

Zdzisław KLECZEK

Andrzej ZORYCHTA

WPŁYW ZASZŁOŚCI EKSPLOATACYJNYCH

NA STAN NAPRĘŻENIA GÓROTWORU ZAGROŻONEGO TĄPANIAMI

Streszczenie. Powiększająca się głębokość eksploatacji i coraz bardziej złożone warunki naturalne, są powodem stałego wzrostu zagrożenia tąpnięciami. Aktualnie 40 kopalń węgla kamiennego i 4 kopalnie rud miedzi w Polsce prowadzą eksploatację w warunkach zagrożenia wstrząsami górotworu i tąpnięciami. Fakty te zmuszają do intensyfikacji takich prac, których celem jest określenie przyczyn powstawania tych niebezpiecznych zjawisk geodynamicznych.

Zasadniczym celem niniejszej pracy jest sformułowanie geomechanicznych warunków wpływu tzw. zaszłości eksploatacyjnych (krawędzi, filarów, niewybranych pól itp.) na kształtowanie się wtórnego stanu naprężeń w górotworze w sąsiedztwie wyrobisk górniczych. Zaszłości te, mimo pryncypialnych zasad czystej eksploatacji w warunkach zagrożenia tąpnięciami, są nieuniknione zarówno z punktu widzenia technologii eksploatacji, jak i złożonych warunków geologicznych.

W pracy podano analityczny sposób określania naprężeń wynikających z zaszłości eksploatacyjnych oraz metodę określania wpływu tych zaszłości na stan naprężenia, jaki panuje w górotworze w sąsiedztwie wyrobisk górniczych.

1. WPROWADZENIE

Charakterystyczną cechą polskiego górnictwa węglowego będzie w przyszłości między innymi to, że ewentualnemu utrzymaniu poziomu wydobywania towarzyszyć musi rozbudowa w głąb istniejących kopalń. Obserwowana będzie intensyfikacja różnorodnych przejawów ciśnienia górotworu, a zatem procesów jednoznacznie zależnych od głębokości, w tym także tąpnięć.

W związku z tym należałoby na wstępie udzielić odpowiedzi na pytania, jaki jest aktualny poziom wiedzy o genezie tąpnięć. Można zauważyć, że obecny stan wiedzy o warunkach powstawania tąpnięć wywołanych koncentracją naprężeń statycznych jest dla warunków wybierania pojedynczego pokładu na tyle wystarczający, że możliwe jest praktyczne wykorzystywanie opracowanych metod poszukiwania kryteriów tąpnięcia. Nie da się jednak tego samego powiedzieć w odniesieniu do eksploatacji wielopokładowej, czyli do przypadków oddziaływanie różnorodnych krawędzi, resztek, czy też filarów. Przejawem tego stanu rzeczy są między innymi obowiązujące przepisy, w których ("Wytyczne bezpiecznego prowadzenia eksploatacji w pokładach zagrożonych tąpnięciami") spotykamy cały szereg werbalizmów charakteryzujących,

np. zasięgi oddziaływania krawędzi (§ 54), czy też odprężenia. Jest przecież zrozumiałe, iż skala oddziaływań zależy od własności górotworu, skutkiem czego dla odmiennej budowy litologicznej poszczególne zasięgi muszą różnić się między sobą. Wpływ ten warunkują w pierwszym rzędzie własności odkształceniowe, w tym także reologiczne, poszczególnych warstw skalnych.

Stan wiedzy o drugim rodzaju tępań, wywołanych oddziaływaniem obciążeń dynamicznych, według powszechnaj oceny praktyków i ludzi nauki jest (w porównaniu z pierwszym typem tępań) na niższym poziomie. Stąd i tu sformułować można szereg tematów wymagających niezwłocznego rozwiązania.

Biorąc pod uwagę niewysoki poziom wiedzy o genezie tępań, należy mieć na uwadze nie tyle różnego rodzaju fenomenologiczne opisy werbalne wynikające z wieloletnich obserwacji, lecz określone metody analityczne bądź numeryczne.

Wspomniana na wstępie tendencja o rozwijaniu się kopalń w głąb, sprawia iż spełnienie jednej z kardynalnych zasad wybierania w warunkach zagrożenia tępaniami, zasady czystego wybierania, może w wielu wypadkach stawać pod znakiem zapytania. Jest oczywiste, że należy dążyć do jej respektowania, ale w wielu przypadkach (tak z przyczyn naturalnych jak i technologicznych) jej realizacja może napotkać na wielkie trudności. Chodzi przede wszystkim o nieunikniony wpływ różnorodnych zaszłości (krawędzi, filarów, resztek) na stan naprężenia w górotworze, a w konsekwencji na wzrost zagrożenia tępaniami, wywołanymi koncentracją naprężeń statycznych oraz wstrząsami, czyli tępaniami wywołanymi oddziaływaniem obciążeń dynamicznych.

Brak metod definiujących skalę tych oddziaływań jest powodem podjęcia niniejszej pracy nad opracowaniem sposobu określania wpływu zaszłości eksploatacyjnych na stan naprężenia w górotworze.

Wielokrotnie nadmieniana i dla wszystkich oczywista złożoność budowy górotworu sprawia, że badania zjawisk geomechanicznych powstających w trakcie eksploatacji prowadzi się dla modeli górotworu, będących lepszą lub gorszą imitacją warunków rzeczywistych. Zakres uproszczeń jest w istocie rzeczą sumą znajomości parametrów charakteryzujących budowę geologiczną złoża i własności geomechanicznych tworzących je utworów skalnych oraz możliwości analitycznych (bądź numerycznych), które są w dyspozycji mechaniki ośrodków odkształcalnych. Inżyniersko racjonalna metoda winna cechować się tym, że ilość wielkości charakteryzujących złożę odpowiadać musi danym, które aktualnie dostępne są w kopalniach. Aparat geomechaniki winien, przy zachowaniu odpowiedniego stopnia dokładności, pozwalać na dokonywanie szybkich i jednocześnie wielowariantowych obliczeń. Jedynie w tym przypadku, można będzie mówić o stosowalności metody. Przekonanie to jest konsekwencją poglądu, iż przesadne wymagania ujemnie wpływają na użyteczny aspekt pracy. Stojąc na tym gruncie dokonano podziału modeli górotworu na lokalne i globalne. Za pomocą modeli lokalnych określać się będzie stan naprężenia w najbliższym otoczeniu rozważanych elementów sy-

stemu eksploatacji, tj. krawędzi, resztek filarów i zrobów. Natomiast za pomocą modeli globalnych opisany zostanie wpływ wspomnianych elementów na stan naprężenia w górotworze. Jest rzeczą naturalną, że oba rodzaje modeli charakteryzować się będą różną ilością i skalą założeń idealizujących, czego efektem będzie, między innymi, różna dokładność obliczeń. Modele lokalne będą miały tę dokładność wyższą. Trzeba jednak zauważyć, że za lepszą dokładnością modeli globalnych kryje się potrzeba dysponowania większą ilością danych definiujących parametry geomechaniczne ingerujące w model. Jeżeli w odniesieniu do najbliższego otoczenia wyrobisk istnieje możliwość wyznaczenia tych parametrów, to w przypadku większego obszaru górotworu możliwość taka wydaje się wielce problematyczna. Stąd też wywodzi się mniejsza dokładność modeli globalnych.

Zmierając do określenia oddziaływania zaszczości eksploatacyjnych na stan naprężenia górotworu jednorodnego, wyodrębniono dwa zagadnienia, które umożliwiły:

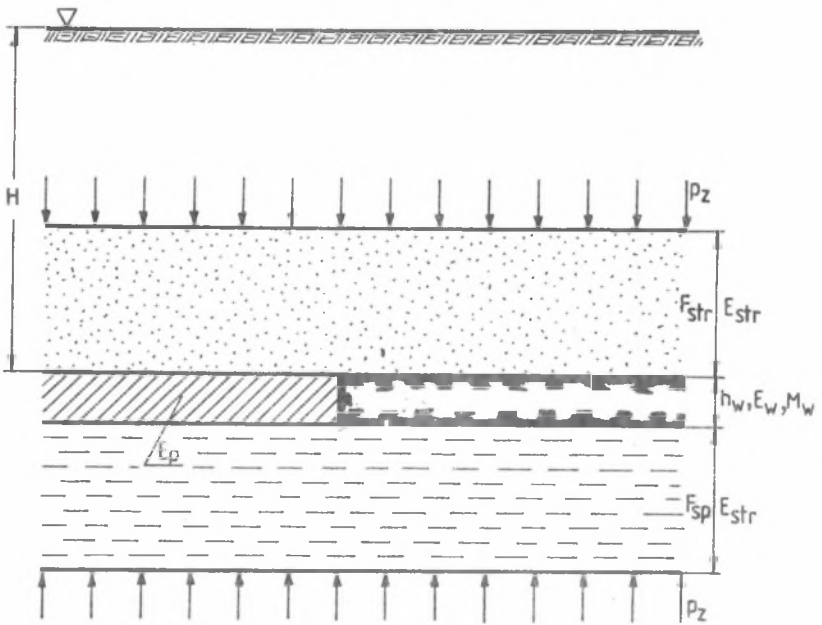
- określenie wartości naprężeń w różnorodnych elementach systemu ścianowego,
- na podstawie tych naprężeń, traktując je jako warunki brzegowe, wyznaczano poszukiwane składowe tensora naprężenia dla górotworu jednorodnego.

Trzeba dodać, że przedstawione tu rozważania ograniczono jedynie do ścianowego systemu eksploatacji, który aktualnie jest typowym sposobem wybierania pokładów węgla. Uwaga druga dotyczy zakresu określania wpływów. Ponieważ tematyka pracy wiąże się z kopalniami głębokimi, toteż rozważania w pierwszym rzędzie koncentrować się będą na wpływie zaszczości na niżej zalegające obszary górotworu. Przed przystąpieniem do omówienia zasad tworzenia modelu górotworu określającego wpływ zaszczości, niezbędną wydaje się uwaga o obszerności rozważań zawartych w niniejszej pracy. Zmierając do tego, aby były one czytelne i możliwie zwarte, wywody ograniczono jedynie do omówienia założeń, równań wyjściowych i ewentualnie warunków brzegowych oraz do przedstawienia ostatecznych rozwiązań. Nie zamieszczono natomiast pełnych wyprowadzeń matematycznych, gdyż stanowią one wyłącznie zbiór pewnych typowych przekształceń, a w konsekwencji nie wnoszą nowych i istotnych treści poznawczych.

2. KSZTAŁTOWANIE SIĘ STANU NAPRĘŻEŃ W ZASZCZOŚCIACH EKSPLOATACYJNYCH

2.1. Zasady tworzenia modelu

Omówienie zasad tworzenia modelu definiującego kształtowanie się stanu naprężenia w zaszczościach, zawężono do przedstawienia założeń, które w sposób jednoznaczny określają równania opisujące poszukiwane rozkłady przemieszczeń i naprężeń.



Rys. 2.1

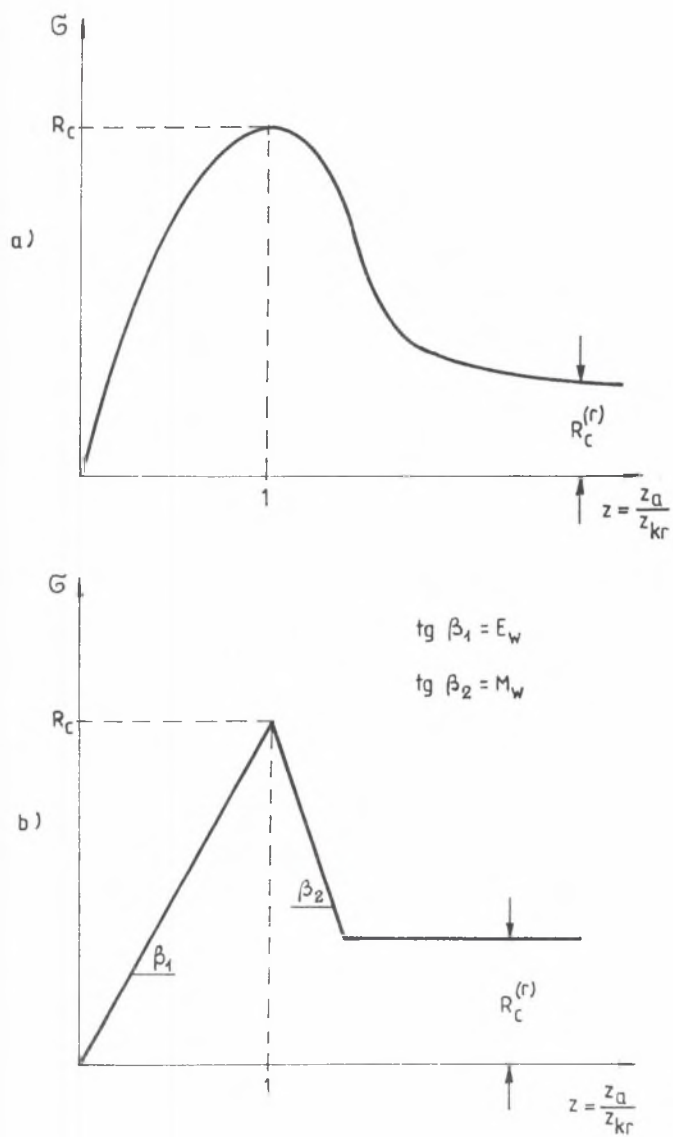
A. Wydzielono najbliższe otoczenie wyrobiska (rys. 2.1), w skład którego wchodzi warstwa stropowa o grubości F_{str} , pokład o miąższości h_w oraz warstwa spągowa o grubości F_{sp} . Warstwy spągu i stropu założono, że są ośrodkami liniowo-sprężystymi, dzięki czemu można je zastąpić warstwą ekwiwalentną o sztywności EF :

$$EF = \frac{(E_{str} \cdot F_{str})(E_{sp} \cdot F_{sp})}{(E_{str} \cdot F_{str}) + (E_{sp} \cdot F_{sp})} \quad (2.1.1)$$

gdzie:

E_{str}, E_{sp} - moduły sprężystości warstwy stropowej i spągowej.

B. Założono, że pokład jest ośrodkiem nieliniowo odkształcalnym (rys. 2.2a), przy czym pełną charakterystykę "naprężenie-odkształcenie" aproksymowano prostymi (rys. 2.2b). Dla tej aproksymacji zachodzą następujące związki:



Rys. 2.2

$$\sigma_z = f(w) = \begin{cases} R_c w & \text{dla } 0 \leq z \leq 1 \\ R_c \left[1 - \frac{E_w}{M_w}(w-1) \right] & \text{dla } 1 < z \leq 1 + \left(1 - \frac{R_c(r)}{R_c} \right) \cdot \frac{E_w}{M_w} \\ R_c^{(r)} & \text{dla } z > 1 + \left(1 - \frac{R_c(r)}{R_c} \right) \cdot \frac{E_w}{M_w} \end{cases} \quad (2.1.2)$$

gdzie:

w - unormowana wartość przemieszczeń pionowych,

$$w = \frac{w_a}{w_{kr}} \quad (2.1.3)$$

w_a - przemieszczenie aktualne,

$$w_{kr} = \frac{R_c}{E_w} \cdot h_w \quad (2.1.4)$$

E_w - moduł odkształcenia pokładu przy obciążaniu,

M_w - moduł poźnieszczeniowy pokładu,

$R_c^{(r)}$ - wytrzymałość resztkowa pokładu.

Biorąc do dalszych rozważań związek (2.1.2) milcząco założono, iż stan naprężenia w pokładzie jest jednoosiowy oraz, że:

$$R_c^{(r)} \geq p_z \quad (2.1.5)$$

gdzie:

p_z - wartość składowej pionowej pierwotnego etanu naprężenia.

C. Założono dalej, że zroby wypełnione są liniowo-odkształcalnym ośrodkiem o module E_p . Dobierając odpowiednie wartości E_p można zamodelować tak zroby podsadzkowe, jak i zawałowe. Odpowiednie szacunki E_p wynikają ze wzoru:

$$E_p = \frac{p_z}{\eta} \quad (2.1.6)$$

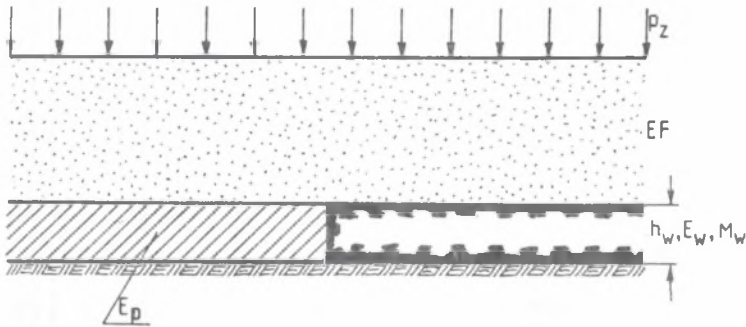
gdzie:

η - eksploatacyjny współczynnik osiadania, który jak wiadomo zależy od sposobu likwidacji zrobów.

D. Dodatkowo przyjęto, że pokład jest słabo nachylony, a złoże nie jest zaburzone uskokami.

E. Wielkość obszaru wyeksploatowanego jest wystarczająco duża (odnosi się to do współrzędnej y , rys. 2.1); tym samym problem redukuje się do zagadnienia płaskiego.

Powyższe założenia sprowadzają rozważany problem do walcowego ugięcia warstwy zastępczej leżącej na caliznach węglowych i zrobach (rys.2.3).



Rys. 2.3

Przyjmując, że w ugięciu dominującą rolę odgrywa siła tnąca, otrzymuje się równania określające poszukiwane rozkłady przemieszczeń pionowych $w(x)$, a wykorzystując (2.1.2) określić można wzory na $\sigma_z(x)$.

Równania te mają następującą postać:

- dla calizn węglowych

$$\frac{EFw_{kr}}{3} \cdot \frac{d^2w(x)}{dx^2} = f(w) - p_z \quad (2.1.7)$$

- dla zrobów

$$\frac{EFw_{kr}}{3} \cdot \frac{d^2w(x)}{dx^2} \cdot \frac{w_{kr} + E_p}{h} (w - w_1) = p_z \quad (2.1.8)$$

gdzie:

w_1 - stała całkowania określana z warunku ciągłości przemieszczeń na granicy calizny i zrobów.

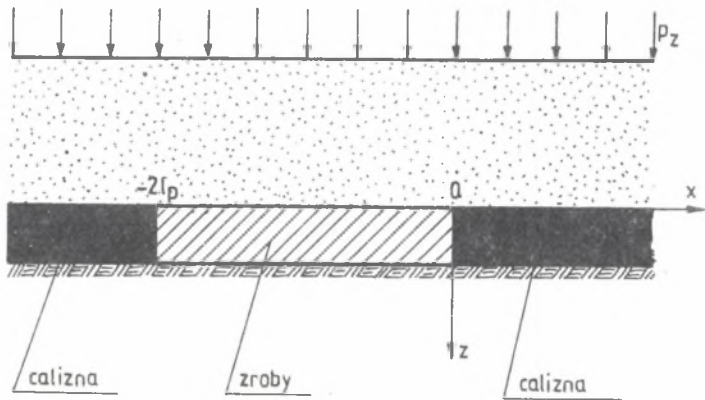
Powyższe równania oraz wynikające z cech rozważanego przypadku warunki brzegowe w sposób jednoznaczny definiują $w(x)$, a tym samym $\sigma_z(x)$. Ponieważ wpływ zaszczości eksploatacyjnych na otaczający górotwór jest efektem nierównomiernego rozkładu naprężeń, toteż do dalszych rozważań niezbędna będzie znajomość naprężeń dodatkowych $\sigma_z^*(x)$:

$$\sigma_z^*(x) = \sigma_z(x) - p_z \quad (2.1.9)$$

Przedstawione wzory pozwalają definiować pożąskiwane rozkłady naprężeń dla interesujących praktykę sytuacji górniczych.

2.2. Stan naprężeń dodatkowych dla pozostawionej krawędzi

Definiując kształtowanie się stanu naprężenia w wyniku oddziaływania pozostawionej krawędzi wyodrębniono dwa przypadki, wiążące się z szerokością zrobów $2l_p$ (rys. 2.4). Będzie to:



Rys. 2.4

- eksploatacja nierozwinięta charakteryzująca się tym, iż szerokość zrobów ma określoną i skończoną wartość,
- eksploatacja rozwinięta odznaczająca się nieskończenie dużą szerokością zrobów.

Z praktycznego punktu widzenia drugi przypadek cechuje się tym, iż szerokość zrobów nie wpływa na wartość naprężeń.

2.2.1. Eksploatacja nierozwinięta

Otrzymane z rozwiązania równań (2.1.7), (2.1.8) wartości naprężeń dodatkowych $\sigma_z^*(x)$ określa poniższy zbiór wyrażeń:

A. Naprężenia w zrobach

$$\left\{ \begin{array}{l} -2l_p \leq x \leq 0 \\ \sigma_z^*(x) = -p_z \frac{\cosh \sigma_p (l_p + x)}{\cosh \sigma_p l_p} \end{array} \right. \quad (2.2.1)$$

gdzie:

$$\alpha_p = \sqrt{\frac{3E_p}{EFh}}$$

B. Naprężenia w caliznach węglowych

Postać odpowiednich wzorów uwarunkowana jest istnieniem lub też brakiem stref spękań i rozluzowania. Z tej racji koniecznym było rozważanie trzech sytuacji:

a) Brak stref spękań w caliznach węglowych (rys. 2.5a). Istnienie tego przypadku określa nierówność:

$$\frac{p_z}{R_c} \sqrt{\frac{E_w}{E_p}} \operatorname{tgh} \alpha_p l_p \leq \left(1 - \frac{p_z}{R_c}\right) \quad (2.2.2)$$

gdzie:

$$\alpha = \sqrt{\frac{3E_w}{EFh}}$$

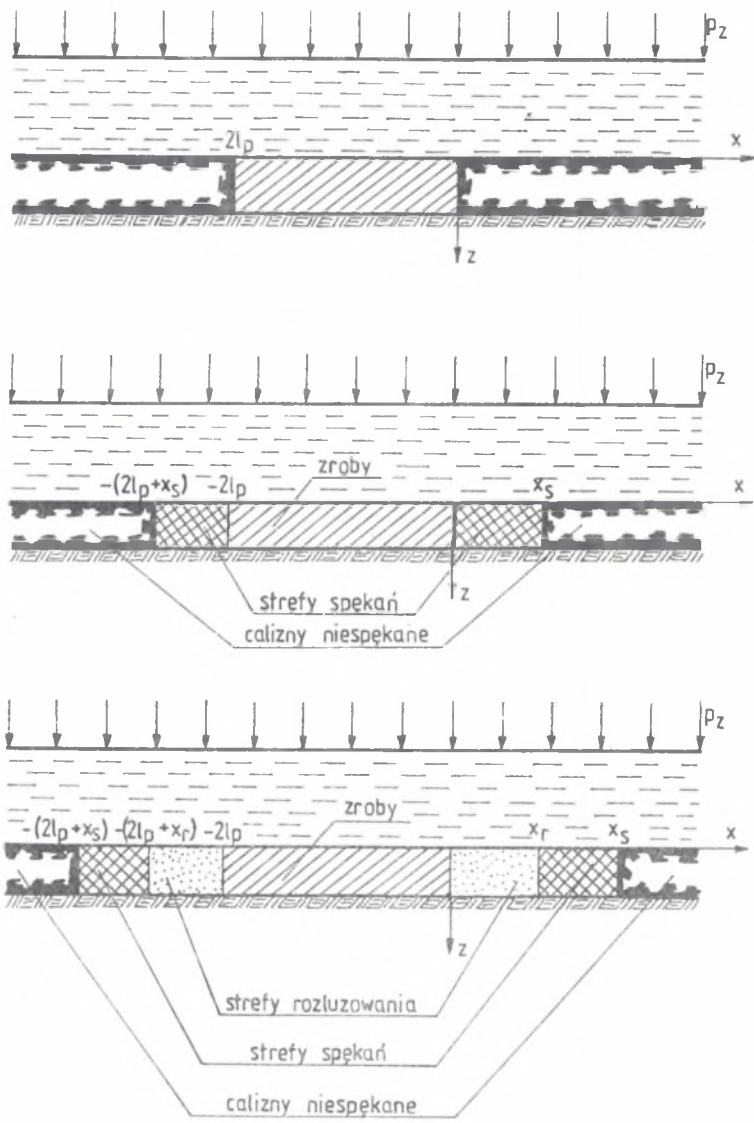
a rozkłady naprężeń dodatkowych $\sigma_z^*(x)$ w caliznach określają następujące wzory:

$$\begin{cases} 0 \leq x < \infty \\ \sigma_z^*(x) = p_z \sqrt{\frac{E_w}{E_p}} \operatorname{tgh} \alpha_p l_p \cdot e^{-\alpha x} \end{cases} \quad (2.2.3)$$

$$\begin{cases} -\infty < x \leq -2l_p \\ \sigma_z^*(x) = p_z \sqrt{\frac{E_w}{E_p}} \operatorname{tgh} \alpha_p l_p \cdot e^{\alpha(2l_p+x)} \end{cases} \quad (2.2.4)$$

b) W caliznach węglowych utworzyły się strefy spękań o szerokości X_s (rys. 2.5b). Takie sytuacja istnieje, gdy:

$$\left(1 - \frac{p_z}{R_c}\right) < \frac{p_z}{R_c} \operatorname{tgh} \alpha_p l_p \leq \sqrt{\left(1 - \frac{p_z}{R_c}\right)^2 + \left(1 - \frac{R(r)}{R_c}\right)^2 \frac{E_w}{M_w}} \quad (2.2.5)$$



Rys. 2.5

Wartości σ_z^* w poszczególnych strefach określają następujące wzory:

- w strefach spękań:

$$\left\{ \begin{array}{l} 0 \leq x \leq x_s \\ \sigma_z^*(x) = (R_c - p_z) - (R_c - R_c^{(r)}) \left(1 - \frac{\cos \alpha_1 x}{\cos \alpha_1 x_s} \right) - \\ - p_z \cdot \sqrt{\frac{M_w}{E_p}} \operatorname{tgh} \alpha_p l_p \frac{\sin \alpha_1 (x_s - x)}{\cos \alpha_1 x_s} \end{array} \right. \quad (2.2.6)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} -(2l_p + x_s) \leq x \leq -2l_p \\ \sigma_z^*(x) = (R_c - p_z) - (R_c - R_c^{(r)}) \left[1 - \frac{\cos \alpha_1 (x + 2l_p)}{\cos \alpha_1 x_s} \right] - \\ - p_z \sqrt{\frac{M_w}{E_p}} \operatorname{tgh} \alpha_p l_p \cdot \frac{\sin \alpha_1 [x + (2l_p + x_s)]}{\cos \alpha_1 x_s} \end{array} \right. \quad (2.2.7)$$

gdzie:

$$\alpha_1 = \sqrt{\frac{3M_w}{EFH}}$$

- w całiznach niespękanych

$$\left\{ \begin{array}{l} x_s \leq x < \infty \\ \sigma_z^*(x) = (R_c - p_z) e^{-\alpha(x-x_s)} \end{array} \right. \quad (2.2.8)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} -\infty < x \leq -(2l_p + x_s) \\ \sigma_z^*(x) = (R_c - p_z) \cdot e^{\alpha[x+(2l_p + x_s)]} \end{array} \right. \quad (2.2.9)$$

W powyższych wzorach występuje zasięg strefy spękań x_s , który określa się z równania:

$$\left(1 - \frac{R_c^{(r)}}{R_c} \right) \sqrt{\frac{E_w}{M_w}} \sin \alpha_1 x_s + \left(1 - \frac{p_z}{R_c} \right) \cos \alpha_1 x_s = \frac{p_z}{R_c} \sqrt{\frac{E_w}{E_p}} \operatorname{tgh} \alpha_p l_p \quad (2.2.10)$$

c) W caliznach tworzą się strefy rozluzowania i spękań (rys. 2.5c).
Przypadek ten powstaje wtedy, gdy:

$$\frac{p_z}{R_c} \sqrt{\frac{E_w}{E_p}} \operatorname{tgh} \alpha_p l_p > \sqrt{\left(1 - \frac{p_z}{R_c}\right)^2 + \left(1 - \frac{R_c(r)}{R_c}\right)^2 \frac{E_w}{M_w}} \quad (2.2.11)$$

a zasięgi stref definiują następujące wzory:

$$\left\{ \begin{array}{l} x_r = \frac{R_c}{\alpha(R_c - p_z)} \left\{ \frac{p_z}{R_c} \sqrt{\frac{E_w}{E_p}} \operatorname{tgh} \alpha_p l_p - \sqrt{1 - \frac{p_z}{R_c}}^2 + \left(1 - \frac{R_c(r)}{R_c}\right)^2 \frac{E_w}{M_w}} \right\} \\ x_a = x_r + \frac{1}{\alpha} \operatorname{arc} \operatorname{tg} \left[\frac{R_c - R_c(r)}{R_c - p_z} \cdot \sqrt{\frac{E_w}{M_w}} \right] \end{array} \right. \quad (2.2.12)$$

$$(2.2.13)$$

gdzie:

x_r - zasięg strefy rozluzowania,

x_a - zasięg strefy spękań.

Wartości naprężeń $\sigma_z^*(x)$ w poszczególnych strefach można wyznaczyć z następujących wzorów:

- w strefach rozluzowania:

$$\left\{ \begin{array}{l} 0 \leq x \leq x_r \\ \sigma_z^*(x) = R_c(r) - p_z \end{array} \right. \quad (2.2.14)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} -(2l_p + x_r) \leq x \leq -2l_p \\ \sigma_z^*(x) = R_c(r) - p_z \end{array} \right. \quad (2.2.15)$$

- w strefach spękań:

$$\left\{ \begin{array}{l} x_r \leq x \leq x_a \\ \sigma_z^*(x) = (R_c(r) - p_z) + (R_c - R_c(r)) \frac{\sin \alpha_1 (x - x_r)}{\sin \alpha_1 (x_a - x_r)} \end{array} \right. \quad (2.2.16)$$

$$\begin{cases} -(2l_p + x_s) \leq x \leq -(2l_p + x_r) \\ \sigma_z^*(x) = (R_c^{(r)} - p_z) - (R_c - R_c^{(r)}) \frac{\sin \alpha_1 [x + (2l_p + x_r)]}{\sin \alpha_1 (x_s - x_r)} \end{cases} \quad (2.2.17)$$

- w caliznach niespękaných

$$\begin{cases} x_s \leq x < -\infty \\ \sigma_z^*(x) = (R_c - p_z) e^{-\alpha(x-x_s)} \end{cases} \quad (2.2.18)$$

$$\begin{cases} -\infty < x \leq -(2l_p + x_s) \\ \sigma_z^*(x) = (R_c - p_z) e^{\alpha[x + (2l_p + x_s)]} \end{cases} \quad (2.2.19)$$

Zamieszczony zbiór wzorów pozwala określać naprężenia $\sigma_z^*(x)$ dla praktycznie wszystkich możliwych przypadków, gdyż w poszczególnych wyrażeniach ingerują: głębokość eksploatacji, parametry wytrzymałościowe i odkształceniowe pokładu, spęgu i stropu oraz wreszcie sposób likwidacji wybranej przestrzeni.

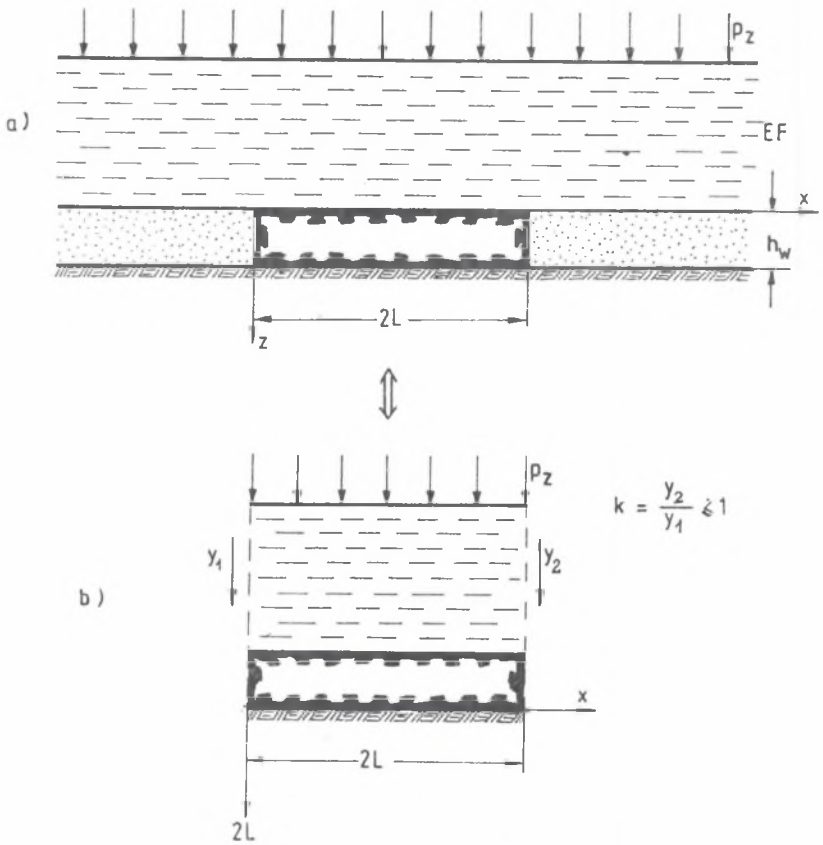
2.2.2. Eksploatacja rozwinięta

W miarę jak szerokość zrobów $2l_p$ rośnie, to jej wpływ na wartości naprężeń $\sigma_z^*(x)$ stopniowo zanika; dla $2l_p \rightarrow \infty$ występuje przypadek eksploatacji rozwiniętej. Odpowiadający temu przypadkowi zbiór wzorów definiujących wartości naprężeń dodatkowych $\sigma_z^*(x)$ otrzymuje się po dokonaniu w zamieszczonych powyżej formułach przejść granicznych o postaci

$$\sigma_z^*(z) = \lim_{l_p \rightarrow \infty} \sigma_z^*(x, l_p) \quad (2.2.20)$$

2.3. Stan naprężeń dodatkowych dla pozostawionego filaru

Drugim typowym rodzajem zaszułości eksploatacyjnych są różnorodne filary i resztki. Jeśli filar posiada szerokość $2L$ i jest obustronnie otoczonymi zrobami, których szerokość jest na tyle duża, że odpowiada eksploatacji rozwiniętej (rys. 2.6), to wzory definiujące poszukiwane rozkłady $\sigma_z^*(x)$ są wynikiem rozwiązania równań (2.1.7) i (2.1.8), w których uwzględniono warunki brzegowe charakteryzujące istnienie otoczonego zrobami filaru.



Rys. 2.6

Rodzaje zrobów i ich oddziaływanie na filar opisują następujące wielkości:

$$y_1 = \alpha \cdot \frac{p_z}{R_c} \sqrt{\frac{E_w}{E_{p1}}} \quad (2.3.1)$$

$$y_2 = \alpha \cdot \frac{p_z}{R_c} \sqrt{\frac{E_w}{E_{p2}}} \quad (2.3.2)$$

gdzie:

E_{p1} , E_{p2} - moduły odtężenia ośrodków wypełniających zroby.

Jeśli założyć ponadto, że:

$$k = \frac{y_2}{y_1} \leq 1 \quad (2.3.3)$$

to poniższy zbiór formuł pozwala określać wartości naprężeń dodatkowych $\sigma_z^*(x)$

A. Naprężenia w zrobach

$$\begin{cases} -\infty < x \leq 0 \\ \sigma_z^*(x) = -p_z e^{\alpha p_1 \cdot x} \end{cases} \quad (2.3.4)$$

$$\begin{cases} 2L \leq x < \infty \\ \sigma_z^*(x) = -p_z e^{-\alpha p_2 (x-2L)} \end{cases} \quad (2.3.5)$$

gdzie

$$\alpha p_1 = \sqrt{\frac{3E p_1}{EFh}}$$

$$\alpha p_2 = \sqrt{\frac{3E p_2}{EFh}}$$

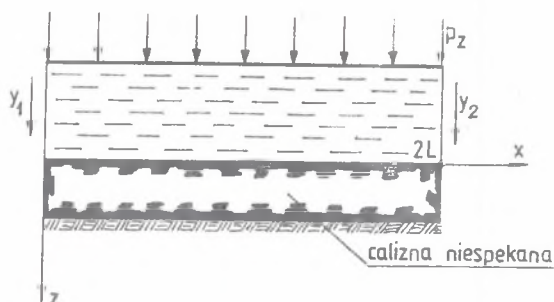
B. Naprężenia w filarze

Podobnie jak w przypadku krawędzi, tak i tym razem konieczne jest rozważenie szeregu wariantów różniących się między sobą występowaniem lub też brakiem stref spękań i rozluzowania.

a) Filar niespękany (rys. 2.7)

W przypadku tym:

$$y_1 \leq \alpha \left(1 - \frac{p_z}{R_c}\right) \cdot \frac{\sinh 2\alpha L}{k + \cosh 2\alpha L} \quad (2.3.6)$$



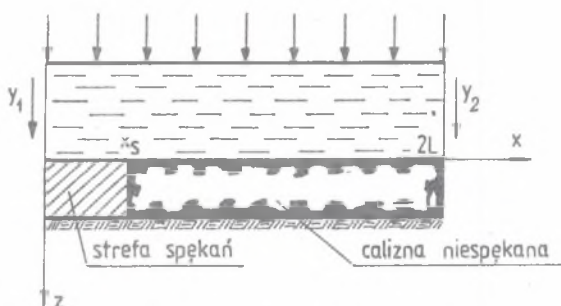
Rys. 2.7

a) rozkład naprężeń $\sigma_z^*(x)$ określa wzór:

$$\begin{cases} 0 \leq x \leq 2L \\ \sigma_z^*(x) = \frac{y_1 \cdot R_c}{\alpha} \cdot \frac{k \cosh \alpha x + \cosh \alpha(2L - x)}{\sinh 2\alpha L} \end{cases} \quad (2.3.7)$$

b) Filar jednostronnie spękany (rys. 2.8)

Ponieważ założono, że $y_1 > y_2$ toteż w miarę wzrostu y_1 będzie tworzyła się jednostronna strefa spękań (od strony działania y_1). Powstaje ona, gdy:



Rys. 2.8

$$\begin{cases} \alpha \left(1 - \frac{P_z}{R_c}\right) \frac{\sinh 2\alpha L}{k + \cosh 2\alpha L} < y_1 \leq \alpha_1 \left(1 - \frac{R_c(r)}{R_c}\right) \frac{E_w}{M_w} \cdot \frac{1}{\sin \alpha_1 r_s} \\ \operatorname{tgh} \alpha \left(L - \frac{1}{2} x_s\right) \geq \frac{y_2}{\left(1 - \frac{P_z}{R_c}\right)} \end{cases} \quad (2.3.8)$$

gdzie:

x_g - zasięg strefy spękań, który wyznacza się z równania

$$\frac{\alpha_1}{\alpha} \left[\frac{y_1}{\alpha_1} \cdot \frac{1}{\cos \alpha_1 x_g} - \left(1 - \frac{R(r)}{R_c}\right) \frac{E_W}{M_W} \operatorname{tg} \alpha_1 x_g \right] =$$

$$= \left(1 - \frac{P_Z}{R_c}\right) \operatorname{tgh} \alpha (2L - x_g) + \frac{y_2}{\alpha} \cdot \frac{1}{\cosh \alpha (2L - x_g)} \quad (2.3.9)$$

Wartości naprężeń $\sigma_z^*(x)$ definiują wzory:

- strefa spękań:

$$\left\{ \begin{array}{l} 0 \leq x \leq x_g \\ \sigma_z^*(x) = (R_c - p_z) - (R_c - R_c^{(r)}) \left(1 - \frac{\cos \alpha_1 x}{\cos \alpha_1 x_g}\right) - \\ - \frac{y_1}{\alpha_1} \frac{M_W}{E_W} \cdot R_c \frac{\sin \alpha_1 (x - x_g)}{\cos \alpha_1 x_g} \end{array} \right. \quad (2.3.10)$$

- niespękana część filaru

$$\left\{ \begin{array}{l} x_g \leq x \leq 2L \\ \sigma_z^*(x) = (R_c - p_z) \frac{\cosh \alpha (2L - x)}{\cosh \alpha (2L - x_g)} + \frac{y_2}{\alpha} \cdot R_c \frac{\sinh \alpha (x - x_g)}{\cosh \alpha (2L - x_g)} \end{array} \right. \quad (2.3.11)$$

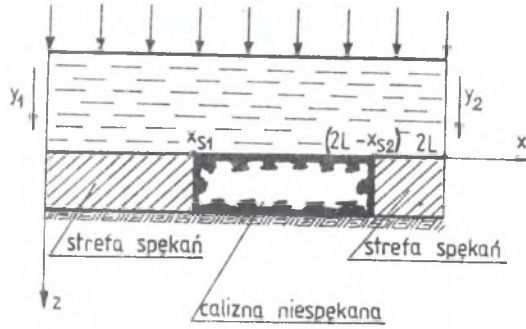
c) Filar dwustronnie spękany (rys. 2.9)

Przypadek ten zachodzi, gdy jednocześnie:

$$\left\{ \begin{array}{l} \alpha \left(1 - \frac{P_Z}{R_c}\right) \frac{\sinh 2\alpha L}{k + \cosh 2\alpha L} < y_1 \leq \frac{\alpha_1 \left(1 - \frac{R(r)}{R_c}\right) \cdot \frac{E_W}{M_W}}{\sin \alpha_1 x_{e1}} \\ \alpha \left(1 - \frac{P_Z}{R_c}\right) \frac{\sinh 2\alpha L}{k + \cosh 2\alpha L} < y_2 \leq \frac{\alpha_1 \left(1 - \frac{R(r)}{R_c}\right) \cdot \frac{E_W}{M_W}}{\sin \alpha_1 x_{e2}} \end{array} \right. \quad (2.3.12)$$

gdzie:

x_{e1} , x_{e2} - zasięgi stref spękań wyznaczone z układu równań:



Rys. 2.9

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{\alpha}{\alpha_1} \left(1 - \frac{p_z}{R_c} \right) \operatorname{tgh} \alpha \left[L - \frac{1}{2}(x_{s1} + x_{s2}) \right] &= \\ &= \frac{y_1}{\alpha_1 \cos \alpha_1 x_{s1}} - \left(1 - \frac{R_c^{(r)}}{R_c} \right) \frac{E_w}{M_w} \operatorname{tg} \alpha_1 x_{s1} \\ \frac{\alpha}{\alpha_1} \left(1 - \frac{p_z}{R_c} \right) \operatorname{tgh} \alpha \left[L - \frac{1}{2}(x_{s1} + x_{s2}) \right] &= \\ &= \frac{y_2}{\alpha_1 \cos \alpha_1 x_{s2}} - \left(1 - \frac{R_c^{(r)}}{R_c} \right) \frac{E_w}{M_w} \operatorname{tg} \alpha_1 x_{s2} \end{aligned} \right. \quad (2.3.13)$$

Wartości naprężeń $\sigma_z^*(x)$ wyznacza się ze wzorów:

- strefy spekań:

$$\left\{ \begin{aligned} 0 \leq x \leq x_{s1} \\ \sigma_z^*(x) &= (R_c - p_z) - (R_c - R_c^{(r)}) \left(1 - \frac{\cos \alpha_1 x}{\cos \alpha_1 x_{s1}} \right) - \\ &- \frac{y_1}{\alpha_1} \frac{M_w}{E_w} \cdot R_c \frac{\sin \alpha_1 (x - x_{s1})}{\cos \alpha_1 x_{s1}} \end{aligned} \right. \quad (2.3.14)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} 2L - x_{e2} \leq x \leq 2L \\ \sigma_z(x) = (R_c^{(r)} - p_z) + (R_c - R_c^{(r)}) \frac{\cos \alpha_1 (2L - x)}{\cos \alpha_1 x_{e2}} - \\ - \frac{y_2}{\alpha_1} \cdot \frac{M_w}{E_w} R_c \left[\frac{\sin \alpha_1 x}{\cos 2\alpha_1 L} - \frac{\sin \alpha_1 (2L - x_{e2}) \cos \alpha_1 (2L - x)}{\cos \alpha_1 x_{e2} \cos 2\alpha_1 L} \right] \end{array} \right. \quad (2.3.15)$$

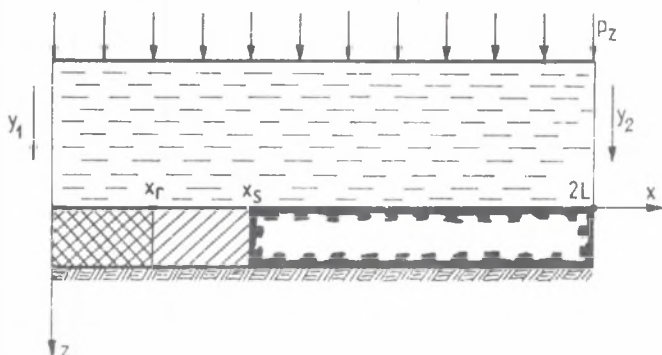
- niespełniona część filaru:

$$\left\{ \begin{array}{l} x_{e1} \leq x \leq 2L - x_{e2} \\ \sigma_z^*(x) = (R_c - p_z) \cdot \frac{\cosh \alpha \left[L + \frac{1}{2}(x_{e1} + x_{e2}) - x \right]}{\cosh \alpha \left[L + \frac{1}{2}(x_{e1} - x_{e2}) \right]} \end{array} \right. \quad (2.3.16)$$

d) Filar zrujnowany i spękany z jednej strony (rys. 2.10)

Przypadek ten powstaje, gdy jednocześnie spełnione są warunki:

$$\left\{ \begin{array}{l} y_1 > \alpha_1 \left(1 - \frac{R_c^{(r)}}{R_c} \right) \cdot \frac{E_w}{M_w} \cdot \frac{1}{\sin \alpha_1 x_s} \\ y_2 < \alpha \left(1 - \frac{p_z}{R_c} \right) \operatorname{tgh} \alpha \left(L - \frac{1}{2} x_s \right) \end{array} \right. \quad (2.3.17)$$



Rys. 2.10

a ingerujące w nich zasięgi strefy rozluźnienia x_r i strefy x_s spękań określa układ równań:

$$\left\{ \begin{aligned} & \alpha_1 \left(1 - \frac{R_C^{(r)}}{R_C}\right) \frac{E_W}{M_W} \cdot \frac{1}{\sin \alpha_1 x_B} = \\ & = y_1 - \alpha^2 \frac{R_C^{(r)}}{R_C} \left(1 - \frac{p_Z}{R_C^{(r)}}\right) x_r \\ & \alpha \left(1 - \frac{R_C^{(r)}}{R_C}\right) \frac{E_W}{M_W} \cdot \operatorname{ctg} \alpha_1 (x_B - x_r) = \\ & = \alpha \left(1 - \frac{p_Z}{R_C}\right) \operatorname{tgh} \alpha (2L - x_B) - \frac{y_2}{\cosh \alpha (2L - x_B)} \end{aligned} \right. \quad (2.3.18)$$

Wartości naprężeń $\sigma_z^*(x)$ odpowiednio wynoszą:

- strefa rozluźnienia:

$$\left\{ \begin{aligned} & 0 \leq x \leq x_r \\ & \sigma_z^*(x) = R_C^{(r)} - p_Z \end{aligned} \right. \quad (2.3.19)$$

- strefa spękań:

$$\left\{ \begin{aligned} & x_r \leq x \leq x_B \\ & \sigma_z^*(x) = (R_C - p_Z) - (R_C - R_C^{(r)}) \left[1 - \frac{\sin \alpha_1 (x - x_r)}{\sin \alpha_1 (x_B - x_r)} \right] \end{aligned} \right. \quad (2.3.20)$$

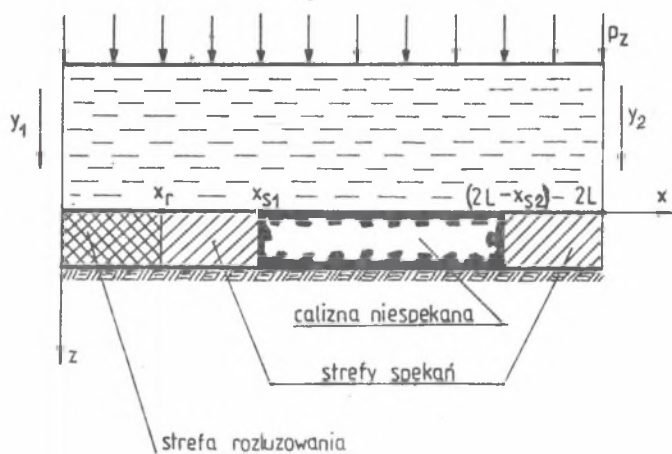
- niespękany obszar filaru:

$$x_B \leq x \leq 2L \quad (2.3.21)$$

$$\sigma_z = (R_C - p_Z) \cdot \frac{\cosh \alpha (2L - x)}{\cosh \alpha (2L - x_B)} + \frac{y_2}{\alpha R_C} \frac{\sinh \alpha (x - x_B)}{\cosh \alpha (2L - x_B)}$$

e) Filar z jednej strony zrujnowany i spękany, z drugiej tylko spękany (rys. 2.11)

Sytuacja taka powstaje, gdy jednocześnie:



Rys. 2.11

$$\left\{ \begin{aligned} y_1 &> \alpha_1 \left(1 - \frac{R_c(r)}{R_c}\right) \frac{E_w}{M_w} \frac{1}{\sin \alpha_1 x_{s1}} \\ \alpha \left(1 - \frac{P_z}{R_c}\right) \operatorname{tgh} \alpha \left[L - \frac{1}{2}(x_{s1} + x_{s2})\right] &< y_2 \leq \alpha_1 \left(1 - \frac{R_c(r)}{R_c}\right) \frac{E_w}{M_w} \frac{1}{\sin \alpha_1 x_{s2}} \end{aligned} \right. \quad (2.3.22)$$

a wartości zasięgów stref spekań x_{s1} , x_{s2} i rozluźnienia x_r definiuje następujący układ równań:

$$\left\{ \begin{aligned} \alpha \left(1 - \frac{P_z}{R_c}\right) \operatorname{tgh} \alpha \left[L - \frac{1}{2}(x_{s1} + x_{s2})\right] &= \\ &= \frac{y_2}{\cos \alpha_1 x_{s2}} - \alpha_1 \left(1 - \frac{R_c(r)}{R_c}\right) \frac{E_w}{M_w} \operatorname{tgh} \alpha_1 x_{s2} \\ \alpha_1 \left(1 - \frac{R_c(r)}{R_c}\right) \frac{E_w}{M_w} \cdot \frac{1}{\sin \alpha_1 (x_{s1} - x_r)} &= y_1 - \frac{R_c(r)}{R_c} \left(1 - \frac{P_z}{R_c(r)}\right) \cdot x_w \\ \alpha_1 \left(1 - \frac{R_c(r)}{R_c}\right) \frac{E_w}{M_w} \operatorname{ctg} \alpha_1 (x_{s1} - x_r) &= \\ &= \alpha \left(1 - \frac{P_z}{R_c}\right) \operatorname{tgh} \alpha (2L - x_{s2}) - \frac{y_2}{\cosh \alpha (2L - x_s)} \end{aligned} \right. \quad (2.3.23)$$

Wartości naprężeń $\sigma_z^*(x)$ w odpowiednich strefach wyznaczyć można z następujących formuł:

- strefa rozluzowania:

$$\begin{cases} 0 \leq x \leq x_r \\ \sigma_z^*(z) = R_c^{(r)} - p_z \end{cases} \quad (2.3.24)$$

- strefa spękań:

$$\begin{cases} x_r \leq x \leq x_{B1} \\ \sigma_z^*(x) = (R_c - p_z) - (R_c - R_c^{(r)}) \left[1 - \frac{\sin \alpha_1 (x - x_r)}{\sin \alpha_1 (x_{B1} - x_r)} \right] \end{cases} \quad (2.3.25)$$

$$\begin{cases} (2L - x_{B2}) \leq x \leq 2L \\ \sigma_z^*(x) = (R_c^{(r)} - p_z) + (R_c - R_c^{(r)}) \frac{\cos \alpha_1 (2L - x)}{\cos \alpha_1 x_{B2}} - \\ - \frac{y_z}{\alpha_1} \frac{M_w}{E_w} R_c \left[\frac{\sin \alpha_1 x}{\cos 2\alpha_1 L} - \frac{\sin \alpha_1 (2L - x_{B2}) \cos \alpha_1 (2L - x)}{\cos \alpha_1 x_2 \cos \alpha_1 2L} \right] \end{cases} \quad (2.3.26)$$

- niespękana część filaru

$$\begin{cases} x_{B1} \leq x \leq (2L - x_{B2}) \\ \sigma_z = (R_c - p_z) \cdot \frac{\cosh \alpha \left[L + \frac{1}{2}(x_1 - x_2) - x \right]}{\cosh \alpha \left[L - \frac{1}{2}(x_1 + x_2) \right]} \end{cases} \quad (2.3.27)$$

Otrzymany w wyniku rozwiązania równań wyjściowych, przytoczony zbiór wzorów pozwala określać wartości naprężeń dodatkowych $\sigma_z^*(x)$ dla różnorodnych szerokości filarów (resztek) i dla całego wachlarza wartości parametrów geomechanicznych charakteryzujących własności górotworu i zrobów. Pobieżny rzut oka na zamieszczone formuły, wskazuje na potrzebę znajomości parametrów opisujących poznięzczeniowe własności węgla. Istotność tego problemu rośnie wraz z głębokością eksploatacji, gdzie powstawanie stref spękań lub rozluzowania jest oczywiście zjawiskiem nieuniknionym. Dlatego też potrzeba intensywnych badań mierzących do określenia pełnych (z uwzględnieniem części poznięzczeniowej) charakterystyk deformacyjno-naprężeniowych skał, a szczególnie węgla, nie może budzić najmniejszej

szych wężliwości. Stąd też wynika wniosek o pilnej potrzebie modernizacji laboratoriów badań własności geomechanicznych skał, a zwłaszcza zaś o potrzebie wyposażenia tych laboratoriów w sztywne maszyny wytrzymałościowe.

3. KSZTAŁTOWANIE SIĘ STANU NAPRĘŻENIA W OTOCZENIU ZASZŁOŚCI EKSPLOATACYJNYCH

Przedstawiony w poprzednich rozdziałach zbiór formuł analitycznych umożliwia określanie rozkładów naprężeń pionowych w sąsiedztwie różnorodnych zaszłości eksploatacyjnych. Ponieważ występowanie tego rodzaju zaszłości oddziałują na większa obzary górotworu, toteż pojawiła się konieczność opracowania metody obliczeniowej pozwalającej określać zaburzenia stanu naprężenia.

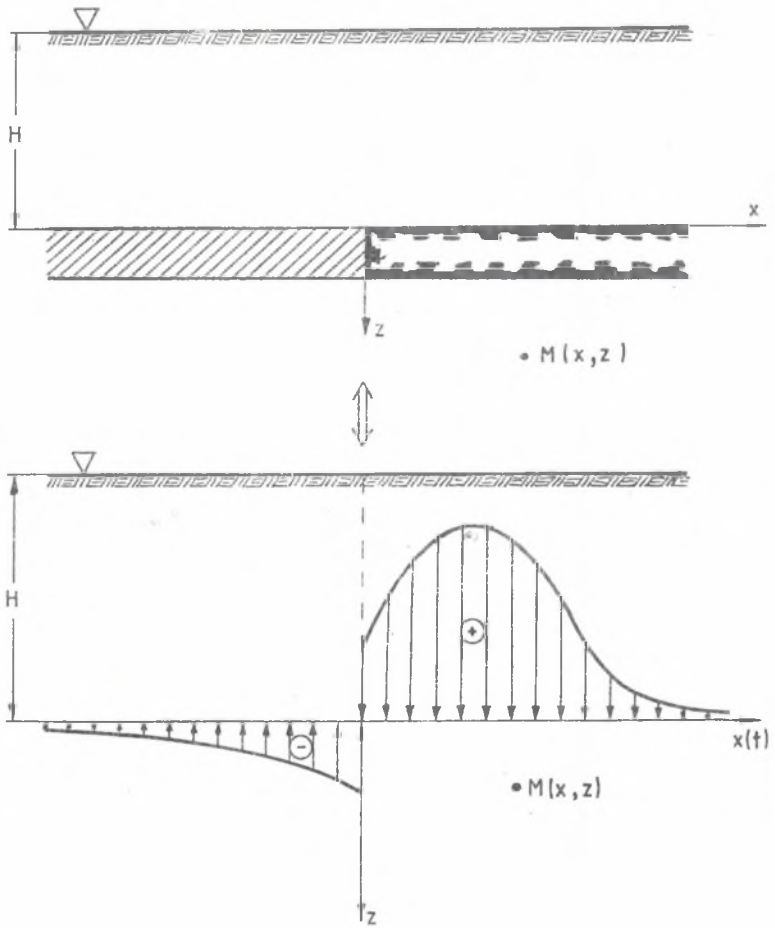
Wprowadzając pojęcie "pseudopierwotny stan naprężenia" można utożsamić go, ze stanem jaki panuje na danej głębokości. Jest on sumą pierwotnych naprężeń grawitacyjnych oraz naprężeń dodatkowych, wywołanych istnieniem zaszłości. Tensor naprężeń pseudopierwotnych można zatem zapisać w postaci:

$$\begin{vmatrix} p_x^* & 0 & \tau_{xz}^* \\ 0 & p_x^* & 0 \\ \tau_{xz}^* & 0 & p_z^* \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} p_x & 0 & 0 \\ 0 & p_y & 0 \\ 0 & 0 & p_z \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} \sigma_x(x,z) & 0 & \tau_{xz}(x,z) \\ \sqrt{[\sigma_z(x,z) + \sigma_z(x,z)]} & 0 & \\ \tau_{xz}(x,z) & 0 & \sigma_z(x,z) \end{vmatrix} \quad (3.1)$$

Analiza tego wyrażenia prowadzi do wniosku, że dla jednoznacznego określenia tensora naprężeń pseudopierwotnych niezbędną staje się znajomość wpływu zaszłości, gdyż sposób wyznaczania naprężeń grawitacyjnych jest powszechnie znany.

Poniżej przedstawiono założenia, które wykorzystane zostały w opracowanej metodzie.

- a) Ze względu na powszechnie stosowaną kolejność eksploatacji pokładów z góry w dół, obzary rozważań ograniczono do zaszłości zalegających powyżej interesującego punktu.
- b) Założono, że skały zalegające poniżej określonego rodzaju zaszłości, będą tworzyły ośrodek ciągły, izotropowy, jednorodny i liniowo-sprężysty. W założeniu tym tkwi oczywiście spore uproszczenie, wynikające z pominięcia warstwowej budowy górotworu karbońskiego oraz z zaniedbania reologicznych własności skał.
- c) Istnienie zaszłości zastąpiono odpowiednio przyłożonymi obciążeniami (rys. 3.1), skutkiem czego rozważany problem sprowadza się do kwestii



Rys. 3.1

kształtowania się stanu naprężenia w półpłaszczyźnie, na brzegu której zadane są obciążenia zewnętrzne.

Jeżeli obciążenia te zadane są funkcjami $\sigma_z(t)$, $\tau_{xz}(t)$, to składowe tensora naprężeń dodatkowych wyznacza się z następujących wzorów:

$$\sigma_x(x, z) = \frac{2z}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\sigma_z(t)(t-x)^2 dt}{[(t-x)^2 + z^2]^2} - \frac{2z^2}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \tau_{xz}(t) \frac{(t-x)}{[(t-x)^2 + z^2]^2} dt \quad (3.2)$$

$$\tau_{xz}(x, z) = \frac{2z^2}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\sigma_z(t)(t-x)}{[(t-x)^2 + z^2]^2} dt - \frac{2z}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\tau_{xz}(t)(t-x)^2}{[(t-x)^2 + z^2]^2} dt \quad (3.3)$$

$$\sigma_z(x, z) = \frac{2z^3}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\sigma_z(t) dt}{[(t-x)^2 + z^2]^2} + \frac{2z^2}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\tau_{xz}(t)(t-x) dt}{[(t-x)^2 + z^2]^2} \quad (3.4)$$

Wzory te można stosować wtedy, gdy rozkłady obciążeń zewnętrznych są funkcjami ciągłymi. W omówionym przypadku rozkłady te są tożsame funkcjom definiującym wartości naprężeń pionowych w poszczególnych rodzajach zaszłości. Analizując wyprowadzone wzory można stwierdzić, że

$$\sigma_z(t) \equiv \sigma_z^*(x) \equiv \sigma_z^*(t) \quad (3.5)$$

oraz, że funkcje te są odcinkami ciągłymi

$$\tau_{xz}(t) \equiv 0 \quad (3.6)$$

Z tych przyczyn wyrażenia pozwalające określać składowe tensora naprężeń dodatkowych określone będą następującymi formułami:

$$\sigma_x(x, z) = \frac{2z}{\pi} \sum_{i=1}^n \int_{x_i}^{x_i+1} \frac{\sigma_{z1}^*(t)(t-x)^2}{[(t-x)^2 + z^2]^2} dt \quad (3.7)$$

$$\tau_{xz}(x, z) = \frac{2z^2}{\pi} \sum_{i=1}^n \int_{x_i}^{x_i+1} \frac{\sigma_{z1}^*(t)(t-x)}{[(t-x)^2 + z^2]^2} dt \quad (3.8)$$

$$\sigma_z(x, t) = \frac{2z^3}{3\pi} \sum_{i=1}^n \int_{x_i}^{x_{i+1}} \frac{\sigma_{zi}^*(t)(t-x)}{[(t-x)^2 + z^2]^2} dt \quad (3.9)$$

Powyższe wzory definiują wartości naprężeń dodatkowych, co oznacza że znając naprężenia pierwotne (grawitacyjne) odpowiadające danej głębokości, można wyznaczyć tensor pseudopierwotnego stanu naprężenia.

W praktycznych zastosowaniach bardziej celowym jest operowanie współczynnikami koncentracji naprężeń, określanymi jako

$$k_{\sigma_z} = \frac{p_z^*}{p_z} = 1 + \frac{\sigma_z(x, z)}{p_z} \quad (3.10)$$

$$k_{\sigma_x} = \frac{p_x^*}{p_x} = 1 + \frac{\sigma_x(x, z)}{1 - \nu} \cdot p_z \quad (3.11)$$

gdzie:

ν - liczba Poissona.

Oprócz powyższych współczynników wprowadzono także współczynniki koncentracji energii sprężystej, które definiują następujące wzory:

- współczynnik koncentracji energii całkowitej:

$$k_{A_c} = \frac{(1 - \nu) \{ (1 - \nu)(1 - 2\nu) [p_x^* + p_z^*]^2 + 2(p_z^* - p_x^*)^2 + 6(\tau_{xz}^*)^2 \}}{3(1 - 2\nu)p_z^2} \quad (3.12)$$

- współczynnik koncentracji energii objętościowej:

$$k_{A_r} = (1 - \nu)^2 \left(\frac{p_z^* + p_x^*}{p_z} \right)^2 \quad (3.13)$$

- współczynnik koncentracji energii postaciowej:

$$k_{A_f} = \frac{1 - \nu}{1 - 2\nu} \cdot \frac{[(p_z^* - p_x^*)^2 + 3(\tau_{xz}^*)^2]}{p_z^2} \quad (3.14)$$

Celowość dysponowania tego rodzaju współczynnikami wynika przede wszystkim ze znanego ścisłego związku między rozkładami energii, a zagęszczeniem tępaniami.

Rekapitułując przedetawione tu w skrócie rezultaty dokonanych analiz można zauważyć, iż wyprowadzone wzory pozwalają na jednoznaczne określenie tensora naprężeń pseudopierwotnych. Trzeba jednak zwrócić uwagę na to, że postać wyrażeń podcałkowych, a zwłaszcza kształt funkcji $\sigma_{z1}^*(t)$ nie pozwala na całkowanie tych wyrażeń w kwadraturach. Z tej też racji pożądanym jest opracowanie odpowiednich programów obliczeniowych, pozwalających na drodze numerycznej określać tak składowe tensora naprężeń, jak i wartości odpowiednich współczynników koncentracji.

4. PODSUMOWANIE

Prezentowane w niniejszej pracy rezultaty rozważań analitycznych dotyczą kształtowania się stanu naprężenia wokół typowych zaszłości (krawędzi, resztek, pozostawionych pól eksploatacyjnych), które coraz częściej spotyka się w kopalniach węgla i rud. Podana metoda określania wpływu tych zaszłości na pseudopierwotny stan naprężenia wokół wyrobisk górniczych ma charakter przybliżony, pomija bowiem niejednorodność górotworu, a ściślej biorąc jego warstwową budowę. Mimo tego uproszczenia możliwym jest wykonanie geomechanicznej analizy wpływu różnorodnych sytuacji ruchomych na stopień koncentracji naprężeń w sąsiedztwie wyrobisk górniczych. Efektem takiej analizy może być również oszacowanie potencjalnego zagrożenia tąpnięciami, jako czynnika metody rozeznania górniczo-geologicznego w systemie metod prognozowania zagrożeniami geodynamicznymi, towarzyszącymi podziemnej eksploatacji złóż na dużych głębokościach.

LITERATURA

- [1] Chudek M.: Mechanika górotworu. Skrypty centralne wyższych studiów technicznych dla pracujących nr 956/61, Gliwice 1981.
- [2] Filcek H., Kłeczek Z., Zorychta A.: Poglądy i rozwiązania dotyczące tępnięć w kopalniach węgla kamiennego. Zeszyty Naukowe AGH, Górnictwo z. 123, 1984.
- [3] Kłeczek Z., Małoszewski J., Parysiewicz S., Zorychta A.: Geomechaniczne kryteria zagrożeń tąpnięciami przy eksploatacji pokładów węgla kamiennego. Prace Głównego Instytutu Górnictwa, Katowice 1987.
- [4] Kłeczek Z., Simić D.: Osnovi mehanike stena. Univerzal, Tuzla 1989.
- [5] Mozejew N.N.: Asimptotičeskie metody nelineijnoj mehaniki. Nauka, Moskwa 1981.
- [6] Zorychta A.: Kryterium powstawania tępnięć przy eksploatacji pokładu węgla kamiennego. Zeszyty Naukowe AGH, Górnictwo z. 125, 1984.

ВЛИЯНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ОСТАТКОВ НА СОСТОЯНИЕ
НАПРЯЖЕНИЯ ГОРНОГО МАССИВА НАХОДЯЩЕГОСЯ ПОД УГРОЗОЙ ГОРНЫХ УДАРОВ

Р е з ю м е

Увеличивающаяся глубина эксплуатации и все более сложные условия эксплуатации являются причиной постоянного роста угрозы горных ударов. В настоящее время в 40 каменноугольных шахтах и 4 меднорудных шахтах эксплуатация производится в условиях угрозы горных ударов и оседания. Эти факты требуют к интенсификации таких работ, целью которых является определение причин возникновения этих опасных геодинамических явлений.

Основной целью настоящей работы является формулировка геомеханических условий влияния так называемых эксплуатационных остатков (граней, целиков, невыбранных полей) на формирование вторичных напряжений в горном массиве в окружении горных выработок. Эти остатки, несмотря на принципы чистой эксплуатации в условиях угрозы горных ударов, неизбежны как с точки зрения технологии эксплуатации, так и сложных геологических условий.

В работе показан аналитический метод определения напряжений возникающих из-за эксплуатационных остатков, а также метод определения влияния этих остатков на напряжения в горном массиве в окружении горных выработок.

THE EFFECT OF MINING EVENTS ON THE STATE OF STRESSES
IN A ROCK-MASS WITH ROCK-BURST HAZARD

S u m m a r y

Due to the increasing depth of mining and the more and more complex natural conditions the hazard of rock-burst is becoming more intensive. Actually 40 collieries and 4 copper-ore mines in Poland work at a hazard of quakes and rock-burst. Hence the necessity arises to intensify such activities which are being carried on in order to determine the reasons of those dangerous geodynamic phenomena.

The essential aim of this paper is to formulate the geomechanical conditions of the influence of the so called mining events (ledges, pillars, nor excavated mine fields etc.) upon the formation of a secondary state of stresses in the rock-mass adjacent to underground workings. In spite of fundamental principles of pure mining in conditions of rock-burst hazard, these events are unavoidable from the viewpoint of the technology of mining as well as complex geological conditions.

The paper deals with an analytical method of determining stresses, resulting from mining events as well as with a method of determining the influence of those events upon the state of stresses in the rock-mass adjacent to underground workings.