

Ing. Antonín H i l s e, VÚHU

Modelování závalového procesu pomocí teorie zásobníků

Některé pochody, jimiž vzniká závalové pole dobývací metody komorování v lávkách, možno zjednodušit a poté principiálně znázornit pomocí teorie toku sypkých a balvanitých hmot v zásobnících /Kvapil/.

Především usnadňuje tato teorie představu a přibližně umožňuje i kvantifikaci objemu uhelné hmoty, těžitelné v rámci tzv. stařinového toku v jednotlivých komorových lávkách.

Aplikace některých základních zákonitostí toku hmot v zásobnících na provozní případy těžby závalové zásoby umožňuje tedy též reálné vyčíslení objemu hlušín, které vniknou do uhelné substance při těžbě po závalu komory.

Při různých variantách komorování mohou nastat tyto mezní případy, odlišné množstvím a složením závalové substance:

A/ Jednolávkové komorování

- 1/ s nízkou výrubností v lávce a mohutnými závalovými stropy
- 2/ s vysokou výrubností a slabým závalovým uhelným stro-
pem

B/ Dvoulávkové komorování

- a/ v první lávce - s nízkou výrubností
- s vysokou výrubností
- b/ ve druhé lávce - s vysokým podílem uhelné substance
- s nízkým podílem uhelné substance

C/ Tři a vícelávkové komorování: jako dvoulávkové.

Ve 3. a dalších lávkách bývá již vždy vlivem propadu zbytkový podíl uhelné substance větší než 50% kubatury lávky.

Jednotlivé varianty jsou maximální měrou závislé na přítomnosti nebo nepřítomnosti tzv. vrchní sloje, tvořené méně kvalitním propláستkovým uhlím. Územní rozšíření této sloje je

značné - v centrální části pánve mezi Mostem a Bílinou. Tam, kde málo pevná vrchní sloj nemůže tvořit bezpečnou ochrannou vrstvu porubním prostorům, nutno ochranný /závalový/ strop ponížít do pevných uhelných vrstev hlavní sloje. Tímto ponížením tedy vzniká ve stropě komor první lávky často i mnohametrová uhelná vrstva, která po závalu zaplní porubní prostory do značné výšky. Důsledkem tohoto zaplnění porubních prostorů uhelnou zásobou je zmenšení prostoru, který zbývá po závalu komory pro nadložní hlušiny.

Při dalším postupu hlubinné dobývací technologie záleží na době, kdy byla první komorová lávka rubána a na průměrné kvalitě stropních závalových uhelných vrstev. Tyto faktory ovlivňují těžitelnost závalové zásoby. Při přísných nárocích na kvalitu těžby v hlubinných dolech nebyla většinou tato zásoba v dřívějších dobách těžena.

Pokud však bylo možno po závalu komory 1. lávky těžít ještě závalové uhlí, ať již s ručním nebo mechanizovaným nakládáním, lze toto množství uhelné zásoby zhruba odvodit.

S výhodou možno pro odvození použít teorie zásobníků /Kvapil/, která byla sice opracována před více než 20 lety, avšak díky četným modelovým pokusům a serióznímu zpracování jejich výsledků, možno ji pro náš účel považovat za vhodnou a spolehlivou.

Schema komorového porubu s mohutnými stropy před a po závalu je znázorněno v příl. č. 1. Příklad těžby z ústí zavaleného komorového porubu možno považovat za vypouštění zásoby z jednostranného zásobníku se šterbinovou výpustí. V úseku uzávěru /ústí porubu/ je závalová zásoba uzavřena pouze šikmou rovinou svého přirozeného sklonu.

Ve schematu je vykreslen porub před závalem s dosud neprolomenými stropy a porub po závalu. V porubu po závalu je znázorněna fáze, kdy po odtěžení určitého množství uhelné zásoby ze závalových stropů začne do těžby /v ústí/ pronikat závalový jíl. Tato fáze tedy představuje ukončení těžby ze zá-

valu.

Případ možno teoreticky považovat za tok sypké hmoty, jejíž vrstva není výškově omezena. V praxi je ovšem sypká hmota dvojitá - jednak uhelná hmota závalových stropů, jednak nadložní hlušínový zával, který možno považovat za výškově neomezený.

Protože těžit možno jen uhelné hmoty, jde o to, určit při jakém množství vytěženého uhlí začal do těžby vnikat nadložní jíl.

Podle obecných poznatků o pohybu sypké hmoty dochází v prostoru nad výpustí ke dvěma druhům pohybu částic:

Primární pohyb se uskutečňuje v rozsahu elipsoidu primárního pohybu, sekundární v rozsahu podstatně menšího elipsoidu sekundárního pohybu /oba jsou v obr. 1 znázorněny/.

Primární pohyb vykonává celé společenství zrn současně, ve svislém směru. Sekundární pohyb konají jen ty částice, které mají kromě primárního ještě svůj samostatný pohyb, při němž se zrna sbližují, tj. zmenšuje se jejich vzájemná vzdálenost ve vodorovném směru.

Na základě modelových pokusů je patrné, že ne všechny částice v rozsahu spodní části elipsoidu primárního pohybu se dostanou do výpustě /těžby/. Prostor, z něhož částice skutečně odtékají, je tvořen tzv. nálevkou odtoku /obr. 1/. Vně nálevkovitého rotačního tělesa zůstávají částice bez pohybu. Proto objem nálevky současně reprezentuje objem zásoby, odtěžené po závalu porubu.

Nálevka odtoku má stopu svého vrchního okraje na vodorovném řezu elipsoidem primárního pohybu - v tečném bodě vrcholu elipsoidu sekundárního pohybu. Vstupní okraj nálevky tvoří kružnice o poloměru y_r .

Z modelových pokusů byly odvozeny základní objemové relace i rozměry jednotlivých rotačních těles.

Objem elipsoidu prim.pohybu

$$V_I = 2,0944 h_I b_I^2 \quad /1/$$

kde a_I = hlavní poloosa elipsoidu

b_I = délka vedlejší poloosy

h_I = výška elipsoidu = $2a_I$

$$\text{potom} \quad b_I = \sqrt{\frac{V_I}{2,0944 h_I}} \quad /2/$$

Objemy elipsoidu byly zjišťovány pro různé zrnitosti zásoby a výšky elipsoidu - viz obr. 2. Protože podle obr. 1 a 3 je výška nálevky odtoku rovna výšce elipsoidu sekundárního pohybu h_{II} , znamená to, že pokud je h_{II} větší než výška vrstvy uhelné zásoby, dochází již k vytékání hlušiny, tedy k těžbě směsi uhlí - hlušiny. Podíl hlušiny s dalším postupem těžby od této fáze rychle stoupá, takže těžbu nutno zastavit.

Je tedy možno položit objem zásoby, vytěžené po závalu komory 1. lávky za rovný objemu nálevky odtoku. Pro výpočet tohoto objemu jako rotačního tělesa nemáme dostatek údajů pro definování tvořící křivky. Dosti přibližně však možno tento objem /nálevky, vysoké h_{II} / nahradit objemem komolého kužele o základnách poloměrů r a $b_{II}/2$ a výšky a_{II} . Z obr. č. 3 je patrné, že chyba, vzniklá tímto zjednodušujícím předpokladem nedosáhne ani 10% celého objemu nálevky odtoku.

Pro vyčíslení objemu těžby po závalu komory tedy potřebujeme znát:

Ø výšku závalové zásoby = h_{II} = výšce elipsoidu sek. pohybu.

Objem elipsoidu sek. pohybu V_{II} odvodíme z grafu v příloze č. 2 pro zrnitost 150 mm /max./.

Vycházejme dále z podobnosti elipsoidů prim. a sek. pohybu.

Můžeme psát:

$$\frac{h_I}{2} : \sqrt{\frac{V_I}{2,0944 \cdot h_I}} = a_{II} : \sqrt{\frac{V_{II}}{62,832 a_{II}}} \quad /3/$$

Řešením je délka hlavní poloosy elipsoidu sek. pohybu
 $V_I \approx 15 V_{II}$:

$$a_{II} \approx 0,203 h_I \quad /4/$$

$$\text{Výška elipsoidu } h_{II} = 2 a_{II} = 0,406 h_I$$

Z další rovnice podobnosti ve tvaru:

$$\frac{h_I}{2} : \frac{\sqrt{V_I}}{\sqrt{2,0944 h_I}} = \frac{V_I}{62,832 \cdot b_{II}^2} : b_{II} \quad /5/$$

dostaneme pro poloosu b_{II} :

$$b_{II} \approx 0,28 \sqrt{\frac{V_I}{h_I}} \quad /6/$$

Poloosu b_{II} = určíme z výrazu

$$b_{II} = \sqrt{\frac{V_{II}}{2,0944 h_{II}}} \quad /7/$$

Poloměr nálevky odtoku

$$r \approx (h_I - h_{II}) \cdot h_{II} \cdot (1 - \xi^2) \quad /8/$$

$$\text{Kde numerická výstřednost } \xi = \frac{a^2 - b^2}{a^2} \quad /9/$$

Uvedené vztahy platí v případě zásobníků souměrných, tj. s výpustí ve středu půdorysné plochy zásobníku /komory/. Tam se mohou vytvořit celá rotační tělesa pohybu hmot.

V jednostranném zásobníku, kterému je analogická komora podle obr. 1, brání stěna komory nad ústím vzniku celých elipsoidů pohybu. Jak znázorněno, je elipsoid sek. i prim. pohybu useknut svislou stěnou komory nad ústím, takže pohyb zásoby se realizuje jen v cca 1/2 elipsoidu sek. pohybu. Odklon osy elipsoidu sek. i prim. pohybu směrem dovnitř komory je max. $3^\circ - 3,5^\circ$ /Kvapil/, což možno zanedbat. Modelové pokusy dále prokázaly, že rozměry i numerická výstřednost elip-

soidů se přes uvedené useknutí nemění oproti elipsoidům, jejichž vývin není omezen stěnami zásobníku /komory/.

Příklad přibližného výpočtu objemu vytěžitelné závalové zásoby

Jak je uvedeno na obr. 3, možno objem nálevky odtoku přibližně nahradit objemem komolého rotačního kužele se základnou o poloměru y_r a výškou a_{II} , při čemž vrchol základního kužele má výšku v . Poloměr menší základny položíme $\frac{b_{II}}{2}$. Výšku v odvodíme z podobnosti trojúhelníků:

$$\frac{b_{II}}{2} : /v - a_{II}/ = y_r : v \quad /10/$$

$$\text{z toho} \quad v = \frac{-2y_r \cdot a_{II}}{b_{II} - 2y_r} \quad /11/$$

Potom objem náhradního komolého kužele:

$$0 = \frac{1}{3} \left[\pi y_r^2 v - \frac{\pi b_{II}^2}{4} /v - a_{II}/ \right] \quad /12/$$

Ve výrazu /12/ známe h_{II} = výšce závalové zásoby, z výrazu /7/ odvodíme b_{II} , z výrazu /4/ vyčíslíme h_I a a_I . Poloměr nálevky odtoku y_r možno vyčíslit z výrazů /8/ a /9/.

Numerický příklad:

Volme výšku nakypřené závalové zásoby stropů např.

$$h'_{II} = 8 \text{ m}$$

při nakypření $K = 1,1$

potom výšku nenakypřeného uhelného závalu

$$h_{II} = \frac{h'_{II}}{K} = \frac{8 \text{ m}}{1,1} = 7,27 \text{ m}$$

$$\text{poloosa } b_{II} = \sqrt{\frac{v_{II}}{2,0944 h_{II}}}, \text{ hodnotu } v_{II} = \text{objem elip-}$$

soidu sek. pohybu odečteme z grafu v příloze č. 2. Zr-
nitost volíme maximální - což sice nevystihuje přesně

skutečnost /viz dále/, ale nejvíce se jí blíží.

Pro výšku $h_{II} = 7,27 \text{ m}$ - zrnitost 150 mm odpovídá $V_{II} = 44 \text{ m}^3$

$$\text{Potom } b_{II} = \sqrt{\frac{44}{2,0944 \cdot 7,27}} = 1,7 \text{ m}$$

$$\text{výstřednost } \xi = \sqrt{\frac{a_{II}^2 - b_{II}^2}{a_{II}^2}} = \sqrt{\frac{3,635^2 - 1,7^2}{3,635^2}} = 0,885 \text{ m}$$

$$\text{výška prim. elipsoidu } h_I = \frac{h_{II}}{0,406} = \frac{7,27}{0,406} = 17,9 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{poloměr nálevky odtoku } y_r &= \sqrt{h_I - h_{II} / h_I / 1 - \xi^2} = \\ &= \sqrt{17,9 - 7,27 / 7,27 / 1 - 0,885^2} = \\ &= 4,09 \text{ m} \end{aligned}$$

$$v = \frac{-2y_r \cdot a_{II}}{b_{II} - 2y_r} = \frac{-2 \cdot 4,09 \cdot 3,635}{1,7 - 2 \cdot 4,09} = 4,59 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Objem náhr. rot. tělesa } O &= \frac{1}{3} \left[\pi y_r^2 v - \frac{\pi b_{II}^2}{4} / v - a_{II} / \right] = \\ &= \frac{1}{3} \left[3,14 \cdot 4,09^2 \cdot 4,95 - 3,14 \frac{1,7^2}{4} / 4,59 - 3,635 / \right] = 79,8 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Objem cca 1/2 nálevky bude tedy cca 40 m^3 , což reprezentuje množství čisté uhelné zásoby, které možno ještě teoreticky vytěžit z ústí komory po jejím závalu.

Vypočtené teoretické množství je tedy v poměru k substanci 1 komorového bloku velmi malé. Například v porubě závalové výšky 8 m, tedy včetně všech uhelných stropů $8 \text{ m} + 7,27 \text{ m} = 15,27 \text{ m}$ a při dělení 12 m bude celkový blok jedné komory cca $B = 12 \text{ m} \cdot 12 \text{ m} \cdot 15,27 \text{ m} = 2\,200 \text{ m}^3$

Z tohoto objemu činí podíl závalové těžitelné zásoby jen $\frac{40 \text{ m}^3}{2\,200 \text{ m}^3} \cdot 100 \% = 1,82 \% B$

Protože se však výrubnost obvykle počítá bez vrchní sloje, tedy jen z mocnosti lávky P_c uhlí včetně /pevného/ ochranného stropu cca $8 \text{ m} + 0,2 \cdot 8 \text{ m} = 9,6 \text{ m}$, bude blok pro vý-

počet výrubností $B \approx 144 \text{ m}^2 \cdot 9,6 \text{ m}^2 = 1\,384 \text{ m}^3$.

Podíl závalové zásoby bude $\frac{40 \text{ m}^3}{1\,384 \text{ m}^3} \cdot 100 \% = 2,9 \%$,

tedy necelá 3 procenta ze substance 1. lávky.

Uvedený příklad uvažuje poměrně značnou mocnost vrchní sloje - $7,27 \text{ m} - 1,8 \text{ m} = 5,47 \text{ m}$.

Při menších mocnostech budou těžby ze závalu pochopitelně menší. Při výrubnosti 1. lávky okolo 50 % činí tedy podíl závalové zásoby cca $\frac{40}{1\,384 \cdot 0,5} = 5,8 \%$ z celkové 50 % výtěžnosti, zbytek z celkové výtěžnosti byl odtěžen před závalem komory. Výjimku tvoří případy, kdy se po prolomení ochranného uhel. stropu nadložní méně kvalitní uhelné vrstvy jen postupně vylamují, tedy např. porubní prostor zůstává ještě otevřený a napadanou zásobu možno těžít výsuvnými žlaby /jen cca po r. 1960/.

Ve spodních lávkách 2 a vícelávkového komorování budou při těžbě ze závalu podmínky poněkud odlišné.

Těžby ze závalu se již zúčastní i části rozdrčených a při závalu pokleslých mezipilířů komor i část závalové zásoby z 1. lávky, která propadne po závalu do komor 2. eventuálně dalších spodních lávek.

Podle vzájemné půdorysné polohy komor 1. a 2. lávky je zde prostorové uspořádání zbytkové uhelné substance zcela nepravidelné a různé a nelze je již schematizovat. Je ovšem evidentní, že podíl těžby závalového uhlí v celkové výtěžnosti 2. lávky příp. dalších bude vždy větší, než podíl v lávce 1. Je to způsobeno propadem uhelné substance z 1. do 2. lávky, kterým se sníží zbytková substance v 1. lávce a naopak zvýší v lávce 2. ev. další.

Skutečně hlubinně vytěžené množství závalové zásoby je dále odvislé od přítomnosti velkých kusů, až bloků uhlí, které vytvářejí vzpěrné klenby a umožní tak odtěžení drobnější zásoby, která mezi bloky protéká až do té doby, než se klenba zbortí, nebo vytvoří nová klenba z výše v závalu uložených bloků.

Zvláště typické jsou popsány jevy při komorování v podsednutí starých komor, kde mohutné závalové stropy a kusy až balvany z mezipilířů dovolí v některých případech i dlouhodobou těžbu převážně drobného závalového uhlí.

Praktickým důsledkem teoreticky odvozeného nízkého podílu hlubinně vytěženého závalového uhlí v 1. lávce je poznatek, že ani při velké mocnosti stropů komor /včetně vrchní sloje/ není tento podíl podstatný, takže téměř všechna zásoba ze stropů zůstává na počvě 1. lávky. Podíl hlušin v prostoru nálevky odtoku, rovný vytěžené závalové zásobě, je proto rovněž velice malý.

Při menší výšce 2. lávky /než lávka 1./ dochází tedy při závalu této lávky k propadu značné části vysoké vrstvy uhelné závalové zásoby, která zůstala v 1. lávce nevytěžena, do prostorů komor lávky druhé. Protože současně dochází k poklesům mezipilířů komor, tedy i původní hlavy sloje, zmenšuje se prostor pro hlušiny i v první komorové lávce.

Tento jev je pro následnou těžbu lomem velice příznivý, neboť dochází ke koncentraci uhelných objemů především ve spodních lávkách a ke snižování podílu výklizu ve spodních lávkách oproti lávce první, kde je vždy podíl výklizu největší. Případy, kdy je možno těžít téměř všechnu substanci uhelného řezu v rozsahu 2. až 3. komorové lávky bez výklizu, aniž by došlo k neúnosnému znečištění těžby jsou známe a běžné /VMG I. a II. aj./

Naopak se chová závalové pole bez výskytu vrchní sloje tj. bez mohutných závalových stropů /oblast Gottwald až Ústí n/L./. Zvláště při vysoké výrubnosti nízkých komorových lávek je zbytková závalová zásoba malá a po propadu do 2. lávky nezůstane v bývalém rozsahu 1. lávky téměř žádná uhelná substance. /CHabařovice/. Je zde proto vysoký podíl výklizu. Ve 2. lávce je nabohacení stařin propadem z lávky první nízké, takže se těžba realizuje ještě se značným podílem výklizu i znečištěním těžby hlušinami.

V souvislosti s uvedenými charakteristickými jevy nutno se ještě vrátit k extrémnímu případu vysokého nabohacení spodních komorových lávek propadem uhelné zásoby z lávek vrchních.

Podmínkou tohoto případu jsou mohutné závalové uhelné vrstvy v nadloží 1. komorové lávky. Jsou-li tyto vrstvy - propadem ještě nakypřené - mocnější, než výška porubních prostorů 2. lávky, zaplní zcela tyto prostory a vrchní část závalových stropů zůstane dokonce ještě ve výškovém rozsahu lávky první, jak znázorněno na obr. č. 4.

Při těžbě závalové zásoby po závalu 2. lávky vznikne do uhelné vrstvy této zásoby jen malý objem hlušin z nadložního závalu /nálevka odtoku/. Při výpočtu zbytkové uhelné substance pro propadu nelze v tomto případě použít konstantní koef. propadu, neboť mnohdy by se teoreticky vyčíslený propadový objem do volných prostorů 2. lávky nevešel - zbytková uhelná substance po propadu by přesáhla 100 % objemu spodní lávky. Pokud tedy objem uhelného propadu /nakypřeného/ přesahuje velikost volných prostorů spodní 2. až 3. lávky, nutno přesto předpokládat v těchto lávkách přítomnost malého objemu hlušin, odpovídající obsahu nálevky odtoku /celé/, tedy cca do 5-6 % vyjimečně do 10 % celkového objemu 2. /3./ lávky, neboť po závalu komory bylo ještě z ústí těženo.

Tento teoreticky odvozený předpoklad byl potvrzen praxí ve 3. uhelném řezu VMG I., kde byla dobývána spodní část závalového pole 2. lávkového komorování s celkovou mocností 1. lávky 20-25 m včetně méně kvalitních vrstev. Objem výklizů zde byl jen nepatrný - okolo 3 %. V těžbě byl dále přítomen rovněž malý podíl volných hlušin /nebyl objekt. stanoven/, které již byly nevykliditelné.

Popsané případy usnadňují pochopení některých jevů, vznikajících v průběhu procesu zavalování dobývací metody komorování v lávkách. Tyto jevy a jejich správné kvantitativní definování mají zásadní význam při teoretickém vyčíslení těžitelné substance závalových polí. Především je nutno uvedené případy aplikovat při výpočtu zbytkové substance jednot-

livých /bývalých/ komorových lávek, které umožňuje na rozdíl od dosavadních výpočtů těžitelné substance vyčíslení reálných těžeb i výklizu v jednotlivých řezech uhelného lomu.

S h r n u t í

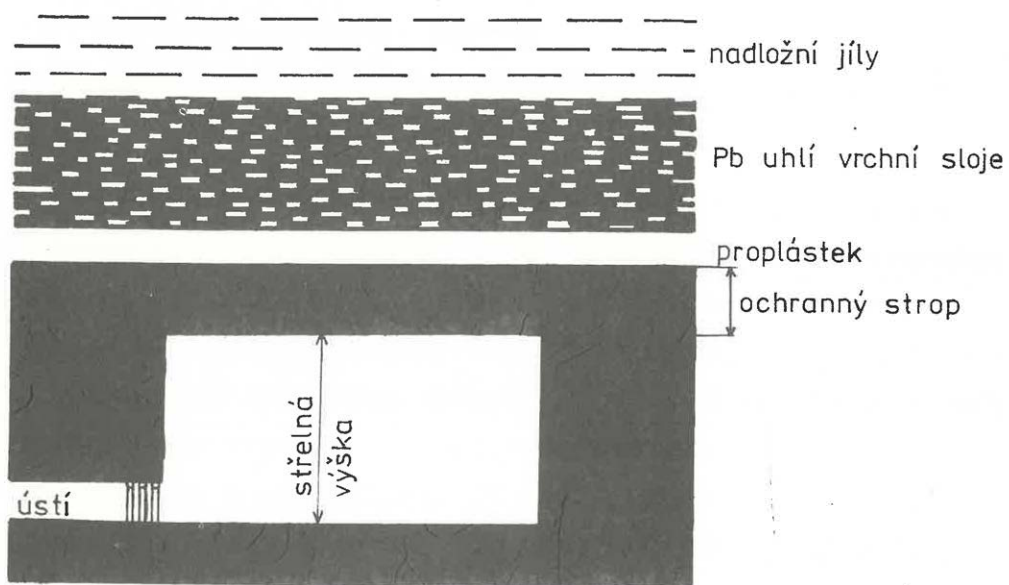
Modelování závalového procesu pomocí teorie zásobníků

Některé fáze pohybu uhlé substance v průběhu závalového procesu a následné těžby závalového uhlí možno znázornit pomocí teorie zásobníků sypaných i balvanitých hmot, zpracované R. Kvapilem včetně modelových pokusů. Aplikace této teorie usnadňuje kvantifikaci objemů zbytkové substance po hlubinném komorování a pomáhá tak upřesnit výpočet lomovým dobýváním těžitelné substance závalových polí.

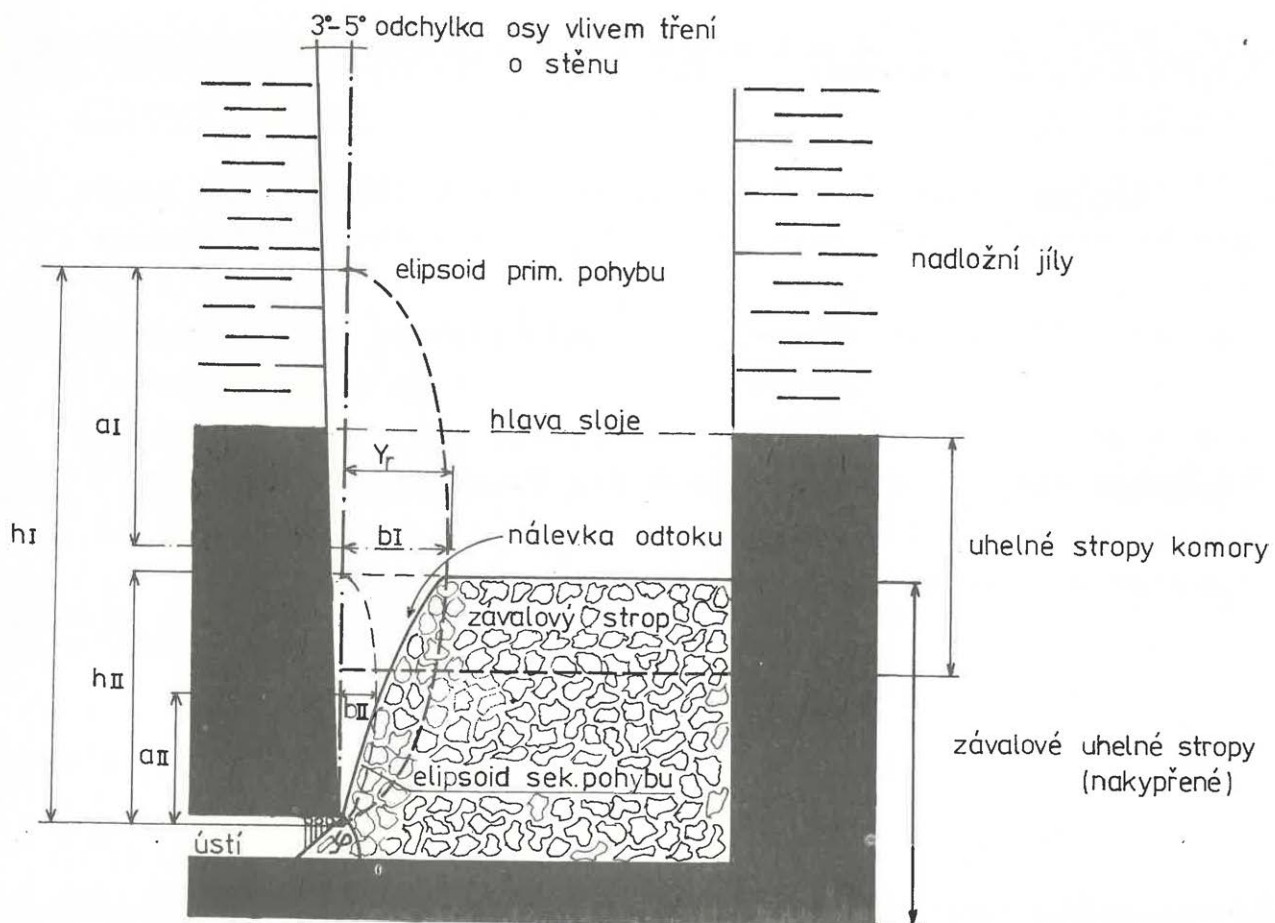
Literatura:

- 1/ Dr. ing. R. Kvapil
Theorie toku sypaných a balvanovitých hmot v zásobnících
SNTL 1955
- 2/ Ing. A. Hilse
Problematika kvantitativních změn zbytkové substance závalových polí na lokalitě VMG I. - Závěrečná zpráva VÚHU XII. 1978
- 3/ Ing. A. Hilse
Výzkum a ověřování spolehlivosti metodiky výpočtů těžitelné substance v závalovém poli Chabařovice - Závěrečná zpráva VÚHU XI. 1980.

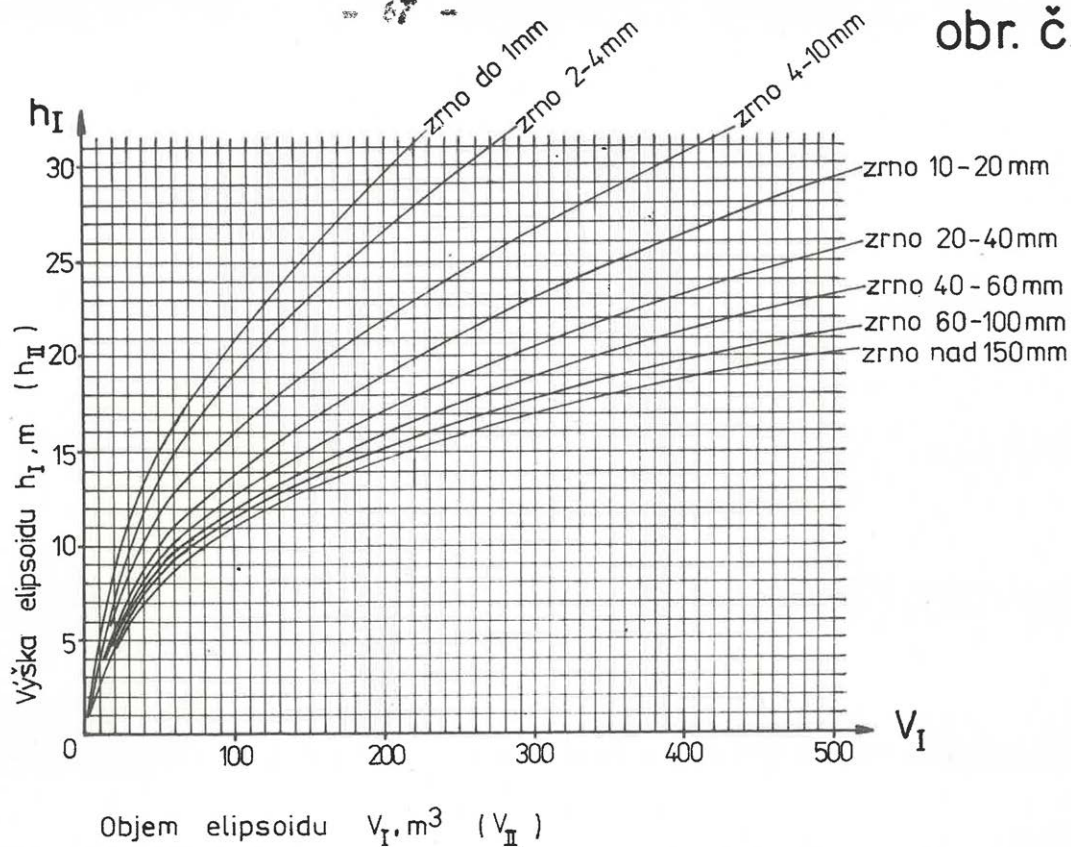
Komora před závalem



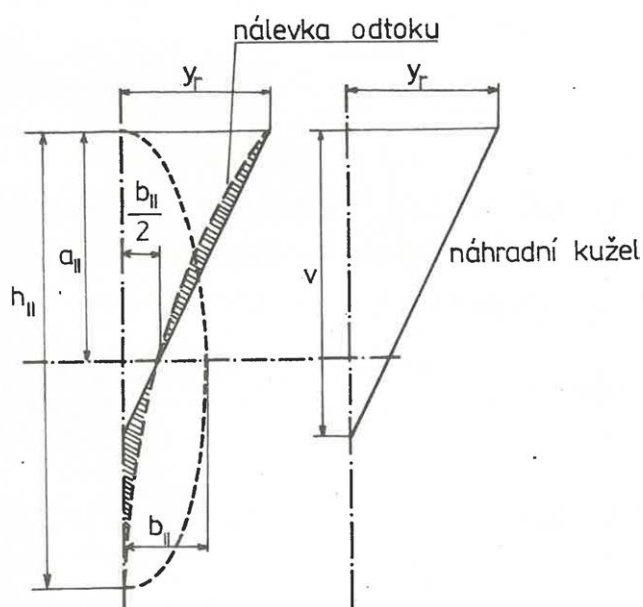
Komora po závalu



obr. č. 2



obr. č. 3



obr. č. 4

