

Kazimierz PODGÓRSKI

Henryk KLETA

Instytut Projektowania, Budowy Kopalń
i Ochrony Powierzchni Pol. Śl.

OKREŚLENIE CIŚNIENIA GÓROTWORU NA OBUDOWĘ WYROBISK GÓRNICZYCH NA PODSTAWIE POMIARÓW ODKSZTAŁCEŃ OBUDOWY I GÓROTWORU

Streszczenie. W pracy podano podstawy teoretyczne ujmujące zależności między naprężeniami a odkształceniami. Zależności te wykorzystano przy opracowaniu metody pomiarów odkształceń obudowy górniczej. Podano przykłady urządzeń do pomiarów odkształceń i krzywizny oraz przemieszczeń konturu wyrobiska. Pomiaru te, jak i uprzednio wyznaczone stałe materiałowe obudowy i górotworu pozwalają określić stan naprężenia w obudowie, wielkość ciśnienia górotworu na obudowę, stan naprężenia i odkształcenia w skałach wokół wyrobiska. Prognozę stanu naprężenia i odkształcenia zaproponowano opierając się na metodzie elementów skończonych w układzie przestrzenno-czasowym.

Dla pomierzonego zaciskania obudowy i wyznaczonych naprężeń w polu określonym położeniem reperów obliczamy przy wykorzystaniu metody elementów skończonych sposobem kolejnych przybliżeń ciśnienia górotworu na obudowę. Ciśnienie górotworu na obudowę i przemieszczenia obudowy na styku z górotworem wykorzystuje się do określania wielkości naprężeń w górotworze wokół wyrobiska.

1. WSTĘP

Przy prognozowaniu stateczności wyrobisk górniczych zachodzi potrzeba ustalenia wielkości odkształceń i naprężeń tak w obudowie, jak i w górotworze.

Na wielkość ciśnienia górotworu na obudowę duży wpływ ma stan, jaki zaistniał w górotworze przed postawieniem obudowy. W celu określenia tego stanu zachodzi potrzeba śledzenia odkształceń przed i w okresie wykonywania wyrobiska.

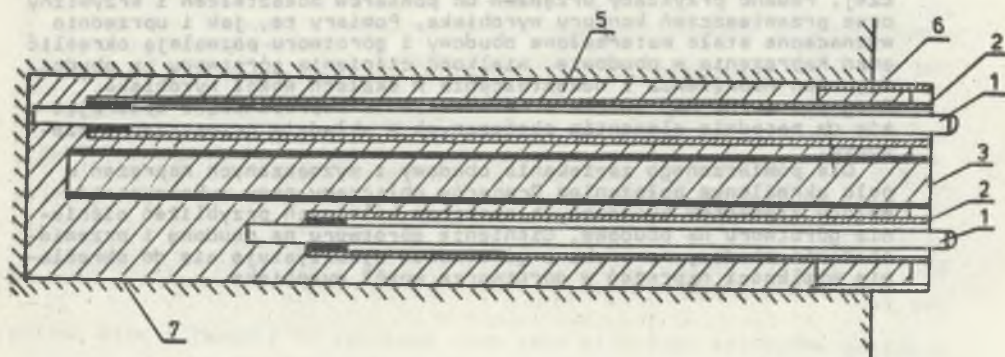
Zagadnienie kształtowania się obciążeń obudowy w czasie jest złożone i trudne do ustalenia tylko za pomocą rozważań teoretycznych. Potrzebne są pomiary na dole w kopalni dla ustalenia właściwych parametrów do wzorów teoretycznych. W celu opisanego złożonego stanu naprężenia w obudowie można wykorzystać metodę elementów skończonych. W metodzie tej są potrzebne tzw. stałe materiałowe i warunki brzegowe.

Dokładne ustalenie warunków brzegowych dla całego obrysu wyrobiska jest utrudnione. Warunki brzegowe mogą być podane w przemieszczeniach, od-

kształceniach i siłach podparcia obudowy, jak i jej obciążenia. W praktyce trudno jest mierzyć siły działające na obudowę, dlatego przeprowadzamy głównie pomiary przemieszczeń, a niekiedy odkształceń. Przy założeniu, że materiał obudowy jest ciałem sprężystym, wówczas danemu stanowi odkształceń odpowiada ściśle określony stan naprężenia. Pomiary stanu odkształcenia wg ściśle określonej siatki pozwalają na wyznaczenie stanu naprężenia i obciążenia obudowy.

2. OKREŚLENIE ODKSZTAŁCEŃ PRZED CZOLEM DRAŻONEGO WYROBISKA

Przed czołem wyrobiska występuje postępująca strefa odkształceń, do śledzenia której proponuje się zabudowę reperów wgłębnych oraz czujnika tensometrycznego. Repery wgłębne mogą być umocowane w jednym otworze kilka lub pojedynczo w postaci pręta ewentualnie drutu stalowego (rys. 1 i 2).



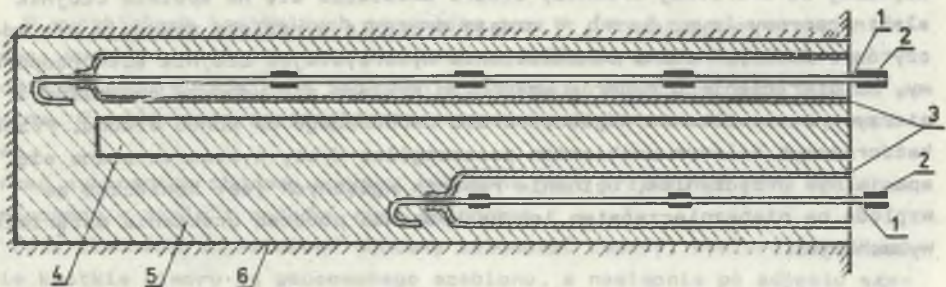
Rys. 1. Schemat reperów wgłębnych prętowych

1 - pręty pomiarowe stalowe, 2 - rury osłonowe z tworzywa, 3 - rura do zatiłaczania spoiwa, 5 - spoiwa, 6 - rura osłonowa, 7 - otwór w skale

Fig. 1. Scheme of bar deep-seated bench marks

1 - steel measuring bars, 2 - plastic protective bars, 3 - pipe for binder forcing in, 5 - binder, 6 - housing pipe, 7 - hole in rock

Repery wgłębne (rys. 2) zbudowane są z odcinków drutów, na których zacisnięto pierścienie oporowe. Pierścienie oporowe wykonane np. z odcinków rurki miedzianej umieszcza się na drucie wg szablonu dokładnie co 1 m i zaciska się je specjalnymi kleszczami. Tak przygotowane odcinki drutów z pierścieniami umieszcza się w rurkach plastikowych. Początek rurki jest "gorącymi" kleszczami ściśnięty tak, by uzyskać szczelne połączenie wystającego zagiętego odcinka drutu. Poszczególne rurki łączy się razem, umieszczając dodatkowo rurę np. o średnicy 2 cm. Całość wprowadza się do otworu wiertniczego w skałę. Przez rurę wprowadza się do otworu spoiwo,

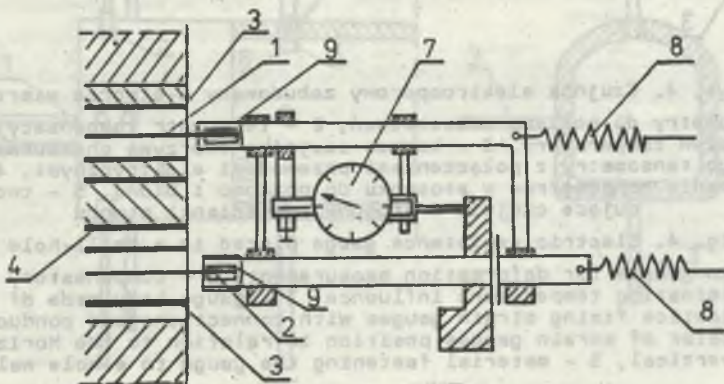


Rys. 2. Schemat reperów wół bnych ciągnowych

1 - druty jako repery wgłębne, 2 - pierścień oporowy, 3 - rury z tworzywa dla osłony drutów z pierścieniami oporowymi, 4 - rura do zatłaczania spoiwa, 5 - spoiwo, 6 - otwór w skale

Fig. 2. Scheme of string deep-seated bench marks

1 - wires as deep-seated bench marks, 2 - stopper ring, 3 - plastic pipe for protection of wires with stopper rings, 4 - pipe for binder forcing in 5 - binder, 6 - hole in rock



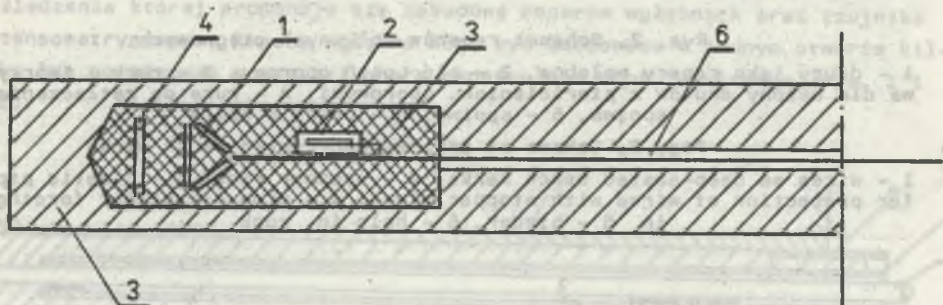
Rys. 3. Schemat pomiaru przemieszczeń reperów w stosunku do reperu najdalej umocowanego w otworze

1 - reper ciągnowy utwierdzony przy końcu otworu, 2 - reper ciągnowy w czasie pomiaru, 3 - osłony rurowe reperów, 4 - rura z tworzywa, 5 - pierścień oporowy, 6 - uchwyty, 7 - czujnik, 8 - sprężyna, 9 - uchwyt

Fig. 3. Scheme of measurements of displacements of bench marks in relation to the bench mark most deeply seated in a rock

1 - string bench mark at the end of the hole, 2 - string bench mark during measurement, 3 - protective pipes of bench marks, 4 - plastic pipes, 5 - stopper ring, 6 - holder, 7 - indicator, 8 - spring, 9 - holder

które od końca otworu wypycha powietrze i po związaniu łączy końce reperów z drutu ze ściankami otworu. Obok reperów wgłębnych w odległości większej od 8-krotnej średnicy otworu umieszcza się na spoiwie czujnik elektrooporowy (rys. 3, 4). W czasie drążenia wyrobiska dokonuje się odczytów składowych stanu odkształcenia wykorzystując czujnik elektrooporowy. Na pierścieniach reperów wgłębnych zakłada się uchwyty czujników i mierzy przemieszczenia względem drutu umocowanego na końcu otworu. Przed każdorazowym dalszym urabianiem poszczególne druty w otworze ucina się specjalnym urządzeniem. Ucinanie reperów wgłębnych jest konieczne ze względu na niebezpieczeństwo ich uszkodzenia podczas urabiania materiałem wybuchowym.



Rys. 4. Czujnik elektrooporowy zabudowany w otworze wiertniczym

1 - tensometry do pomiaru odkształceń, 2 - tensometr kompensacyjny eliminujący wpływ temperatury, 3 - korpus czujnika tworzywa chemoutwardzalnego mocującego tensometry z połączeniami przewodami elektrycznymi, 4 - wskaźnik położenia tensometrów w stosunku do poziomu i pionu, 5 - tworzywo mocujące czujnik w stosunku do ścianki otworu

Fig. 4. Electric resistance gauge placed in a drill-hole

1 - strain gauges for deformation measurement, 2 - compensatory strain gauge eliminating temperature influence, 3 - gauge body made of chemohardening plastics fixing strain gauges with connections and conductors, 4 - indicator of strain gauges position in relation to the horizon and vertical, 5 - material fastening the gauge to a hole wall

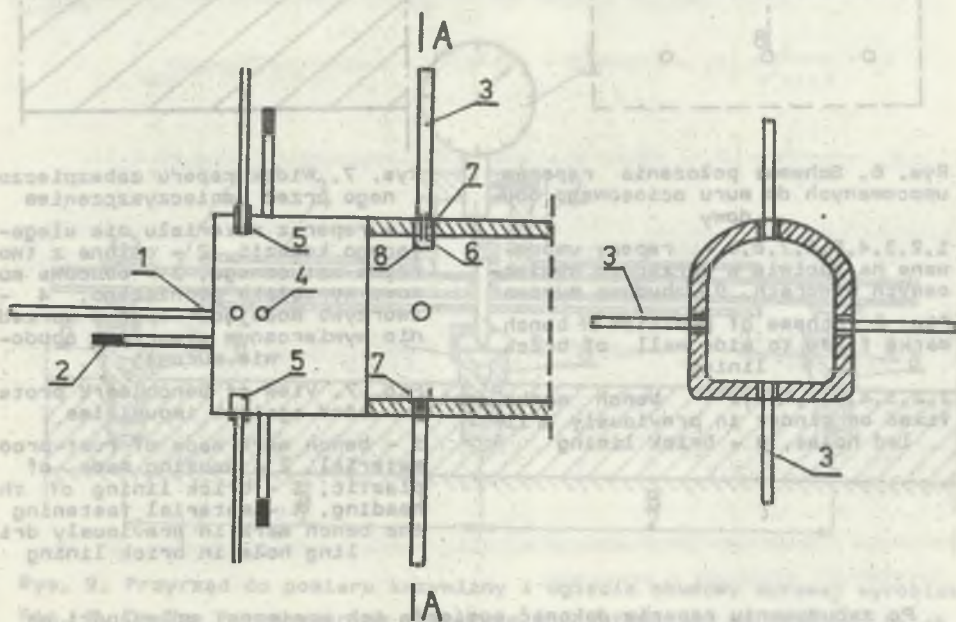
Zaraz za postępem przodku przewiduje się zabudowę reperów bocznych. Będą one wykonywane z prętów stalowych zamiast z drutu. Przy wylocie z otworu wskazane jest zabudowanie rury obsadowej, która byłaby punktem odniesienia przy pomiarach względem końców wystających prętów - reperów oraz przy pomiarach zaciskania wyrobiska oraz dowiązań niwelacyjnych w stosunku do zastabilizowanych punktów w wyrobisku.

3. OKREŚLENIE ODKSZTAŁCEŃ PO WYKONANIU OBUDOWY

W wyrobiskach kapitalnych stosowana jest w przeważającym stopniu obudowa: murowa z cegły, betonitów, betonu, żelbetu, prefabrykatów. Tam gdzie występuje nadmierne zaciskanie wyrobisk, stosowana jest obudowa podatna. W pracy zajęto się głównie pomiarami obudowy monolitycznej murowej.

Przed wykonaniem obudowy murowej wskazane jest przedłużyć rury obsadowe umocowane w skale i założyć rurę osłonową.

W celu śledzenia odkształceń obudowy zabudować repery: wywiercić w obudowie krótkie otwory wg umocowanego szablonu, a następnie po zdjęciu szablonu utwierdzić na spoiwie chemoutwardzalnym w otworach repery (rys. 5, 6, 7).

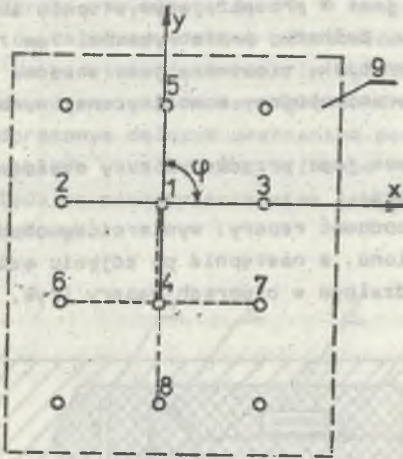


Rys. 5. Położenie reperów i czujników w wyrobisku

1 - repery wgłębne linowe, 2 - czujnik elektrooporowy, 3 - repery wgłębne prętowe, 4 - czujnik elektrooporowy ociosowy, 5 - rura obsadowa, 6 - przedłużenie rury obsadowej, 7 - osłona rury obsadowej, 8 - rura obsadowa w obudowie murowej]

Fig. 5. Position of bench marks and gauges in heading

1 - rope deep-seated bench marks, 2 - electric resistance gauge, 3 - bar deep-seated bench marks, 4 - side wall electric resistance gauge, 5 - housing pipe, 6 - extension of housing pipe, 7 - protection of housing pipe, 8 - housing pipe in brick lining

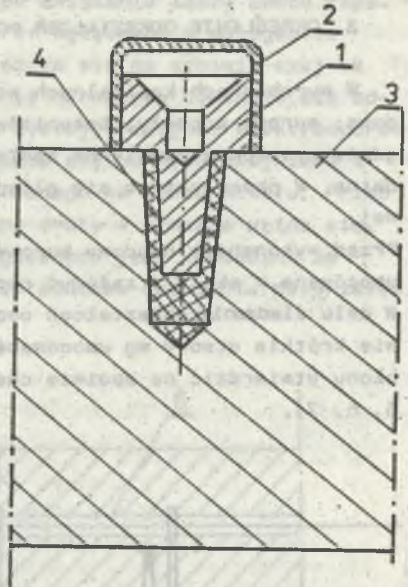


Rys. 6. Schemat położenia reperów umocowanych do muru ociosowego obudowy

1,2,3,4,5,6,7,8,9 - repery umocowane na spoiwie w uprzednio wywierconych otworach, 9 - obudowa murowa

Fig. 6. Scheme of position of bench marks fixed to side wall of brick lining

1,2,3,4,5,6,7,8,9 - bench marks fixed on binder in previously drilled holes, 9 - brick lining



Rys. 7. Widok reperu zabezpieczonego przed zanieczyszczeniem

1 - reper z materiału nie ulegającego korozji, 2 - osłona z tworzywa sztucznego, 3 - obudowa murowa wyrobiska górniczego, 4 - tworzywo mocujące reper w uprzednio wywierconym otworze w obudowie murowej

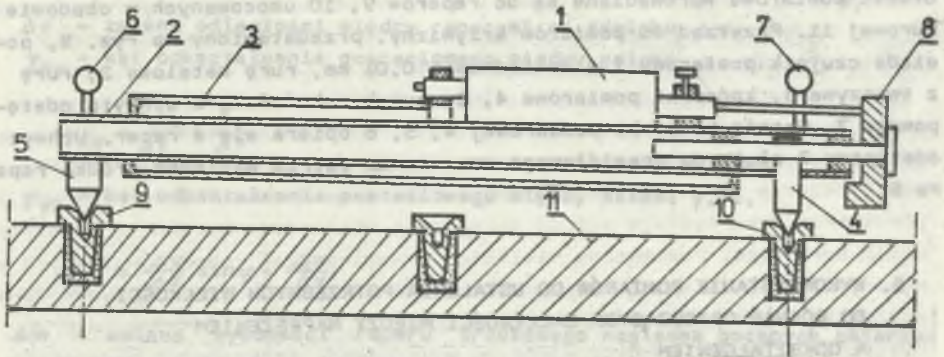
Fig. 7. View of bench mark protected against impurities

1 - bench mark made of rust-proof material, 2 - housing made of plastic, 3 - brick lining of the heading, 4 - material fastening the bench mark in previously drilled hole in brick lining

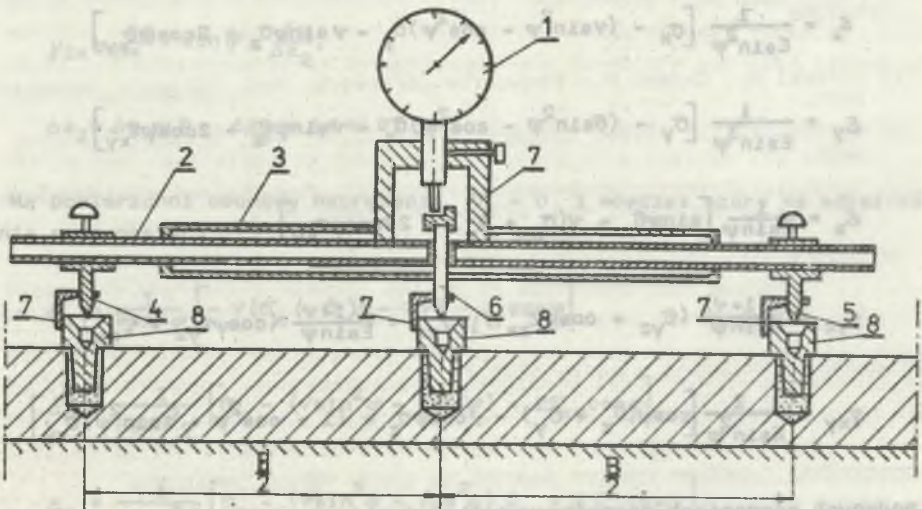
Po zabudowaniu reperów dokonać pomiarów ich wzajemnej odległości we wszystkich założonych kierunkach. Pomiarzy przeprowadzić za pomocą urządzenia przedstawionego na rys. 8 oraz krzywizny urządzenia przedstawionego na rys. 9.

Pomiary przemieszczeń reperów, zmian krzywizny przemieszczeń reperów wgłębnych, przemieszczeń rur obsadowych i obrysu obudowy dokonywać w przyjętych odstępach czasu.

Należy wyznaczyć własności wytrzymałościowe górotworu i obudowy na uprzednio pobranych próbkach z otworów wierconych rdzeniowo. Oprócz omawianych pomiarów należy wykonywać pomiary geodezyjne, które pozwolą na określenie przemieszczeń obudowy względem tzw. stałych punktów.



Rys. 8. Przyrząd do pomiaru przeszczeń reperów
Fig. 8. Device for measuring bench marks displacements



Rys. 9. Przyrząd do pomiaru krzywizny i ugięcia obudowy murowej wyrobiska
Fig. 9. Device for measuring curvature and deflection of heading brick lining

4. OPIS PRZYRZĄDÓW DO POMIARÓW ODLEGŁOŚCI MIĘDZY REPERAMI I KRZYWIZNY OBUDOWY

Do pomiarów odległości między reperami proponuje się wykorzystać przyrząd przedstawiony na rys. 8. Przyrząd taki składa się z czujnika 1 o dokładności 0,01 mm, rury metalowej 2, rury osłonowej z tworzywa 3, stożka pomiarowego 4 i 5, uchwytów dociskowych z tworzywa 6, 7, przedłużacza 8.

Stożki pomiarowe wprowadzane są do reperów 9, 10 umocowanych w obudowie murowej 11. Przyrząd do pomiarów krzywizny, przedstawiony na rys. 9, posiada czujnik pomiarowy 1 o dokładności 0,01 mm, rurę metalową 2, rurę z tworzywa 3, końcówki pomiarowe 4, 5, suwak z końcówką 6 uchwyty odstępowy 7. Ostrze końcówki pomiarowej 4, 5, 6 opiera się o reper. Uchwyt odstępowy 7 służy do prawidłowego ustawienia ostrza względem środka reperu 8.

5. WYKORZYSTANIE POMIARÓW DO USTALENIA POTRZEBNYCH WIELKOŚCI DO RÓWNAŃ OPISUJĄCYCH ZALEŻNOŚCI MIĘDZY NAPRĘŻENIEM A ODKSZTAŁCENIEM

W układzie współrzędnych ukośnokątnych prawo Hooke'a, ma postać [2]:

$$\varepsilon_x = \frac{1}{E \sin^2 \psi} [\sigma_x - (\nu \sin^2 \psi - \cos^2 \psi) \sigma_y - \nu \sin \psi \sigma_z + 2 \cos \psi \tau_{xy}]$$

$$\varepsilon_y = \frac{1}{E \sin^2 \psi} [\sigma_y - (\nu \sin^2 \psi - \cos^2 \psi) \sigma_x - \nu \sin \psi \sigma_z + 2 \cos \psi \tau_{xy}]$$

$$\varepsilon_z = \frac{1}{E \sin \psi} [\sin \psi \sigma_z - \nu (\sigma_x + \sigma_y) - 2 \nu \cos \psi \tau_{xy}]$$

$$\gamma_{yz} = \frac{2(1+\nu)}{E \sin \psi} (\tau_{yz} + \cos \psi \tau_{zx}); \quad \gamma_{zx} = \frac{2(1+\nu)}{E \sin \psi} (\cos \psi \tau_{yz} + \tau_{zx})$$

$$\gamma_{xy} = \frac{2}{E \sin \psi} [\cos \psi (\sigma_x + \sigma_y) - \nu \cos \psi \sigma_z + (1 + \cos^2 \psi + \nu \sin^2 \psi) \tau_{xy}]$$

W podanych równaniach potrzebne wielkości można wyznaczyć opierając się na uzyskanych wynikach z pomiarów.

ψ - kąt między kierunkami pomiarów,

ε_x - odkształcenie wzdłuż osi x ,

$$\varepsilon_x = \frac{\Delta u}{\Delta x}$$

Δu - zmiana odległości między reperami wzdłuż osi x na odcinku Δx ,

ε_y - odkształcenie wzdłuż osi y ,

$$\varepsilon_y \approx \frac{\Delta v}{\Delta y}$$

Δv - zmiana odległości między reperami na odcinku Δy ,

γ_{xy} - kąt odkształcenia postaciowego między osiami x, y ,

$$\gamma_{xy} = \frac{\Delta u}{\Delta y} + \frac{\Delta v}{\Delta x}$$

γ_{yz} - kąt odkształcenia postaciowego między osiami y, z ,

$$\gamma_{yz} \approx \frac{\Delta v}{\Delta z} \sin \varphi + \frac{\Delta w}{\Delta y},$$

Δw - zmiana wysokości reperu środkowego względem bocznych zmierzona urządzeniem przedstawionym na rys. 9,

Δz - rozpatrywany odcinek pomiarowy,

γ_{zx} - kąt odkształcenia postaciowego między osiami z, x ,

$$\gamma_{zx} \approx \frac{\Delta w}{\Delta x} + \sin \varphi \cdot \frac{\Delta u}{\Delta z},$$

$$\Delta z_2 \approx \Delta x \approx B, \quad \Delta z_1 \approx \Delta x \approx B.$$

Na powierzchni obudowy naprężenia $\sigma_z = 0$ i wówczas wzory na odkształcenia mają postać:

$$\varepsilon_z = \frac{1}{E \sin^2 \varphi} \left[-\nu (\sigma_x + \sigma_y) - 2\nu \tau_{xy} \cdot \cos \varphi \right]$$

$$\varepsilon_y = \frac{1}{E \sin^2 \varphi} \left[\sigma_y - (\nu \sin^2 \varphi - \cos^2 \varphi) \sigma_x + 2\tau_{xy} \cos \varphi \right]$$

$$\varepsilon_x = \frac{1}{E \sin^2 \varphi} \left[\sigma_x - (\nu \sin^2 \varphi - \cos^2 \varphi) \sigma_y + 2\tau_{xy} \cos \varphi \right]$$

$$\gamma_{xy} = \frac{2}{E \sin^2 \varphi} \left[(\sigma_x + \sigma_y) \cos \varphi + (1 + \cos^2 \varphi + \nu \sin^2 \varphi) \tau_{xy} \right]$$

$$\gamma_{yz} = \frac{2(1+\nu)}{E \sin^2 \varphi} (\tau_{yz} + \cos \varphi \cdot \tau_{zx})$$

$$\gamma_{zx} = \frac{2(1+\nu)}{E \sin^2 \varphi} (\tau_{yz} \cos \varphi + \tau_{zx})$$

Wykorzystując wyznaczone wielkości $\varepsilon_x, \varepsilon_y, \gamma_{xy}, \gamma_{yz}, \gamma_{zx}, \varepsilon_z$, można z podanych wzorów obliczyć wielkość naprężeń w polu określonym położeniem rozpatrywanych reperów. Wielkości te są danymi dla rozpatrywanych

węzłów wydzielonych elementów wg siatki stosowanej w metodzie elementów skończonych. Dla danej konstrukcji obudowy można określić charakterystykę pracy obudowy oraz podać, w których miejscach panują maksymalne naprężenia w konkretnych warunkach geotechnicznych.

Dla pomierzonego zaciskania obudowy i wyznaczonych naprężeń w polu określonym położeniem reperów obliczamy przy wykorzystaniu metody elementów skończonych metodą kolejnych przybliżeń ciśnienia górotworu na obudowę. Ciśnienie górotworu na obudowę i przemieszczenia obudowy na styku z górotworem wykorzystuje się do określenia wielkości naprężeń w górotworze wokół wyrobiska. Pomierzone wielkości przemieszczeń reperów wgłębnych są wykorzystywane do wyznaczenia odkształceń górotworu. Ponadto zabudowane czujniki elektrooporowe w otworach pozwalają określić pełny tensor odkształceń, który również służy do wyznaczania potrzebnych parametrów do obliczeń naprężeń wokół wyrobiska metodą elementów skończonych.

LITERATURA

- [1] Borecki M., Chudek M.: Mechanika górotworu. Wyd. "Śląsk", Katowice 1972.
- [2] Kączkowski Z.: Płyty. Obliczenia statyczne. Wyd. Arkady, Warszawa 1968.
- [3] Kozak R.: Budownictwo betonowe. Tom VIII, Badania materiałów elementów i konstrukcji. Wyd. Arkady, Warszawa 1970.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Alfred Biliński

Wpłynęło do Redakcji w marcu 1987 r.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДАВЛЕНИЯ ГОРНОГО МАССИВА НА КРЕПЬ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК НА ОСНОВЕ ИЗМЕРЕНИЯ ДЕФОРМАЦИИ КРЕПИ И ГОРНОГО МАССИВА

Резюме

В работе представлены теоретические основы зависимостей между напряжениями и деформациями. Зависимости эти использовано при разработке метода измерений деформации горной крепи. Даны примеры устройств для измерения деформации и кривизны, а также перемещений контуров выработки.

Эти измерения, как и ранее определённые материальные постоянные крепи и горного массива, позволяют определить состояние напряжения в крепи, величину давления горного массива на крепь, состояние напряжения и деформации в скалах около выработки.

Прогноз состояния напряжения и деформации предложен опираясь на метод конечных элементов в системе время - пространство.

Для измеренного зажима крепи и определённых напряжений в зоне, определённой положением реперов, рассчитываем давление горного массива на крепь методом последовательного приближения с использованием метода конечных элементов. Давление горного массива на крепь и перемещение крепи в место соприкосновения с горным массивом используется для определения величины напряжений в горном массиве около выработки.

DETERMINATION OF ROCK PRESSURE ON HEADING LINING
ON THE BASE OF MEASUREMENTS OF LINING AND ROCK DEFORMATION

С у м м а р у

The paper gives theoretical fundamentals concerning dependences between stresses and deformations. These dependences have been used for working out a method of lining deformation measurements. Examples of devices for measurements of deformations and curvature and also lining contour displacements.

Both the measurements and previously determined material constants of lining and rock allow to describe the state of stress in the lining, rock pressure on the lining state of stress and deformation in rocks around the headings.

Forecast of the state of stress and deformation has been suggested basing on the finite element method in space-and-time system.

For lining measured compression and determined stresses in a field described by bench-marks position, the rock pressure on lining is calculated by method of successive approximations using finite element method. Rock pressure on lining displacements on contact with rock are used for describing the stresses in rock around the heading.