

Pg. Karel H a a s, VÚHU

Hodnocení výsledků kalovacích zkoušek z průzkumných vrtů

Úvod

Postup některých povrchových dolů v SHR do dobývacích prostorů se složitějšími hydrogeologickými poměry je mimo jiné problémy spojen s prováděním podrobného hydrogeologického průzkumu a odvodňováním. V současném období jsou na příklad realizovány průzkumné hydrogeologické práce v předpolí dolů Jan Šverma, VMG, Most a Vršany.

Potřebné hydrogeologické údaje se v rámci průzkumu získávají hydrogeologickým a inženýrsko-geologickým mapováním nebo doplněním geologické mapy hydrogeologickými údaji. Dále pak pozorováním a měřeními hydrogeologických jevů v dolech, otvirkových dílech, na stávajících hydrogeologických objektech a konečně speciálními hydrogeologickými pracemi, mezi něž patří čerpací zkoušky z hydrogeologických průzkumných vrtů.

Kalovací zkoušky

Podle směrnic o provádění hydrogeologického průzkumu uhelných ložisek z roku 1964 se čerpací zkoušky rozdělují podle délky trvání a způsobu realizace na informativní (zpravidla od 6 hodin do 3 dnů), krátkodobé (od 4 dnů do 20 dnů) a dlouhodobé (více než 20 dnů).

Mezi informativní čerpací zkoušky patří tzv. kalovací zkoušky, prováděné těžní lžicí s klapkou (kalovkou) převážně při vrtání nárazovým způsobem na suchu soupravami MV.

Kalovací zkouška se provádí obvykle po naražení významnějšího zvodněného obzoru v průběhu vrtání, při čemž vrt je při čerpání zaplaven technickou pažnicovou kolonou, obvykle o průměrech 406 mm, nebo 355 mm, případně 305 mm. Sonda je při kalovací zkoušce zaplavena nejčastěji do hloubky 1 a 2 m nad počvu, takže podzemní voda při čerpání

přitéká převážně dnem vrtu (obr.1). Méně často se provádějí kalovací zkoušky z definitivně vystrojených vrtů, kdy je celý zvodněný obzor provrtán a vystrojen filtrem.

Objemy používaných kalovek jsou většinou 150 až 200 l, čerpané množství vody při kalovací zkoušce závisí na rychlosti kalování a hloubce hladiny, obvykle činí v průměru 50 až 150 l.min⁻¹.

Cílem kalovacích zkoušek je hlavně určit přibližně vydatnost daného zvodněného obzoru při určitém snížení hladiny, kterého se podaří při kalování dosáhnout a předpovědět maximální vydatnost vrtu. Za jistých okolností je možno z výsledků kalovací zkoušky vypočítat koeficienty filtrace a průtlačnosti. Uvedené parametry slouží hlavně k řízení dalšího postupu vrtání, určení definitivní výstroje vrtu a přípravě krátkodobých a dlouhodobých čerpacích zkoušek. Často jsou výsledky kalovacích zkoušek nejdůležitějším podkladem pro rozhodnutí, zda průzkumný vrt vystrojit jako jímací či pozorovací objekt, nebo zda vrt zlikvidovat jako negativní.

Orientační (velmi přibližný) charakter výsledků kalovacích zkoušek je dán zejména následujícími skutečnostmi:

1. Kalovací zkouška se nejčastěji provádí po naražení zvodněného kolektoru, při čemž je provrtána pouze svrchní část vrstvy, jejíž propustnost může být větší nebo menší, než je průměrná propustnost celého obzoru. Kromě toho vrt funguje z hydraulického hlediska jako neúplný jímací objekt, takže získané údaje o vydatnosti nemusí odpovídat vydatnosti celého obzoru. Tento nedostatek ovšem odpadá u kalovacích zkoušek realizovaných z definitivně vystrojených vrtů.

2. Čerpání vody z vrtu není kontinuální, hladina vody ve vrtu pulsuje a není možno přesně změřit snížení, které odpovídá průměrnému čerpanému množství vody. U velmi dobře propustných obzorů, kdy se snížená hladina rychle vrací, nelze dosažené snížení hladiny zjistit vůbec.

3. Stanovení objemu vyčerpané vody je nepřímé a je zatíženo chybami, které jsou dány drobnými rozdíly v plnění jednotlivých kalovek vodou. Často je kalovkou spolu s vodou vynášen písek a písčitojílovitý materiál, jehož objem nelze prakticky spolehlivě stanovit. Kalovací zkouška z tohoto hlediska plní u definitivně vystrojených vrtů úkol odkalení a odpískování studně.

Náležitosti a způsob provedení kalovací zkoušky

Aby bylo možno kalovací zkoušku vyhodnotit, tj. vypočítat vydatnost Q_0 odpovídající dosaženému snížení hladiny s_0 , případně stanovit koeficienty filtrace a průtočnosti, musí se realizace zkoušky řídit některými zásadami.

Předně je nezbytné před zahájením čerpání vyčistit vrt od usazeného písku a jílovitého vrtného kalu tak, aby byl průchodný pokud možno až na počvu. Dále je nutno změřit ustálenou hladinu podzemní vody a zaznamenat čas zahájení zkoušky.

Čerpání vody kalovkou se provádí obvykle v kalovacích cyklech po deseti kalovkách, pokud možno v pravidelných intervalech, na konci a na počátku každého kalovacího cyklu se zaznamenává čas. V přestávkách mezi kalovacími cykly a na konci posledního cyklu se měří a zaznamenává hloubka hladiny ve vrtu. Počet kalovacích cyklů se řídí dispozicemi hydrogeologa, obvykle se požaduje pět kalovacích cyklů pro jednu zkoušku.

Po ukončení každé kalovací zkoušky se provádí stoupací zkouška až do ustálení hladiny.

Prvotní dokumentace kalovací zkoušky musí obsahovat v souladu s vyhláškou ÚBÚ a ÚBÚ č.j. 1000/62 a pokyny k vyhlášce č.13/72 následující podklady:

1. Záznam o provedení kalovací zkoušky (počty kalovek a stupeň jejich plnění vodou, časové údaje, výsledky měření hladiny na počátku a na konci zkoušky a v intervalech mezi kalovacími cykly).

2. Údaje o rozměrech kalovky, případně její vnitřní objem.
3. Technické údaje o vrtu v době zkoušky (hloubka vrtu, průměr vrtání, průměr a hloubka zapažení technickou kolonou, délka nezapaženého úseku vrtu).

Pokud některé z uvedených údajů v prvotní dokumentaci chybí, což se v praxi bohužel občas stává, nelze kalovací zkoušku vyhodnotit a její hydrogeologický význam je pak velmi problematický.

Vyhodnocení výsledků kalovacích zkoušek

Jak již bylo řečeno, čerpané množství vody při kalovací zkoušce se pohybuje v závislosti na hloubce vrtu a rychlosti kalování v průměru od 50 do 150 l.min⁻¹. Rychlost kalování je dána technickými možnostmi vrtné soupravy a je rovněž ovlivněna subjektivními faktory, tj. vrtnou osádkou, která zkoušku provádí.

Proto se v praxi stává, že čerpané množství vody je buď menší, nebo větší než maximální přítok podzemní vody do vrtu.

V prvním případě se vrt nepodaří vyčerpat, ale vytváří se po několika kalovacích cyklech stav, který se do určité míry blíží tzv. dynamické rovnováze. Za tohoto stavu je zhruba konstantní množství Q_0 odčerpáváno z vrtu při zhruba konstantním průměrném snížení hladiny s_0 . Nastává tedy situace, kdy průměrné čerpané množství vody z vrtu se zhruba rovná vydatnosti (trvalému přítoku podzemní vody) při dosaženém snížení hladiny. Hodnoty Q_0 a s_0 lze pak přibližně považovat za souřadnice bodu, ležícího na čáře vydatnosti $Q = f(s)$, která prochází počátkem souřadné soustavy (obr.3). Hodnota snížení s_0 se vypočítá z průměrného měření hladiny jako rozdíl mezi hloubkou snížené hladiny a hloubkou ustálené hladiny. Hodnota vydatnosti Q_0 se stanoví výpočtem.

Výpočet přítoku podzemní vody Q_0 z výsledků kalovací zkoušky bývá prováděn různým způsobem. Nejčastěji se podle objemu kalovky a počtu

kalovek vypočítá celkový objem vody, vyčerpaný z vrtu a dělí se dobou kalování. Při tom se zapomíná, že část objemu vyčerpané vody je voda akumulovaná ve vrtu a nikoliv přítok podzemní vody z kolektoru v době čerpání. U méně propustných obzorů a u vrtů velkého průměru může zmi-
něná akumulace vody v sondě při vyhodnocení nepříznivě ovlivnit vý-
sledky zkoušky, pokud se započítá do celkového objemu vytěžené vody.

Z tohoto důvodu a rovněž v zájmu srovnatelnosti výsledků považujeme za účelné při výpočtu vydatnosti Q_0 vycházet ze skutečnosti, že v průběhu kalovací zkoušky je jednak odčerpávána část, případně celý sloupec vody akumulované ve vrtu, jednak voda ze zvodněného kolektoru v okolí sondy. Pouze množství podzemní vody, přitékající v průběhu čerpání ze zvodněného obzoru je zahrnuto pod pojmem vydatnost Q_0 . Vyjadřujeme je jako rozdíl celkového čerpaného objemu vody W_1 během celé kalovací zkoušky a objemu vody W_0 , akumulovaného ve vrtu (v intervalu od ustálené hladiny k úrovni snížené hladiny), dělený celkovou dobou kalovací zkoušky.

$$Q_0 = \frac{W_1 - W_0}{t_0}$$

$$W_1 = n \cdot \pi \cdot r_k^2 \cdot b$$

$$W_0 = \pi \cdot r^2 \cdot s_0$$

$$Q_0 = \frac{\pi (r_k^2 \cdot b \cdot n - r^2 \cdot s_0)}{t_0} \quad /1/$$

n - počet plných kalovek

b - efektivní délka kalovky

r - poloměr vrtu

r_k - vnitřní poloměr kalovky

s_0 - dosažené snížení hladiny na konci kalovací zkoušky

t_0 - doba trvání kalovací zkoušky

V druhém případě, kdy čerpané množství vody převyšuje maximální vydatnost zvodněného obzoru, je vrt vyčerpán "do sucha" a nelze stanovit parametry Q_0 a s_0 . Je možno pouze početně vyjádřit průměrné čerpané množství podzemní vody Q' v době zkoušky podle vztahu:

$$Q' = \frac{\pi (r_k^2 \cdot b \cdot n - r^2 \cdot h_0)}{t_0} \quad /2/$$

kde h_0 - výška vodního sloupce ve vrtu v intervalu od počvy k ustálené hladině.

Hodnota Q' však nerepresentuje trvalý přítok Q_0 , ale je vždy větší.

V diskutovaném případě je účelné kalovací zkoušku opakovat a snížit rychlost kalování, tj. snížit čerpané množství vody, aby bylo dosaženo stavu, blížícího se dynamické rovnováze.

V některých specifických případech je možno podle výsledků kalovací zkoušky vypočítat přibližné hodnoty koeficientů filtrace a průtočnosti.

1. Pro artéské obzory s nižší propustností, kde po skončení kalovacího cyklu nedochází k rychlému vyrovnávání snížené hladiny na původní úroveň, odvodil H.E.Skibitzke (1958), vycházející z Theisových rovnic pro neustálené proudění podzemních vod, zjednodušenou rovnici křivky stoupání hladiny po rychlém vytěžení objemu vody V z artéské studně:

$$s' = \frac{V}{4 \pi \cdot k \cdot M \cdot t} \quad /3/$$

s' - zbytkové snížení hladiny, naměřené po čase t

V - objem podzemní vody, vytěžený ze zvodněného obzoru během kalovacího cyklu

t - čas, který uplynul od středu časového intervalu, během něhož bylo kalováno, do okamžiku měření zbytkového snížení hladiny

k - koeficient filtrace

M - mocnost zvodněného obzoru

Z rovnice /3/ lze lehce vypočítat přibližné hodnoty koeficientu filtrace k a koeficientu průtočnosti T :

$$k = \frac{V}{4\pi \cdot \dot{s} \cdot M \cdot t} \quad /4/$$

$$T = \frac{V}{4\pi \cdot \dot{s} \cdot t} = k \cdot M \quad /5/$$

Je-li zbytkové snížení $\dot{s}$ měřeno až po několika kalovacích cyklech, lze uvažované koeficienty vyjádřit následovně:

$$k = \frac{1}{4\pi \cdot M \cdot \dot{s}} \left(\frac{V_1}{t_1} + \frac{V_2}{t_2} + \dots + \frac{V_n}{t_n} \right) \quad /6/$$

$$T = \frac{1}{4\pi \cdot \dot{s}} \left(\frac{V_1}{t_1} + \frac{V_2}{t_2} + \dots + \frac{V_n}{t_n} \right) \quad /7/$$

kde V_1, V_2, V_n - jsou objemy podzemní vody, vytěžené v jednotlivých kalovacích cyklech

t_1, t_2, t_n - časy, které uplynuly od středů kalovacích intervalů do okamžiku měření zbytkového snížení hladiny $\dot{s}$ na konci zkoušky.

2. V případě zvodněných kolektorů o velké mocnosti několika desítek metrů, s napjatou hladinou podzemní vody, které byly zasaženy průzkumným vrtem jen ve svrchní části, je možno stanovit přibližně podle výsledků kalovací zkoušky koeficient filtrace z Forchheimerovy rovnice, odvozené pro přítok artéské vody pouze dnem vrtu (obr.1):

$$Q_0 = s_0 \cdot 2\pi \cdot k \cdot r$$

$$k = \frac{Q_0}{s_0 \cdot 2\pi \cdot r} \quad /8/$$

kde je Q_0 - vydatnost obzoru, odpovídající snížení s_0 při kalovací zkoušce

r - poloměr průzkumného vrtu

Prognóza maximální vydatnosti zvodněného kolektoru s napjatou hladinou

Pro přípravu definitivní výstroje průzkumného vrtu, čerpacích zkoušek ponorným čerpadlem a případně přípravu provozního odvodňování je často potřebné již z kalovacích zkoušek zpracovat předpověď maximální vydatnosti zkoušených zvodněných kolektorů s artéskou podzemní vodou.

Je zřejmé, že vydatnost Q_0 , vypočtená podle rovnice /1/ z výsledků kalovací zkoušky může, ale nemusí odpovídat vydatnosti maximální $Q_{\max}$, tj. přítoku podzemní vody do vrtu při maximálním snížení hladiny $s_{\max}$.

Vycházíme z obecně známé skutečnosti, že u artéských obzorů je závislost vydatnosti na snížení tlakové hladiny podzemní vody $Q = f(s)$ v podstatě lineární v intervalu od $s = 0$ až do $s = H - M$ (obr.2), tj. v intervalu snižování tlakové hladiny od ustálené úrovně až na strop artéského obzoru.

Čáru vydatnosti lze pak vyjádřit rovnicí přímky, procházející počátkem souřadné soustavy (obr.3) :

$$Q_0 = K \cdot s_0 \quad /9/$$

$$K = \frac{Q_0}{s_0} = \operatorname{tg} \alpha \quad /10/$$

K - je směrnice čáry vydatnosti

Maximální vydatnost je možno vyjádřit podle rovnic /9/, /10/

$$Q_{\max} = \frac{Q_0}{s_0} \cdot s_{\max}$$

$$s_{\max} = H - M$$

$$Q_{\max} = \frac{Q_0 (H - M)}{s_0} \quad /11/$$

kde je H - piezometrická výška hladiny podzemní vody

$s_{\max}$ - snížení hladiny na strop artéského obzoru (obr. 2,3)

Pokud lze z kalovací zkoušky přibližně vypočítat koeficient filtrace, je možno prognózu maximální vydatnosti zvodněných obzorů při známé mocnosti M zpracovat podle Thiem-Dupuitových rovnic (Maximov V.M. et al., 1967), a to jak pro artéské obzory, tak pro obzory s volnou hladinou.

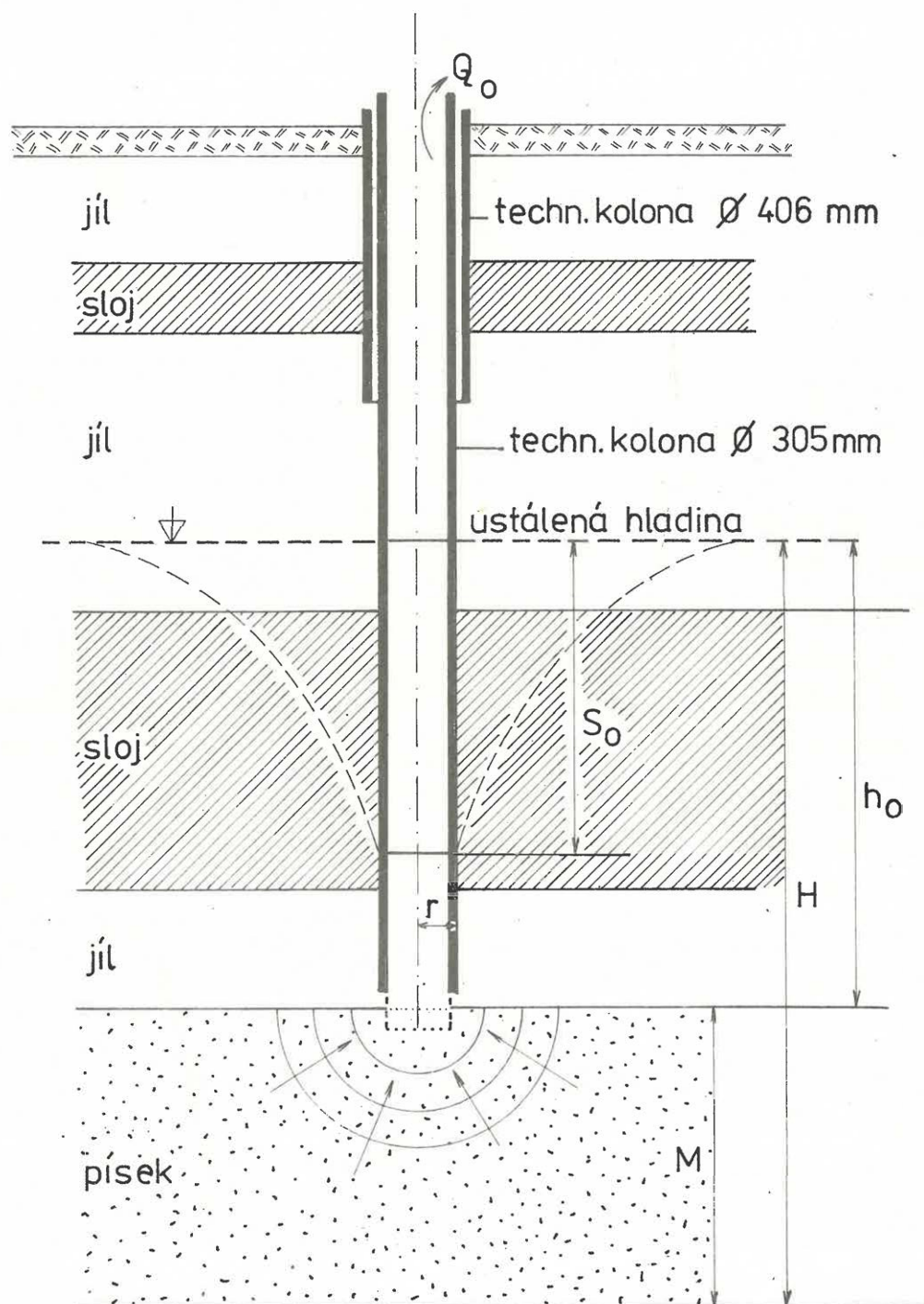
Závěr

Kalovací zkoušky z průzkumných hydrogeologických vrtů poskytují první a občas i jediné informace o hydraulických parametrech zvodněných obzorů. I když jde o informace přibližné, jsou velmi důležité především pro řízení dalších prací na hydrogeologických vrtech. Řádné provedení, dokumentování a vyhodnocení kalovacích zkoušek v průběhu vrtných prací umožňuje volit optimální definitivní výstroj vrtů, může rozhodnout i o tom, že definitivní výstroj vůbec nebude zabudována. Proto výsledky kalovacích zkoušek mají někdy podstatný vliv na úspory materiálů a investičních nákladů v průběhu hydrogeologického průzkumu a odvodňování.

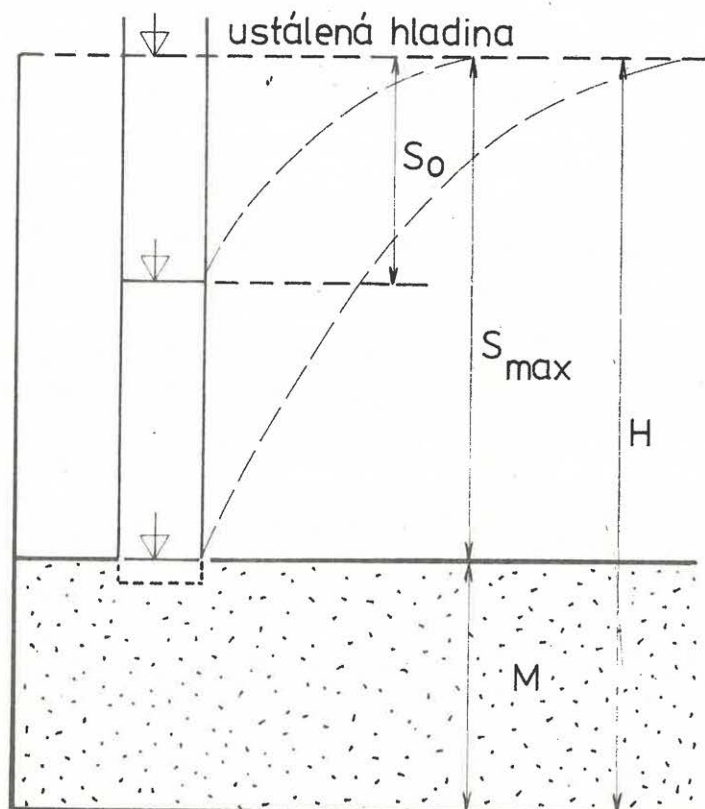
Literatura

1. Maximov V.M. et al., 1967: Spravočnoje rukovodstvo gidrogeologa

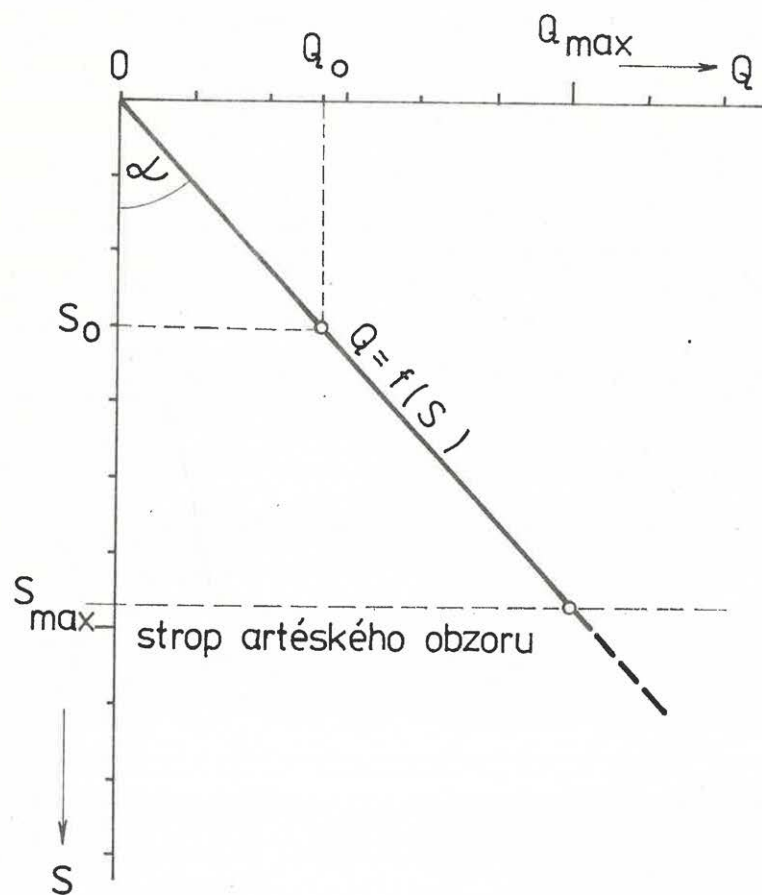
Nakl. "NEDRA" - Leningrad



Obr. č. 1



Obr. č. 2



Obr. č. 3