

MIROSŁAW CHUDEK, ANDRZEJ PACH
WŁODZIMIERZ OLASZOWSKI

ANALIZA STANU NAPRĘŻEŃ I DEFORMACJI SKAŁ
W OTOCZENIU WYROBISK KORYTARZOWYCH

Streszczenie: W pracy przeprowadzono analizę sposobu deformowania się skał wokół wyrobiska korytarzowego, wykonanego w górotworze uwarstwionym i wykazującym tendencję do tworzenia się słupowej struktury skał. Wykazano, że oddziaływanie górotworu na obudowę wyrobiska uzależnione jest nie tylko od ciśnienia pionowego p_z , lecz również poziomego p_x .

Przyjmując do obliczeń układ pręta prostego pracującego na wyboczenie od siły osiowej przy boczny obciążeniu, określono graniczny stan deformacji naprężeń w stropie wyrobiska.

1. Wstęp

Skały wnętrza górotworu znajdują się pod działaniem ciśnienia spowodowanego ciężarem nadległych warstw. Ciśnienie pionowe zależy od przestrzennej gęstości masy poszczególnych skał i rośnie z głębokością; jego wielkość na głębokość H wynosi:

$$p_z = a \cdot \sum_{i=1}^k \rho_i h_i \quad (k = 1, 2, \dots) \quad (1.1)$$

gdzie:

p_z - ciśnienie pionowe,

a - przyspieszenie ziemskie,

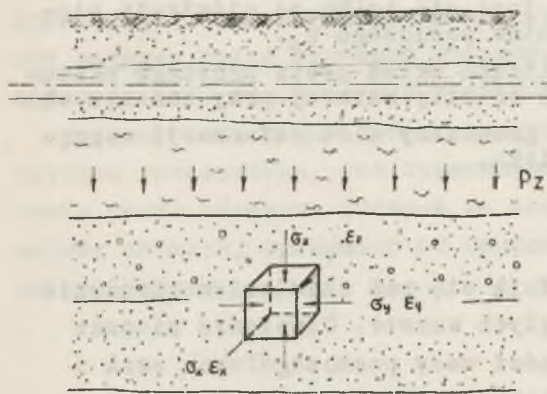
ρ_i - przestrzenna gęstość masy odpowiedniej warstwy skalnej,

h_i - odpowiednie grubości warstw.

Pod wpływem obciążeń skała doznaje odkształceń pionowych ϵ_z - właściwych danej skale przy naprężeniach ściskających σ_z . Ponieważ w górotworze poszczególne bryły skalne ściśle do siebie przylegają, ich wzajemne poziome oddziaływanie na siebie

jest takie samo. Znaczy to, że w płaszczyźnie prostopadłej do kierunku działania ciśnienia p_z oskształcenia skał wynoszą zero.

Dążność jednak skał do odkształceń poziomych wywołuje wzajemną reakcję sąsiednich cząstek zwaną ciśnieniem poziomym, a której wielkość zależy od p_z oraz współczynnika bocznego parcia. Tak więc, we wnętrzu górotworu nienaruszonego wyrobiskami górniczymi panuje trójosiowy stan naprężeń zależny jedynie od naturalnych warunków zalegania, przedstawia go rysunek 1.



Rys. 1

gólnych bryłach skalnych. Obserwowane w wyrobiskach "ciśnienie górotworu" spowodowane jest ruchami skał do wyrobisk górniczych i równe jest oddziaływaniu obudowy na górotwór.

Aby więc skutecznie przeciwdziałać tym ruchom, reakcja obudowy winna spowodować powtórne wytworzenie trójosiowego stanu naprężeń. Oczywiście z punktu widzenia praktycznego, począwszy od pewnych głębokości, jest to niemożliwe do osiągnięcia, jak również niepotrzebne.

Warunki równowagi dla stanu przedstawionego na rys. 1 mają zatem postać:

Stan ten utrzymuje się dla każdego rodzaju skał. Również skały plastyczne czy płynne nie doznają w takich warunkach poziomych odkształceń a jedynie pionowych - w granicach sprężystości, ścisłości. Ponadto ważne jest stwierdzenie, że ciśnienie górotworu nawet po wykonaniu wyrobiska górniczego wynosi p_z (zależy od a , q i H - wzór 1). Zmianie ulegają w tym przypadku wielkości naprężeń w poszczegól-

$$\left. \begin{aligned} \sigma_z &= p_z \\ \sigma_x &= \sigma_y = \eta \sigma_z \end{aligned} \right\} \quad (1.2)$$

oraz

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_z &= \frac{\sigma_z}{E} \\ \varepsilon_x &= \varepsilon_y = 0 \end{aligned} \right\} \quad (1.3)$$

w których:

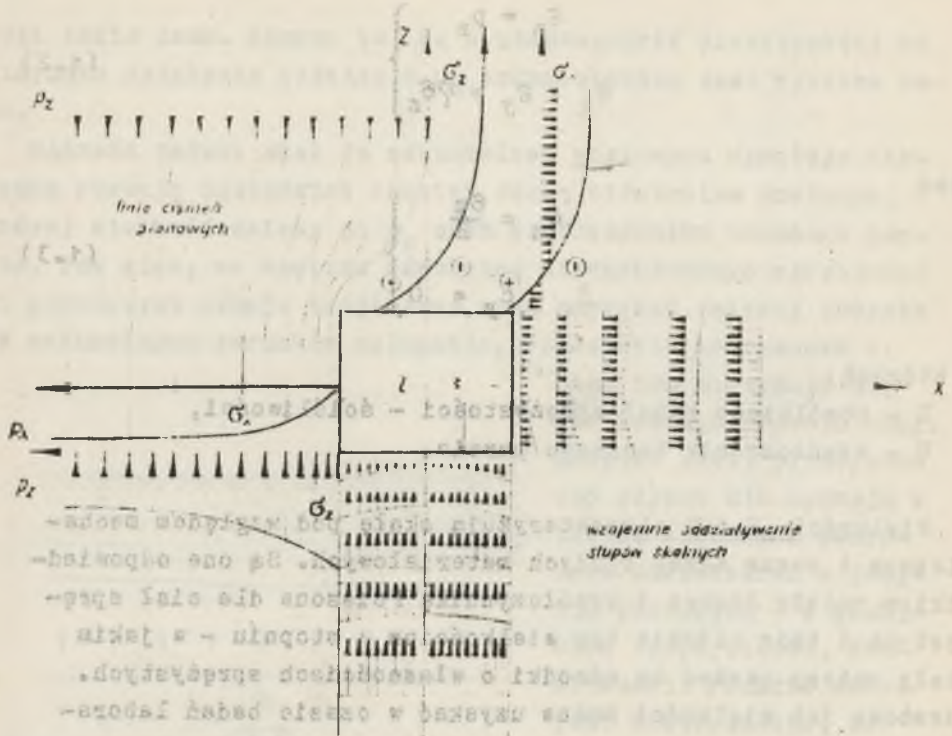
- E - uogólniony moduł sprężystości - ścisłości,
- η - współczynnik bocznego parcia.

Wielkości E i η charakteryzują skałę pod względem mechanicznym i noszą nazwę stałych materiałowych. Są one odpowiednikami modułu Younga i współczynnika Poissona dla ciał sprężystych i będą bliskie tym wielkościom w stopniu - w jakim skały możemy uważać za ośrodki o własnościach sprężystych. Liczbowe ich wielkości można uzyskać w czasie badań laboratoryjnych skał.

2. Rozkład naprężeń i wzajemne oddziaływania brył skalnych wokół wyrobisk korytarzowych

Rozpatrując dalej powyższe zagadnienie zakładamy, że w skałach górotworu wykonano na pewnej głębokości wyrobisko korytarzowe o szerokości l i wysokości w, rys. 2; ośrodek skalny natomiast jest na tyle sztywny (mocny), iż nie powoduje natychmiastowego zapełnienia wyrobiska. Usunięcie zatem spod stropu naturalnej podpory, pociąga za sobą wzrost naprężeń pionowych w ociosach co można przedstawić przez zagęszczenie linii ciśnień w całej nisze. Wielkość dodatkowego ciśnienia przekazywanego na ocios wyrobiska na jednostkę długości wyniesie:

$$p_d = \frac{1}{2} l \cdot p_z$$



Rys. 2

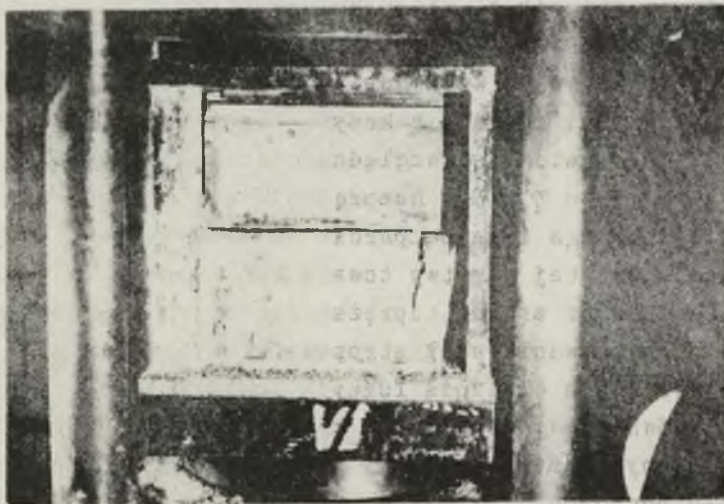
W przypadku absolutnej sztywności warstw stropowych ciśnienie to byłoby równomiernie rozłożone w płaszczyźnie stropu. Na skutek jednak ugięcia warstw nad wyrobiskiem, zasięg strefy zwiększonych nacisków jest ograniczony i odpowiada ugięciu stropu opierającego się o pozostałą odkształcalną calizną. W takich warunkach wzrost naprężeń pionowych w ociosach jest znaczny, przekraczający kilkakrotnie wielkości pierwotnego, co ma miejsce np. w wyrobiskach wybierkowych. W wyniku wzmożonych ciśnień pionowych ociosy zmieniają swoją strukturę. W skałach występują pionowe spękania (rys. 3) tworząc budowę słupową, często na głębokość do kilku metrów w głąb calizny[4].



Rys. 3

stronę wolnej przestrzeni - obserwowano również w czasie badań modelowych (rys. 4) [1, 3].

Wyciskanie i odchylanie się słupów odbywało się przy wzroście naprężeń pionowych na granicy wytrzymałości skały na ściskanie w danych warunkach. Wyciskaniu ponadto towarzyszyło zmniejszenie się grubości warstwy.



Rys. 4

Jak wynika z rysunku 3 oddziaływanie początkowo wyboconego słupa skalnego w ociosie na obudowę trwa nawet po jego załamaniu i jest tym większe, że coraz większemu wyginaniu ulegają dalsze wewnętrzne słupy.

Całkowitemu zniszczeniu obudowy w takich warunkach można zapobiec przez stosowanie odpowiedniej podatności obudowy, gdyż przeciwdziałanie zachodzeniu wyżej opisanego procesu jest zbędne. Należy jedynie tak dostosować obudowę, aby wyrobisko zachowało wymagane wymiary przez okres jego użytkowania - bez potrzeby przebudowy.

Podobnie przedstawia się dynamika deformacji skał stropowych czy spągowych. Wytworzenie się struktury słupowej w tych skałach jest ułatwione naturalnym uwarstwieniem górotworu. Warstwa stropu bezpośredniego mając możliwość odkształcenia się do wyrobiska ulega początkowo ugięciu, a następnie wybooczeniu od sił poziomych, po czym załamaniu (rys. 5).

Zwisające bloki skalne mimo utraty ciągłości tworzą zwartą przegubowo pracującą belkę. Odkształcanie się takiej belki można obserwować przez rozwieranie się szczelin w miejscach załamania. Ugięcie oraz wybooczenie belki stropowej spowodowane jest głównie działaniem ciśnienia poziomego p_x oraz istnieniem jedynego swobodnego kierunku odkształceń do wyrobiska. W odróżnieniu od stanu scharakteryzowanego warunkami (1.2) i (1.3), odkształcenia względne pionowe zmniejszają się do wielkości trwałych lub zera, zgodnie z krzywą wycisnienia dla danej skały. Pojawiają się natomiast względne odkształcenia poziome wynoszące $\epsilon_x = \epsilon_y = \gamma \cdot \epsilon_z$. Rozprężenie się górnych warstw nad wyrobiskiem pociąga za sobą parcie na belkę stropu bezpośredniego. Załamaniu tej warstwy towarzyszą odspojenia poszczególnych ławic oraz zmiana naprężeń pionowych na rozciągające. Tak więc oddziaływanie skał stropowych na obudowę nie jest wynikiem wyłącznie ciężenia luźnych brył skalnych po zruszeniu, lecz również wybooczeniem i wyciskaniem nawet załamanych słupów poddanych działaniu siły osiowej oraz jednostronnemu obciążeniu bocznemu.

W pracy takich załamanych "przegubowych" bloków tkwi główna przyczyna wzrostu oddziaływania górotworu na obudowę, ciągłego procesu zaciskania wyrobisk mimo nawet wytrzymałej obudowy, jak również występowania wspomnianego "ciśnienia górotworu". Dynamiczny charakter tego oddziaływania zmusza niejedno-



Rys. 5

krotnie do stosowania obudów o znacznej podatności. Jak wynika z powyższych rozważań zagażnienie współpracy obudowy z górotworem wymaga dodatkowego – szerszego rozpracowania.

3. Przebieg deformacji skał w otoczeniu wyrobisk chodnikowych

Wytworzenie słupowej struktury w skałach w których wykonano wyrobisko, uzależnione jest w dużej mierze od rodzaju skał oraz kolejności ich załęgania. Skałami szczególnie podatnymi na ten rodzaj deformacji są sztywne (mocne), a zarazem kruche piaskowce, konglomeraty, węgle, czasem łupki, wykazujące tendencję do łatwego podziału wzdłuż naturalnych płaszczyzn spękania lub osłabionej spójności. Ponadto są to skały o własnościach zbliżonych do sprężystych w pewnym zakresie obciążeń i malejącej prawie do zera krzywej wypoczynku. Wykonanie zatem w takim górotworze wyrobiska korytarzowego na odpowiednio dużej głębokości, spowoduje bezpośrednio w odsłoniętych płaszczyznach rozprężenie skał; w ociosach – poziome, w stropie i spągu pionowe. Strefa rozprężona ulegać będzie następnie stopniowemu rozszarżaniu w miarę deformowania się bliższych wyrobisku partii górotworu. Poziome rozprężanie ociosów powoduje wyginanie z jednoczesnym wyboczeniem od osiowej siły pionowej wytworzonych słupów skalnych. Pionowe natomiast rozprężenie stropu czy spągu wywołuje ugięcie warstw – belek, siła osiowa pochodząca od ośnienia poziomego również i w tym przypadku powoduje ich wyboczenie. Efektem wyginania i wyboczenia jest załamane słupów i belek. Ponieważ jednak działanie sił osiowych nie ustaje (strefa rozprężonych skał rozszerza się) oddziaływanie załamanych bloków na obudowę trwa nadal, a jeśli obudowa wyrobiska nie jest wystarczająco podatna – wzrasta obciążenie obudowy.

W dalszej części pracy rozpatrzony zostanie przypadek deformowania się warstwy stropu bezpośredniego jako belki o grubości h , jednostkowej szerokości i długości l .

Przyjmuje się, że w początkowej fazie deformacji belka zamocowana jest sztywno w ociosach i poddana obciążeniu pionowemu p_z i osiowemu $p_x = \eta p_z$. Po ugięciu tej belki na pew-

ną określoną wielkość z_{\max} (pochodzącą od obciążenia pionowego), następuje dalszy wzrost strzałki ugięcia na skutek pełzania skał, jak również pod wpływem sił osiowych, aż do załamania belki nad ociosami. Wytworzony dwuprzegubowo pracujący układ, ulega dalszemu wyboczeniu od sił osiowych - działających na wiskośrodkie z_{\max} . Ponieważ zjawisko to posiada charakter reologiczny, proces wzrostu ugięcia belki nie ustaje - trwa zatem oddziaływanie górotworu na obudowę. Po osiągnięciu stanu krytycznego w miejscu największego momentu zginającego (nad osią wyrobiska) następuje załamanie stropu i wytworzenie trójprzegubowego układu, jak również wzmoczenie oddziaływania górotworu na obudowę, zależnego w tym przypadku od siły poziomej, powodującej wyboczenie oraz kąta nachylenia załamanej belki.

Maksymalna wielkość momentu zginającego w belce (o szerokości 1) wyniesie w początkowej fazie deformacji:

$$M_{\max} = \frac{p_z \cdot l}{12} \quad (3.1)$$

Największa strzałka ugięcia wystąpi natomiast w połowie belki i równa się:

$$z_{1\max} = \frac{p_z \cdot l^4}{1128 \cdot E_{\text{zast}} \cdot J} \quad (3.2)$$

gdzie:

E_{zast} - zastępczy moduł sprężystości,

J - moment bezwładności przekroju;

$$J = \frac{h^3}{12} \cdot 1,$$

h - grubość belki - warstwy.

Załamanie belki stropowej nad ociosami spowoduje wzrost ugięcia do wartości:

$$z_2(x) = \frac{p_z (2x^4 - 4lx^3 + l^3x)}{48 E_{\text{zast}} \cdot J} \quad (3.3)$$

$$Z_{2 \max} = \frac{p_z \cdot l^4}{384 E_{\text{zast}} \cdot J} \quad (3.4)$$

Tym samym, rozpoczyna się druga faza deformacji belki, a mianowicie wyboczenie przegubowo zamocowanego słupa. Wielkość siły osiowej działającej na mimośrodku Z_{\max} ; sumie mimośrodu początkowego $Z_{2 \max}$ i pochodzącego od wyboczenia, wynosi $P = p_x \cdot h \cdot l = \eta \cdot p_z \cdot h \cdot l$.



Rys. 6

Wytworzony w stropie układ naprężeniowy przedstawia rys. 6. Okazuje się, że wielkość naprężenia w poszczególnych przekrojach belki uzależniona jest od ugięcia - mimośrodu mierzonego względem środka tegoż przekroju i wynosi $\sigma = \sigma(m)$. Załamanie belki nastąpi na skutek osiągnięcia przez naprężenie σ_1 wytrzymałości skały na ściskanie R lub też przez naprężenia σ_2 wytrzymałości na rozciąganie R_x . Krzywoliniowość wykresu $\sigma(m)$ w przekroju spowodowana jest zmianą wartości modułu sprężystości, ściśliwości, zależnie od panującego stanu naprężeń w materiale i tak:

$$E(\sigma) = \frac{d\sigma}{d\varepsilon} \quad (3.5)$$

W przypadku materiałów kruchych (do których zaliczyć można większość skał górotworu), bez wyraźnej granicy plastyczności, zależność (3.5) przedstawić można według Ylinena [2] wzorem:

$$\frac{d\sigma}{d\varepsilon} = E_0 \left[1 - \left(\frac{\sigma}{R} \right)^n \right] \quad (3.6)$$

w którym:

- $E_0 = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon}$ - sieczny moduł sprężystości-ściśliwości w początkowej fazie przebiegu funkcyjnego $\varepsilon = \varepsilon(\sigma)$,
- σ - aktualna wielkość naprężeń,
- R - wytrzymałość skały na ściskanie stwierdzona laboratoryjnie,
- n - parametr wahający się w granicach $1,0 \leq n \leq 1,6$.

Przyjmując za "n" wartość $n = 1$ i całkując równanie (3,6) otrzymujemy logarytmiczny związek między ε i σ , a mianowicie:

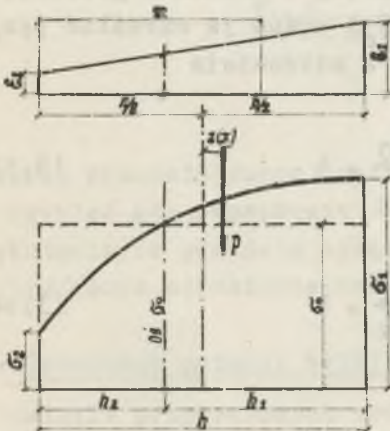
$$\varepsilon = - \frac{R}{E_0} \ln \left(1 - \frac{\sigma}{R} \right) \quad (3.7)$$

Zakładając zatem płaskość przekrojów poprzecznych wykres odkształceń w belce ε (m) jest wykresem prostoliniowym, gdy σ (m) o czym wspomiano poprzednio będzie wykresem krzywoliniowym stosownie do funkcji

$\varepsilon = \varepsilon(\sigma)$ rys. 7. Wielkość momentu sił zewnętrznych M_z jest iloczynem siły osiowej P i jej ramienia $z(x)$ (rys. 6), i wynosi:

$$M_z = P \cdot z(x) \quad (3.8)$$

Jego największa wartość wystąpi w miejscu, gdzie $z = z_{\max}$. Moment wszystkich sił zewnętrznych równoważony jest momentem wewnętrznym M_w , który



Rys. 7

w najogólniejszym przypadku, gdy w części przekroju panuje rozciąganie wynosi:

$$M_w = \int_0^{h_1} [\sigma_x(m) - \sigma_0] m \, dm + \int_{h_1}^h [\sigma(m) - \sigma_0] m \, dm \quad (3.9)$$

przy czym h_x - jest obszarem występowania naprężeń rozciągających.

Prosta naprężenia średniego $\sigma_0 = p_x$ odcina na wykresie naprężeń rys. 7 dwa krzywoliniowe trójkąty o wartościach rzędnych $\sigma_1 - \sigma_0$ oraz $\sigma_0 - \sigma_2$. Ponieważ dla układu jak na rysunku 7 zachodzi związek [2]:

$$\frac{1}{3} (\sigma_1 - \sigma_0) \cdot h \cdot h_1 = \frac{1}{3} (\sigma_0 - \sigma_2) h \cdot h_2 = M_z \quad (3.10)$$

otrzymujemy po podstawieniu za $\sigma_0 = p_x$ wartości naprężeń we włóknach skrajnych:

$$\sigma_1 = p_x \left(1 + \frac{3 Z_{\max}}{h_1} \right) \quad (3.11)$$

$$\sigma_2 = p_x \left(1 - \frac{3 Z_{\max}}{h_2} \right) \quad (3.12)$$

Dodatkowe niewiadome h_1 i h_2 powstały z podziału grubości warstwy h osią naprężeń średnich σ_0 : można je określić przy pomocy dodatkowych wzorów (rys. 7), a mianowicie

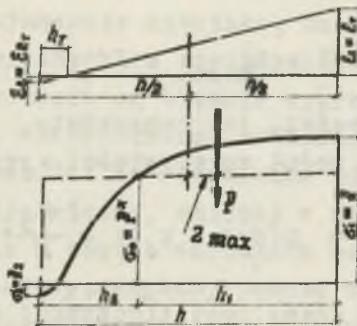
$$h_1 = \frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_0}{\varepsilon_1 - \varepsilon_2} \cdot h \quad (3.13)$$

$$h_2 = \frac{\varepsilon_0 - \varepsilon_2}{\varepsilon_1 - \varepsilon_2} \cdot h \quad (3.14)$$

Wielkość odkształceń określona została zgodnie z zależnością (3.7). Z uwagi jednak na logarytmiczny charakter zależności (3.7) posługiwanie się związkami (3.13) i (3.14) jest utrudnione.

Wystarczającą natomiast dokładność dają zależności:

$h_1 = (0,55 \div 0,7) h$, przyjmując większe współczynniki dla stosunku $\frac{\sigma_0}{R} \geq 0,7$; mniejsze wartości ok. $0,55 \div 0,6$ dla stosunku $\frac{\sigma_0}{R} < 0,7$. W zależności od wielkości mimośrod e_{\max} (ugięcia belki) oraz wielkości siły P , załamanie wytworzonego w stropie wyrobiska słupa skalnego spowodowane może być różnymi przyczynami. Mianowicie, w granicznym stanie naprężeń załamanie belki stropowej nastąpi na skutek osiągnięcia przez naprężenia σ_1 wytrzymałości skały na ściskanie lub też przez naprężenia σ_2 wytrzymałości skały na rozciąganie R_r (rys. 8). Ponadto załamanie belki stropowej może nastąpić z



Rys. 8

powodu wcześniejszego powstania na krawędziach σ_1 i σ_2 rys i pęknięć gdy naprężenie $\sigma_{1rys} < R$, z naprężenia $\sigma_{2rys} = R_r$. Pęknięcia te powodują wyłączenie z pracy części przekroju, a tym samym osłabienie belki.

4. Graniczne ugięcie belki stropowej

W świetle przytoczonych rozważań załamanie belki stropowej spowodowane może zostać, albo wcześniejszym wyczerpaniem nośno-

ści na skutek ugięcia spowodowanego ciśnieniem pionowym p_z (zależność 3.4), bądź też przekroczeniem wytrzymałości skały na ściskanie i rozciąganie w skrajnych włóknach przekroju, a spowodowanym wybozczeniem belki siłą osiową P . Ponieważ przypadek pierwszy charakteryzują zależności (3.5), (3.11) oraz (3.12), pozostaje do określenia wielkość granicznego ugięcia belki ściskanej osiowo na mimośrodkie $Z_2(x)$, zależność (3.3). Oznaczmy przez $Z_3(x)$ wielkość dodatkowego ugięcia spowodowanego tylko działaniem siły osiowej.

Różniczkowe zatem równanie osi belki przedstawi się następująco:

$$\frac{1}{\rho} \approx \frac{d^2 Z}{dx^2} = -\frac{M}{S} \quad (4.1)$$

gdzie;

ρ - promień krzywizny osi odkształconej,

M - moment zginający w danym przekroju belki,

S - sztywność przekroju, wielkość stała określona zależnością:

$$S = E_{zast.} \cdot J \quad (4.2)$$

J - moment bezwładności, jak poprzednio,

$E_{zast.}$ - zastępczy moduł sprężystości wynoszący:

$$E_{zast.} \approx E(\sigma_0) = E_0 \left(1 - \frac{\sigma_0}{R}\right) \quad (4.3)$$

Moment zginający M równy jest iloczynowi siły P i ramienia, wynoszącego w tym przypadku $Z_2(x) + Z_3(x)$, zatem:

$$M = P \left[Z_2(x) + Z_3(x) \right] \quad (4.5)$$

Równanie (4.1) określone jest ponadto następującymi warunkami brzegowymi, mianowicie

$$Z(0) = 0; \quad \frac{dZ}{dx} \left(\frac{l}{2} \right) = 0 \quad (4.6)$$

Podstawiając zatem do wzoru (4.1) odpowiednie wielkości podane poprzednio określonymi związkami, otrzymamy:

$$\frac{d^2 Z}{dx^2} = - \frac{p_x \cdot h \left[\frac{p_z (2^4 x^4 - 41 x^3 + 1^3 x)}{48 E_{zast.} \cdot J} + Z_3(x) \right]}{E_{zast.} \cdot J} \quad (4.7)$$

Równanie to rozwiązać można przez dwukrotne całkowanie przy danych warunkach brzegowych, otrzymując graniczną wielkość ugięcia belki stropowej, a tym samym wielkości naprężeń σ_1 i σ_2 .

5. Zakończenie

Oddziaływanie stropowych warstw górotworu na obudowę wyrobisk górniczych uzależnione zostało zatem zarówno od ciśnień pionowych jak i poziomych, panujących w górotworze. Podobnie przedstawiać się będzie sprawa oddziaływań ociosów i spągu wyrobiska. Takie ujmowanie zjawiska, ma szczególne znaczenie dla wyrobisk wykonywanych na znacznych głębokościach, na których ciśnienia górotworu są bliskie wytrzymałości, związanych - a kruchych skał. Wszeczhronne oddziaływanie górotworu o jednakowej intensywności we wszystkich kierunkach posiadać będzie charakter dynamiczny, zmienny w miarę upływu czasu. Ponieważ stosowanie w takich warunkach odpowiednio wytrzymałej i podpornej obudowy, mogłoby okazać się, ze względów ekonomicznych niewskazane, pozostaje do rozpatrzenia zagadnienia zachowania żądanych wymiarów wyrobiska na okres jego użytkowania. Należy zatem dążyć do określenia takich parametrów obudowy, aby jej oddziaływanie na górotwór, skutecznie opóźniło proces deformowania się warstw skalnych górotworu.

W dalszych pracach na ten temat, podjęte zostaną zagadnienia współpracy obudowy z górotworem w oparciu o przytoczoną analizę naprężeń i deformacji skał w otoczeniu wyrobisk korytarzowych.

LITERATURA

- [1] Chudek M.: Analiza przyczyn obrywania się skał w wyrobiskach wybierkowych". Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej Górnictwo z. 9, 1964 r.
- [2] Lewicki B.: "Nośność konstrukcji betonowych w przypadku technicznego obciążenia osiowego". PWN, Warszawa 1960 r.
- [3] Olszowski W.: "Badania modelowe nad zachowaniem się warstw górotworu przy jednej i dwóch płaszczyznach osłoniętych". Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Górnictwo z. 18, 1966 r.
- [4] Parysiewicz W.: "Tarpania w kopalniach". Wydawnictwo "Śląsk" Katowice, 1966 r.

АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ НАПРЯЖЕНИЙ И ДЕФОРМАЦИИ ГОРНЫХ ПОРОД
В ОКРУЖЕНИЯ КОРИДОРНЫХ ВЫРАБОТОК

Резюме

В работе сделан анализ способа деформации пород вокруг коридорной выработки, проведённой в наслоенных горных породах и проявляющих тенденцию к образованию столбовой структуры горных пород. Доказано, что воздействие горных пород на крепь выработки зависит не только от вертикального давления p , но и от горизонтального p_x .

Принимая во внимание при подсчётах расположение прямой балки, находящейся на выпучивании от осевой силы при боковой нагрузке, определено конечное состояние деформации и напряжений в кровле выработки.

ANALYSIS OF THE INTENSITY OF STRESS AND OF THE DEFORMATION
OF THE ROCK SURROUNDING CORRIDOR EXCAVATIONS

Summary

The paper presents the analysis of the way in which the rock surrounding corridor excavations is being deformed, the excavation being cut into stratified rock, which has a tendency of taking on a pillar-like structure. It has been shown, that the action of the rock formation on the excavation lining depends not only on the vertical pressure, p_z , but also on the horizontal pressure p_x . Basing on computations concerning the system of a straight rod working on the buckling from the axial strength in the case of an acting side load, it has been possible to determine the limit deformation and stress in the roof of the excavation.