

MIROSLAW CHUDEK

NOMOGRAMY DO WYZNACZANIA NAPRĘŻEŃ
W RESZTKACH POKŁADU

Streszczenie. W pracy ujęto w sposób teoretyczny zagadnienie wyznaczenia stanu naprężeń w resztkach pokładu.

Dla wyprowadzonych wzorów opracowano nomogramy z podaniem ich praktycznego zastosowania do wyznaczenia naprężeń w resztkach pokładu.

W oparciu o przeprowadzoną analizę naprężeń ustosunkowano się co do możliwości eksploatacji resztek pokładu.

1. Wprowadzenie

Przy odbudowie złóż zdarza się niejednokrotnie, że niektóre ich partie z pewnych określonych powodów, np. pożarów nie zostają wyeksploatowane, tworząc w ten sposób jak gdyby wyspy na planie wyeksploatowanego pokładu. Podobnie dzieje się przy odbudowie dwu-skrzydłowej, gdzie przy pochylni powstaje półwysyp, przy likwidacji poziomu, na którym prowadzono eksploatację po obu stronach przecznicy przewozowej, itp.

W resztkach takich po obu stronach występuje spiętrzenie naprężeń w górotworze, które po przekroczeniu doraźnej wytrzymałości węgla na ściskanie doprowadza do tupań, utrudnia to poważnie wybranie takiej resztki. W celu zorientowania się o sposobie ciśnienia nad resztkami, a także określenia w nich stanu naprężenia potrzebnego przy przewidywaniu tupań, wprowadza się następujące założenia. Dla wyprowadzenia z rozważań odpowiednich wzorów traktuje się strop jako warstwę obciążoną ciśnieniem P_g , spoczywającą na sprężystym podłożu. Jednym podłożem jest podsadzka, drugim pozostawiony filar o szerokości $2L$, a trzecim podłożem sprężystym jest zawał lub podsadzka o innym współczynniku oporu właściwego.

2. Rozważania teoretyczne

Wzory do określania wielkości naprężeń w obrębie resztki można wyprowadzić z równania linii ugięcia belki pod wpływem momentu gnącego, jak i z równania linii ugięcia warstw stropowych pod wpływem sił poprzecznych.

Ponieważ warstwy stropowe zalegające nad wybieranymi pokładami mają przeważnie znaczne grubości, a podczas zginania partie górne warstw stropowych ulegają rozciąganiu, przy małych wytrzymałości na rozciąganie, dlatego celowe wydaje się przeprowadzenie rozważań dla równania linii ugięcia warstw stropowych pod wpływem sił poprzecznych [1]. Równaniem linii ugięcia stropu położonego nad podsadzką (dla $x \geq 0$) jest równanie:

$$z = z_0 + \frac{P}{k} + A_1 \cdot e^{-nx} + A_2 \cdot e^{nx}$$

gdzie:

z - ugięcie stropu,

z_0 - ugięcia stropu na brzegu filara (dla $x = 0$) od strony podsadzki,

k - opór właściwy podsadzki,

$$n = \sqrt{\frac{3k}{2GF}}$$

F - przekrój poprzeczny warstwy stropowej,

$G = \frac{E}{2(1+\mu)}$ - moduł sprężystości warstwy stropowej,

E - moduł Younga warstwy stropowej,

μ - liczba Poissona warstwy stropowej,

$A_1 - A_2$ - stałe całkowania,

gdy $x \rightarrow +\infty$ wtedy $z = \frac{P}{k}$ stąd wynika, że $A_2 = 0$

wobec tego

$$z = z_0 + \frac{P}{k} + A_1 \cdot e^{-nx} \quad (1)$$

równanie linii ugięcia stropu położonego nad resztką
($-2L \leq x \leq 0$)

$$z = \frac{P}{t} \frac{x}{c} + B_1 \cdot e^{mx} + B_2 e^{-mx} \quad (2)$$

t - opór właściwy pokładu

$$m = \sqrt{\frac{3t}{2GF}}$$

B_1, B_2 - stałe całkowania.

Równanie linii ugięcia stropu nad zawałem dla $x \leq -2L$

$$z = z_0 + \frac{P}{c} \frac{x}{c} + C_1 \cdot e^{rx} + C_2 \cdot e^{-rx}$$

$$r = \sqrt{\frac{3c}{2GF}}$$

c - opór właściwy zawału

$C_1 - C_2$ - stałe całkowania

gdy $x \rightarrow -\infty$ wtedy $z = \frac{P}{c} \frac{x}{c}$, stąd wynika, że $C_2 = 0$ wobec tego

$$z = z_0 + \frac{P}{c} \frac{x}{c} + C_1 \cdot e^{rx} \quad (3)$$

Wartość funkcji (1), (3) na brzegu filara od strony podszadzki dla $x = 0$ są równe:

$$z_0 = z_0 + \frac{P}{k} \frac{x}{c} + A_1$$

$$z_0 = \frac{P}{t} \frac{x}{c} + B_1 + B_2$$

Wartości funkcji (2) i (3) na brzegu filara od strony zawału dla $x = -2L$ wynoszą:

$$z_{0,1} = \frac{P}{t} \frac{x}{c} + B_1 e^{-m2L} + B_2 e^{m2L}$$

$$z_{0,1} = z_{0,1} + \frac{P}{c} \frac{x}{c} + C_1 \cdot e^{-r2L}$$

Pochodne funkcji (1), (2), (3) są równe:

$$\frac{dz}{dx} = -n \cdot A_1 \cdot e^{-nx}$$

$$\frac{dz}{dx} = m \cdot B_1 \cdot e^{mx} - mB_2 e^{-mx}$$

$$\frac{dz}{dx} = r \cdot C_1 e^{rx}$$

Wartości pochodnych na brzegu filara od strony podszadzki dla $x = 0$ wynoszą:

$$\frac{dz}{dx} = -n \cdot A_1$$

$$\frac{dz}{dx} = m \cdot B_1 - m \cdot B_2$$

Wartości pochodnych na brzegu filara od strony zawału dla $x = -2L$ wynoszą:

$$\frac{dz}{dx} = m \cdot B_1 \cdot e^{-m \cdot 2L} + m \cdot B_2 \cdot e^{m \cdot 2L}$$

$$\frac{dz}{dx} = r C_1 \cdot e^{-r \cdot 2L}$$

Wartości funkcji i pochodnych na krawędziach filara muszą być jednakowe tzn. nad filarem i nad podszadką muszą być równe z jednej strony, jak i nad filarem i nad zawałem wartości i pochodne funkcji muszą być jednakowe z drugiej strony.

Z powyższych warunków wyznaczono stałe A_1 , B_1 , A_2 , B_2 , C_1 , C_2 . Uwzględniając wyznaczone stałe uzyskano wzór określający ugięcie warstwy stropu nad podszadką

$$z = z_0 + \frac{P}{k} z + A_1 \cdot e^{-nx}$$

$$z = \frac{P}{k} z + \frac{P}{t} z + \frac{P z_0 \cdot \frac{x}{o} + \frac{n}{k} (e^{-m \cdot 2L} + e^{-m \cdot 2L})}{m(e^{m \cdot 2L} - e^{-m \cdot 2L})} - \frac{P}{k} z \cdot e^{-nx}$$

$$z = P_z \left[\frac{1}{t} + \frac{2 \frac{r}{o} + \frac{n}{k} (e^{m2L} + e^{-m2L})}{m(e^{m2L} - e^{-m2L})} + \frac{1}{k} (1 - e^{-nx}) \right] \quad (4)$$

Siłę poprzeczną w warstwie stropowej określa wzór [1]

$$T = \frac{2}{3} GF \frac{dz}{dx}$$

$$\frac{dz}{dx} = \frac{P_z}{k} \cdot n \cdot e^{-nx}$$

$$T = \frac{2}{3} GF \frac{P_z}{k} \cdot n \cdot e^{-nx} = \frac{2}{3} GF \frac{1}{k} \sqrt{\frac{3k}{2GF}} e^{-nx}$$

$$T = P_z \sqrt{\frac{2GF}{3k}} e^{-nx} \quad (5)$$

Wielkość naprężeń w podsadźce można otrzymać z następującego równania:

$$\alpha_z = -k(z - z_0)$$

$$\alpha_z = -P_z (1 - e^{-nx})$$

Dla części warstwy stropowej położonej nad zawałem (dla $x \leq -2L$) wielkość ugięcia warstwy stropowej wynosi

$$z = z_{o1} + \frac{P_z}{c} + C_1 \cdot e^{rx}$$

$$z = \frac{P_z}{t} + \frac{P_z}{c} + \frac{P_z \left(2 \frac{n}{k} + \frac{r}{o} (e^{m2L} + e^{-m2L}) \right)}{m(e^{m2L} - e^{-m2L})} - \frac{P_z}{c \cdot e^{-r2L}} \cdot e^{rx}$$

$$z = P_z \left[\frac{1}{t} + \frac{2 \frac{n}{k} + \frac{r}{o} (e^{m2L} + e^{-m2L})}{m(e^{m2L} + e^{-m2L})} + \frac{1}{c} (1 - e^{r(2L+x)}) \right]$$

Siła poprzeczna w warstwie stropowej jest:

$$T = \frac{2}{3} GF \frac{dz}{dx}$$

$$\frac{dz}{dx} = - \frac{P_z}{c} e^{r(2L-x)} \cdot r$$

$$T = - \frac{2}{3} GF \frac{P_z}{c} r \cdot e^{r(2L+x)} = - \frac{2}{3} GF \frac{1}{c} \sqrt{\frac{3c}{2GF}} \cdot e^{r(2L+x)} \cdot P_z$$

$$T = - P_z \sqrt{\frac{2GF}{3c}} \cdot e^{r(2L+x)} \quad (6)$$

Traktując zawał jako podszkawkę wielkość naprężeń w nim wynosi:

$$\alpha_z = - \sigma (z - z_{o_1})$$

$$\alpha_z = - \sigma \left(\frac{P_z}{c} - \frac{P_z}{c} \frac{e^{rx}}{e^{-r2L}} \right)$$

$$\alpha_z = - P_z (1 - e^{r(2L+x)})$$

Dla części warstwy stropowej położonej nad filarem $-2L \leq x \leq 0$

$$z = \frac{P_z}{t} + B_1 \cdot e^{mx} + B_2 \cdot e^{-mx}$$

$$z = \frac{P_z}{t} + \frac{P_z \left(\frac{r}{c} + \frac{n}{k} e^{m2L} \right)}{n(e^{m2L} - e^{-m2L})} e^{mx} + \frac{P_z \left(\frac{r}{c} + \frac{n}{k} e^{-m2L} \right)}{n(e^{m2L} - e^{-m2L})} e^{-mx}$$

$$z = P_z \left(\frac{1}{t} + \frac{\frac{r}{c} e^{mx} + \frac{n}{k} \cdot e^{m(2L+x)}}{n(e^{m2L} - e^{-m2L})} + \frac{\frac{r}{c} e^{-mx} + \frac{n}{k} e^{-m(2L+x)}}{n(e^{m2L} - e^{-m2L})} \right)$$

$$z = P_z \left(\frac{1}{t} + \frac{\frac{r}{\sigma} (e^{mx} + e^{-mx}) + \frac{n}{k} (e^{m(2L+x)} + e^{-m(2L+x)})}{m(e^{m2L} + e^{-m2L})} \right) \quad (7)$$

$$\frac{dz}{dx} = \frac{P_z \left(\frac{r}{\sigma} + \frac{n}{k} e^{m2L} \right)}{m(e^{m2L} - e^{-m2L})} \cdot m e^{mx} - \frac{P_z \left(\frac{r}{\sigma} + \frac{n}{k} e^{-m2L} \right)}{m(e^{m2L} - e^{-m2L})} m e^{-mx}$$

$$\frac{dz}{dx} = P_z \cdot \frac{\frac{r}{\sigma} (e^{mx} - e^{-mx}) + \frac{n}{k} (e^{m(2L+x)} - e^{-m(2L+x)})}{e^{m2L} - e^{-m2L}}$$

Silę poprzeczną w warstwie stropowej nad filarem wyraża wzór:

$$T = \frac{2}{3} GF \frac{dz}{dx}$$

$$T = \frac{2}{3} GF P_z \cdot \frac{\frac{r}{\sigma} (e^{mx} - e^{-mx}) + \frac{n}{k} (e^{m(2L+x)} - e^{-m(2L+x)})}{e^{m2L} - e^{-m2L}}$$

Maksymalna wartość siły poprzecznej występuje na brzegu filara od strony zawału dla $x = -2L$ i wynosi

$$T = -GF P_z \cdot \frac{r}{\sigma} = -P_z \sqrt{\frac{2GF}{3\sigma}} \quad (8)$$

Wartość siły poprzecznej na krawędzi filara od strony podsadzki dla $x = 0$.

$$T = \frac{2}{3} GF P_z \cdot \frac{\frac{r}{\sigma} (e^{-0} - e^{0}) + \frac{n}{k} (e^{m2L} - e^{-m2L})}{e^{m2L} - e^{-m2L}}$$

$$T = \frac{2}{3} GF P_z \frac{n}{k} = P_z \sqrt{\frac{2GF}{3k}} \quad (9)$$

Siła poprzeczna równa się zero gdy $\frac{dz}{dx}$ równa się zero.

$$\frac{dz}{dx} = \frac{P_z \left(\frac{r}{o} + \frac{n}{k} e^{m2L} \right)}{m(e^{m2L} - e^{-m2L})} m e^{mx} - \frac{P_z \left(\frac{r}{o} + \frac{n}{k} e^{-m2L} \right)}{m(e^{m2L} - e^{-m2L})} m e^{-mx} = 0$$

$$\frac{\frac{r}{o} + \frac{n}{k} e^{m2L}}{e^{m2L} - e^{-m2L}} e^{mx} = \frac{\frac{r}{o} + \frac{n}{k} e^{-m2L}}{e^{m2L} - e^{-m2L}} e^{-mx} (e^{-mx} e^{m2L} - e^{-m2L})$$

$$\frac{r}{o} + \frac{n}{k} e^{m2L} = \left(\frac{r}{o} + \frac{n}{k} e^{-m2L} \right) e^{-2mx}$$

$$e^{-2mx} = \frac{\frac{r}{o} + \frac{n}{k} e^{m2L}}{\frac{r}{o} + \frac{n}{k} e^{-m2L}}$$

$$-2mx \ln e = \ln \frac{\frac{r}{o} + \frac{n}{k} e^{m2L}}{\frac{r}{o} + \frac{n}{k} e^{-m2L}}$$

$$\ln \frac{\frac{r}{o} + \frac{n}{k} e^{m2L}}{\frac{r}{o} + \frac{n}{k} e^{-m2L}}$$

$$x_m = \frac{\ln \frac{\frac{r}{o} + \frac{n}{k} e^{m2L}}{\frac{r}{o} + \frac{n}{k} e^{-m2L}}}{-2m}$$

Ze wzorów (5) (6) (8) (9) wynika, że maksymalna wartość siły poprzecznej w warstwie stropowej zależy od sztywności stropu i ściśliwości podszkiki i występuje na krawędzi resztki, nie zależy natomiast od stopnia podatności pokładu i spagu.

Współczynnik oporu właściwego podłoża i szerokość resztki warunkuje jedynie przegięg siły poprzecznych nad filarem.

Wielkości ciśnienia w filarze otrzymamy mnożąc równanie linii ugięcia nad filarem (7) przez $(-t)$.

$$\sigma_z = - \left\{ P_z \left[1 + \frac{\frac{n}{k} (e^{m(2L+x)} + e^{-m(2L+x)}) + \frac{r}{o} (e^{mx} + e^{-mx})}{\frac{m}{t} (e^{m2L} - e^{-m2L})} \right] \right\}$$

$$\sigma_z = - \left\{ P_z \left[1 + \frac{\sqrt{\frac{t}{k}} (e^{m(2L+x)} + e^{-m(2L+x)}) + \sqrt{\frac{t}{o}} (e^{mx} + e^{-mx})}{e^{m2L} - e^{-m2L}} \right] \right\}$$

Najwyższa wartość ciśnienia zachodzi na brzegu filaru od strony zawaku (dla $x = -2L$); jest ono równe:

$$\sigma_{z \max_1} = - \left\{ P_z \left[1 + \frac{\sqrt{\frac{t}{o}} (e^{m2L} + e^{-m2L}) + 2 \sqrt{\frac{t}{k}}}{(e^{m2L} - e^{-m2L})} \right] \right\}$$

Wielkość ciśnienia na brzegu filara od strony podsadzki (dla $x = 0$) wynosi:

$$\sigma_{z \max_2} = - \left\{ P_z \left[1 + \frac{\sqrt{\frac{t}{k}} (e^{m2L} + e^{-m2L}) + 2 \sqrt{\frac{t}{o}}}{e^{m2L} - e^{-m2L}} \right] \right\}$$

Z warunku, że funkcja posiada wartość ekstremalną w tym punkcie gdzie jej pierwsza pochodna jest równa zero, oblicza się odległość w której naprężenia osiągają wartość minimalną

$$\frac{d\sigma_z}{dx} = \frac{P_z \left(\frac{r}{o} + \frac{n}{k} e^{m2L} \right)}{e^{m2L} - e^{-m2L}} e^{mx} - \frac{P_z \left(\frac{r}{o} + \frac{n}{k} e^{-m2L} \right)}{e^{m2L} - e^{-m2L}} e^{-mx} = 0$$

Wielkość naprężeń minimalnych nad filarem można obliczyć wstawiając do wzoru na wielkość naprężeń wyliczoną odległość x_m

$$x_m = \frac{\frac{c}{m} + \frac{P_z}{K} e^{m2L}}{\frac{c}{m} + \frac{P_z}{K} e^{-m2L}} - 2m$$

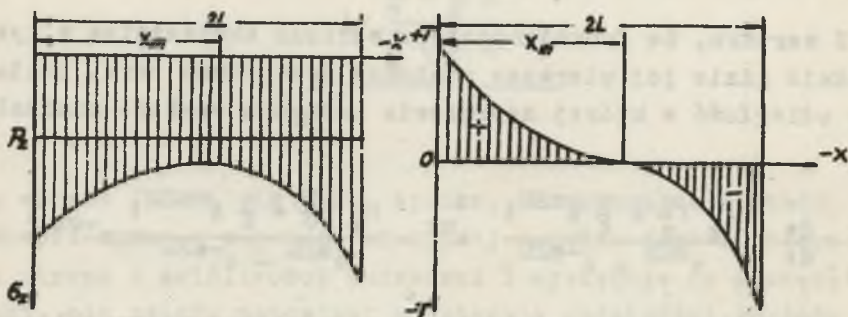
Na rys. 1 pokazano przebieg naprężeń w pozostawionej reszcie pokładu oraz kształtowanie się sił poprzecznych w warstwie stropowej nad filarem. Średnią wartość naprężeń w filarze wynikłych z nacisku stropu oblicza się wg wzoru:

$$\bar{\sigma}_{sr} = \frac{\int_{-2L}^0 \sigma_z dx}{2L} \quad (10)$$

$$\int_{-2L}^0 \sigma_z dx = - \left[P_z 2L + P_z \frac{(\sqrt{\frac{t}{c}} + \sqrt{\frac{t}{K}}) (2 + e^{m2L} + e^{-m2L})}{m(e^{m2L} - e^{-m2L})} \right]$$

Wstawiając wartość $\int_{-2L}^0 \sigma_z dx$ do wzoru (10) otrzymujemy

$$\bar{\sigma}_{sr} = - \left\{ P_z \left[1 + \frac{(\sqrt{\frac{t}{c}} + \sqrt{\frac{t}{K}}) (2 + e^{m2L} + e^{-m2L})}{m2L (e^{m2L} - e^{-m2L})} \right] \right\} \quad (11)$$



Rys. 1

Przykład obliczeń naprężeń metodą momentów gnących i teorią sił ścinających

Celem dowiedzenia prawidłowości wyprowadzonych powyżej wzorów, dokonuje się obliczeń wielkości naprężeń dla pozostawionej resztki w przypadku, gdy zarówno z jednej strony filara jak i z drugiej znajduje się podsadzka o tym samym współczynniku oporu właściwego. W takim przypadku minimalna wartość naprężeń znajduje się oczywiście w środku filara (dla $x = -L$).

Następnie oblicza się wielkości naprężeń w pozostawionym filarze wzorem A. Sałustowicza. Przy wyprowadzaniu wzorów na podstawie linii ugięcia pod wpływem momentów gnących. A. Sałustowicz zakłada, że zazwyczaj filary pozostają nienaruszone przez dłuższy czas, następuje spękanie warstw stropowych, tak że sprężyste podłoże stanowi nie tylko podsadzka lecz również część warstw stropowych, dlatego w rozważaniach przyjęto dla obu podłoży tj. dla podsadzki i dla pokładu równe współczynniki oporu właściwego. Naprężenia policzone obydwoma wzorami mogą różnić się tylko w niewielkich granicach.

Do obliczeń przyjęto:

Dane dla stropu - piaskowiec.

$$E = 400\ 000 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} = 4\ 000\ 000\ 000 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$\mu = 0,13$$

$$w = 20 \text{ m.}$$

Dane dla filara - węgiel

$$E_w = 20\ 000 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} = 200\ 000\ 000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$2L = 40 \text{ m}$$

$$h = 2,0 \text{ m}$$

1. Obliczanie naprężeń teorią ścinania

z założenia: $\sigma = k$, $\sigma = t$

$$G = \frac{E}{2(1+\mu)} = \frac{4.000.000.000}{2(1+0,13)} = \frac{4.000.000.000}{2,26} = 1.770.000.000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$F = 20 \text{ m}$$

$$\sigma = z \cdot t = E_w \cdot \varepsilon, \quad \varepsilon = \frac{\eta}{h}, \quad z = \varepsilon \cdot h$$

$$t = \frac{E_w \cdot \varepsilon}{z} = \frac{E_w \cdot \varepsilon}{h \cdot \varepsilon} = \frac{E_w}{h}, \quad t = \frac{E_w}{h}$$

$$t = \frac{200.000.000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}}{2,0} = 100.000.000 \frac{\text{kg}}{3}$$

$$m = \sqrt{\frac{3t}{2GF}} = \sqrt{\frac{300.000.000 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}}{2 \cdot 1.770.000.000 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \cdot 20 \text{ m}}} = \frac{1,73}{26,62 \text{ m}} = 0,065 \frac{1}{\text{m}}$$

$$m \cdot 2L = 2,6$$

$$\sigma_z = - \left\{ P_z \left[1 + \frac{\sqrt{\frac{t}{k}} (e^{m(2L+x)} + e^{-m(2L+x)}) + \sqrt{\frac{t}{\sigma}} (e^{mx} + e^{-mx})}{e^{m2L} - e^{-m2L}} \right] \right\}$$

Wartość naprężeń (dla $x = 0$) na brzegu filara

$$\sigma_z = - \left\{ P_z \left[1 + \frac{e^{m2L} + e^{-m2L} + 2}{e^{m2L} - e^{-m2L}} \right] \right\}$$

$$\sigma_z = - \left\{ P_z \left[1 + \frac{e^{2,6} + e^{-2,6} + 2}{e^{2,6} - e^{-2,6}} \right] \right\}$$

$$\sigma_z = - \left\{ P_z \left[1 + \frac{13,5 + \frac{1}{13,5} + 2}{13,5 - \frac{1}{13,5}} \right] \right\} = - P_z \cdot 1 + 1,15$$

$$\underline{\sigma_z = - 2,15 P_z}$$

Wartość naprężeń w środku filara (dla $x = -L$)

$$\sigma_z = - \left\{ P_z \left[1 + \frac{e^{mL} + e^{-mL} + e^{mL} + e^{-mL}}{e^{m2L} - e^{-m2L}} \right] \right\}$$

$$\sigma_z = - \left\{ P_z \left[1 + \frac{2e^{mL} + 2e^{-mL}}{e^{2mL} - e^{-2mL}} \right] \right\}$$

$$m2L = 2,6, \quad mL = 1,3$$

$$\sigma_z = - \left\{ P_z \left[1 + \frac{2 \cdot 3,67 + \frac{2}{3,67}}{13,5 - \frac{1}{13,5}} \right] \right\} = - \left\{ P_z \left[1 + \frac{\frac{26,9}{3,67} + \frac{2}{3,67}}{\frac{181,2}{13,5}} \right] \right\}$$

$$\sigma_z = - \left\{ P_z \left[1 + \frac{\frac{28,9}{3,67}}{\frac{181,2}{13,5}} \right] \right\} = - \left\{ P_z \left[1 + \frac{28,9}{3,67} \cdot \frac{13,5}{181,2} \right] \right\}$$

$$\sigma_z = - \left\{ P_z \left[1 + 0,586 \right] \right\} = - 1,586 P_z$$

$$\underline{\sigma_z = - 1,586 P_z}$$

Odległość w której naprężenie osiągają minimalną wartość, musi być równa połowie szerokości filara ($-L$)

$$x = \frac{\ln \frac{\frac{c}{k} + \frac{n}{k} e^{m2L}}{\frac{c}{k} + \frac{n}{k} e^{-m2L}}}{- 2m}$$

$$x = \frac{\ln \frac{\frac{r}{c} (1 + e^{m2L})}{\frac{r}{c} (1 + e^{-m2L})}}{-2m} = \frac{1 + e^{m2L}}{1 + e^{-m2L}} \cdot \frac{\ln e^{m2L}}{-2m} = \frac{m2L}{-2m} = -L$$

$$\underline{x = -L}$$

2. Obliczanie naprężeń w filarze teorią momentów gnących

$$\sigma_z + \left\{ P_z + \frac{P_H}{1 - e^{-2L\alpha} \cos 2L\alpha} \left[e^{\alpha x} \cos \alpha x + e^{-(2L+x)} \cos(2L+x) \right] \right\}$$

$$\alpha = \sqrt[4]{\frac{t}{4JE}}$$

$$t = 100.000.000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$J = \frac{w^3}{12} = \frac{20^3}{12} = \frac{8000}{12} = 666,6 \text{ m}^3$$

$$E = \frac{E'}{1 - \mu^2} = \frac{4.000.000.000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}}{1 - 0,0196} = 4.000.000.000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$\alpha = \sqrt[4]{\frac{\mu = 0,13}{100.000.000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}}}{4.666,6 \text{ m}^3 \cdot 4.000.000.000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}} = \frac{1}{18,1 \text{ m}} = 0,0552 \frac{1}{\text{m}}$$

$$2L = 40 \cdot 0,0552 = 2,21$$

$$2,21 = 126^{\circ}48'$$

$$\cos 126^{\circ}48' = -\sin 36^{\circ}48' = -0,5995$$

Wartość naprężeń na brzegu filara (dla $x = 0$)

$$\sigma_z = - \left\{ P_z \left[1 + \frac{1 + e^{-2L\alpha} \cos 2L\alpha}{1 - e^{-2L\alpha} \cos 2L\alpha} \right] \right\}$$

$$\sigma_z = - \left\{ P_z \left[1 + \frac{1 + e^{-2,21} \cos 126^{\circ}48'}{1 - e^{-2,21} \cos 126^{\circ}48'} \right] \right\}$$

$$\sigma_z = - \left\{ P_z \left[1 + \frac{\frac{5,5305}{9,13}}{\frac{9,7295}{9,13}} \right] \right\} = - \left\{ P_z \left[1 + \frac{8,5305}{9,7295} \right] \right\} = - \left\{ P_z \left[1 + 0,872 \right] \right\}$$

$$\underline{\sigma_z = - 1,872 P_z}$$

Wartość naprężeń w środku filara (dla $x = -L$)

$$\sigma_z = - \left\{ P_z \cdot 1 + \frac{1}{1 - 2e^{-2L\alpha} \cos 2L\alpha} \left[e^{-L\alpha} \cos(-L\alpha) + e^{-L\alpha} \cos L\alpha \right] \right\}$$

$$\alpha \cdot L = 20 \cdot 0,0552 = 1,1$$

$$1,1 = 63^{\circ}$$

$$\cos 63^{\circ} = 0,454$$

$$\sigma_z = - \left\{ P_z \left[1 + \frac{1}{1 - e^{2,21} \cos 126^{\circ}48'} e^{-1,1} \cos 63^{\circ} + e^{-1,1} \cos 63^{\circ} \right] \right\}$$

$$\sigma_z = - \left\{ P_z \left[1 + \frac{1}{1 + \frac{1}{9,13} \cdot 0,5995} 2 \cdot \frac{1}{5} \cdot 0,454 \right] \right\}$$

$$\sigma_z = - \left\{ P_z \left[1 + \frac{0,3026}{9,13} \right] \right\} = - \left\{ P_z \left[1 + 0,282 \right] \right\}$$

$$\underline{\sigma_z = - 1,283 P_z}$$

Z przykładów powyższych wynika, że naprężenia liczone wzorami wyprowadzonymi z równania linii ugięcia na podstawie momentów gnących są nieco niższe od naprężeń wyliczonych ze wzorów teorii ścinania. Jest tak dlatego, ponieważ w założonym przykładzie połowa długości fali znajduje się w granicach szerokości filara. Dlatego też ciśnienie wyliczone teorią momentów gnących na krawędzi filara jest mniejsze od normalnego ciśnienia eksploatacyjnego, które wynosi

$$\sigma_{z \max} = - \left\{ P_z \left(1 + \sqrt{\frac{t}{c}} \right) \right\} = 2 P_z$$

Czynniki wpływające na ciśnienie we filarze

Wartość naprężeń w filarze zależy od następujących czynników:

1) Głębokość zalegania ($P_z = \gamma \cdot h$).

2) Szerokości filara: w miarę zmniejszania szerokości filaru naprężenia wzrastają w sposób nieograniczony, gdyż wyrazy:

$$\frac{(e^{m2L} + e^{-m2L}) \sqrt{\frac{t}{c}}}{e^{m2L} - e^{-m2L}} \quad \text{i} \quad \frac{2 \sqrt{\frac{t}{k}}}{e^{m2L} - e^{-m2L}}$$

w ten właśnie sposób wzrastają. Równocześnie ze zmniejszaniem szerokości filara, stopień nierównomierności rozkładu naprężeń maleje, gdyż wyrazy

$$\frac{e^{m(2L+x)} + e^{-m(2L+x)}}{e^{m2L} - e^{-m2L}} \quad \text{i} \quad \frac{e^{mx} + e^{-mx}}{e^{2mL} - e^{-2mL}}$$

gdzie:

$$-2L \leq x \leq 0$$

zmieniają się przy małych szerokościach w niewielkich granicach.

3. Sztywności stropu (GF) - przy sztywnych skałach stropowych ciśnienie w filarze jest w większym stopniu wyrównane, gdyż funkcje e^{mx} i $e^{m(2L+x)}$ (gdzie $m = \sqrt{\frac{3k}{2GF}}$) przy mniejszym m będzie zmieniać się w mniejszych granicach, niż byłoby to przy stropach bardziej elastycznych.

4. Własności pokładu - gdy pokład jest podłożem sztywnym, wtedy rozkład ciśnienia w filarze jest bardziej nierównomierny, jego maksimum i minimum wykazują znaczną różnicę. Gdy pokład ma charakter podłoża o dużym stopniu podatności, wtedy ciśnienie w filarze rozkłada się w sposób więcej równomierny.

5. Oporu właściwego podsadzki lub zawału; im opór właściwy podłoża jest większy, tym wyrazy $\frac{t}{k}$ i $\frac{t}{\sigma}$ będą mniejsze, tym samym wielkości naprężeń w filarze osiągać będą mniejsze wartości, czyli im mniej ściśliwą podsadzkę likwidować się będzie wybraną przestrzeń tym mniejsze naprężenia panować będą w obrębie filara.

Nomogram naprężeń

Do zobrazowania zależności między naprężeniami w filarze a współczynnikami oporu właściwego podsadzki lub zawału po obu stronach filara i szerokością filara sporządzono nomogram dla następujących danych:

Dane stropu - piaskowiec

$$E = 400.000 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} = 4.000.000.000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$\mu = 0,13$$

$$G = \frac{E}{2(1+\mu)} = \frac{4.000.000.000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}}{2(1+0,13)} = 1.770.000.000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$F = 40 \text{ m}$$

Dane filara - węgla

$$E_w = 40.000 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} = 400.000.000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$h = 3 \text{ m.}$$

$$t = \frac{E_w}{h} = \frac{400.000.000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}}{3 \text{ m}} = 133.300.000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$m = \sqrt{\frac{3t}{2GF}} = \frac{400.000.000}{2.177.00000040 \text{ m}^2} = 0,053$$

Wielkość naprężeń na brzegu filara określa wzór

$$\sigma_z = - \left\{ P_z \left[1 + \frac{\sqrt{\frac{t}{k}} (e^{m2L} + e^{-m2L}) + \sqrt{\frac{t}{o}} \cdot 2}{e^{m2L} - e^{-m2L}} \right] \right\}$$

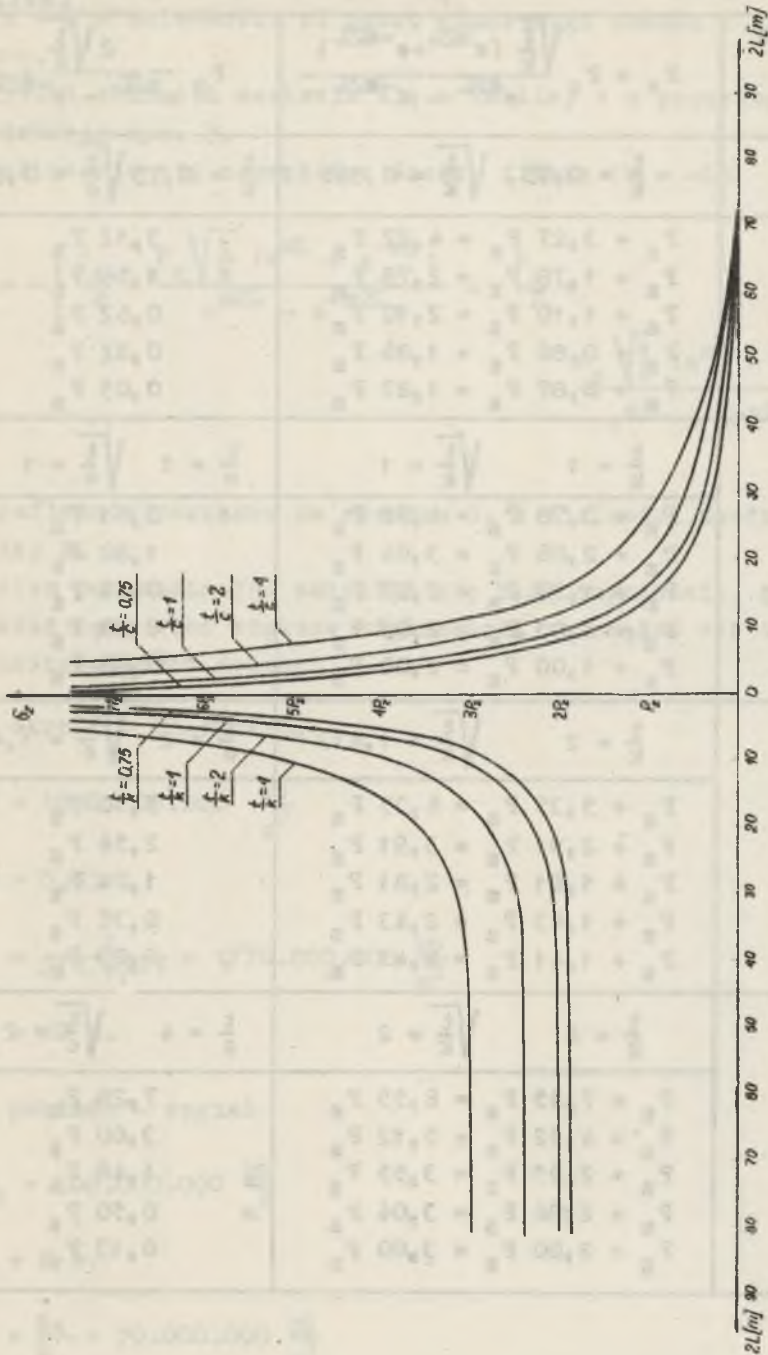
$$\sigma_z = - \left\{ P_z + P_z \frac{\sqrt{\frac{t}{k}} (e^{m2L} + e^{-m2L})}{e^{m2L} - e^{-m2L}} + P_z \frac{2 \sqrt{\frac{t}{o}}}{e^{m2L} - e^{-m2L}} \right\}$$

Aby można było wyznaczyć punkty krzywych $\frac{t}{o}$ i $\frac{t}{k}$ w układzie współrzędnych $-\sigma_z$ i $2L$ do obliczeń przyjmuje się następujące szerokości filarów: 5 m, 10 m, 20 m, 40 m, 60 m. Jeżeli założy się, że po lewej stronie pozostawionego filara znajduje się podsadzka a po lewej zawał, to człon równania

$$P_z e \frac{\sqrt{\frac{t}{k}} (e^{m2L} + e^{-m2L})}{e^{m2L} - e^{-m2L}}$$

przedstawia wpływ naprężeń na filar (dla $x=0$) ze strony podsadzki, w zależności od ściśliwości podsadzki i szerokości filara, a człon

$$P_z e \frac{2 \sqrt{\frac{t}{o}}}{e^{m2L} - e^{-m2L}}$$



Rys. 2. Nomogram do określania naprężeń dla $x=0$ i $x=2L$

Tablica 1

Szerokość filara 2L [m]	$P_Z + P_Z \frac{\sqrt{\frac{t}{K}} (e^{m2L} + e^{-m2L})}{e^{m2L} - e^{-m2L}}$	$P_Z \frac{2\sqrt{\frac{t}{C}}}{e^{m2L} - e^{-m2L}}$
	$\frac{t}{K} = 0,75, \sqrt{\frac{t}{K}} = 0,866$	$\frac{t}{C} = 0,75 \sqrt{\frac{t}{C}} = 0,866$
5	$P_Z + 3,27 P_Z = 4,27 P_Z$	$3,12 P_Z$
10	$P_Z + 1,78 P_Z = 2,78 P_Z$	$1,56 P_Z$
20	$P_Z + 1,10 P_Z = 2,10 P_Z$	$0,62 P_Z$
40	$P_Z + 0,86 P_Z = 1,86 P_Z$	$0,22 P_Z$
60	$P_Z + 0,87 P_Z = 1,87 P_Z$	$0,05 P_Z$
	$\frac{t}{K} = 1 \quad \sqrt{\frac{t}{K}} = 1$	$\frac{t}{C} = 1 \quad \sqrt{\frac{t}{C}} = 1$
5	$P_Z + 3,78 P_Z = 4,78 P_Z$	$3,61 P_Z$
10	$P_Z + 2,06 P_Z = 3,06 P_Z$	$1,80 P_Z$
20	$P_Z + 1,27 P_Z = 2,27 P_Z$	$0,72 P_Z$
40	$P_Z + 1,03 P_Z = 2,03 P_Z$	$0,25 P_Z$
60	$P_Z + 1,00 P_Z = 2,00 P_Z$	$0,06 P_Z$
	$\frac{t}{K} = 2 \quad \sqrt{\frac{t}{K}} = 1,412$	$\frac{t}{C} = 2 \quad \sqrt{\frac{t}{C}} = 1,412$
5	$P_Z + 5,35 P_Z = 6,35 P_Z$	$5,10 P_Z$
10	$P_Z + 2,91 P_Z = 3,91 P_Z$	$2,54 P_Z$
20	$P_Z + 1,81 P_Z = 2,81 P_Z$	$1,04 P_Z$
40	$P_Z + 1,43 P_Z = 2,43 P_Z$	$0,35 P_Z$
60	$P_Z + 1,41 P_Z = 2,41 P_Z$	$0,09 P_Z$
	$\frac{t}{K} = 4 \quad \sqrt{\frac{t}{K}} = 2$	$\frac{t}{C} = 4 \quad \sqrt{\frac{t}{C}} = 2$
5	$P_Z + 7,55 P_Z = 8,55 P_Z$	$7,28 P_Z$
10	$P_Z + 4,12 P_Z = 5,12 P_Z$	$3,60 P_Z$
20	$P_Z + 2,55 P_Z = 3,55 P_Z$	$1,48 P_Z$
40	$P_Z + 2,06 P_Z = 3,06 P_Z$	$0,50 P_Z$
60	$P_Z + 2,00 P_Z = 3,00 P_Z$	$0,13 P_Z$

uwzględnić wpływ naprężeń od strony zawalu na krawędź filara dla $x = 0$ w zależności od oporu właściwego zawalu i szerokości filara.

Wyniki obliczeń zestawia się w tabelicy 1 a przebieg naprężeń przedstawia rys. 2.

Kształtowanie się naprężeń w środku filara ($k = -L$)

$$\sigma_z = - \left[\frac{P_z}{2} + \frac{P_z \sqrt{\frac{t}{k}} (e^{mL} + e^{-mL})}{e^{m2L} - e^{-m2L}} + \frac{P_z}{2} + \frac{P_z \sqrt{\frac{t}{0}} (e^{m2} + e^{-mL})}{e^{m2L} - e^{-m2L}} \right]$$

Graficznie pokazano na rysunku 3, a wielkości zestawiono w tabelicy 2.

Celem pokazania jak zmieniać się będą naprężenia, gdy strop i pokład będą mieć większe miąższości, sporządza się nomogram dla następujących danych:

Dane stropu - piaskowiec

$$E = 4.000.000.000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$\mu = 0,13$$

$$G = \frac{E}{2(1 + \mu)} = 1.770.000.000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

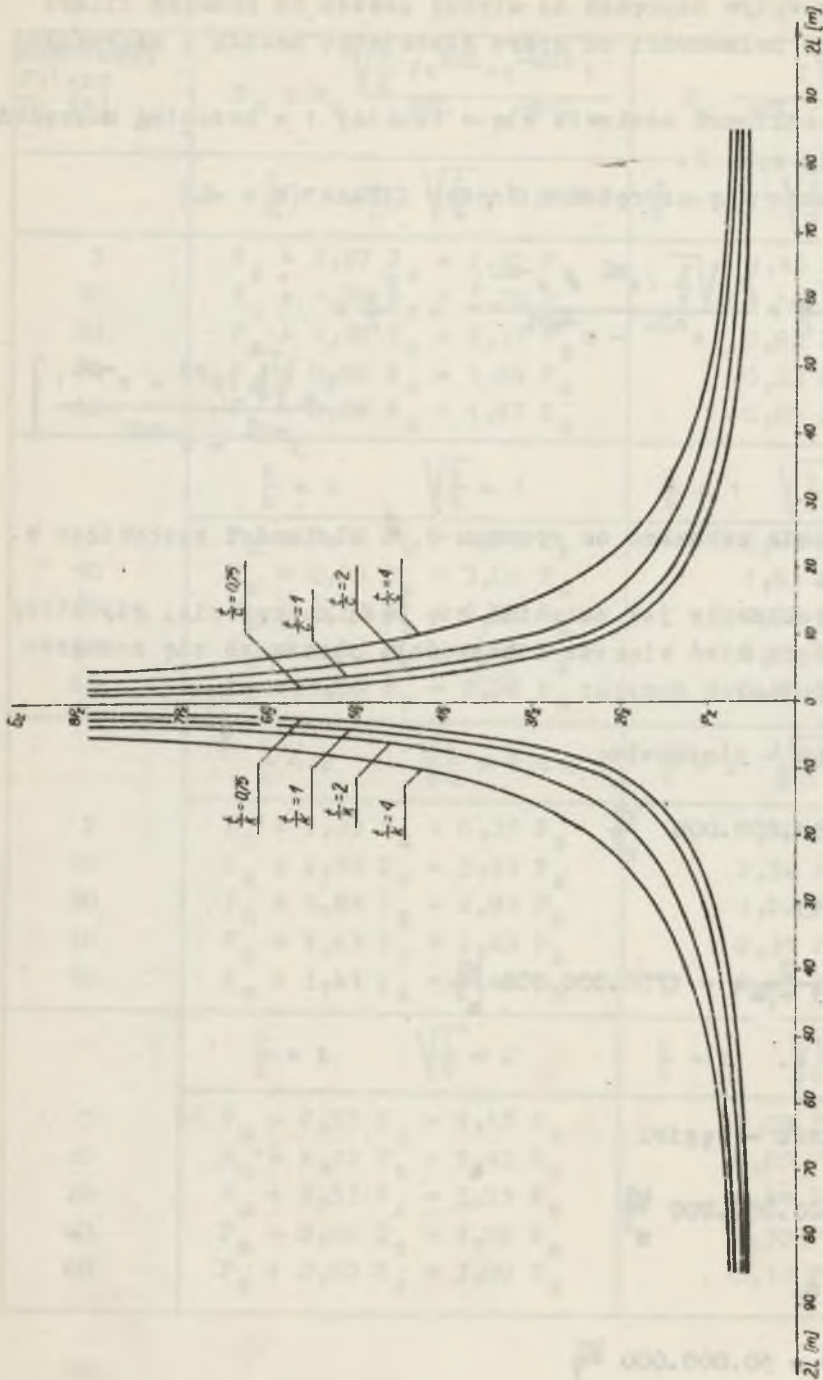
$$F = 80 \text{ m.}$$

Dane pokładu - węgiel

$$E_w = 400.000.000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$h = 8 \text{ m.}$$

$$t = \frac{E_w}{h} = 50.000.000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$



Rys. 3. Nomogram do określenia naprężeń dla $x=L$

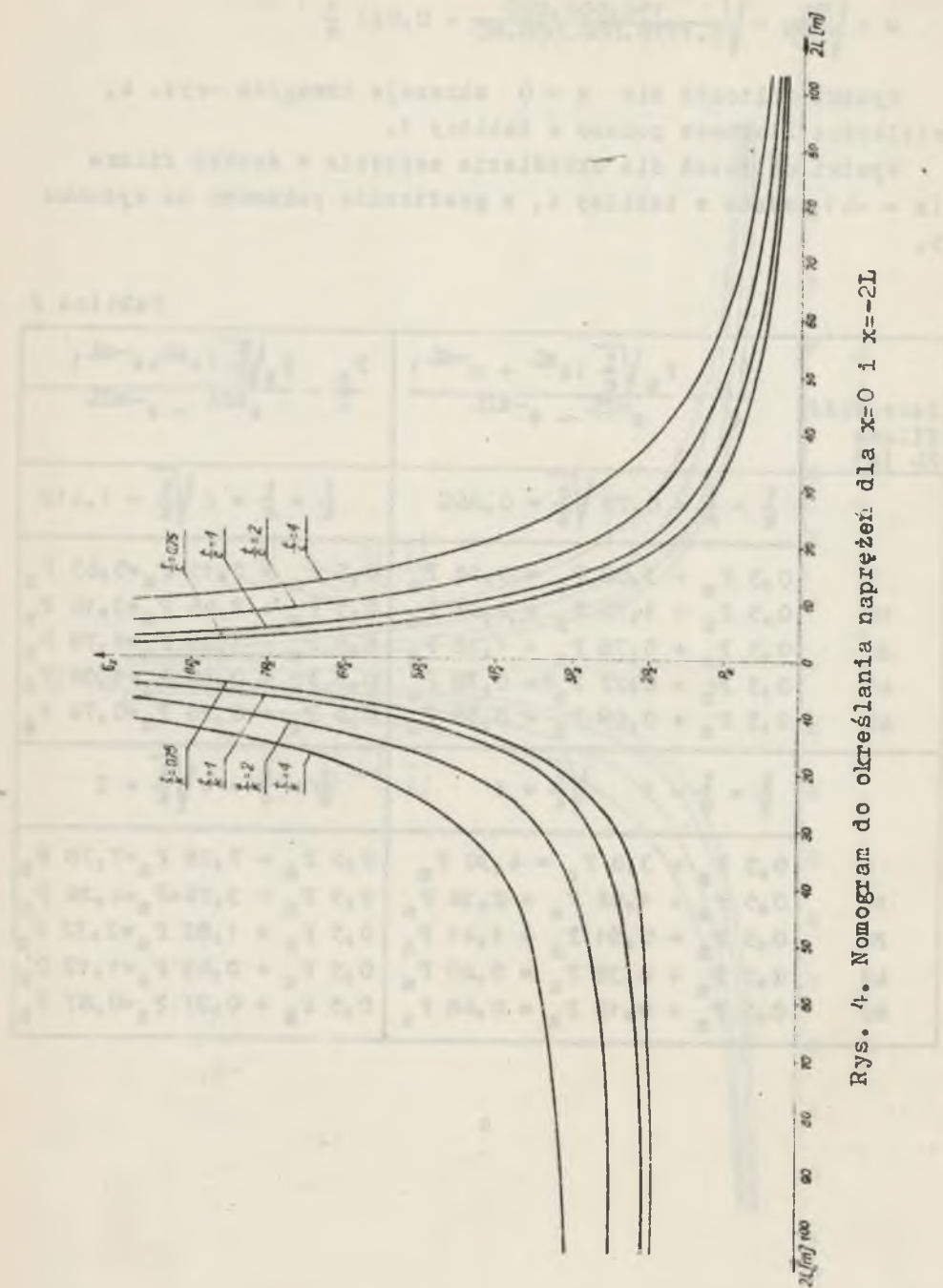
$$m = \sqrt{\frac{3t}{2GF}} = \sqrt{\frac{150.000.000}{2.1770.000.000.80}} = 0,023 \frac{1}{m}$$

Wyniki obliczeń dla $x = 0$ obrazuje nomogram -rys. 4, wielkości liczbowe podano w tabelicy 3.

Wyniki obliczeń dla określenia napięcia w środku filara ($x = -L$) podano w tabelicy 4, a graficznie pokazano na rysunku 5.

Tablica 2

Szerokość filara $2L$ [m]	$\frac{P_z}{2} + \frac{P_z \sqrt{\frac{t}{o}} (e^{mL} + e^{-mL})}{e^{m2L} - e^{-m2L}}$	$\frac{P_z}{2} + \frac{P_z \sqrt{\frac{t}{o}} (e^{mL} + e^{-mL})}{e^{m2L} - e^{-m2L}}$
	$\frac{t}{k} = \frac{t}{o} = 0,75 \sqrt{\frac{t}{k}} = 0,866$	$\frac{t}{k} = \frac{t}{o} = 2 \sqrt{\frac{t}{k}} = 1,412$
5	$0,5 P_z + 3,08 P_z = 3,58 P_z$	$0,5 P_z + 5,15 P_z = 5,65 P_z$
10	$0,5 P_z + 1,50 P_z = 2,06 P_z$	$0,5 P_z + 2,66 P_z = 3,16 P_z$
20	$0,5 P_z + 0,78 P_z = 1,28 P_z$	$0,5 P_z + 1,28 P_z = 1,78 P_z$
40	$0,5 P_z + 0,27 P_z = 0,78 P_z$	$0,5 P_z + 0,56 P_z = 1,06 P_z$
60	$0,5 P_z + 0,09 P_z = 0,59 P_z$	$0,5 P_z + 0,26 P_z = 0,76 P_z$
	$\frac{t}{k} = \frac{t}{o} = 1 \quad \sqrt{\frac{t}{k}} = 1$	$\frac{t}{k} = \frac{t}{o} = 4 \sqrt{\frac{t}{k}} = 2$
5	$0,5 P_z + 3,8 P_z = 4,30 P_z$	$0,5 P_z + 7,28 P_z = 7,78 P_z$
10	$0,5 P_z + 1,88 P_z = 2,38 P_z$	$0,5 P_z + 3,76 P_z = 4,26 P_z$
20	$0,5 P_z + 0,91 P_z = 1,41 P_z$	$0,5 P_z + 1,82 P_z = 2,32 P_z$
40	$0,5 P_z + 0,39 P_z = 0,89 P_z$	$0,5 P_z + 0,69 P_z = 1,19 P_z$
60	$0,5 P_z + 0,18 P_z = 0,68 P_z$	$0,5 P_z + 0,37 P_z = 0,87 P_z$



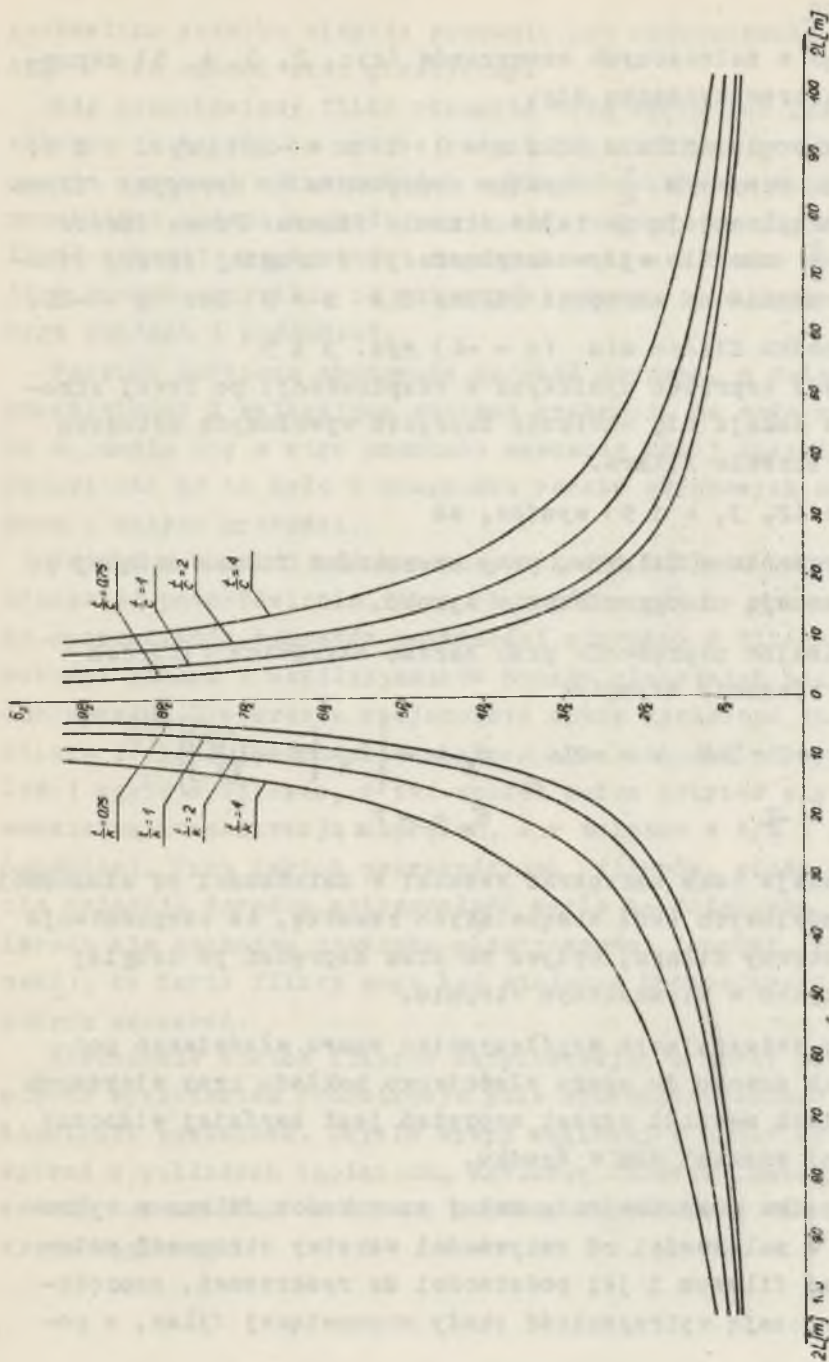
Rys. 4. Nomogram do określenia naprężeń dla $x=0$ i $x=-2L$

Tablica 3

Szerokość filara	$P_Z + P_Z \frac{\sqrt{\frac{t}{k}} (e^{m2L} + e^{-m2L})}{e^{m2L} - e^{-m2L}}$	$P_Z \frac{2\sqrt{\frac{t}{c}}}{e^{m2L} - e^{-m2L}}$
	$\frac{t}{k} = 0,75 \quad \sqrt{\frac{t}{k}} = 0,866$	$\frac{t}{c} = 0,75 \quad \sqrt{\frac{t}{c}} = 0,866$
10	$P_Z + 3,86 P_Z = 4,86 P_Z$	$3,76 P_Z$
20	$P_Z + 2,05 P_Z = 3,05 P_Z$	$1,83 P_Z$
40	$P_Z + 1,18 P_Z = 2,18 P_Z$	$0,82 P_Z$
60	$P_Z + 0,98 P_Z = 1,98 P_Z$	$0,46 P_Z$
80	$P_Z + 0,91 P_Z = 1,91 P_Z$	$0,28 P_Z$
100	$P_Z + 0,88 P_Z = 1,88 P_Z$	$0,19 P_Z$
	$\frac{t}{k} = 1 \quad \sqrt{\frac{t}{k}} = 1$	$\frac{t}{c} = 1 \quad \sqrt{\frac{t}{c}} = 1$
10	$P_Z + 4,45 P_Z = 5,45 P_Z$	$4,34 P_Z$
20	$P_Z + 2,32 P_Z = 3,32 P_Z$	$2,11 P_Z$
40	$P_Z + 1,37 P_Z = 2,37 P_Z$	$0,94 P_Z$
60	$P_Z + 1,13 P_Z = 2,13 P_Z$	$0,54 P_Z$
80	$P_Z + 1,05 P_Z = 2,05 P_Z$	$0,33 P_Z$
100	$P_Z + 1,02 P_Z = 2,02 P_Z$	$0,22 P_Z$
	$\frac{t}{k} = 2 \quad \sqrt{\frac{t}{k}} = 1,412$	$\frac{t}{c} = 2 \quad \sqrt{\frac{t}{c}} = 1,412$
10	$P_Z + 6,28 P_Z = 7,28 P_Z$	$6,13 P_Z$
20	$P_Z + 3,28 P_Z = 4,28 P_Z$	$2,84 P_Z$
40	$P_Z + 1,94 P_Z = 2,94 P_Z$	$1,34 P_Z$
60	$P_Z + 1,60 P_Z = 2,60 P_Z$	$0,76 P_Z$
80	$P_Z + 1,48 P_Z = 2,48 P_Z$	$0,46 P_Z$
100	$P_Z + 1,43 P_Z = 2,43 P_Z$	$0,31 P_Z$
	$\frac{t}{k} = 4 \quad \sqrt{\frac{t}{k}} = 2$	$\frac{t}{c} = 4 \quad \sqrt{\frac{t}{c}} = 2$
10	$P_Z + 8,90 P_Z = 9,90 P_Z$	$8,68 P_Z$
20	$P_Z + 4,64 P_Z = 5,64 P_Z$	$4,22 P_Z$
40	$P_Z + 2,74 P_Z = 3,74 P_Z$	$1,89 P_Z$
60	$P_Z + 2,26 P_Z = 3,26 P_Z$	$1,07 P_Z$
80	$P_Z + 2,10 P_Z = 3,10 P_Z$	$0,65 P_Z$
100	$P_Z + 2,04 P_Z = 3,04 P_Z$	$0,44 P_Z$

Tablica 4

Szerokość filara $2Lm$	$P_z + \frac{P_z \sqrt{\frac{t}{c}} (e^{mL} + e^{-mL})}{e^{m2L} - e^{-m2L}}$	$\frac{P_z}{2} + \frac{P_z \sqrt{\frac{t}{c}} (e^{mL} + e^{-mL})}{e^{m2L} - e^{-m2L}}$
	$\frac{t}{c} = \frac{t}{k} = 0,75 \sqrt{\frac{t}{c}} = 0,866$	$\frac{t}{c} = \frac{t}{k} = 2 \sqrt{\frac{t}{c}} = 1,412$
10	$0,5 P_z + 3,80 P_z = 4,30 P_z$	$0,5 P_z + 6,8 P_z = 0,70 P_z$
20	$0,5 P_z + 1,87 P_z = 2,37 P_z$	$0,5 P_z + 3,05 P_z = 3,55 P_z$
40	$0,5 P_z + 0,91 P_z = 1,41 P_z$	$0,5 P_z + 1,47 P_z = 1,97 P_z$
60	$0,5 P_z + 0,58 P_z = 1,08 P_z$	$0,5 P_z + 0,95 P_z = 1,45 P_z$
80	$0,5 P_z + 0,41 P_z = 0,91 P_z$	$0,5 P_z + 0,67 P_z = 1,17 P_z$
100	$0,5 P_z + 0,28 P_z = 0,78 P_z$	$0,5 P_z + 0,45 P_z = 0,95 P_z$
	$\frac{t}{c} = \frac{t}{k} = 1, \quad \sqrt{\frac{t}{c}} = 1$	$\frac{t}{c} = \frac{t}{k} = 4, \quad \sqrt{\frac{t}{c}} = 2$
10	$0,5 P_z + 4,39 P_z = 4,89 P_z$	$0,5 P_z + 8,78 P_z = 9,28 P_z$
20	$0,5 P_z + 2,16 P_z = 2,66 P_z$	$0,5 P_z + 4,32 P_z = 4,82 P_z$
40	$0,5 P_z + 1,05 P_z = 1,54 P_z$	$0,5 P_z + 2,09 P_z = 2,59 P_z$
60	$0,5 P_z + 0,67 P_z = 1,17 P_z$	$0,5 P_z + 1,34 P_z = 1,84 P_z$
80	$0,5 P_z + 0,47 P_z = 0,97 P_z$	$0,5 P_z + 0,94 P_z = 1,44 P_z$
100	$0,5 P_z + 0,32 P_z = 0,82 P_z$	$0,5 P_z + 0,64 P_z = 1,14 P_z$



Rys. 5. Nomogram do określenia naprężeń dla $x=L$

Zakończenie

Korzystając z załączonych nomogramów (rys. 2, 3, 4, 5) naprężenia w filarze wyznacza się:

1. Na krawędzi filara (dla $x = 0$ i $x = -2L$) rys. 2 i 4. Lewa strona krzywych $\frac{t}{k}$ określa naprężenia na krawędzi filara wywołane eksploatacją po tejże stronie filara. Prawa strona krzywych $\frac{t}{0}$ określa wpływ eksploatacji z drugiej strony filara na naprężenia na krawędzi filara dla $x = 0$ lub $x = -2L$.

2. W środku filara dla ($x = -L$) rys. 3 i 5 Do wielkości naprężeń wynikłych z eksploatacji po lewej stronie filara dodaje się wielkość naprężeń wywołanych odbudową po prawej stronie filara.

Z rysunków (2, 3, 4 i 5) wynika, że

1. Naprężenia w filarze, przy szerokości filara dążącej do zera, wzrastają nieograniczenie wysoko.

2. Minimalne naprężenie przy bardzo szerokich filarach określają równania asymptot

$$\text{dla } x = 0 \text{ lub } x = -2L, \quad \sigma_z = - \left\{ P_z \left[1 + \sqrt{\frac{t}{k}} \right] \right\}$$

$$\text{dla } x = -L \quad \sigma_z = - P_z$$

3. Istnieje taka szerokość resztki w zależności od własności wytrzymałościowych skał stanowiących resztkę, że eksploatacja z jednej strony filara, wpływa na stan naprężeń po drugiej stronie, tylko w nieznacznym stopniu.

4. Przy wstępującym współczynniku oporu właściwego podszadki lub zawału do oporu właściwego pokładu przy większych szerokościach resztki wzrost naprężeń jest bardziej widoczny na krawędzi resztki niż w środku.

W przypadku pozostawienia małej szerokości filara w wybranym polu, w zależności od sztywności warstwy stropowej zalegającej nad filarem i jej podatności do rozkruszeń, naprężenia przekraczają wytrzymałość skały stanowiącej filar, a po-

zostawiona resztką ulegnie spękaniu lub rozkruszeniu, przechodząc w ten sposób stan plastyczny.

Gdy pozostawiony filar stanowić będą węgle lub inne skały skłonne do tępień, to proces rozgniatania filara po przekroczeniu wyraźnej wytrzymałości węgla lub skały na ściskanie, przebiegać będzie w gwałtowny sposób objawiając się tępianiami. Ilość energii sprężystości nagromadzonej w filarze zależna jest przede wszystkim od sztywności stropu i od oporu właściwego pokładu i podsadzki.

Warstwa stropowa zbudowana ze skał mocnych, o dużym module sprężystości i osiągająca znaczne grubości, ma małą zdolność do uginania się a więc przekaże znacznie mniej energii do podsadzki niż by to było w przypadku warstw stropowych mało sztywnych i małych grubości.

Jeżeli w kopalni podczas eksploatacji pokładu istnieje konieczność pozostawienia filaru lub półwyspów to wskazane byłoby sporządzenie wykresów zależności naprężeń w filarze od szerokości filara i współczynników oporów właściwych podsadzki lub zawалу. Z wykresów racjonalnie można wyznaczyć szerokość filara i sposób kierowania stropem w zależności od wytrzymałości węgla w filarze, w ten sposób można ustrzec się przed nadmierną koncentracją naprężeń, a w związku z tym i przed tępianiami. Przy takich szerokościach filarów, gdzie naprężenia osiągają doraźną wytrzymałość węgla na ściskanie, a w filarach nie zachodzą zjawiska plastyczności (spękań, rozkruszeń), to takie filary mogą być miejscem koncentracji bardzo dużych naprężeń.

Naruszenie takich filarów eksploatacją, a nawet próba przecięcia wyrobiskiem chodnikowym może spowodować bardzo silne tępnięcie pokładowe. Zwykle wyspy węglowej w ogóle nie można wybrać w pokładach tępących, wybierkę filarową należy prowadzić bezwzględnie w stronę oalizny aby właśnie nie stworzyć wyspy węglowej.

LITERATURA

- [1] Sałustowicz A.: Osiadanie stropu w świetle teorii ścinania i ugięcia belek na sprężystym podłożu. Sbornik vedeckich prací Vysoke školy banské v Ostravě, Ročník VII, č. 1, 1961. 1961 r.

НОМОГРАММЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЙ В ОСТАТКАХ ГОРНОГО ПЛАСТА

Р е з ю м е

В работе представлено теоретическим образом проблему определения состояния напряжений в остатках пласта.

Для выведенных формул сделано номограммы с указанием их практического применения для определения напряжений в остатках пласта.

Опираясь на проведенный анализ напряжений, определено свои отношения к возможности разработки остатков горного пласта.

NOMOGRAMS

FOR DETERMINING STRESSES IN THE REMAINDERS
OF COAL-BEDS

S u m m a r y

The paper deals with problem of stress intensity determination in the coal-bed remainders. For the derived formulae, nomograms with their practical application for the stress determination in coal-bed remainders have been worked out.

On the ground of the carried out analysis of stresses, the possibilities of coal-bed remainders underground working has been defined.