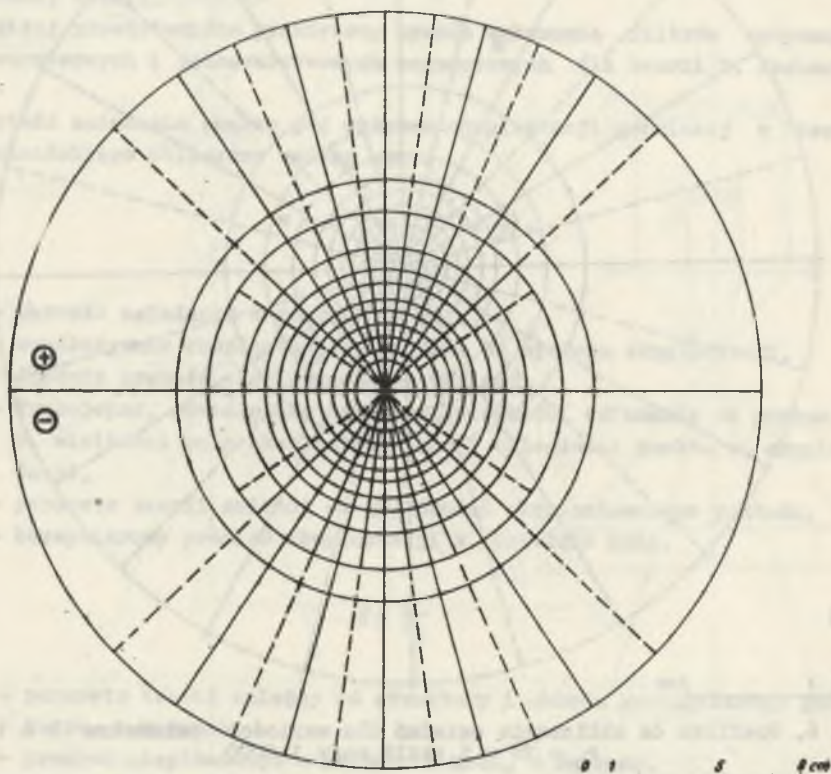
Zasady konstrukcji grafikonu wykorzystamy przy wykonywaniu filtru optycznego do analogu. Wiadomo, że każdy pierścień (strefa) ma taką samą wartość oddziaływania na punkt środkowy (centralny), czyli energia światła przechodząca przez poszczególny pierścień i docierająca do elementu światłoczułego musi być taka sama. Jeżeli np. energię światła przechodzącą przez całą powierzchnię filtra oznaczymy przez 100%, to przez poszcze-



Rys. 6. Grafikon do obliczania osiadań dla wartości parametru  $b = 1,05$ ,  
 $r_0 = 26$  m i skali mapy 1:2000

gólny pierścień będzie przechodziła energia równa  $\frac{1}{n} \cdot 100\%$ , gdzie  $n$  oznacza ilość pierścieni (podział strefowy). Dla każdego pierścienia na płaszczyźnie świecącej robimy osobne zdjęcie aparatem fotograficznym, przedłużając proporcjonalnie czas naświetlania dla coraz większego pierścienia. Uzyskamy w ten sposób coraz większe zaciemnienie na negatywie filmu poszczególnego pierścienia po jego wywołaniu. Następnie nakładamy negatywy filmu z każdego pierścienia centrycznie na siebie i otrzymujemy wielowarstwowy filtr optyczny (rys. 1) dla danego parametru "b". Filtry dla większych wartości parametru "b" będą wymiarowo mniejsze od filtrów dla mniejszych "b", ale równocześnie będą jak gdyby jaśniejsze. Wielkość parametru  $r_0$  modelowana jest natomiast przez zmianę skali pola eksploatacyjnego.

W przypadku wykonywania filtrów optycznych dla grafikonów mających nierówny podział kątowy (np. grafikonu dla przesunięć, odkształceń poziomych nachyleń i krzywizn) należy przedłużać lub skracać czas naświetlania negatywu według podziału sektorowego (kątownego) dodatkowo w ramach każdego

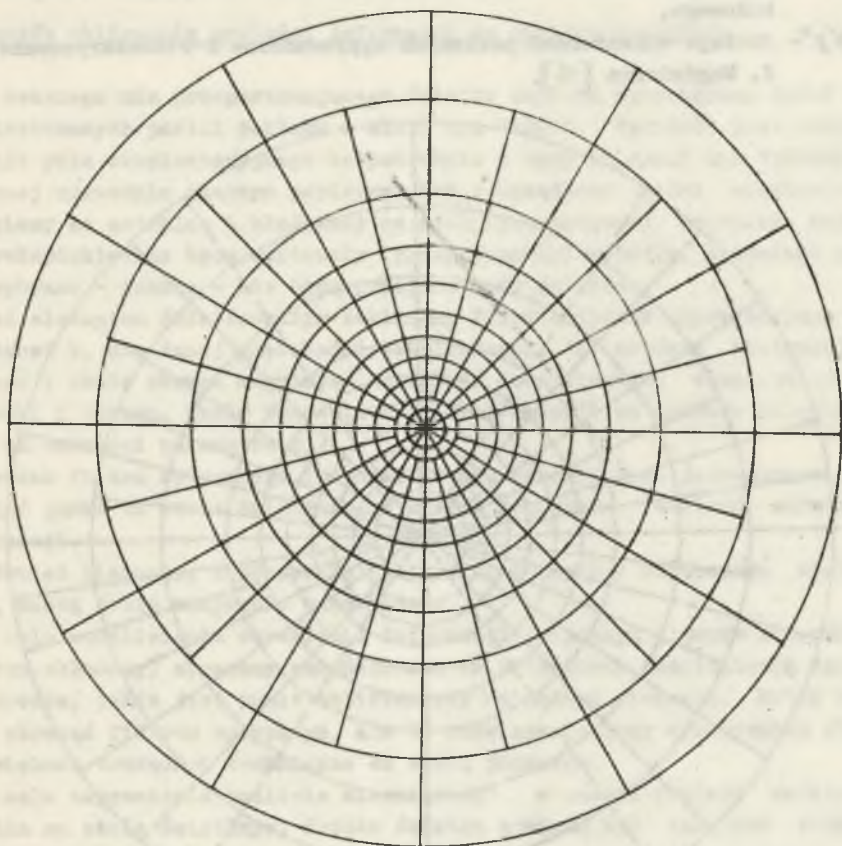


Rys. 7. Grafikon do obliczania wartości przesunięcia poziomego dla parametru  $b = 1,05$ ,  $r_0 = 26$  m i skali mapy 1:2000

pierścienia. Inne grafikonu mają obok nierównych podziałów kątowych także różne znaki wartości: dodatnie lub ujemne. Np. grafikon dla przesunięć (rys. 7); jedna połowa ma znak dodatni - wektor przesunięcia zgodny ze zwrotem kierunku osi  $x$  - druga znak ujemny. Podobnie dla odkształceń właściwych pionowych - zewnętrzna część grafikonu ma znak ujemny (odkształcenia ściskające) natomiast wewnętrzna ma znak dodatni (odkształcenia rozciągające). W tym przypadku należy stosować diafragmę, tzn. przysłonę na filtr optyczny. Wtedy wykonujemy pomiar dla jednej części filtra (grafikonu) przy przysłoniętej części o znaku przeciwnym, potem dla drugiej części zasłaniając część pierwszą i dodajemy algebraicznie z uwzględnieniem znaku otrzymane wyniki (wskazania wartości fotoprądu). Można również sto-



sować dodatkowy filtr polaryzacyjny. Dla przykładu na rys. 7 przedstawiono grafikon do obliczania wartości przesunięć ( $u_x$ ) dla tych samych parametrów, dla których skonstruowano grafikon osiadań (rys. 6), tzn.  $b=1,05$ ,  $r_0 = 26$  m i skali mapy 1:2000.



0 1 1000

Rys. 8. Grafikon do obliczania wartości odkształceń właściwych poziomych w punkcie dla  $b = 0,675$ ,  $r_0 = 40$  m i skali mapy 1:4000 dla pierwszego członu wzoru (3)

Do obliczeń wartości niektórych wskaźników deformacji potrzebne są dwa grafikony (o różnym podziale kątowym), np. dla odkształceń poziomych (rys 8 i 9). Wynika to z postaci wzoru do obliczania odkształceń poziomych:

$$\epsilon_x = \frac{ag}{2\pi} \cdot \frac{db}{dz} \left[ \Delta\mu' \cdot \Delta\alpha - \Delta\mu'' \cdot \Delta \left( \alpha + \frac{1}{2} \sin 2\alpha \right) \right], \quad (3)$$

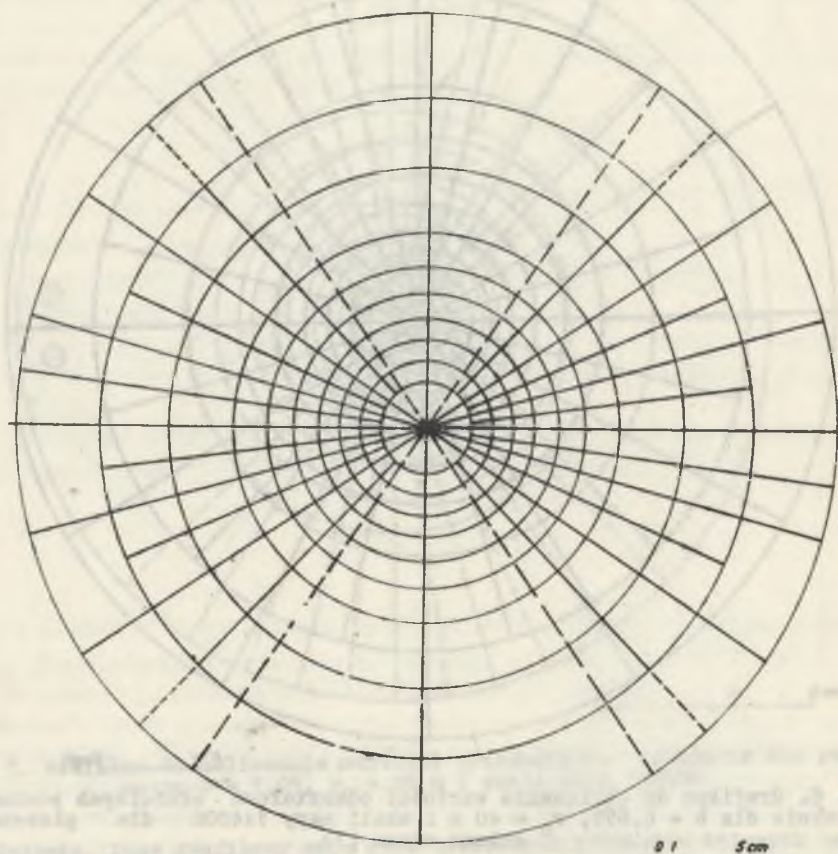
gdzie

$a, g$  - jak we wzorze (1)

$\frac{db}{dz}$  - pochodna funkcji  $b(z)$ , względem zmiennej  $z$ ,

$\alpha$  - kąt ograniczający eksploatację w kształcie wycinka pierścienia kołowego,

$\mu', \mu''$  - funkcje odkształceń poziomych wyprowadzone i stabelaryzowane przez J. Magdziorza [16].



Rys. 9. Grafikon do obliczania wartości odkształceń właściwych poziomych w punkcie dla  $b = 0,675$ ,  $r_0 = 40$  m i skali mapy 1:4000 dla drugiego składnika wzoru (3)

Zakładając stałe przyrosty obydwu składników wzoru (3) można zbudować dwa grafikony o różnym podziale kątowym (sektorowym). W tym przypadku należy przeprowadzić pomiar fotoelektryczny osobno dla jednego i drugiego filtra odpowiadającym danym grafikonom.

Istnieje cała gama rozwiązań praktycznego stosowania i łączenia odpowiednich filtrów optycznych, których autor ze względu na ograniczoną objętość nie podaje w niniejszej publikacji.

#### 4. Sposób obliczania wartości deformacji na analogu optycznym

Z czarnego nie przepuszczającego światła papieru sporządzamy model wyeksploatowanych partii pokładu w skali np. 1:2000. Wygodnie jest wycinać kształt pola eksploatacyjnego bezpośrednio z mapy (w skali np. 1:2000) podklejonej uprzednio czarnym papierem. Tak sporządzony model eksploatacji nalepiamy na astralon i kładziemy na stół (płaszczyznę) świetlny. Partie niewyeksploatowane będą emitowały (przepuszczały) światło, natomiast partie wybrane - czarne - nie będą przepuszczały światła.

Nad elementem światłoczułym zakładamy filtr optyczny odpowiadający parametrowi  $b$ , dla danej głębokości eksploatacji. Na matówce kontrolujemy ostrość i skalę obrazu regulując odległość zamodelowanej eksploatacji od soczewki i obrazu. Skala zamodelowanej eksploatacji na matówce zależna będzie od wartości parametru  $r_0$ .

Środek filtru optycznego i środek obrazu matówki musi jednoznacznie określać punkt na stole świetlnym, w którym obliczamy wartość wskaźnika deformacji.

Również kierunki, w przypadku filtrów optycznych z oznaczonym kierunkiem, muszą sobie wzajemnie odpowiadać.

W celu umożliwienia określania deformacji związanym z danym kierunkiem (wektor składowy) obracamy zamodelowaną na astralonie eksploatacją względem środka, jakim jest punkt obliczeniowy na żądany kierunek. Można również obracać filtrem optycznym, ale to rozwiązanie przy wykonywaniu stwarza większe trudności techniczne od wyżej podanego.

W celu zapewnienia możliwie niezmiennego w czasie pomiaru natężenia światła na stole świetlnym, źródło światła powinno być zasilane poprzez stabilizator napięcia prądu elektrycznego.

Obliczanie wartości wskaźników deformacji górotworu na analogu optycznym można rozszerzyć na pokłady nachylone. Wzory i sposób obliczania wpływu odbudowy pokładów nachylonych na górotwór i powierzchnię określili T. Kochmański i Z. Ochab oraz W. Batkiewicz m.in. w pracy [2] dla teorii T. Kochmańskiego.

Modelowanie nachylenia pokładu następuje przez przechylenie pod pewnym kątem stołu świetlnego z konturami pola eksploatacyjnego.

## 5. Wnioski

1. Żmudny i czasochłonny proces obliczania deformacji górotworu pod wpływem eksploatacji skłania do szukania i konstruowania urządzeń ułatwiających tę pracę. Próbą skonstruowania takiego urządzenia jest analog optyczny, którego zasady działania przedstawiono w niniejszej pracy.

2. Wykorzystując możliwość odpowiedniego modelowania natężenia i rozkładu światła w analogu optycznym, można z wielkości fotoprądu wnioskować o wartości poszczególnych wskaźników deformacji górotworu i powierzchni.

3. Dysponując odpowiednimi funkcjami lub grafikonami określającymi wartości deformacji pod wpływem eksploatacji o konkretnym kształcie można wykonać specjalne filtry optyczne dla każdego wskaźnika deformacji. W publikacji podano praktyczny sposób wykonywania takich filtrów do obliczeń deformacji wg teorii T. Kochmańskiego.

4. Przy pomocy analogu elektrycznego można również obliczyć wartości wskaźników deformacji wg teorii W. Budryk - S. Knothe [4] lub innych teorii różniczkowo-całkowych.

## LITERATURA

1. W. Batkiewicz: Obliczanie wskaźników poeksploatacyjnych deformacji terenu. "Śląsk", Katowice 1968.
2. W. Batkiewicz: Obliczanie wartości wskaźników deformacji górotworu wywołanych górniczą eksploatacją pokładów nachylonych. Prace Komisji Nauk Technicznych PAN, "Górnictwo", Kraków 1966, nr 3.
3. M. Borecki, M. Chudek: Mechanika górotworu. "Śląsk", Katowice 1972.
4. W. Budryk, S. Knothe, J. Litwiniszyn, A. Sałustowicz: Obliczanie elementów niecki osiadania nad poziomymi wyrobiskami górniczymi. Archiwum Górnictwa i Hutnictwa. Tom I. Zeszyt 1. PWN, Warszawa 1953.
5. K. Greń: Zastosowanie analogu fotoelektrycznego do określania wpływów eksploatacji górniczej. Prace Komisji Nauk Technicznych PAN "Górnictwo" Kraków 1965, nr 1.
6. K. Greń: Czynniki czasu przy obliczeniach wskaźników deformacji terenu na analogu fotoelektrycznym. Prace Komisji Nauk Technicznych PAN "Górnictwo", Kraków 1967, nr 5.
7. K. Greń, T. Lubina, S. Mnich: Wyznaczanie parametrów teorii T. Kochmańskiego na analogu fotoelektrycznym. Prace Komisji Górniczo-Geodezyjnej PAN, Oddz. Kraków (praca w druku).
8. F. Havlík: Zjednodušeny wypočet poklesu bodu na povrchu Balsovou a Perzovou metodu na samočinnem počítači. Uhlí, 11 (1969) z. 4, Praha. s. 139-143.
9. F. Havlík: Wypočet poklesu bodu na povrchu podle Niederhofera na samočinnem počítači ZUSE Z23. Rudy, 15 (1967) z. 12, Praha s. 412-417.

10. T. Kochmański: Obliczanie ruchów punktów górotworu pod wpływem eksploatacji górniczej. PWN, Warszawa 1956.
11. T. Kochmański, J. Magdziorz: Zmniejszenie odkształceń przez kształtowanie frontu eksploatacji górniczej. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej. "Górnictwo" Gliwice 1969, nr 39.
12. H. Kratzsch: Instrumentelle Senkungsmittlung durch einen optischen Senkungsmesser. Mitteilungen aus dem Markscheidewesen 63 (1956) s. 213-219.
13. H. Kratzsch: Ein optischer Analogrechner zur Vorausbestimmung bergbaulicher Bodenbewegungen. Glückauf, 99 (1963), H. 19, s. 1033-1048.
14. H. Kratzsch: Vereinfachte Berechnungsverfahren mit dem optischen Analogrechner. Mitteilungen aus dem Markscheidewesen, 71 (1964) H. 4. s. 169-186.
15. H. Kratzsch: Optický analogový počítač k predvidani pohybu pudy, zpusobnych dobranim. Rudy, 1969, t. 17 nr 7 s. 190-192.
16. J. Magdziorz: Tablice wartości funkcji  $\mu'$  i  $\mu''$  do obliczania wartości odkształceń poziomych wg teorii T. Kochmańskiego. Gliwice 1967 (nie publikowane).
17. J. Magdziorz: Nowe metody obliczania wskaźników deformacji górotworu "Ochrona Terenów Górniczych", Katowice 1970, nr 11.
18. K. Podgórski: Urządzenie do określania deformacji górotworu. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej "Górnictwo", z. 52, Gliwice 1972, s. 345-352.
19. O. Schleier: Fragen der Vorausberechnung von Bodensenkungen bei Abbau in steiler Lagerung. Mitteilungen aus dem Markscheidewesen, 71 (1964) H. 4.
20. L. Schmidtman: Praktische Erfahrungen beim Bau eines optischen Analogrechners und bei seiner Verwendung im Betrieb. Mitteilungen aus dem Markscheidewesen, 71 (1964), H. 4, s. 187-196.

ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ОПТИЧЕСКОГО АНАЛОГА  
ДЛЯ РАСЧЕТА ДЕФОРМАЦИЙ ГОРНЫХ ПОРОД ПО ТЕОРИИ Т. КОХМАНСКОГО

Р е з ю м е

Представлены принципы действия оптического аналога, а также возможность приспособления его для расчёта показателей деформаций горных пород и поверхности по теории Т. Кохманского, облегчая значительно трудоёмкие вычисления. Указаны практические способы изготовления оптических целиков - существенного элемента аналога - похожих на графиконы (сетки сегментов одинакового воздействия) влияния горной эксплуатации на горные породы по теории Т. Кохманского. Существует тоже возможность применения аналога для расчёта деформаций по теории В. Будрык - С. Кноте, а также по другим дифференциально-интегральным теориям.

С помощью аналога можно вычислить сдвигание точек горных пород и поверхности для пластов, залегающих горизонтально, а также для наклонных пластов, а даже для крутых.

A POSSIBILITY OF APPLYING THE OPTICAL ANALOG FOR THE EVALUATION  
OF THE ROCKMASS DEFORMATION ACCORDING TO KOCHMAŃSKI'S THEORY

S u m m a r y

The principles of operation of the optical analog have been presented as well as the possibility of its application for the purpose of calculating the rockmass and surface deformation indices, according to Kochmański's theory. This leads to considerable savings in time which is required for such calculations. Practical methods of constructing optical filters, which constitute an essential part of the analog, have been proposed. The filters are similar to the diagrams of the influence of the mining exploitation on the rockmass in Kochmański's theory. The analog can be also used in calculating the deformation according to the Budryk-Knothe theory and other differential - integral theories.

The analog makes it possible to calculate dislocations of the ground and surface points for horizontal, inclined and even steep ledges.

