

ZENON SZCZEPANIAK

STAN NAPRĘŻEŃ W NAROŻACH POŁĄCZEŃ  
PODZIEMNYCH WYROBISK KORYTARZOWYCH

Streszczenie: W narożach skrzyżowań odgałęzień i rozwidleń podziemnych wyrobisk korytarzowych występują zwiększone (dodatkowe) naprężenia.

W pracy wyprowadzono wzory pozwalające ustalić w narożu - wielkość i zasięg wymienionych naprężeń oraz długość drogi wzdłuż rozgałęziających się wyrobisk korytarzowych, na której naroże należałoby zabezpieczyć przed rozgniataniem.

1. Uwagi wstępne

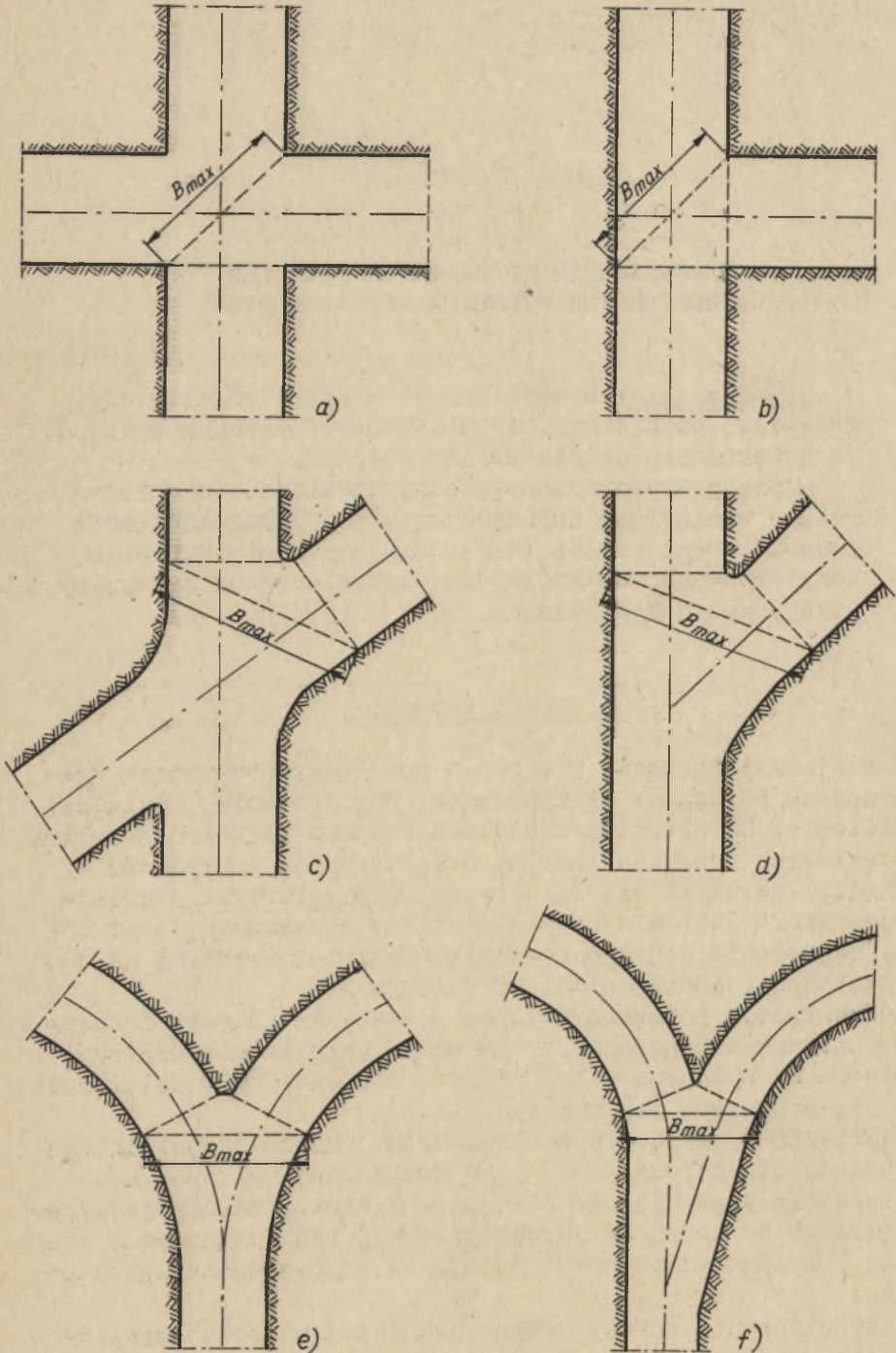
W miejscu połączenia się dwóch podziemnych wyrobisk korytarzowych powstaje: skrzyżowanie, odgałęzienie, względnie rozwidlenie. Najczęściej spotykane rodzaje połączeń wyrobisk korytarzowych przedstawione są schematycznie na rysunku 1.

Między łączącymi się wyrobiskami korytarzowymi powstaje naroże, które jest miejscem koncentracji naprężeń dodatkowych. Naprężenia dodatkowe sumują się z istniejącymi na danej głębokości naprężeniami pierwotnymi.

Koncentracja naprężeń stwarza potencjalne niebezpieczeństwo rozkruszenia naroża, a tym samym zwiększenia nacisków górotworu na wykonaną w tym miejscu obudowę, co z kolei może stać się przyczyną jej zniszczenia.

W związku z powyższym zachodzi konieczność odpowiedniego zabezpieczenia naroża przed jego rozgnieceniem. Sposób zabezpieczenia oraz długość (droga), na której należy je wykonać (licząc od początku naroża) powinny być powiązane z wielkością i zasięgiem skoncentrowanych w narożu dodatkowych naprężeń.

Zabezpieczanie naroży wykonywano dotąd na podstawie doświadczeń praktycznych, gdyż pod względem teoretycznym zagadnienie to nie jest opracowane. Praca niniejsza ma na celu



Rys.1. Rodzaje połączeń wyrobisk korytarzowych

opracowanie metody wyznaczania w narożach skrzyżowań, odgałęzień i rozwidleń, wielkości i rozkładu dodatkowych naprężeń w oparciu o które można byłoby projektować wykonywanie zabezpieczenia narożów przed ich rozgnieceniem.

$B_{\max \text{ odg}}$

2. Zakres pracy

W pracy rozważano naprężenia w narożach dwu najczęściej spotykanych połączeń wyrobisk korytarzowych - zwanych:

- a) odgałęzienie (rysunek 2),
- b) rozwidlenie symetryczne (rysunek 3).

Metodę postępowania, przedstawioną w niniejszej pracy dla tych dwóch przypadków połączeń, można zastosować przy projektowaniu wszystkich innych połączeń wyrobisk korytarzowych.

Odgałęzienia i rozwidlenia (rysunek 2 i 3) mają dwie charakterystyczne wielkości a mianowicie:  $L_c$  - długość odgałęzienia (rozwidlenia),  $B_{\max}$  - maksymalna szerokość odgałęzienia (rozwidlenia). Wielkości te według [6] wynoszą:

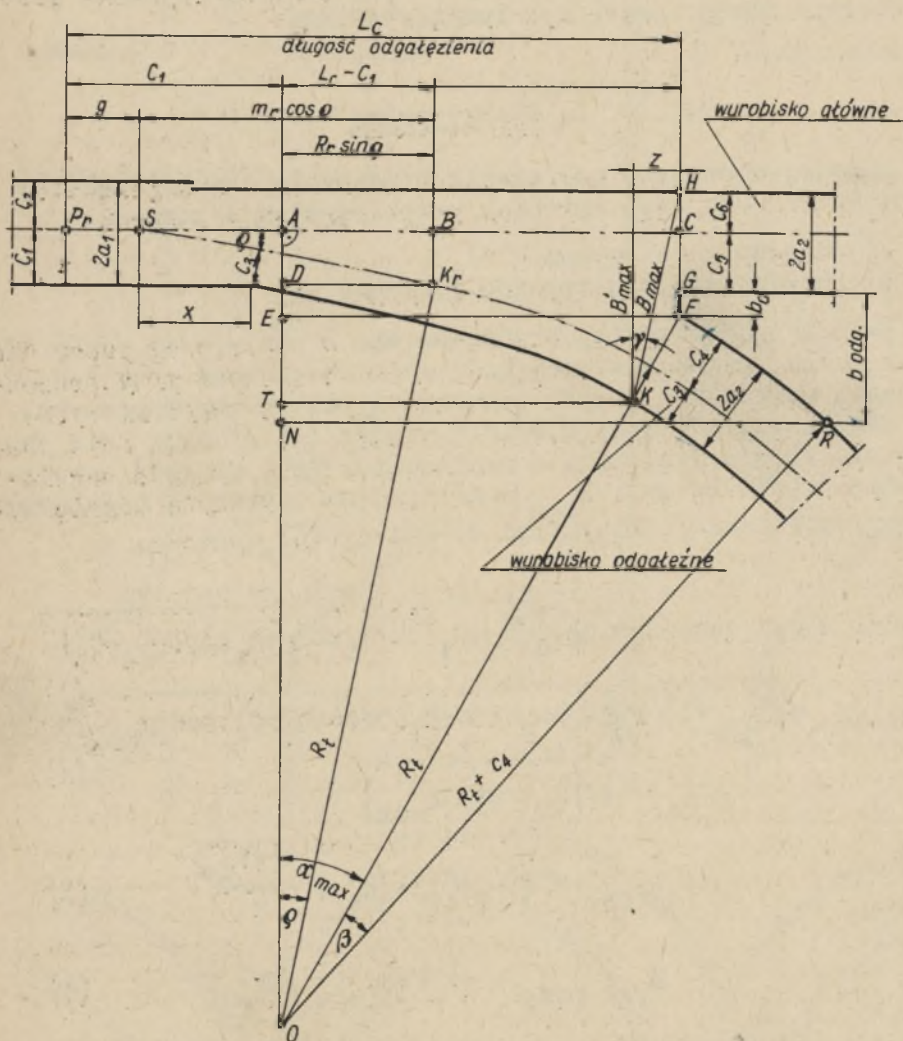
$$L_c \text{ odg.} = \frac{g+m_r \cos\varphi - R_t \sin\varphi + \sqrt{(R_t+C_4)^2 - (R_t \cos\varphi + m_r \sin\varphi - b_o - C_5)^2}}{(1)}$$

$$B_{\max} L_c \text{ odg.} = \frac{g+m_r \cos\varphi - R_t \sin\varphi + \sqrt{(R_t+C_4)^2 - (R_t \cos\varphi + m_r \sin\varphi - b_o - C_5)^2}}{+ [2 a \sin \alpha_{\max}]^2} \quad (2)$$

$$L_c \text{ roz.} = \sqrt{(R_t+C_4) - (R_t + \frac{o_2+b_o}{2})^2} \quad (3)$$

$$B_{\max} \text{ roz.} = 4a_2 \cos\alpha_{\max} + b_o \quad (4)$$

Oznaczenia we wzorach 1-4 podano na rysunkach 2 i 3.



Rys.2. Odgałęzienie z rozjazdem torowym pojedynczym

3. Wyznaczanie wielkości obciążeń przekazanych przez górotwór na naroże

Ciężar skał zalegających nad wykonanymi wyrobiskami w miejscu ich połączenia przekazany zostaje na caliznę w narożu i w ociosach - przebiegających po obu stronach naroża. Odnośnie naroża można wyróżnić dwa rodzaje obciążeń:

- a) obciążenie ciężarem skał zalegających nad połową szerokości każdego z rozgałęziających się wyrobisk - zwane przez autora bocznym obciążeniem naroża,
- b) obciążenie ciężarem skał zalegających nad stropem przy czołowej stronie naroża-zwane przez autora czołowym obciążeniem naroża.

Boczne obciążenie naroża na długości jednego mb. każdego z rozgałęziających się wyrobisk, wyraża się wzorem:

$$Q_1 = \gamma \cdot H \cdot a \cdot l \quad (5)$$

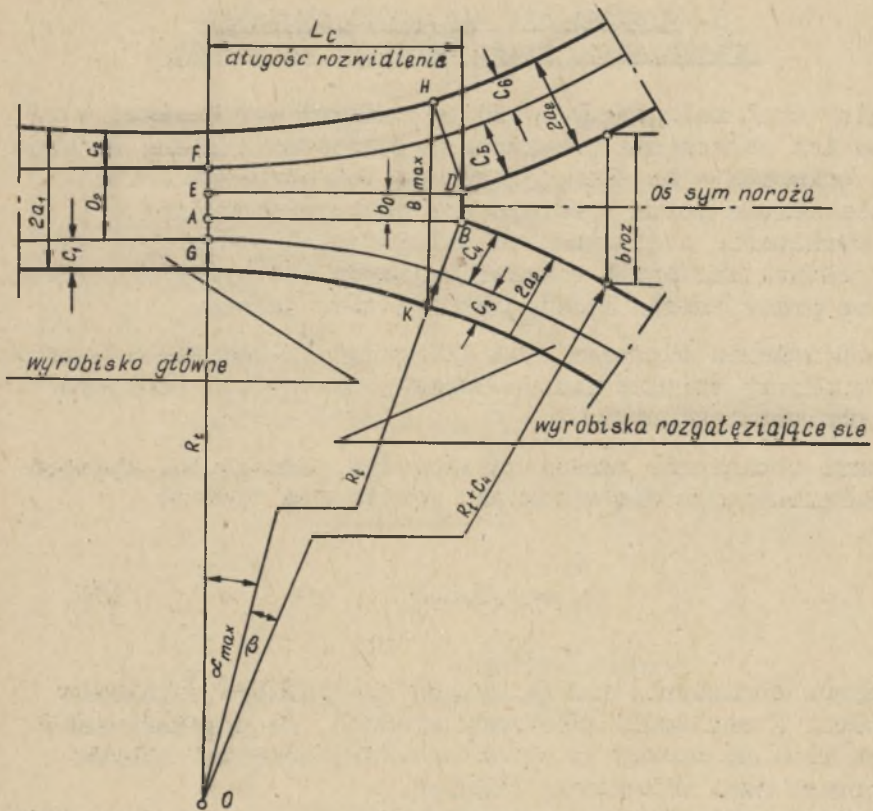
Czołowe obciążenie naroża wymaga specjalnego ustalenia wielkości. Z mechaniki górotworu wiadomo, że przekazywanie ciężaru skał na ociosy (w wyrobisku korytarzowym) odbywa się poprzez tzw. sklepienie ciśnień.

Z dużym przybliżeniem przyjąć można, że w przypadku odgałęzienia względnie rozwidlenia (rysunek 2 i 3) sklepienie takie kształtuje się na drodze od początku odgałęzienia czy rozwidlenia, do miejsca maksymalnej ich szerokości. Uważać można, że ciężar skał zalegających nad powstałym sklepieniem (na podanym odcinku) przekazywany jest na caliznę w ociosach obu rozpatrywanych rodzajów połączeń. Ciężar skał zawarty w skupie o podstawie trójkąta KFH (w przypadku odgałęzienia), względnie trapezu KBDH (w przypadku rozwidlenia) - rysunek 2 i 3, przekazany jest na ociosy obu łączących się w tym miejscu wyrobisk oraz na samo naroże.

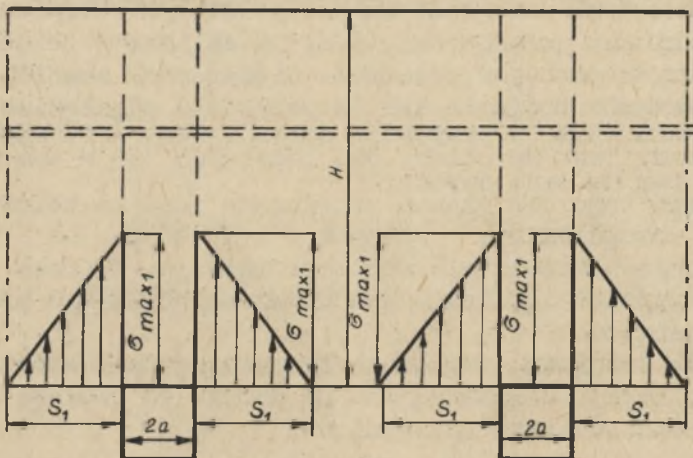
Większa część tego obciążenia przekazana jest na ociosy odgałęzienia (rozwidlenia). W związku z tym, że trudno ustalić proporcje podziału wielkości obciążenia, w pracy niniejszej przyjmuje się, że połowa omawianego ciężaru przekazana jest na naroże.

Powierzchnie trójkąta, względnie trapezu, sponad których połowa ciężaru skał przekazana jest na naroża od czołowej ich strony, można obliczyć następująco:

$$S = \frac{B_{\max} \cdot h}{2} \quad (6)$$



Rys.3. Rozwidlenie symetryczne



Rys.4. Rozkład dodatkowych naprężeń w caliznie ociosów dwóch równoległych wrobisk korytarzowych

a) odgałęzienie

gdzie:

$B_{\max}$  - maksymalna szerokość odgałęzienia liczona wzorem 3,

$h$  - wysokość trójkąta - którą można wyliczyć na podstawie wielkości przedstawionych na rysunku 2.

a) rozwidlenie

$$S = a_2 \cdot (B_{\max} + b_0) \sin \alpha_{\max} \quad (7)$$

gdzie:

$a_2$  - połowa szerokości rozgałęziających się wyrobisk (jednakowa dla każdego wyrobiska),

$b_0$  - szerokość ścięcia naroża.

Wielkość  $B_{\max}$  można wyliczyć wzorem 4, zaś kąt  $\alpha_{\max}$  z wielkości podanych na rysunku 3 lub znaleźć z [6].

Wielkości obliczone wzorami 6 i 7 należy wstawić do wzoru określającego wielkość czołowego obciążenia naroża. Wzór ten ma postać:

$$Q_2 = \gamma \cdot H \cdot \frac{S}{2} \quad (8)$$

Poszczególne wielkości w wzorach 5 i 8 oznaczają:

$\gamma$  - średni ciężar objętościowy skał,

$a$  - połowa szerokości każdego z rozgałęziających się wyrobisk,

$S$  - powierzchnia stropu przed czołem naroża równa wielkości wyliczonej wzorem 6 lub 7.

Wielkość  $H$  w wzorach 5 i 8 można przyjmować [1] następująco:

a) od głębokości wykonania połączenia (wyrobisk korytarzowych) - do powierzchni ziemi, w przypadku gdy wyrobiska wykonane są na niedużej głębokości lub gdy nie występują nad nimi warstwy o dużej sztywności,

b) od głębokości wykonania połączenia - do głębokości występowania nad nim warstwy sztywnej, w przypadku kiedy warstwa taka istnieje i zachowuje ciągłość na dużej powierzchni.

Warstwą sztywną może być ława piaskowca o takiej zwięzłości i grubości, aby maksymalny moment gnący nie przekroczył jej wytrzymałości na zginanie. Miąższość takiej warstwy przy znanej jej zwięzłości można wyliczyć z wzoru:

$$m = \frac{B_{\max}}{2} \cdot \sqrt{\frac{\gamma \cdot H}{2f}} \quad (9)$$

gdzie:

- $B_{\max}$  - szerokość odgałęzienia względnie rozwidlenia przed narożem,
- $\gamma$  - średni ciężar objętościowy skał,
- $H$  - głębokość od spągu warstwy sztywnej do powierzchni ziemi,
- $f$  - współczynnik zwięzłości piaskowca wg Protodiakonowa

Przy wyprowadzaniu wzoru 9, warstwę piaskowca nad rozgałęziającymi się wyrobiskami potraktowano jako belkę obustronnie utwierdzoną i obciążoną równomiernie ciężarem warstw nadległych.

Przeliczenia wykazują, że w przypadku istniejących na kopalniach skrzyżowań i odgałęzień, funkcję warstwy sztywnej (do głębokości 500 m) może pełnić piaskowiec o miąższości około 15 m i zwięzłości według Protodiakonowa  $f=5$ .

Boczne i czołowe obciążenia naroża osiągają wartość określoną wzorami 5 i 8, **niebezpośrednio** po wykonaniu połączenia wyrobisk korytarzowych, lecz po pewnym czasie - w miarę odkształcania się warstw skalnych w kierunku wykonanych wyrobisk.

W związku z powyższym wyliczone obciążenie przy pomocy podanych wzorów 5 i 8 należy traktować jako maksymalne obciążenie dodatkowe oddziaływujące na naroże.

#### 4. Wyznaczanie wielkości i rozkładu dodatkowych napreżeń w narożu

##### 4.1. Metoda wyznaczania dodatkowych napreżeń

Protodiakonow opracował metodę wyznaczania szerokości filarów oporowych między dwoma równoległymi wyrobiskami korytarzowymi, opartą na następujących zasadach:

a) Ciężar skał zalegających nad każdym z wykonanych wyrobisk zrównoważony jest przez przyrost sił wewnętrznych



(dodatkowych naprężeń) występujących w caliznie po obu stronach danego wyrobiska.

b) Naprężenia dodatkowe rozkładają się liniowo w głąb calizny (wykresy trójkątów na rysunku 4).

c) Stosunek maksymalnych naprężeń dodatkowych występujących w ociosie wyrobiska, do szerokości strefy, na której te naprężenia rozkładają się - wyraża się zależnością:

$$\frac{\sigma_{\max}}{s_1} = 0,0745 f \quad (10)$$

W oparciu o powyższe założenia Protodiakonow podaje wzór pozwalający wyliczyć szerokość strefy objętej zwiększonymi naprężeniami z każdej strony wyrobiska:

$$s_1 = 5,2 \sqrt{\frac{\gamma \cdot H_0 \cdot a}{f}} \quad (11)$$

gdzie:

$s_1$  - zasięg zwiększonych (dodatkowych) naprężeń w ociosach wyrobiska.

Pozostałe oznaczenia wzoru 11 zostały podane już poprzednio. Wszystkie wartości w wzorze 11 wyrażone są w kg i cm.

Zależność 10 i wzór 11 zostaną wykorzystane do obliczania wielkości i zasięgu naprężeń w narożach.

W dalszym ciągu pracy naprężenia w narożu wywołane bocznym lub czołowym obciążeniem naroża, nazywane będą odpowiednio - dodatkowymi naprężeniami bocznymi, względnie czołowymi.

#### 4.2. Boczne naprężenia w narożu

Sposób obliczania bocznych naprężeń w narożu zależy od jego szerokości. Szerokość naroża odgałęzienia (w dowolnym miejscu w stosunku do czoła naroża) w kierunku prostym do ociosu w wyrobisku głównym można wyliczyć wzorem:

$$b_{\text{odg.}} = (R_t + C_4) \cos \alpha_{\max} - (R_t + C_4) \cos (\alpha_{\max} + \beta) + b_0 \quad (12)$$

Do obliczenia szerokości naroża rozwidlenia w kierunku prostopadłym do jego symetralnej lub wyrobiska głównego można posłużyć się wzorem:

$$b_{\text{roz.}} = 2 \left[ (R_t + \frac{a_2 - b_0}{2}) \cos \alpha_{\text{max}} - (R_t + c_4) \cos (\alpha_{\text{max}} + \beta) \right] + b_0 \quad (13)$$

W obydwu wzorach kąt  $\beta$  oznacza wartość kąta zawartego między promieniami obejmującymi łuk na drodze od czoła naroża do miejsca liczonej szerokości. Kąt ten oraz pozostałe oznaczenia podane są na rysunkach 2 i 3.

Z wzoru 11 można wyliczyć zasięg bocznych naprężeń dodatkowych  $S_1$  z każdej strony naroża. Począwszy od szerokości naroża  $2 s_1$ , występujące po obu jego stronach naprężenia można wyliczyć w oparciu o wymieniony wzór 11 oraz zależność 10. Naprężenia w tej partii naroża mają przebieg jak na rysunku 5.

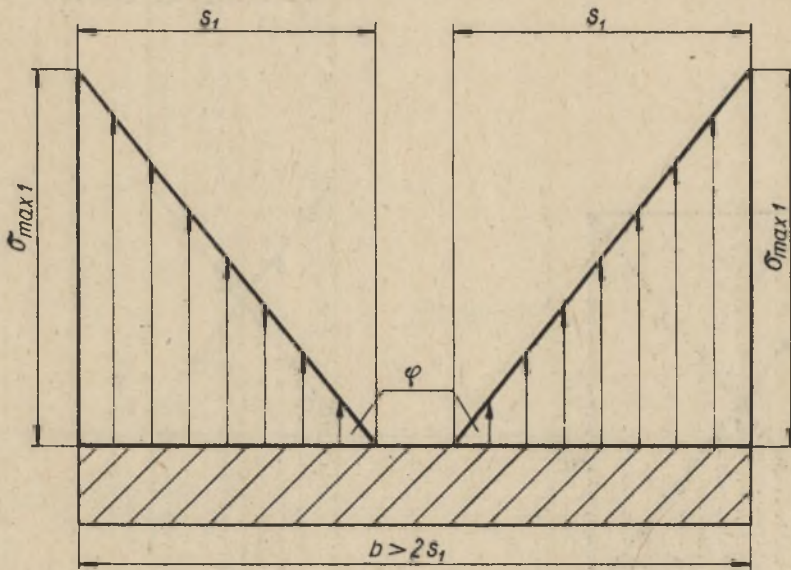
W obszarze naroża, zawartym między szerokością  $2 s_1$  i  $s_1$ , rozkład i wielkość naprężeń kształtuje się jak na rysunku 6. Występujące w tym obszarze naprężenia z jednej i drugiej strony naroża sumują się z sobą, jednak wielkość naprężeń sumarycznych nie przekracza wartości naprężeń maksymalnym  $\sigma_{\text{max}}$  wyliczonych przy pomocy wzorów 10 i 11.

Przebieg naprężeń w przedniej części naroża (od czoła naroża do miejsca, w którym jego szerokość równa się  $s_1$ ) przedstawiono na rysunkach 7 i 8. Występujące tutaj po obu stronach naroża - boczne naprężenia dodatkowe sumują się. Sumaryczną ich wielkość można wyliczyć z wzoru:

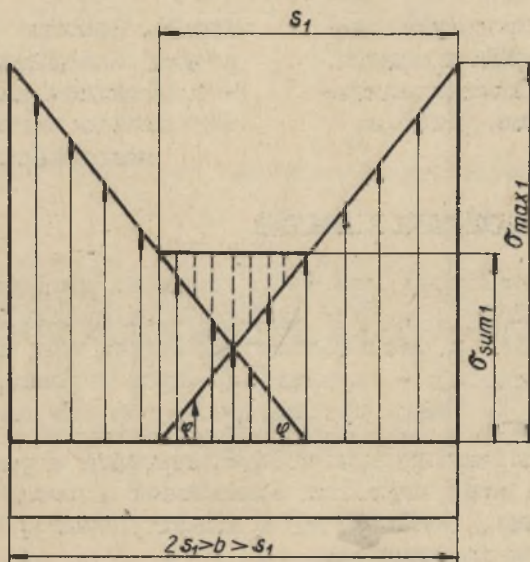
$$\sigma_{\text{sum}} = \frac{2 \gamma a \cdot H}{b} \quad (14)$$

Powyższy wzór wyprowadzono przy założeniu, że przebieg naprężeń w narożu jest zgodny z kierunkiem jego szerokości wyliczonych wzorami 12 i 13 i że wielkość pól  $\sigma_{\text{sum1}}$  oraz kąt  $\varphi$  różnią się constans.

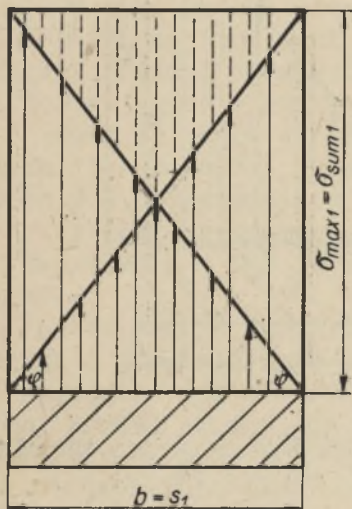
Wzór 14 wykazuje, że największa koncentracja dodatkowych naprężeń bocznych występuje u czoła naroża. Naprężenia te ulegają jeszcze zwiększeniu w wyniku ich zsumowania z naprężeniami czołowymi.



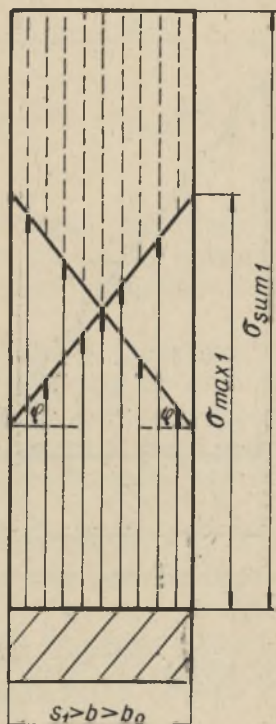
Rys.5. Rozkład bocznych naprężeń dodatkowych w partii naroża, w której jego szerokość  $b$  jest większa od  $2s_1$



Rys.6. Rozkład bocznych naprężeń dodatkowych w narożu, w partii ograniczonej szerokościami naroża  $2s_1$  i  $s_1$



Rys.7. Rozkład bocznych naprężeń dodatkowych w narożu - w miejscu, w którym szerokość naroża równa jest  $s_1$



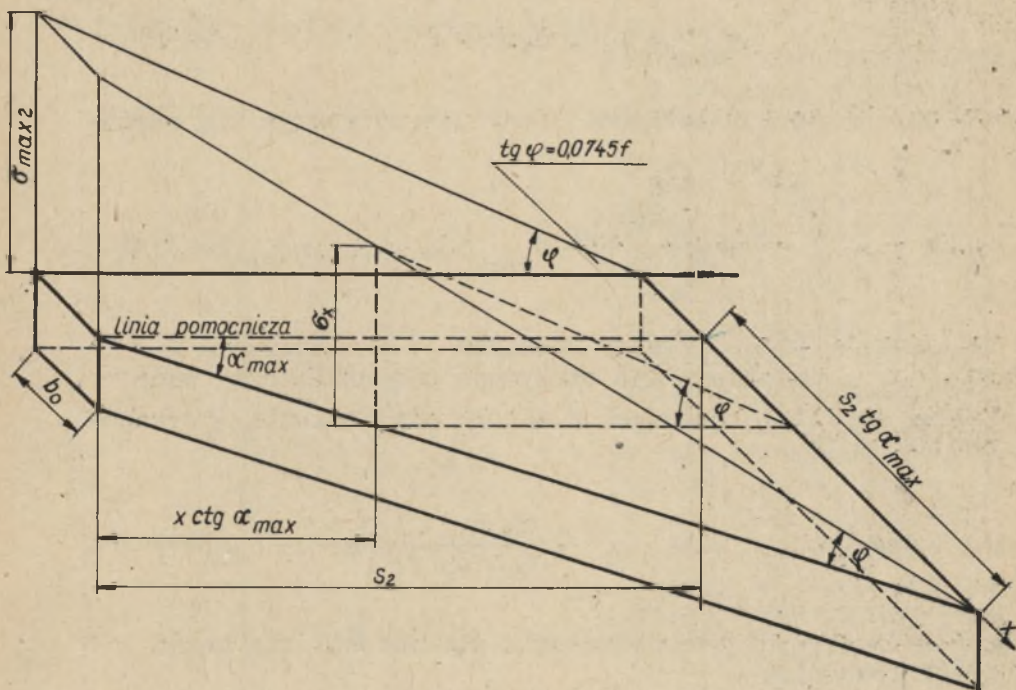
Rys.8. Rozkład bocznych naprężeń dodatkowych w narożu - w obszarze zawartym między czołem naroża a jego szerokością  $s_1$

#### 4.3. Czołowe naprężenia w narożu

W celu wyprowadzenia wzorów na rozkład czołowych naprężeń dodatkowych zakłada się, że w odgałęzieniu wyrobisko odgałęźne oraz oba wyrobiska w rozwidleniu rozchodzą się nie po łuku, lecz po linii prostej - stycznej do łuku w początku naroża (pod kątem  $\alpha_{max}$ ). Takie uproszczenie pozwala na wyprowadzenie wzorów na zasięg i wielkość naprężeń w postaci mniej skomplikowanej; przy czym ich dokładność z uwagi na znaczny promień krzywizny (około 20 m) i nieduży zasięg naprężeń czołowych jest wystarczająca.

W oparciu o podane założenie i przyjęcie, że przebieg czołowych naprężeń w narożu spełnia również warunek wyrażony wzo-

rem 10, można uważać, że naprężenia te kształtują się jak na rysunku 9.



Rys.9. Rozkład czołowych naprężeń dodatkowych w narożu

Na podstawie rysunku 9 ułożono równanie 15 pozwalające wyliczyć zasięg czołowych naprężeń w narożu, na drodze od czoła naroża w kierunku rozgałęziających się wyrobisk

$$Q_2 = \gamma \cdot H \cdot \frac{S}{2} = \int \sigma_x \cdot dF \quad (15)$$

gdzie:

$$\sigma_x = \frac{s_2 - x \operatorname{ctg} \alpha_{\max}}{s_2} \sigma_{\max 2} \quad (15a)$$

$$dF = (b_0 + x) \cdot dx \operatorname{ctg} \alpha_{\max} \quad (15b)$$

$$\sigma_{\max 2} = s_2 \cdot 0,0745 f \quad (15c)$$

Z równania 15 oraz zależności 15a i 15b otrzymuje się równanie 16.

$$\gamma \cdot H \cdot \frac{s}{2} = \int_0^{s_2 \operatorname{tg} \alpha_{\max}} \frac{s_2 - x \operatorname{tg} \alpha_{\max}}{s_2} \sigma_{\max 2} \cdot (b_0 + x) \cdot \operatorname{ctg} \alpha_{\max} dx \quad (16)$$

Po scałkowaniu prawej strony równania 16 i wstawieniu w miejsce  $\sigma_{\max}$  zależność 15c otrzymuje się ostateczny wzór na zasięg naprężeń czołowych w narożu odgałęzienia - wyrażony równaniem 17.

$$\operatorname{tg} \alpha_{\max} \cdot s_2^3 + 3b_0 s_2^2 - \frac{3\gamma \cdot H \cdot S}{0,0745 f} = 0 \quad (17)$$

Przeprowadzając podobne rozważania dla rozwidlenia można otrzymać równanie:

$$2\operatorname{tg} \alpha_{\max} s_2^3 + 3b_0 s_2^2 - \frac{3\gamma \cdot H \cdot S}{0,0745 f} = 0 \quad (18)$$

Otrzymane równania są równaniami stopnia nieparzystego, a zatem mają co najmniej jeden pierwiastek rzeczywisty.

Najszybciej z wystarczającą dokładnością powyższe równania można rozwiązać, posługując się metodą cięciw, metodą stycznych, względnie metodą kombinowaną. W związku z tym, że najpraktyczniejszą w zastosowaniu jest metoda cięciw, zostanie podany sposób rozwiązywania za jej pomocą każdego z przedstawionych równań.

Rozważmy funkcję:

$$f(s) = a s_2^3 + b s_2^2 - d \quad (19)$$

gdzie:

(w przypadku odgałęzienia wzór 17)  $a = \operatorname{tg} \alpha_{\max}$

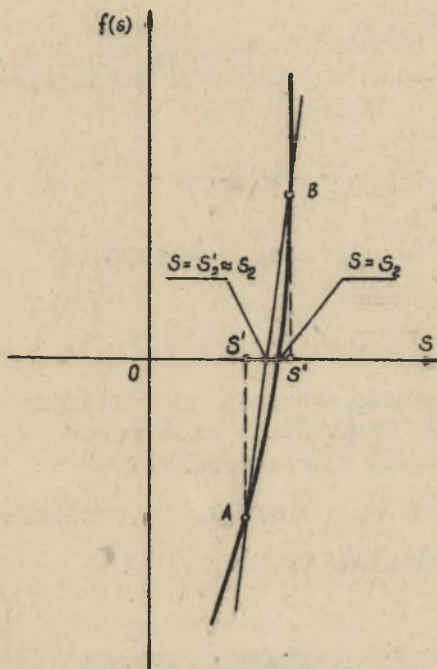
$$b = 3 b_0$$

$$d = \frac{3\gamma \cdot H \cdot S}{0,0745 f}$$

Graficzny przebieg funkcji przedstawiono na rysunku 10.

Funkcję rozpatrujemy tylko dla realnych dodatnich wartości  $s_2$ . Pierwsza pochodna funkcji  $f(s)$  dla tych wielkości ma zawsze wartość dodatnią, co wskazuje na to, że funkcja 19 jest dla dodatnich wartości  $s$  rosnąca i że przecina oś  $s$  (po dodatniej stronie) tylko w jednym punkcie rysunek 10.

W celu rozwiązania równania 19, należy ustalić możliwie mały przedział  $[s', s'']$ , na którego końcach funkcja ma znaki przeciwne. Przybliżoną wartość pierwiastka znajduje się z przecięcia cięciwy  $AB$  z osią  $s$  w punkcie  $s'_2$  - rysunek 10. Równanie cięciwy ma postać:



$$f(s) - f(s') = \frac{f(s'') - f(s')}{s'' - s'} (s - s') \quad (20)$$

Rys.10. Wykres krzywej wyrażonej równaniem 19

Dla przypadku, kiedy:

$$s = s'_2$$

$$f(s) = 0$$

Wstawiając w równanie 20  $s = s'_2$   $y = 0$  możemy wyliczyć wartość  $s'_2$ .

$$s'_2 = s' - f(s') \frac{s'' - s'}{f(s'') - f(s')} \quad (21)$$

Chcąc otrzymać dokładniejszą wartość pierwiastka (a tym samym zasięgu czokowych naprężeń), możemy zastosować wzór 21 ponownie do przedziału  $[s', s_2]$ , lub  $[s_2, s'']$ , w którym funkcja zmienia znak. Z rysunku 10 wynika, że krzywa wyrażona równaniem 17 lub 18 przebiega dość stromo, w związku z czym już pierwsza przybliżona wartość  $s'_2$  (znaleziona wzorem 21) jest bardzo bliska wartości rzeczywistej.

Wielkość czokowych naprężeń w narożu w dowolnym miejscu wzdłuż rozgałęziających się wyrobisk (w przypadku odgałęzienia) można znaleźć z zależności:

a) wzdłuż wyrobiska głównego  $\sigma_{l_1} = (s_2 - l_1) \cdot 0,0745 f \quad (22)$

b) wzdłuż wyrobiska odgałęźnego  $\sigma_{l_2} = (s_2 - l_2 \cos \alpha_{\max}) \cdot 0,0745 f \quad (23)$

gdzie:

$l_1$  i  $l_2$  - odległość od czoła naroża do miejsca w którym liczona jest wielkość naprężenia czokowego (wzdłuż rozgałęziających się wyrobisk).

W przypadku rozwidlenia wartości  $\sigma_{l_2}$  ustala się podobnie jak dla wyrobiska odgałęźnego w odgałęzieniu.

#### 4.4. Sumaryczne wielkości dodatkowych naprężeń w narożu

Przeprowadzone rozważania wskazują, że największa koncentracja naprężeń dodatkowych istnieje w tej partii naroża, w której występują obydwa przeanalizowane rodzaje naprężeń. Sumaryczna wielkość tych naprężeń w dowolnym miejscu naroża można wyliczyć z wzorów 14 i 22 lub 14 i 23.

$$\sigma_{\text{sum}} = \frac{2\gamma \cdot a \cdot H}{b} + (s_2 - l_1) \cdot 0,0745 f \quad (24)$$

$$\sigma_{\text{sum}} = \frac{2\gamma \cdot a \cdot H}{b} + (s_2 - l_2 \cos \alpha_{\max}) \cdot 0,0745 f \quad (25)$$



gdzie:

$l_2$  - długość drogi od czoła naroża do miejsca w którym szukamy  $\sigma_{sum}$ , liczona wzdłuż wyrobiska odgałęźnego w odgałęzieniu lub wzdłuż obu wyrobisk rozwidlających się.

Wartość  $b$  w powyższych wzorach obliczamy z wzoru 12, lub 13 dla których kąt  $\beta$  znajduje się w zależności:

$$\beta = \frac{l_2 \cdot 180}{(R_t + c_4) \pi} \quad (26)$$

Znacznie szybciej, lecz z mniejszą dokładnością  $b$  można znaleźć z zależności:

a) w przypadku odgałęzienia

$$b = b_0 + l_1 \operatorname{tg} \alpha_{\max} \quad (27)$$

lub

$$b = b_0 + l_2 \operatorname{sin} \alpha_{\max} \quad (28)$$

b) w przypadku rozwidlenia

$$b = b_0 + 2 l_2 \operatorname{sin} \alpha_{\max} \quad (29)$$

5.

### 5. Możliwość wykorzystania podanych wzorów

Występujące w narożu naprężenia dodatkowe sumują się z istniejącymi na danej głębokości naprężeniami pierwotnymi. W obszarze największej koncentracji naprężeń zachodzi często możliwość przekroczenia doraźnej wytrzymałości skały na ściskanie. Obszarem takim w narożu jest ta jego część, w której występują naprężenia określone wzorem 24 lub 25.

Całkowitą wielkość naprężeń w tym obszarze otrzymamy dodając do prawej strony wzorów 24 lub 25 wartość naprężeń pierwotnych. Przyrównując prawe strony tych wzorów (uzupełnionych naprężeniami pierwotnymi) do dopuszczalnej wytrzymałości na ściskanie - skały występującej w narożu, można określić miejsce w narożu, do którego sumaryczna wielkość naprężeń jest większa od dopuszczalnych dla danego rodzaju skały.

Występującą skałę w narożu w obszarze, w którym sumaryczna wartość naprężeń przekracza jej doraźną wytrzymałość na ściskanie należy wybrać i zastąpić materiałem bardziej wytrzymałym. W dalszej partii naroża naprężenia mieścić się będą w granicach dopuszczalnych. Do miejsca, w którym szerokość naroża równa się  $2s_1$  (wzór 13) zachodzi jednak w dalszym ciągu sumowanie naprężeń dodatkowych.

Wielkość naprężeń dodatkowych oraz intensywność ich sumowania (w tej partii naroża) ulegną znacznemu zwiększeniu, jeżeli z wpływem czasu skała w ociosach naroża ulegnie spękaniu.

Celem zapobieżenia powstaniu w narożu (do miejsca  $b = 2s_1$ ) znacznej strefy skał odprężonych należy:

a) do miejsca w którym szerokość naroża równa się  $2s_1$  zastosować wzmocnioną obudowę - w obu rozgałęziających się wyrobiskach,

b) Obudowa w granicach dopuszczalnych dla niej naprężeń powinna być sztywna i jak najdokładniej dopasowana do obrysów wyrobiska.

W odgałęzieniu, przy wyznaczaniu długości (drogi), wzdłuż której należy w rozgałęziających się wyrobiskach wykonać wzmocnioną obudowę, można posłużyć się wzorami:

a) w wyrobisku głównym:

$$l'_1 = \sqrt{[(R_t + c_4) \sin(\alpha_{\max} + \beta)]^2 - [(R_t + c_4) \sin \alpha_{\max}]^2} \quad (30)$$

b) w wyrobisku odgałęzonym:

$$l'_2 = \frac{(R_t + c_4) \pi \cdot \beta}{180} \quad (31)$$

Wzorem 31 można posłużyć się również w przypadku rozwidlenia. Wartość kątów  $\beta$  występujących w wzorach 30 i 31 znajdujemy z wzorów 12 i 13 wstawiając w miejsce szerokości  $b$  wartość  $2s_1$ .

## 6. Wnioski

1) Ciężar skał zalegających nad wyrobiskiem korytarzowym zrównoważony jest przez przyrost sił wewnętrznych (naprężeń) występujących w caliźnie po obu stronach wyrobiska.

W przypadku skrzyżowania względnie odgałęzienia lub rozwidlenia, ciężar skał zalegających nad wykonanymi wyrobiskami w miejscu ich połączenia, przekazywany jest tak na ociosy (z jednej i drugiej strony naroża), jak i na samo naroże, co powoduje w nim spiętrzenie naprężeń.

2) Koncentracja naprężeń w narożu (pod wpływem działającego na nie obciążenia) może spowodować jego rozkruszenie.

3) Celem zapobieżenia rozgniataniu naroża, należy wykonać odpowiednie jego zabezpieczenie na długości (drodze) wyliczonej za pomocą wzorów - podanych w niniejszej pracy.

#### LITERATURA

- [1] Sałustowicz A., Galanka J.: Mechanika górotworu. Kraków 1960 r.
- [2] Sałustowicz A.: Wyznaczanie szerokości filarów oporowych. Archiwum Górnictwa. PAN Warszawa, t.VI, Z.3, 1961 r.
- [3] Sałustowicz A.: Czynniki czasu w zagadnieniach mechaniki górotworu. Przegląd Górnictwa Nr 1 1959 r.
- [4] Dawydow S.S.: Obliczanie i projektowanie konstrukcji podziemnych. Wyd. MON, 1954 r.
- [5] Cimbarewicz P.M.: Rudnicznoje krieplienie. Uglietiechisdat 1951 r.
- [6] Katalog wyrobisk górniczych, część 3. Połączenia wyrobisk chodnikowych poziomych, Zeszyt 8b. Odgałęzienia i rozwidlenia. Wytoczne projektowania. Min. Górnictwa Katowice 1957 r.

## СОСТОЯНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ В УГЛАХ СОЕДИНЕНИИ ПОДЗЕМНЫХ КОРРИДОРНЫХ ВЫРАБОТОК

### Р е з ю м е

В углах пересечений отрогов и ответвлений подземных корридорных выработок имеют место увеличенные (дополнительные) напряжения.

В работе выведено формулы, позволяющие определить величину и радиус действия вышеуказанных напряжений в углах выработок, а также длину пути вдоль разветвляющихся корридорных выработок, на которой углы следовало бы предохранить от раздавливания.

## DER SPANNUNGSZUSTAND IN ECKEN DER UNTERIRDISCHEN STRECKENVERBINDUNGEN

### Z u s a m m e n f a s s u n g

In Ecken der **Streckenkreuzungen** und Streckenabzweigungen treten grössere (zusätzliche) Spannungen auf. Es wurden Formeln abgeleitet, nach denen man Spannungsgrösse und örtlichen Spannungsbereich in Streckenabzweigungen - und Kreuzungen berechnen kann.

Weitere Formeln dienen zur Berechnung der Weglänge, auf der man die Strecke vor den Verformungen versichern sollte.