

Ing. Milan V r b í č e k , VÚHU

Metodika výpočtů vlivů staré důlní činnosti na stabilitu povrchu, stavebních objektů a inženýrských sítí

Při hlubinném dobývání užitečných nerostů dochází k porušení stability povrchu. Změny reliéfu povrchu, vyvolané rubáním se projevují dvojím způsobem. Při dostatečně mocném nadloží se na povrchu tvoří poklesové kotliny, při malém nadloží propadliny zvané pinky. Po skončení rubání v dané lokalitě dochází k uklidnění pohybů terénu a obnovení jeho stability. Na terénu, kde vyzněly vlivy dobývání lze provádět stavební práce jako na nepoddolovaném území. Toto ovšem platí pouze v případě dostatečně mocného nadloží, kde je vyloučena možnost tvorby bodových propadlin (pinek). Při posuzování vlivů staré důlní činnosti je tedy nezbytné vyšetřit, zda dodatečným závalem důlního díla nevznikne na povrchu propadlina, která by mohla ohrozit stabilitu povrchu a tím i stavebních objektů nebo inženýrských sítí. Závažnost této problematiky si uvědomíme teprve tehdy, porovnáme-li stavební náklady při běžném zakládání vůči objektům, zajištěným proti vlivům dobývání.

Jedním z prvních, kdo se zabýval řešením této problematiky byl ing. Paďour. Jeho výpočetní metodika je založena na podmínce rovnováhy objemů tzn., že postup výlomu se zastaví v okamžiku, kdy nakypřená hornina vyplní důlní dílo (chodbu, porub) a vlastní výlom. Pro zjednodušení výpočtu ing. Paďour předpokládal, že závalové těleso má tvar rotačního paraboloidu a objem důlního díla převedl do tvaru válce o stejném objemu.

Podmínice rovnováhy objemů vyhovuje pak vztah:

$$\frac{1}{2} \pi r^2 \cdot k_n \cdot x_1 = -\frac{1}{2} \pi r^2 x_1 + \pi r^2 \cdot m \quad (1)$$

po úpravě

$$x_1 = \frac{2 m}{k_n - 1} \quad (2)$$

kde

r = poloměr základny rot. paraboloidu u válce nahrazujícího objem důlního díla

m = výška důlního díla

k_n = koeficient nakypření závalu

x_1 = výška závalového tělesa

Ze vztahu (2) je tedy zřejmé, že výška závalového tělesa je limitována výškou důlního díla a koeficientem nakypření závalu.

Nedostatky metodiky jsou zejména v tom, že nezohledňuje:

1. Geometrické tvary důlních děl a jejich změny před závalením.
2. Změny koeficientu nakypření v průběhu konsolidačního procesu uvnitř závalového tělesa.

Z těchto důvodů se výpočtové hodnoty mezního dosahu závalového tělesa pohybovaly v poměrně širokém rozmezí. Toto se jevilo s ohledem na ekonomickou náročnost při zajišťování objektů proti vlivům staré důlní činnosti neúnosné. Proto se

přikročilo k přepracování výpočetní metodiky, která by měla zohledňovat:

1. Geometrické tvary důlních děl a jejich změny před zavalením.
2. Konsolidační proces uvnitř závalového tělesa.
3. Zda se jedná o porub, důlní chodbu nebo křižování důlních chodeb.
4. Vliv úklonu důlních děl na dosah závalu.

Při zpracování nové metodiky výpočtu se vycházelo z vizuálních pozorování na uhelných řezech povrchových dolů, kde docházelo k odkrytí závalů, z výsledků vrtného průzkumu a v neposlední řadě také z laboratorního měření změn objemové váhy sypaniny, prováděného na velkorozměrovém smykači ve VÚHU v Mostě.

Na základě vizuálního pozorování tvaru závalových těles na lomových provozech a tvaru důlních chodeb v hlubinných dolech lze konstatovat:

1. Závalové těleso má tvar blízký tvaru rotačního paraboloidu.
2. Vlivem horských tlaků dochází u důlních děl k rozvolnění jejich boků a v případech, kde chybí boční zátah, k vysypání horniny do profilu důlního díla.
3. Úhel, pod kterým dochází k rozvolnění boků důlních děl je blízký zálomovému úhlu ($\mu = 70^\circ$).
4. Vlivem váhy horniny uvnitř závalového tělesa dochází k jeho postupné konsolidaci a změně koeficientu nakypření.

Rozbor závalového procesu

Při rozboru závalového procesu je nutné zohlednit, zda se jedná o nezavalený porub, chodbu či křižování chodeb.

a) Zával osamělého porubu

K obnovení rovnováhy dojde v okamžiku, kdy závalový materiál vyplní volný prostor porubu a závalové těleso.

b) Zával chodby

K obnovení rovnováhy dojde v okamžiku, kdy zával vyplní chodbu, závalové těleso a části chodby, kde dojde k vniknutí závalu pod jeho sypným úhlem.

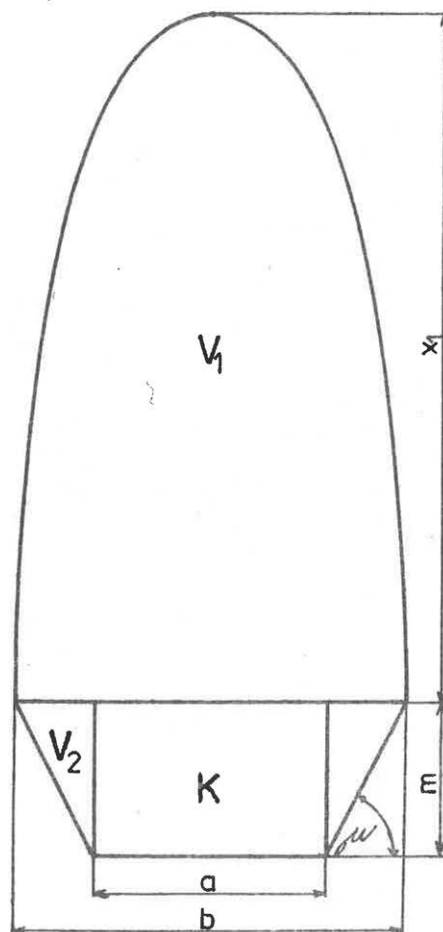
c) Kříž chodeb

K obnovení rovnováhy dojde v okamžiku, kdy zával vyplní kříž a části chodeb kam zával vnikne pod sypným úhlem.

Výpočet mezního dosahu závalového tělesa.

a) Porub

obr. 1



kde

x_1 = výška závalového tělesa

m = výška porubu

μ = zálomový úhel (70°)

a = šířka porubu

V_1 = objem závalového tělesa

V_2 = objem rozvolněných boků

K = objem porubu

k_n = koeficient nakypření

Z obr. č. 1 je patrné, že podmínku rovnováhy objemů lze vyjádřit vztahem:

$$V_1 \cdot k_n + V_2 \cdot k_n = V_1 + K + V_2 \quad (3)$$

$$V_1 = \frac{V_2 (1 - k_n) + K}{(k_n - 1)} \quad (4)$$

Pro jednotlivé objemy platí vztahy:

$$V_1 = \frac{1}{2} \pi \cdot r^2 \cdot x_1$$

$$V_2 = 0,5 \, m^2 \cdot a \, \operatorname{tg} (90 - \mu) \quad (5)$$

$$b = a + 2 \, m \, \operatorname{tg} (90 - \mu) \quad (6)$$

$$K = \frac{a + b}{2} \cdot a \cdot m \quad (7)$$

$$r = \sqrt{\frac{a + 2m \operatorname{tg} (90 - \mu)^2}{\pi}} \quad (8)$$

V případě komorového porubu odpadá objem V_2 , jelikož dochází k jeho vytěžení ještě v průběhu jeho životnosti.

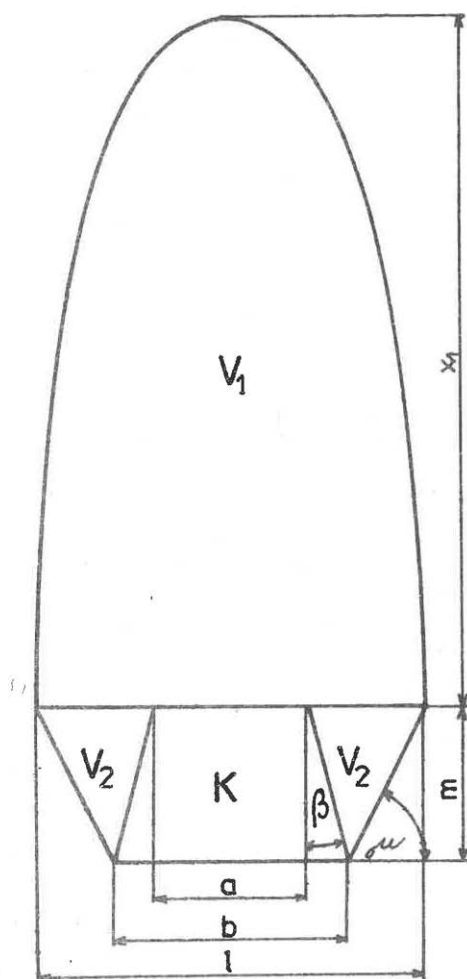
Mezný obsah závalu (x_1) lze tedy vyjádřit vztahem

$$x_1 = \frac{K}{1,571 r^2 (k_n - 1)} \quad (9)$$

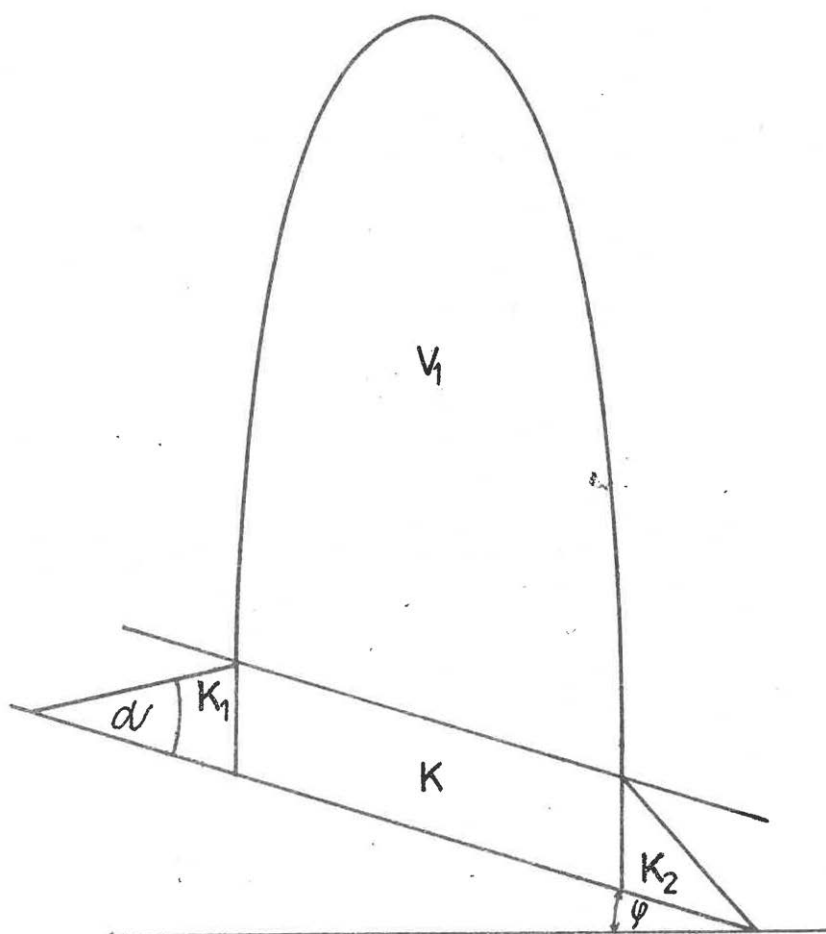
b) Zával chodby

Vzhledem k tomu, že se jedná o starou důlní činnost, je uvažováno o geometrických tvarech chodeb charakteristických pro dřevěnou výztuž.

obr. 2a



obr. 2b



Použité symboly

- a = šířka důlního díla ve stropě
 b = šířka důlního díla v počvě
 β = úklon výztuže od vertikály (10^0)
 α = sypný úhel závalového materiálu
 φ = úklon počvy chodby od horizontály
 K_1, K_2 = objem závalu, který vznikl pod sypným úhlem do nezavalených částí chodeb

Z obr. 2 a, 2 b plynou pro jednotlivé objemy tyto vztahy:

$$K = \frac{a + b}{2} \cdot m \cdot l \quad (10)$$

$$b = a + 2 m \cdot \operatorname{tg} \beta \quad (11)$$

$$l = b + 2 m \operatorname{tg} (90 - \mu) \quad (12)$$

$$V_2 = 0,5 m^2 \cdot l \cdot [\operatorname{tg} \beta + \operatorname{tg} (90 - \mu)] \quad (13)$$

$$K_{1,2} = \frac{(a + b) \cdot m^2}{4 \operatorname{tg} (\alpha \pm \varphi)} \quad (14)$$

proti úklonu chodby platí znaménko -, po úklonu +.

Základnu rotačního paraboloidu (r) vyjádříme pomocí výrazu (12).

$$r = \sqrt{\frac{l^2}{\pi}} \quad (15)$$

Podmínku rovnováhy objemů lze vyjádřit vztahem

$$(V_1 + \sum_1^n V_2) K_n = V_1 + \sum V_2 + K + \sum_1^n K_1 \quad (16)$$

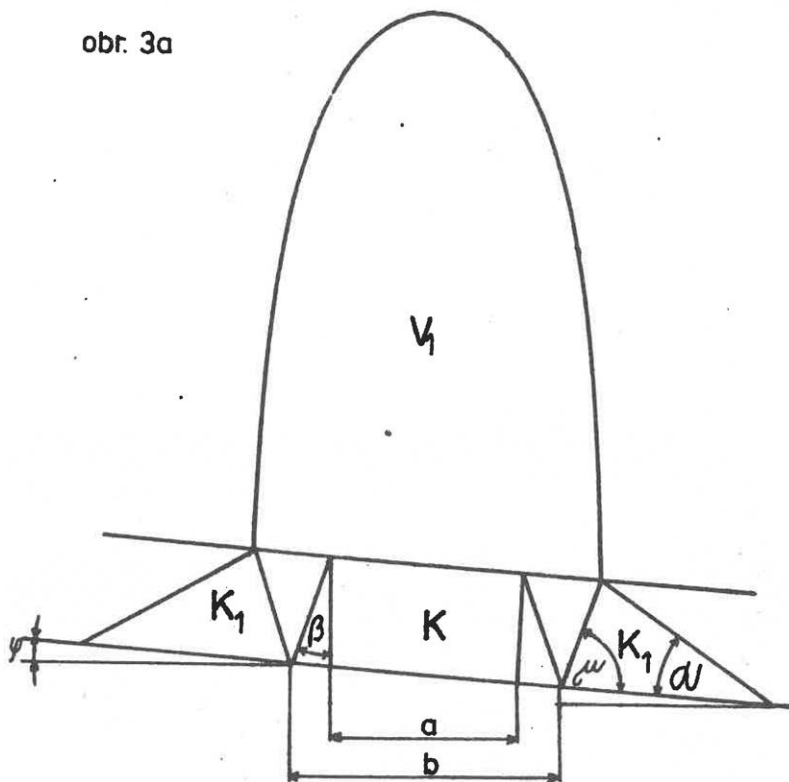
Nahradíme-li objem (V_1) výrazem pro objem rotačního paraboloidu, pak po úpravě dostaneme

$$x_1 = \frac{\sum_{1-n} V_{1-n} (1 - k_n) + K + \sum_1^n K_1}{1,571 \cdot r^2 \cdot (k_n - 1)} \quad (17)$$

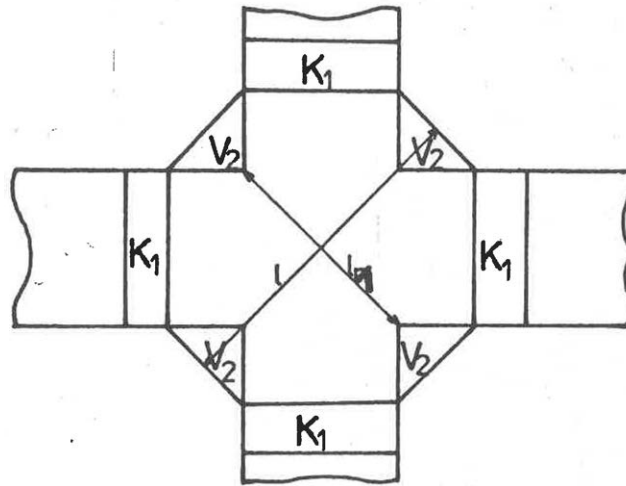
c) Zával kříže důlních chodeb

Při vyšetřování mezního dosahu závalu křížování důlních chodeb je nutné si uvědomit, že ještě v průběhu životnosti dochází k vylomení boků, takže odpadají objemy V_2 .

obr. 3a



obr. 3b



Z obrázků 3a, 3b je patrné, že změnu doznávají pouze výrazy pro výpočet K a l .

Objem nepravidelného komolého osmibokého hranolu lze s dostatečnou přesností nahradit objemem komolého kužele

$$l = \sqrt{2 ab^2} + 2 m \cdot \operatorname{tg} (90 - \mu) \quad (18)$$

$$r = \sqrt{\frac{l^2}{\pi}} \quad (15)$$

$$l_1 = \sqrt{2 b'^2} \quad (19)$$

$$r_1 = \sqrt{\frac{l_1^2}{\pi}} \quad (15)$$

$$K = \frac{1}{3} \pi (r^2 + r \cdot r_1 + r_1^2) m \quad (20)$$

Mezný dosah závalu lze vypočítat ze vztahu

$$x_1 = \frac{K + \sum_{1-n}^n K_{1-n}}{1,571 r^2 (k_n - 1)} \quad (21)$$

Tímto je tedy vyšetřen mezný dosah závalového tělesa pro uvažované případy, v okamžiku kdy dojde k závalu. Zbývá tedy vyšetřit mezný dosah závalu v závislosti na konsolidačním procesu uvnitř závalového tělesa.

Vliv konsolidace sypaniny na mezný dosah závalového paraboloidu

Konsolidace uvnitř závalového tělesa je vyvolaná vahou zeminy. Proto se daly s výhodou použít výsledky měření na velkorozměrovém smykači ve VÚHU v Mostě. Váha zeminy byla v pokusném zařízení simulována hydraulickým válcem vyvažující tlak 0,8 MPa, což při objemové váze sypaniny 1,43 t/m³ reprezentuje výšku zeminového sloupce 55,94 m, což je pro danou problematiku plně vyhovující.

Výsledky měření jsou uvedeny v tabulce č. 1.

Tabulka 1

MPa	1. řez = 1,98			2. řez = 2,00			3. řez = 2,00		
	h	γ	k_n	h	γ	k_n	h	γ	k_n
0,00	0,00	1,43	1,385	0,00	1,33	1,504	0,00	1,32	1,515
0,1	6,99	1,49	1,329	7,51	1,40	1,429	7,57	1,37	1,460
0,2	13,98	1,58	1,253	15,04	1,48	1,351	15,15	1,46	1,370
0,3	20,97	1,66	1,193	22,55	1,56	1,282	22,72	1,54	1,299
0,4	27,97	1,70	1,165	30,75	1,63	1,227	30,30	1,60	1,250
0,5	34,96	1,75	1,131	37,59	1,68	1,190	37,88	1,65	1,212
0,6	41,96	1,78	1,112	45,10	1,71	1,170	45,45	1,70	1,176
0,7	48,95	1,81	1,094	52,60	1,75	1,143	53,03	1,74	1,149
0,8	55,94	1,82	1,088	60,15	1,78	1,124	60,60	1,77	1,130

Hloubkové rozpětí jednotlivých řezů je á 20 m.

Změny koeficientu nakypření (k_n) sypaniny vlivem zatížení a tedy i závalu uvnitř závalového tělesa lze vyjádřit polynomem ve tvaru

$$k_n' = 1,384806 - 1,114191 \cdot 10^{-2} \cdot H' + 1,300090 \cdot 10^{-4} \cdot H'^2 - 4,661871 \cdot 10^{-7} \cdot H'^3 \quad (22)$$

Proti konsolidační síle vyvolané vahou zeminového sloupce působí tření závalového materiálu na stěnách závalového tělesa.

Třecí sílu (T) vyjadřujeme vztahem

$$T = (G \sin \alpha - G \cos \alpha \cdot f) \cos \alpha \cdot f \quad (23)$$

Redukovaná výška (H) sloupce zeminy, způsobující konsolidaci pak odpovídá vztahu

$$\gamma H' = \gamma H - \gamma H (\sin \alpha - \cos \alpha \cdot f) \cos \alpha \cdot f \quad (24)$$

kde

H x_1 = výška závalového tělesa

α = sypný úhel závalového materiálu (35°)

γ = objemová váha sypaniny = $1,43 \text{ t/m}^3$

f = koeficient tření na stěnách závalového tělesa (0,35)

Vzhledem k tomu, že α a f jsou konstanty, lze vztah (24) upravit do tvaru

$$H' = 0,918 H \quad (25)$$

Nyní tedy známe průběh změn koeficientu nakypření (k_n') v závislosti na výšce závalového tělesa (x_1).

Zbývá vyšetřit objemy, které se zúčastní konsolidačního procesu.

a) Zavalený porub

Z obrázku č. 1 je patrné, že konsolidačního procesu se zúčastní objem V_1 a K .

$$K' = \frac{[a + 2m \cdot \operatorname{tg}(90 - \alpha)] \cdot m \cdot a}{2} \quad (26)$$

Ze vztahu (22) pomocí hodnoty x_1 vypočítáme nový koeficient nakypření (k_n').

Rovnováhu objemů po konsolidačním procesu lze pak vyjádřit vztahem

$$V_1' \cdot k_n' = V_1 + (V_1 + K')(k_n - k_n') + K \quad (27)$$

$$V_1' = \frac{(V_1 + K')(k_n - k_n') + V_1 + K}{k_n'} \quad (28)$$

Dosah závalu po konsolidaci (x_1) vyjádříme vztahem

$$x_1' = \frac{V_1'}{1,571r^2} \quad (29)$$

b) Chodba

Konsolidačního procesu se zúčastní objem V_1 a K' , který odpovídá vztahu

$$K' = \frac{b + 1}{2} \cdot m \cdot l \quad (30)$$

Dosah závalu po konsolidaci vypočítáme dle vztahů (27), (28), (29).

c) Kříž důlních chodeb

Původní objem kříže důlních chodeb se nemění. Konsolidačního procesu se však zúčastní část objemu K_1 . Tuto část objemu K_1' lze vyjádřit vztahem

$$K_1' = \frac{(a + b) \cdot m^2 \cdot \operatorname{tg} (90 - \alpha)}{4} \quad (31)$$

Dosah závalu po konsolidaci (x_1') vyjádříme vztahy

$$V_1' = \frac{(V_1 + K' + K_1') (k_n - k_n') + V_1 + K}{k_n'} \quad (31)$$

$$x_1' = \frac{V_1'}{1,571r^2} \quad (29)$$

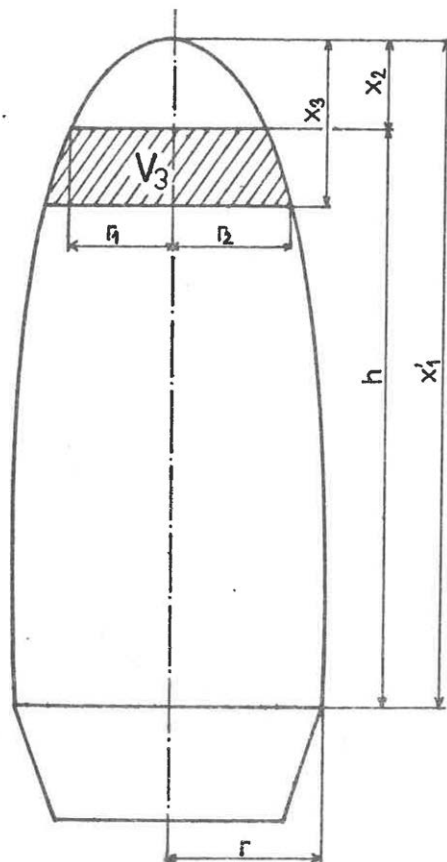
Při návrhu zajištění stavebních objektů proti vlivům staré důlní činnosti je nezbytné znát, zda dojde k vytvoření bodové propadliny a její rozměry. Z předcházejícího rozboru mezního dosahu závalového tělesa je patrné, že bodová propadlina nevznikne tehdy, je-li splněna podmínka

$$x_1' \leq h \quad (32)$$

kde (h) je mocnost nadloží nad stropem důlního díla.

Výpočet rozměrů bodové propadliny

obr. 4



kde

- x_1' = dosah závalu po konsolidaci
- h = mocnost nadloží nad stropem dutiny
- r = poloměr základny závalového tělesa
- V_3 = objem propadliny
- r_1 = poloměr propadliny na povrch
- r_2 = poloměr propadliny při dně

Z obr. č. 4 je patrné, že objem propadliny (V_3) lze vyjádřit vztahem

$$V_3 = 1,571 x_1' \cdot r^2 \cdot k_n - 1,571 h \cdot (r^2 + r_1^2) k_n \quad (34)$$

po úpravě

$$V_3 = 1,571 \cdot k_n \left[x_1' \cdot r^2 - h (r^2 + r_1^2) \right] \quad (35)$$

Poloměr propadliny na povrchu vyjádříme obecnou rovnicí paraboly

$$r^2 = k \cdot x_1' \quad (36)$$

$$x_2 = x_1' - h \quad (37)$$

$$r_1^2 = k \cdot x_2 \quad (38)$$

Hodnotu x_3 získáme řešením kvadratické rovnice a po úpravě dostaneme

$$x_3 = \sqrt{\frac{2(0,5\pi \cdot x_2 \cdot r_1^2 + V_3)}{\pi \cdot k}} \quad (39)$$

Z obr. č. 4 je patrné, že hloubka propadliny (v) odpovídá vztahu

$$v = x_3 - x_2 \quad (40)$$

Poloměr propadliny při jejím dně odpovídá vztahu

$$r_2 = k \cdot x_3 \quad (41)$$

Konečný průměr propadliny (D) po sesvahování jejích stěn

$$D = 2 r_2 + 2v \cdot \operatorname{tg} \angle \quad (42)$$

Pro ilustraci je uveden výpočet ovlivnění stability povrchu při závalu porubu, důlní chodby, kříže důlních chodeb a důlní chodby ražené v úklonu 20° .

a) Zával porubu

$$a = 6,00 \text{ m}$$

$$m = 4,00 \text{ m}$$

$$\mu = 70^\circ$$

$$k_n = 1,385$$

$$h = 12,00 \text{ m}$$

Výpočet

$$r = \sqrt{\frac{[a + 2m \cdot \operatorname{tg} (90 - \mu)]^2}{\pi}} =$$

$$= \sqrt{\frac{(6 + 2 \cdot 4 \cdot \operatorname{tg} 20^\circ)^2}{\pi}} = 5,028 \text{ m}$$

$$K = \frac{a + [a + 2m \operatorname{tg} (90 - \mu)] \cdot a \cdot m}{2} = 178,941 \text{ m}^3$$

$$x_1 = \frac{178,941}{1,571 \cdot 5,028^2 \cdot 0,385} = 11,703 \text{ m}$$

Po konsolidaci

$$H' = 0,918 \cdot 11,703 = 10,74 \text{ m}$$

$$k_n' = 1,253$$

$$V_1 = 464,768 \text{ m}^3$$

$$K' = K = 178,941$$

$$\begin{aligned} x_1' &= \frac{(464,768 + 178,941)(1,385 - 1,253) + 464,768 + 178,941}{1,571 \cdot 5,028^2 \cdot 1,253} = \\ &= 14,643 \text{ m} \end{aligned}$$

Po konsolidaci vznikne propadlina.

Rozměry propadliny

$$\begin{aligned} V_3 &= 1,571 \cdot 1,253 [5,028^2 \cdot 14,643 - (5,028^2 + 2,136^2) \cdot 12] = \\ &= 23,739 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$x_3 = \sqrt{\frac{2(1,571 \cdot 2,643 \cdot 2,136^2 + 23,739)}{\pi \cdot 1,726}} = 3,967$$

$$v = 3,967 - 2,643 = 1,324 \text{ m}$$

$$r = 2,614 \text{ m}$$

$$D = 6,192 \text{ m}$$

b) Důlní chodba

Horizontálně uložená, profil 2,50 x 3,00 m

$$b = 3,00 + 2 \cdot 2,50 \cdot \operatorname{tg} 10^\circ = 3,882 \text{ m}$$

$$l = 3,882 + 2 \cdot 2,5 \cdot \operatorname{tg} 20^\circ = 5,701 \text{ m}$$

$$r = \sqrt{\frac{5,701^2}{\pi}} = 3,217 \text{ m}$$

$$K = \frac{3,00 + 3,882}{2} \cdot 2,5 \cdot 5,701 = 49,043 \text{ m}^3$$

$$V_2 = 0,5 \cdot 2,5^2 \cdot 5,701 (\operatorname{tg} 10^\circ + \operatorname{tg} 20^\circ) = 9,626 \text{ m}^3$$

$$K_1 = \frac{(3,0 + 3,882) \cdot 2,5^2}{4 \operatorname{tg} 40^\circ} = 12,815 \text{ m}^3$$

$$x_1 = \frac{2 \cdot 9,626 (-0,385) + 49,043 + 2 \cdot 12,815}{1,571 \cdot 3,217^2 \cdot 0,385} = 10,747 \text{ m}$$

Po konsolidaci

$$V_1 = 1,571 \cdot 10,747 \cdot 3,217^2 = 174,704 \text{ m}^3$$

$$H' = 0,918 \cdot 10,747 = 9,866 \text{ m}$$

$$k_n' = 1,385 - 1,114 \cdot 10^{-2} \cdot H' - 1,300 \cdot 10^{-4} \cdot H'^2 - 1,602 \cdot 10^{-7} \cdot H'^3$$

$$K' = \frac{3,882 + 5,701}{2} \cdot 2,5 \cdot 5,701 = 68,291 \text{ m}^3$$

$$V_1' = \frac{V_1 + K' + (V_1 + K') (k_n - k_n')}{1,262}$$

$$V_1' = \frac{174,704 + 68,291 + (242,995) (1,385 - 1,262)}{1,262} = 216,231 \text{ m}^3$$

$$x_1' = \frac{216,231}{1,571 \cdot 3,217^2} = 13,302 \text{ m}$$

Rozměry propadliny

uvažované nadloží

$$h = 12,50 \text{ m}$$

$$k = 0,778$$

$$x_2 = 0,802$$

$$r_1 = 0,790 \text{ m}$$

$$V_3 = 1,571 \cdot 1,262 [3,217^2 \cdot 13,302 - (3,217^2 + 0,79^2) \cdot 12,5] = 0,993 \text{ m}^3$$

$$x_3 = \sqrt{\frac{2(1,571 \cdot 0,802 \cdot 0,79^2 + 0,993)}{\pi \cdot 0,778}} = 1,199$$

$$v = 0,397 \text{ m}$$

$$D = 1,932 + 2 \cdot 0,397 \cdot \tan 35^\circ = 2,487 \text{ m}$$

c) Křižování důlních chodeb

Horizontální uložení, profil 2,50 x 3,00 m

$$a = 3,00 \text{ m} \quad b = 3,882 \text{ m} \quad m = 2,50 \text{ m} \quad k_n = 1,385$$

$$l = \sqrt{2 b^2} + 2 \cdot m \cdot \tan 20^\circ = 7,310 \text{ m}$$

$$r = \sqrt{\frac{l^2}{\pi}} = \sqrt{\frac{7,310^2}{\pi}} = 4,124 \text{ m}$$

$$r_1 = \sqrt{\frac{2 b^2}{\pi}} = 3,097 \text{ m}$$

$$K = \frac{1}{3} \pi m (r_1^2 + r + r_1 + r^2) = \frac{1}{3} \pi 2,5 (4,124^2 + 4,124 \cdot 3,097 + 3,097^2) = 103,073 \text{ m}^3$$

$$K_1 = \frac{(a + b) m^2}{4 \tan 40^\circ} = 12,815 \text{ m}^3$$

$$x_1 = \frac{103,073 + 4 \cdot 12,815}{1,571 \cdot 4,124^2 \cdot 0,385} = 15,003 \text{ m}$$

Po konsolidaci

$$V_1 = 400,886 \text{ m}^3 \quad K' = K = 103,073 \text{ m}^3$$

$$K_1' = \frac{a + b}{4} \cdot m^2 \cdot \tan 20^\circ = \frac{3,0 + 3,882}{4} \cdot 2,5^2 \cdot \tan 20^\circ = 3,914 \text{ m}^3$$

$$H' = 0,918$$

$$x_{1'} = 13,773 \text{ m}$$

$$k_n' = 1,206$$

$$V_{1'} = \frac{V_1 + K + (V_1 + K + K_{1'}) (k_n - k_n')}{k_n'} =$$

$$= \frac{400,886 + 103,073 + (503,939 + 4 \cdot 3,914) (1,385 - 1,206)}{1,206} =$$

$$= 494,98 \text{ m}^3$$

$$x_1 = \frac{V_{1'}}{1,571 \cdot r^2} = \frac{494,98}{1,571 \cdot 4,124^2} = 18,526 \text{ m}$$

d) Úpadnice

$$\text{rozměry } 2,50 \times 3,00 \text{ m}$$

$$\text{úklon } \varphi = 20^\circ$$

$$k_n = 1,385$$

$$b = 3,882 \text{ m}$$

$$l = 5,701 \text{ m}$$

$$r = 3,217 \text{ m}$$

$$K = 49,043 \text{ m}^3$$

$$V_2 = 9,626 \text{ m}^3$$

$$K_1 = \frac{(a + b) \text{ m}^2}{4 \text{ tg } (40^\circ - 20^\circ)} = \frac{(3,00 + 3,882) \cdot 2,5^2}{4 \text{ tg } 60^\circ} = 6,208 \text{ m}^3$$

$$K_2 = \frac{(a + b) \text{ m}^2}{4 \text{ tg } (40^\circ - 20^\circ)} = \frac{(3,00 + 3,882) \cdot 2,5^2}{4 \text{ tg } 20^\circ} = 29,544 \text{ m}^3$$

$$x_1 = \frac{2 \cdot 9,626 \cdot (-0,385) + 49,043 + 6,208 + 29,544}{1,571 \cdot 3,217^2 \cdot 0,385} =$$

$$= 12,363 \text{ m}$$

Po konsolidaci

$$H' = 11,349$$

$$k_n' = 1,242$$

$$V_1 = 200,995 \text{ m}^3$$

$$K' = 68,291 \text{ m}^3$$

$$V_1' = 247,827$$

$$x_1' = 15,182 \text{ m}$$

Výpočet dosahu závalu úpadní chodby prokazuje, že úklon důlních děl nelze podceňovat. Toto platí zejména v oblastech při výchozu sloje, kde výskyt úpadnic je pravidlem.

Přínosem nové výpočetní techniky vlivů staré důlní činnosti na stabilitu povrchu je zejména to, že zohledňuje geometrické tvary důlních děl, změny v průběhu závalového procesu a změny koeficientu nakypření vlivem konsolidace uvnitř závalového tělesa.

S h r n u t í

V článku je popsána nová výpočetní metodika vlivů staré důlní činnosti na stabilitu povrchu, stavebních objektů a inženýrských sítí.

Р е з ю м е

Метод расчёта влияний старых подземных выработок на устойчивость поверхности, строительных объектов и инженерских сетей

В статье описывается новая методика расчётов влияний старых подземных выработок на устойчивость поверхности, строительных объектов и инженерских сетей.