

Ložisková hydrogeologie

IV. Přítoky důlních vod do díla a jejich výpočet

Vliv způsobu hlubinné otvírky na přítoky podzemních vod

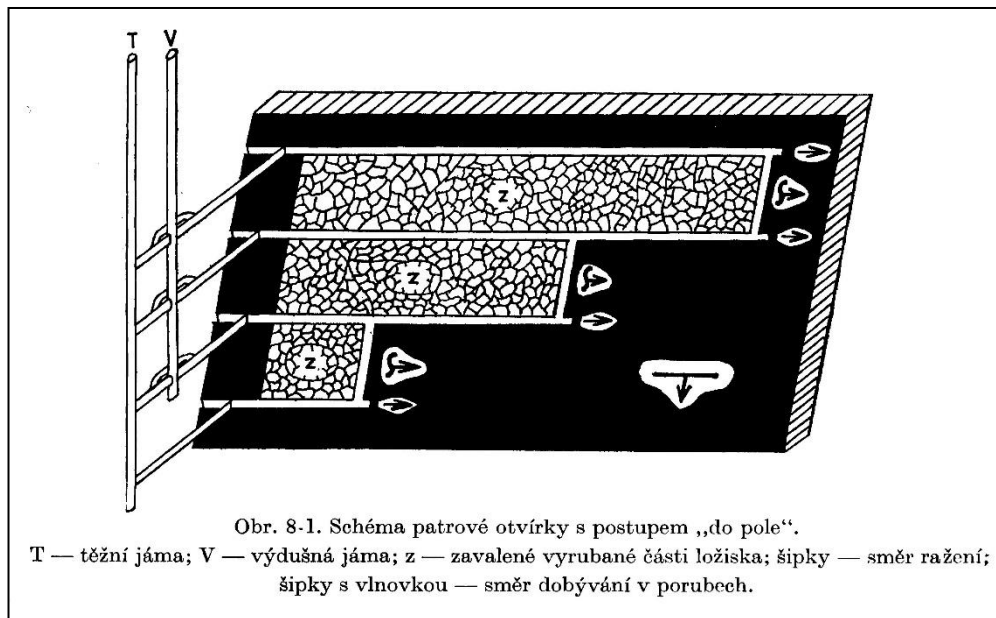
Jsou možné dva hlavní způsoby postupu otvírkových a důlních prací.

- a) postup „*do pole*“ – postup z ložiska směrem k jeho okrajům
- b) postup „*z pole*“ – postup z okraje ložiska

Postup „do pole“

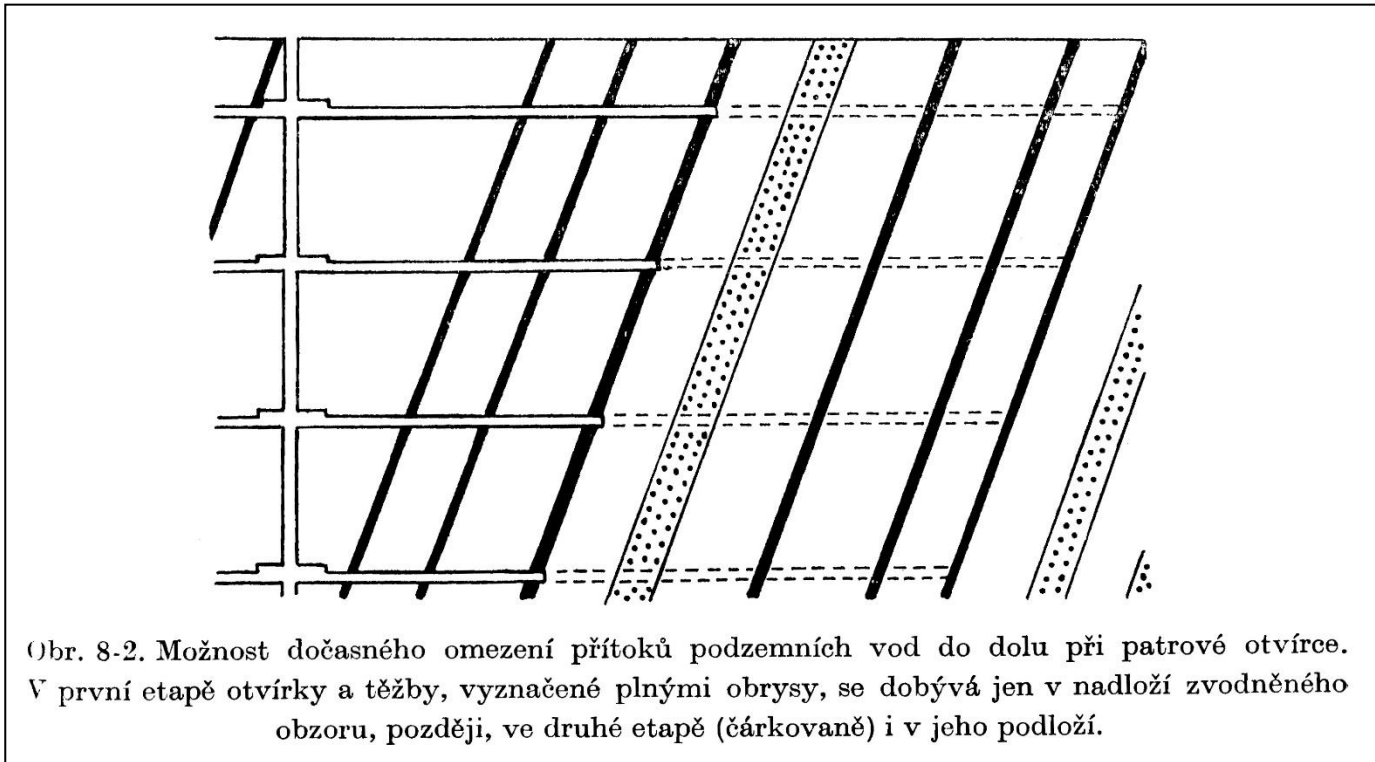
Po zřízení *úvodních děl* se vyrazí v ložisku nejdříve *otvírkové chodby*. Z otvírkových chodeb se razí *přípravné chodby*, které vymezují jednotlivé *dobývací bloky* v ložisku. Dalším systémem chodeb se dobývací blok rozčlení na jednotlivé *poruby* (důlní dílo, ve kterém se dobývá užitečný nerost, porubní blok)

- umožňuje zahájit těžbu s poměrně malými investicemi a poměrně brzo po ukončení výstavby úvodních důlních děl
- z hg hlediska je tento postup výhodný tehdy, jsou-li okraje důlního pole silněji zvodněné, než jeho střed (max. přítoky nastávají až v konečných etapách důlní činnosti – úspora peněz)



Postup „do pole“

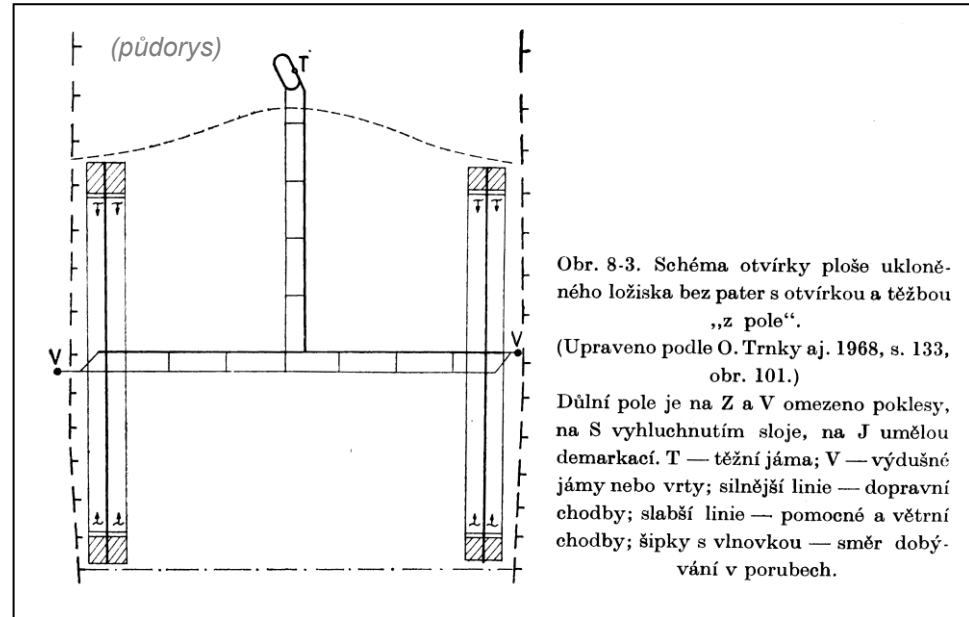
Otvírají-li se postupem „do pole“ skupiny ukloněných ložiskových těles mezi nimiž je silně zvodněná vrstva, lze otvírku a těžbu omezit po určitou dobu jen na ložisková tělesa v nadloží zvodněné vrstvy a tak dočasně zabránit zvýšení přítoků.



Postup „z pole“

Při tomto postupu se nejdříve vyrazí hlavní otvírková díla až k hranicím důlního pole, popř. i kolem něho. Poté se vyrazí přípravné chodby omezující jednotlivé dobývací bloky a v nich poruby. Těžba poté začíná u demarkace (na okraji díla) a postupuje se zpět k úvodním dílům.

Na rozdíl od postupu „do pole“ je zde otevřená (rozfáraná) plocha ložiska konstantní, stálá je i tvar a poloměr drenážního komplexu, který důl představuje. S růstem plochy vytěžených a zavalených prostor se mění pouze vlastnosti jednotlivých odvodňovacích úseků.



Postup „z pole“

- výhodný hlavně u ložisek doprovázených v celém důlním poli nebo v jeho převážné části stejnoměrně zvodněnými horninami
- nevýhodný je pokud horniny na okraji ložiska mají vyšší tlak vody nebo jsou více zvodněné než horniny ve střední části
- nebezpečí průtrže stařinových vod z vytěžených bloků, zvláště leží-li vnitřní část důlního pole níže, než jeho okrajové části

Přítoky podzemních vod do jednotlivých druhů hlubinných důlních děl

Úvodní důlní díla

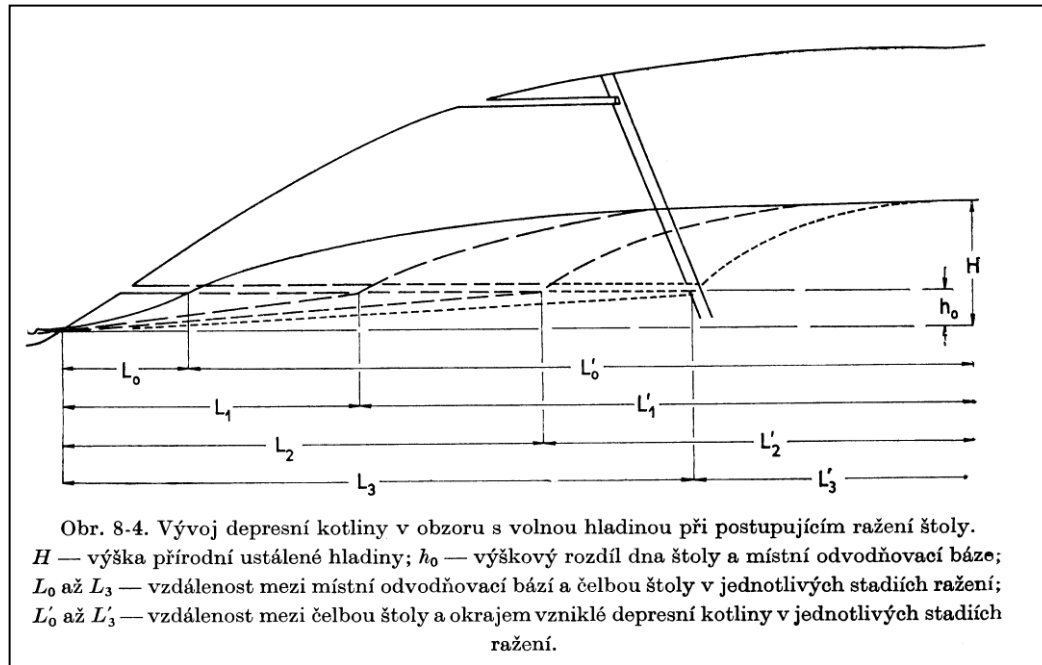
Otvírková důlní díla

Přípravná důlní díla

Vodorovná, svislá, šikmá důlní díla

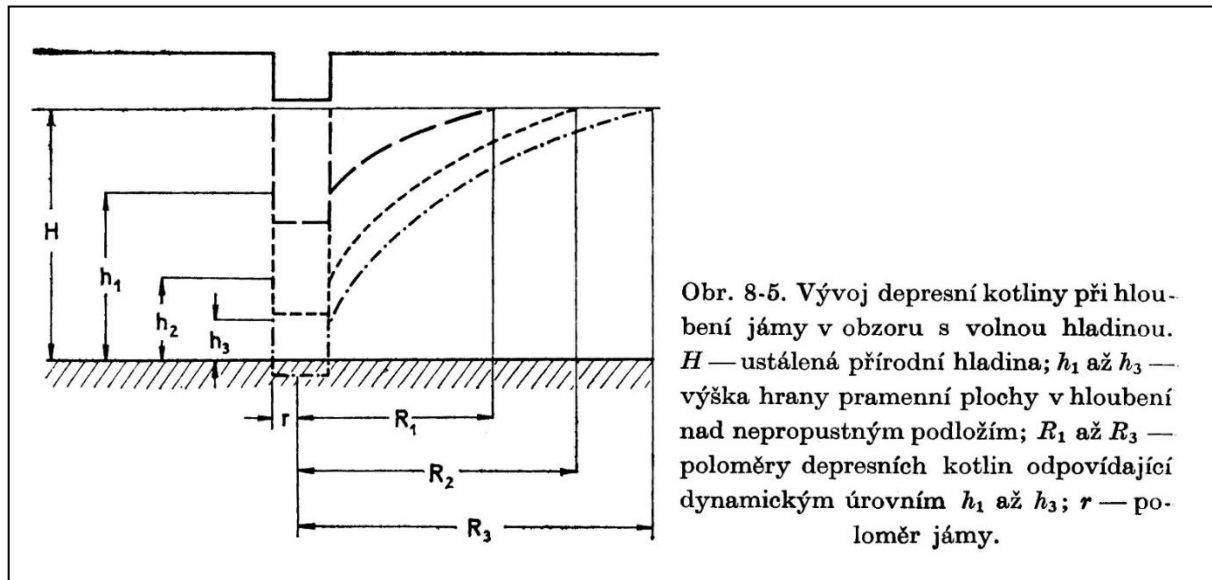
Úvodní důlní díla - štoly

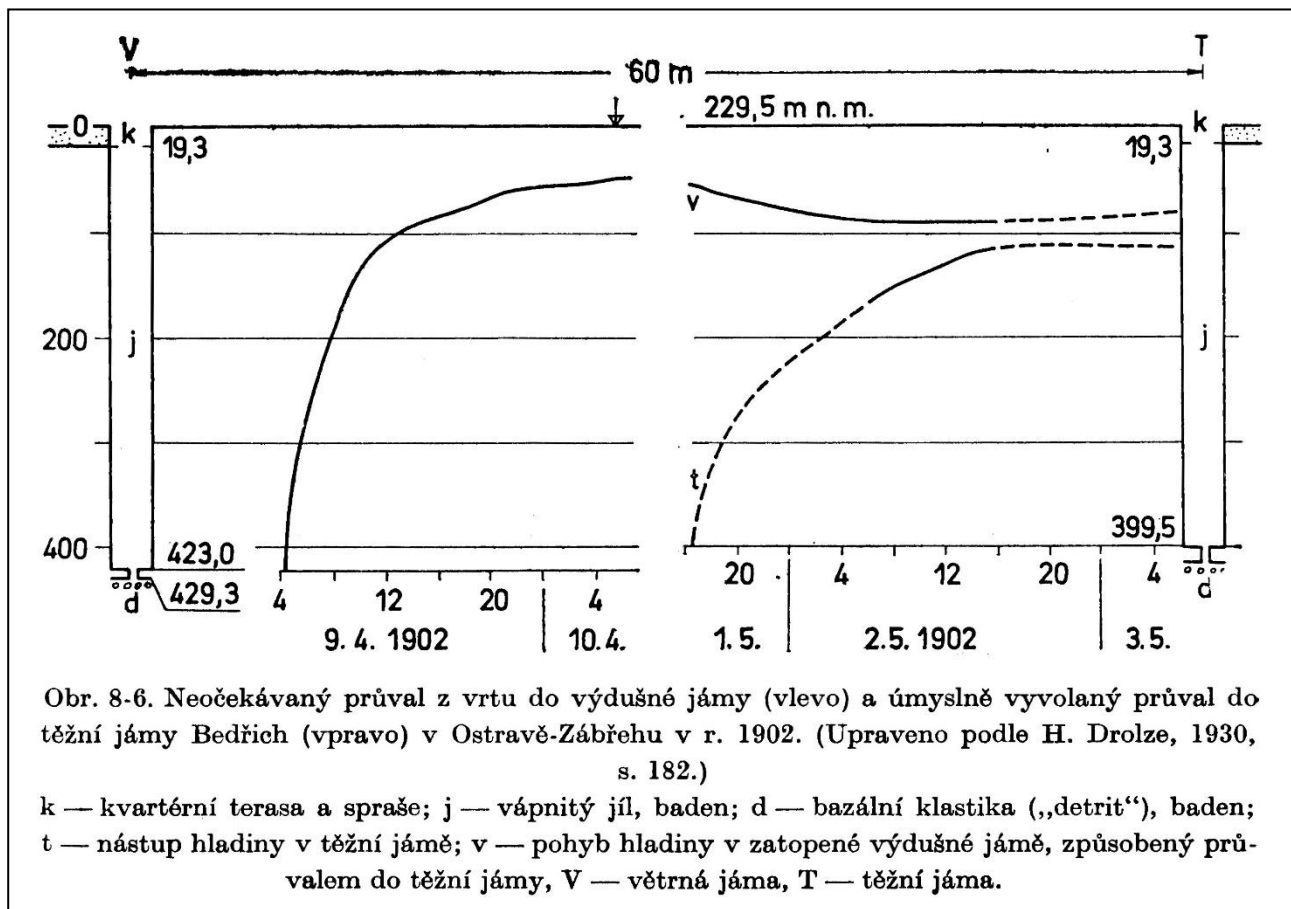
- umožňují samospádné odvádění vody na povrch
- ponechává se trvalá a neomezovaná drenážní funkce (jámy se odvodňují většinou jen po dobu hloubení, po ukončení hloubení se opatřují vodotěsnou výztuží a odvodňování se přerušuje)
- v určité vzdálenosti od ústí dosahuje štola volnou HPV, ražení štoly postupuje značně pomaleji než šíření depresní kotliny – malý hydraulický spád, velikost celkových přítoků vzrůstá s délkou štoly mírně



Úvodní důlní díla – jámy (šachty)

- stvol jámy prochází nejdříve nádrží podzemní vody s volnou hladinou, depresní kotlina se vytváří pozvolna, přítoky se plynule, ale pozvolna zvyšují
- voda vniká do jámy nejdříve jen dnem, později i spodní částí stěn, u mocných obzorů nezpevněných hornin může hydraulický spád nabýt značných hodnot – riziko porušení stability stěn
- ve větších hloubkách může hloubení procházet obzory a zónami s tlakovou vodou – riziko průvalů (např. z hornin o průlinové propustnosti byly zaznamenány průvaly o počáteční vydatnosti až 500 l/s, v černouhelných dolech v podmoskevské pánvi při naražení krasových dutin až 1000 l/s, důl Rožná – 9. patro (cca 450 m pod terénem), prosinec 1963, vyteklo 150 000 m³ ze zlomového pásma, z něj následně na 12. patře odčerpáno ještě 80 000 m³.



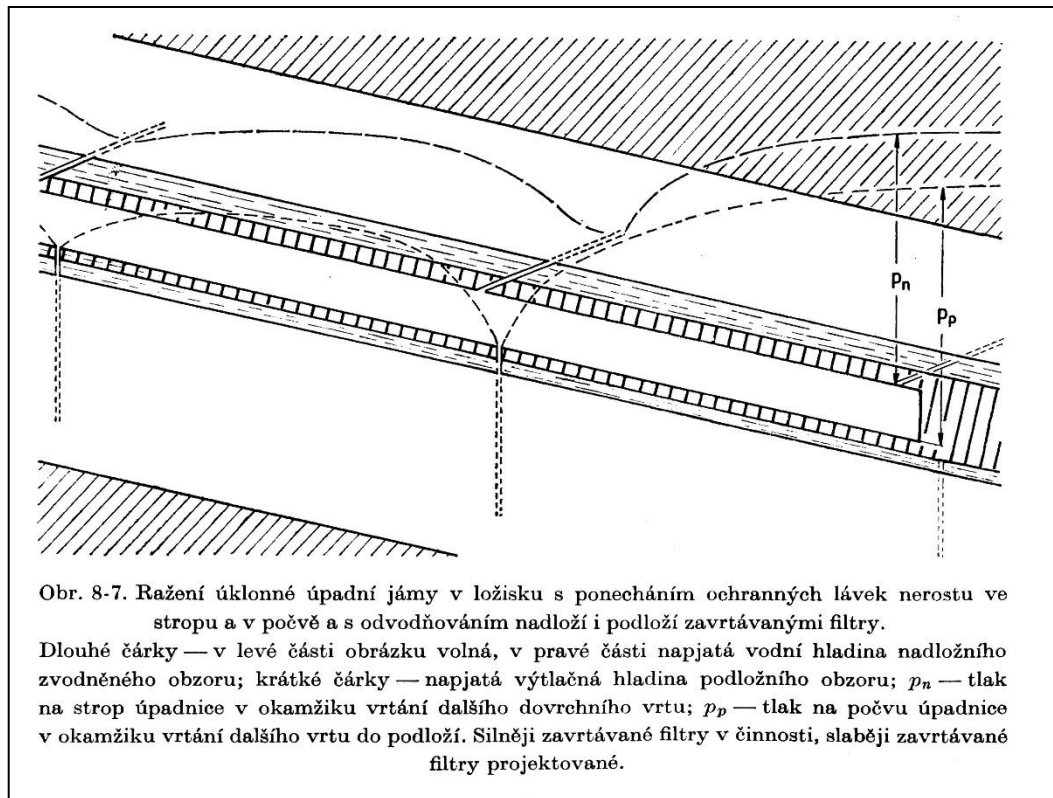


Obr. 8-6. Neočekávaný průval z vrtu do výdušné jámy (vlevo) a úmyslně vyvolaný průval do těžní jámy Bedřich (vpravo) v Ostravě-Zábřehu v r. 1902. (Upraveno podle H. Drolze, 1930, s. 182.)

k — kvartérní terasa a spraše; j — vápnitý jíł, baden; d — bazální klastika („detrit“), baden; t — nástup hladiny v těžní jámě; v — pohyb hladiny v zatopené výdušné jámě, způsobený průvalem do těžní jámy, V — větrná jáma, T — těžní jáma.

Úvodní důlní díla – úklonné jámy

- obecně platí to samé co u jam svislých
- úklonné jámy (úpadnice) se v mocném ložisku razí přibližně uprostřed, u málo mocných ložisek pokud je v nadloží zvodněná vrstva se ponechává tzv. *ochranná lávka*
- po určité době tvorba *samovolných trhlinek*



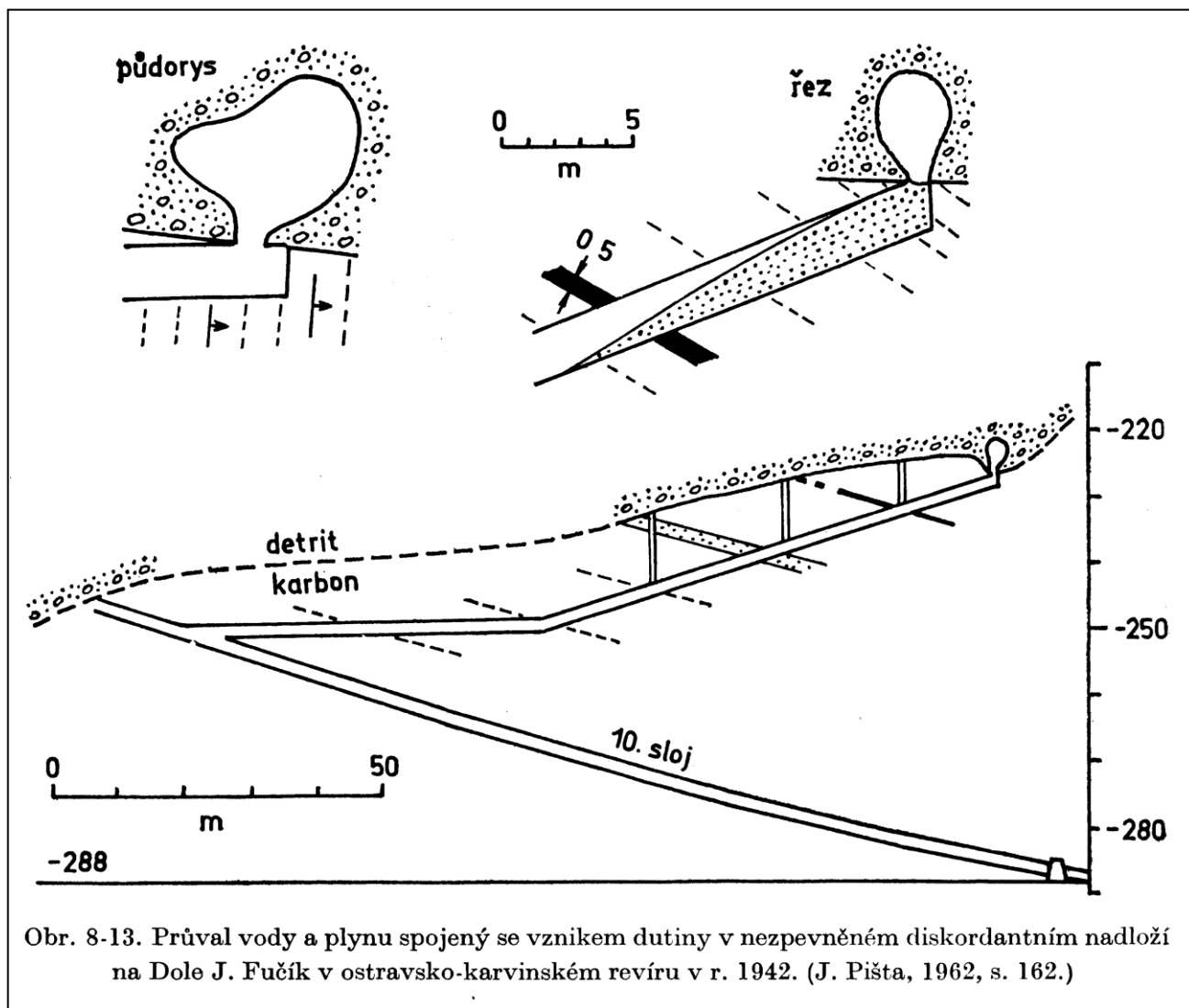
Otvírková důlní díla

- spojují úvodní díla s úseky ložiska, v nichž se ložisko dobývá
- subhorizontální chodby se spádem k hlavní čerpací stanici, která se obvykle zřizuje u hlavní těžní jámy
- pokud je ložisko ukloněno – úklonné otvírkové chodby
- často plní drenážní funkci po celou dobu životnosti ložiska

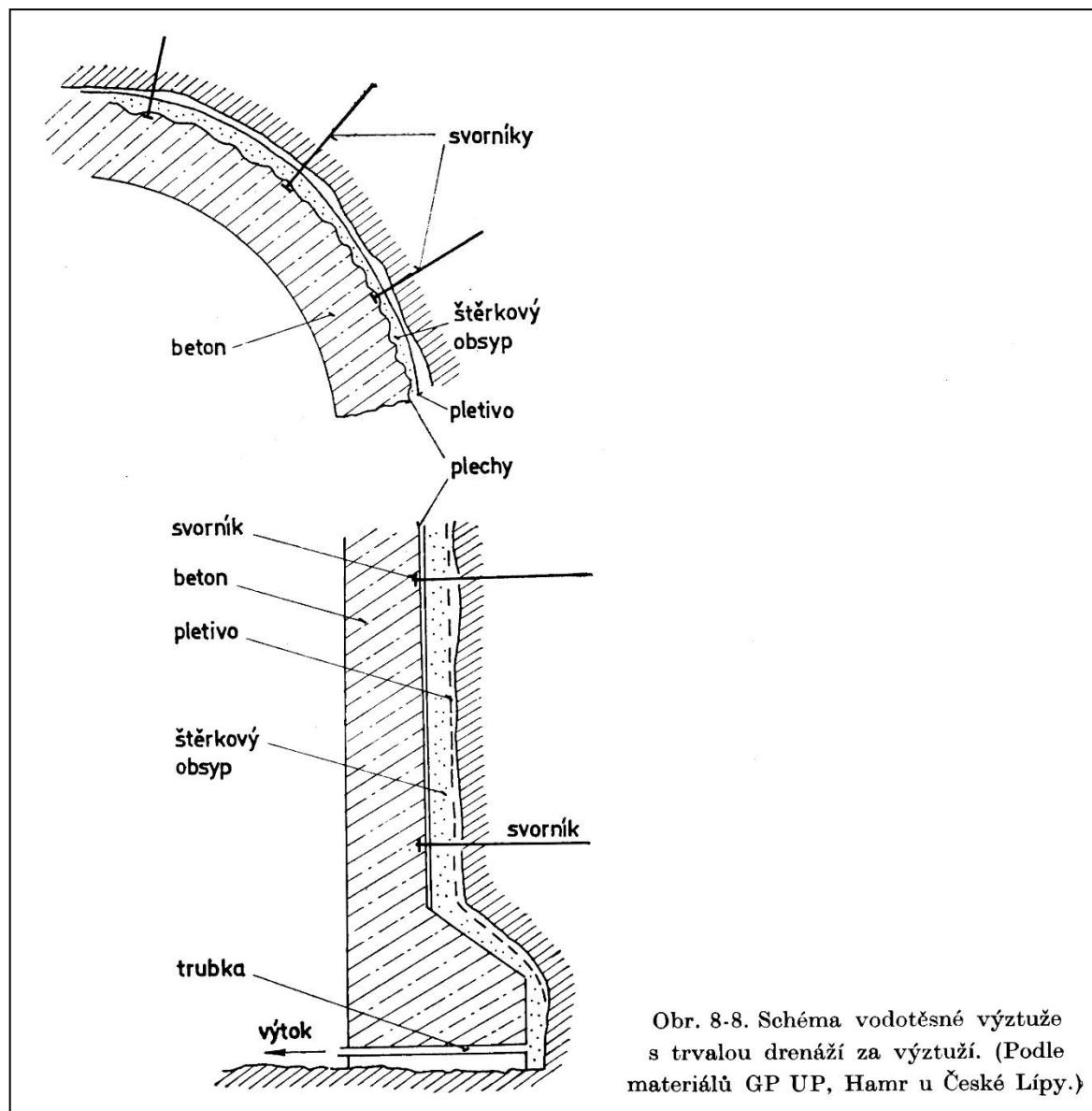
- razí se buďto v jalovině nebo přímo v ložisku
- od úvodních děl se razí do neovlivněného, jinými důlními díly neotevřeného důlního pole

- zvodněné obzory v hloubkách mají skoro vždy tlakový režim: a) s doplňováním infiltrací
b) bez doplňování

- průvaly jsou vydatnější a setrvalejší u otvírkových děl následkem vyšších tlaků vody a větší rozlohy ovlivněné oblasti
- zvláště nebezpečné průvaly nastávají při naražení bazálních klastik transgresivní série, která spočívá na členitém diskordantním podloží (v minulosti často na Ostravsku)



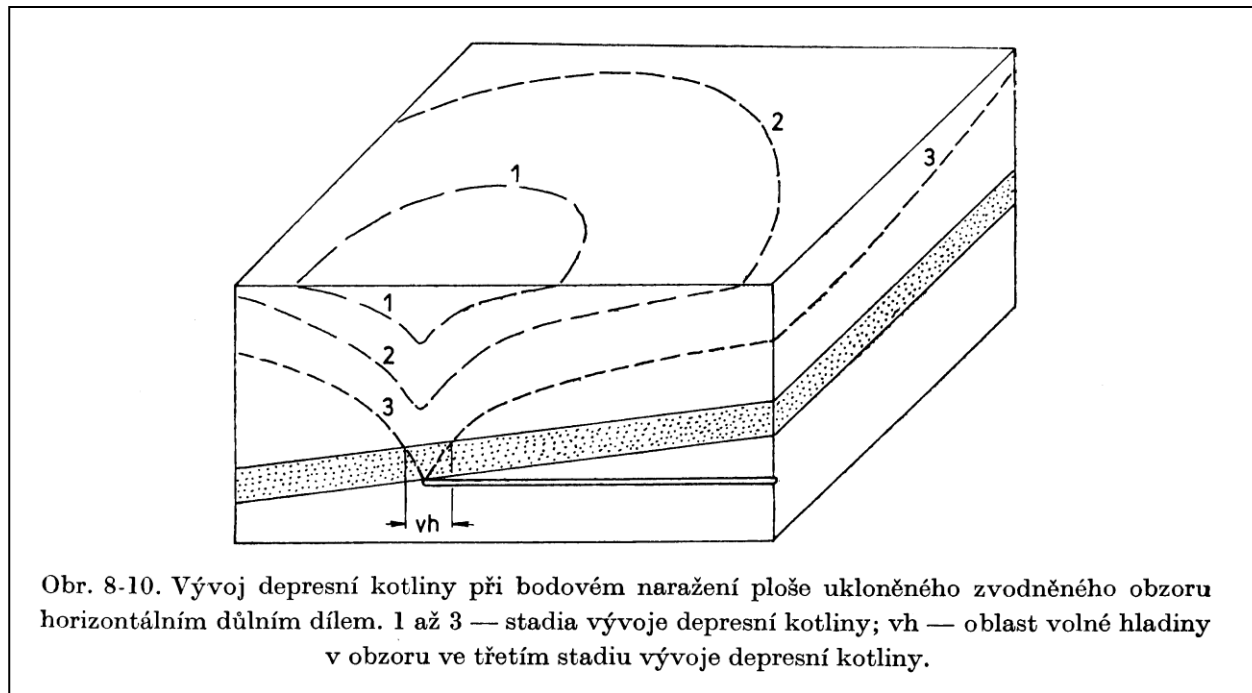
Obr. 8-13. Průval vody a plynu spojený se vznikem dutiny v nezpevněném diskordantním nadloží na Dole J. Fučík v ostravsko-karvinském revíru v r. 1942. (J. Pišta, 1962, s. 162.)



Obr. 8-8. Schéma vodotěsné výztuže s trvalou drenáží za výztuží. (Podle materiálů GP UP, Hamr u České Lípy.)

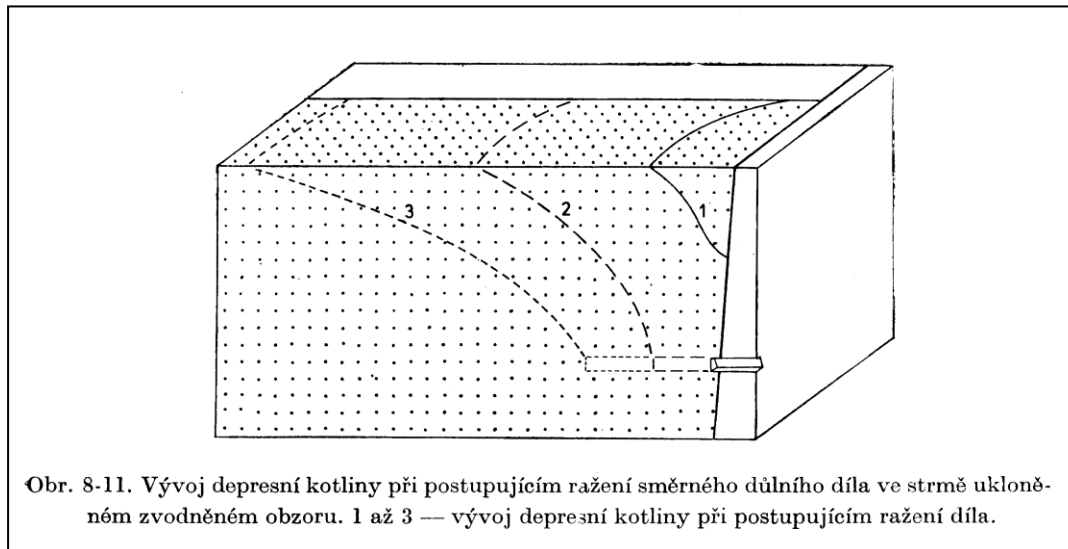
Ploše uložená zvodněná vrstva s tlakovým režimem

- poloměr ovlivnění postupně vzrůstá, klesá hydraulický spád a vydatnost průvalu se postupně zmenšuje
- ve zvodněné vrstvě se postupně vytvoří zóna s volnou hladinou



Strmě ukloněná zvodněná vrstva

- nad úrovní průvalového místa vzniká rychle depresní kotlina s volnou HPV, přítok tedy slábne rychleji, než v předchozím případě
- pokračuje-li se s ražením po průvalu ve směru vrstvy, vznikne v nadloží díla mezi místem průvalu a čelbou osušená oblast, z ní přitéká jen to množství vody, které na povrchu infiltruje ze srážek
- růst celkového přítoku se s prodlužováním důlního díla zpomaluje, specifický přítok se tedy zmenšuje



Strmě ukloněná zvodněná vrstva – ražení kolmo na její směr

- obdoba předchozího případu
- liší se tím, že délka díla může dosáhnout jen určité konečné, maximální hodnoty dané výrazem:

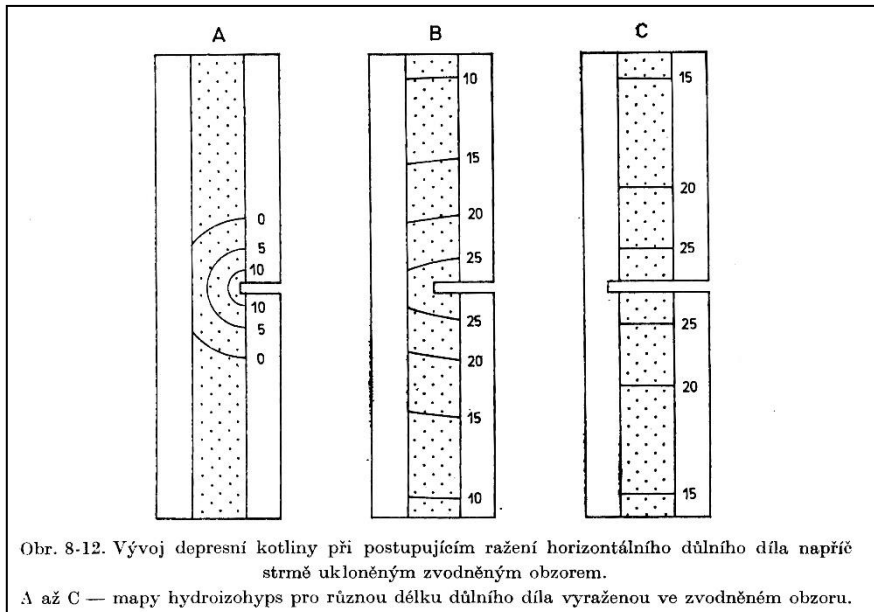
$$l = \frac{m}{\sin \varphi \cdot \sin \varepsilon}$$

l – délka vodorovného díla ve zvodněné vrstvě

m – mocnost zvodněné vrstvy

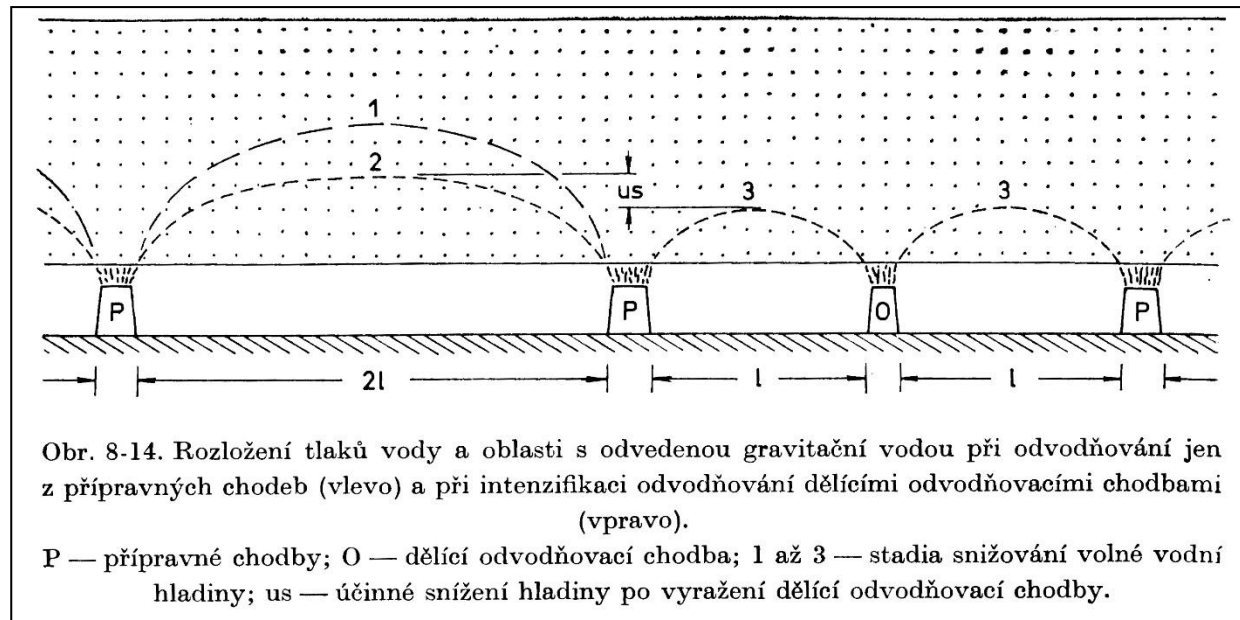
φ – úklon zvodněné vrstvy

ε – odchylka směru důlního díla od směru vrstvy



Přípravná důlní díla

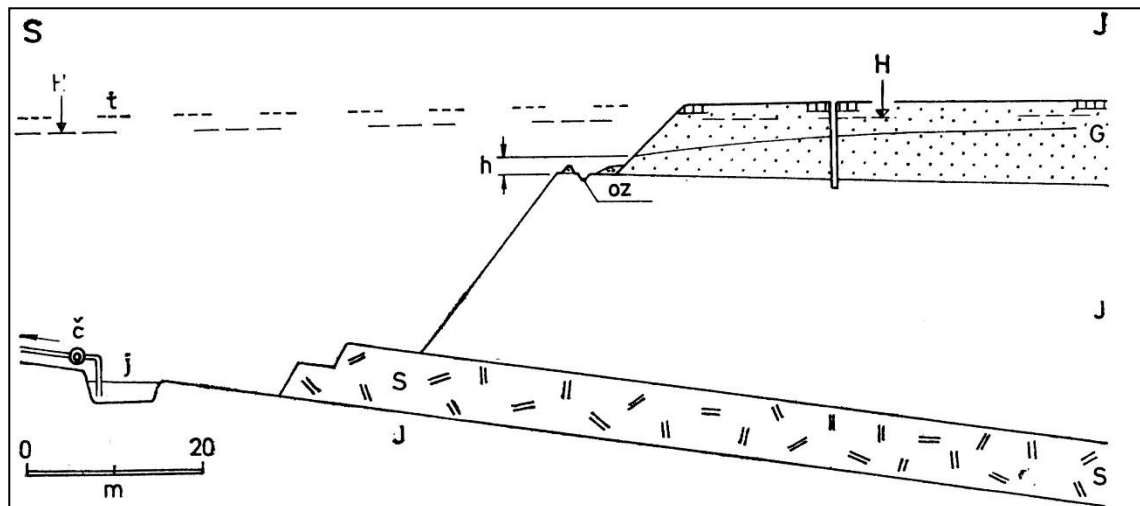
- razí se přímo v ložiskovém tělese
- přítoky mohou nastat jen v případech:
 - je-li ložisková výplň propustná a zvodněná, nebo pokud se přípravné dílo dotýká okolních zvodněných hornin
 - nemohou se vyhnout zvodněné části ložiska, se zvodněním se musí vypořádat za každých okolností



Přítoky vod do povrchových dolů a lomů

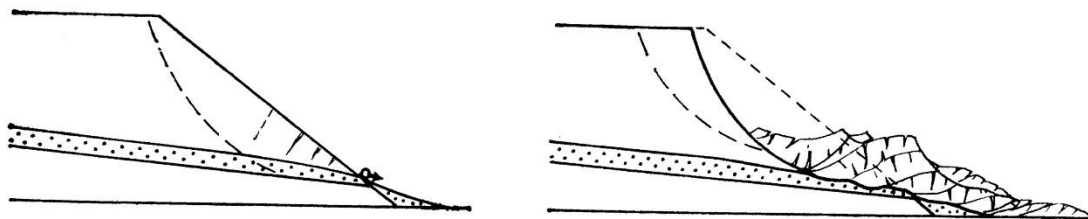
- odvodňování není tak technicky náročné jako u hlubinných dolů
- zásahy do hydrogeologického režimu a vodní bilance celé hydrogeologické struktury jsou však intenzivnější než u hlubinných dolů
- nebezpečí snížení soudržnosti a překročení pevnosti hornin ve smyku – vznik svahových skluzů a sesuvů
- přítoky sestávají ze tří složek:
 - a) z povrchových toků
 - b) atmosférické srážky
 - c) podzemní voda





Obr. 9-1. Odvodňování glacifluviálních štěrkopísků s volnou vodní hladinou do zářezů na první skrývkové plošině. Koberice u Opavy. (V. Homola.)

t — původní úroveň terénu; oz — odvodňovací zářez; j — vodní jímka; č — čerpadlo; G — glacifluviální štěrkopísky, kvartér; J — vápnité jíly, torton; S — sádrovcové ložisko, torton; H — původní hladina, h — úroveň dynamické hladiny na řezu.

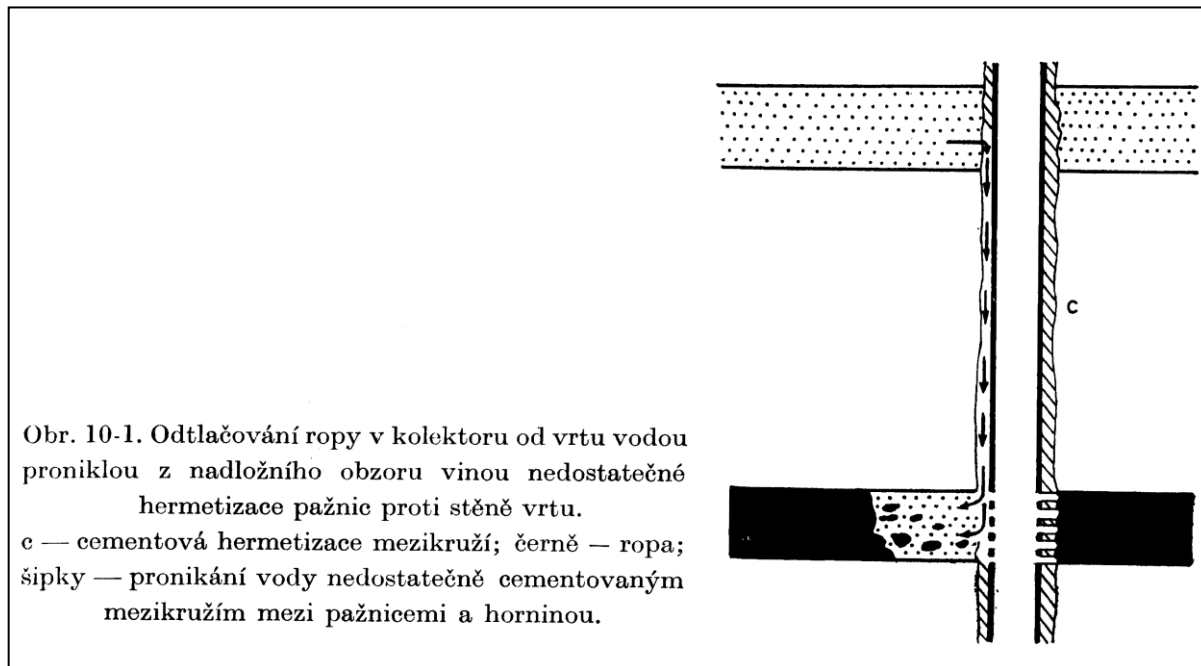


Obr. 9-2. Vynášení tekoucího písku v čele skrývkového řezu s následujícím poklesáním a trháním nadloží (vlevo), jež vede k sesuvu podle válcové plochy (vpravo).

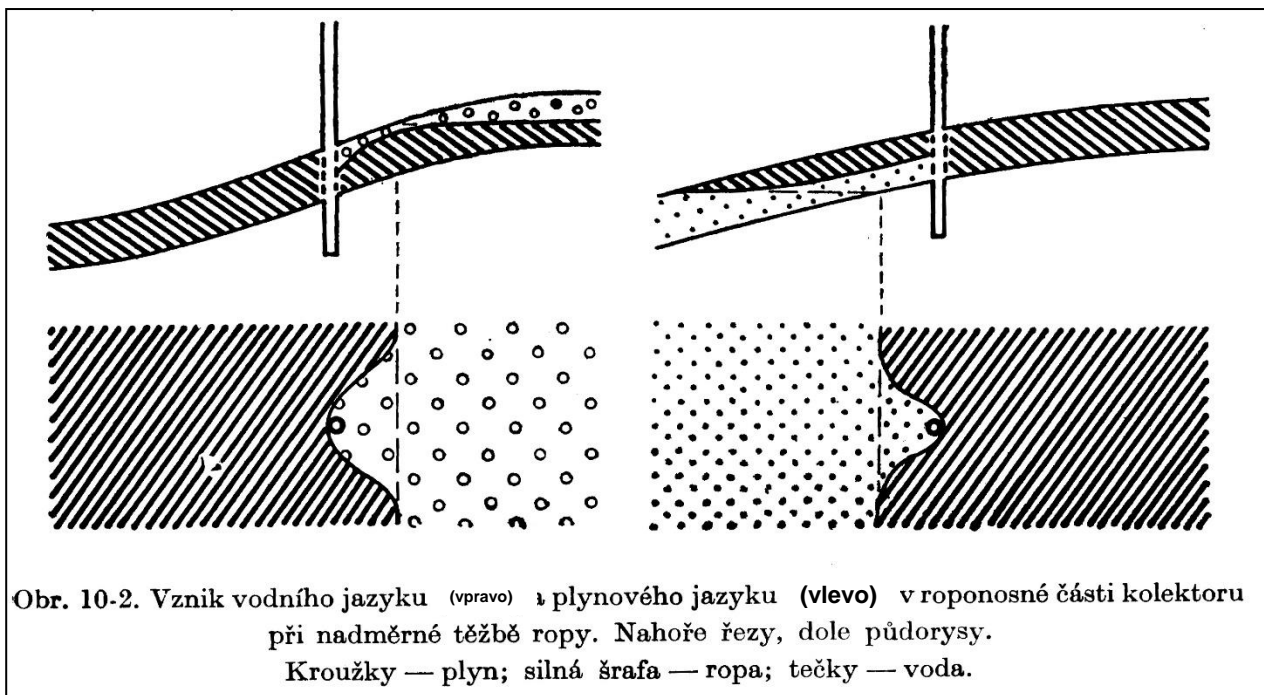
(sesuv násobí destrukci jak výše, tak níže ležících skrývkových i ložiskových řezů a plošin, obnovení stability postižených řezů je velmi nákladné a dlouhodobé, často se postižená část důlního pole opustí a zásoby se odepíší)

Pohyb podzemních vod při těžbě ložisek kapalných a plyných uhlovodíků

- těžba se provádí výlučně vrtly
- zásadní je utěsnění pažnic proti horninám ve stěně vrtu – odtlačování ropy, možný únik ropy či plynu do mezikruží, popř. erupce plynu na povrchu



- intenzita těžby musí být sladěna s možnostmi rovnoměrného pohybu tekutin, v ložiskovém obzoru
- při příliš intenzivní těžbě hrozba tvorby *plynových* nebo *vodních jazyků*



Určení celkových přítoků do důlního pole

- určují se v době zpracovávání investiční studie jako orientační údaj o průměrném ustáleném přítoku
- slouží hlavně jako podklad pro ekonomické úvahy o nákladech na čerpání vod a k výpočtu zatížení tuny dobývaného nerostu investičními a provozními náklady na odvodňování a pro orientační posouzení vlivu odvodnění důlního pole na hg strukturu
- určení celkového průměrného přítoku do otevřené části důlního pole se provádí:
 - z vodní bilance oblasti
 - analyticky z rovnic proudění podzemní vody
 - numericky
 - srovnání s jinými činnými doly metoda analogie – nízká přesnost

Metoda analogie

Lze použít jednoho ze tří ukazatelů:

- a) specifický přítok vody do dolu
- b) jednotkový specifický přítok do dolu
- c) součinitel zvodnění

specifický přítok do dolu

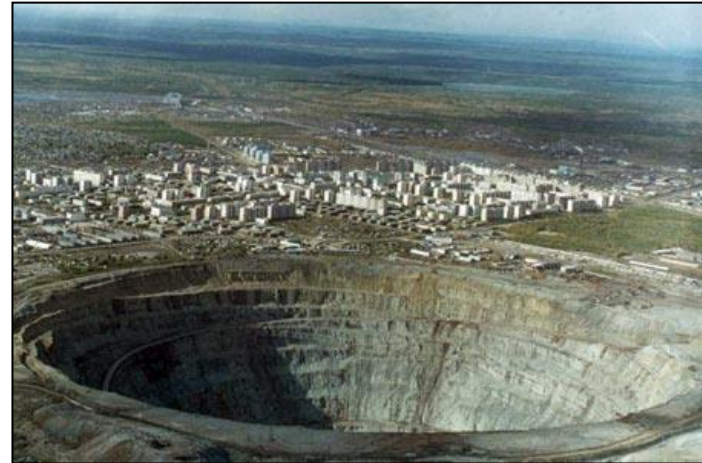
Okamžitý nebo průměrný roční přítok do celého dolu, zpravidla vyjádřený v l/s, dělený celkovou délkou důlních děl (l/s/m) nebo celkovou plochou důlního pole (l/s/m²).

Délka otvirkových chodeb – použití ve stadiu výstavby a počátků těžby

$$q_d = \frac{Q}{L}$$

Plocha důlního pole – použití ve stadiu rozvinuté nebo končící těžby

$$q_d = \frac{Q}{F}$$



součinitel zvodnění

Objem vody vyčerpaný z dolu za určité časové období dělený hmotou nerostu vytěženého za shodné časové období.

$$k_{zv} = \frac{V}{M} \quad [\text{m}^3/\text{t}]$$

Očekávaný celkový přítok do důlního pole při plánované zvýšené těžbě je

$$V_1 = k_{zv} \cdot M_1$$

Analytické metody

Způsoby výpočtu ustáleného přítoku podzemních vod do vrtu či vertikálního důlního díla

Průtok zvodněnou plochou lze spočítat pomocí **Darcyho zákona**:

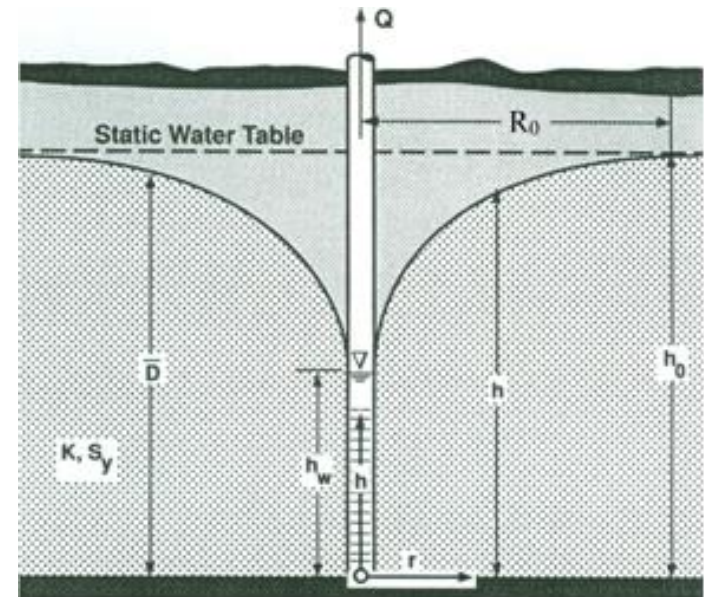
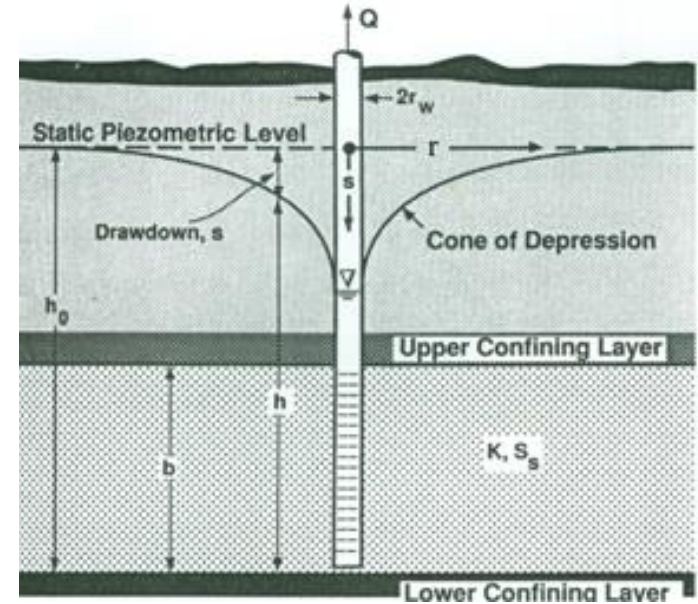
$$Q = kIA$$

upraven v **Thiemově rovnici** pro radiální přítok k vrtu v napjaté zvodni:

$$Q = \frac{2\pi T(H_2 - H_1)}{\ln(r_2 - r_1)}$$

úpravou dostáváme **Dupuitovu rovnici** řešící přítok k vrtu ve volné zvodni:

$$Q = \frac{2\pi k(H_2^2 - H_1^2)}{\ln(r_2 - r_1)}$$



(Roscoe Moss Company 1990)

Analytické metody

Způsoby výpočtu ustáleného přítoku podzemních vod do horizontálního důlního díla

Approximate Solutions of the Groundwater Inflow

Literature	Formula	Description
Goodman et al. (1965)	$Q_{Go} = 2\pi k \frac{h}{\ln \frac{2h}{r}}$	Initial water level, deep tunnels, homogeneous, isotropic and semi-infinite aquifer
Zhang and Franklin (1993)	$Q_{ZF} = 2\pi k \frac{h}{\ln \sqrt{1 + \frac{4h^2}{r^2}}}$	Initial water level, varying hydraulic conductivity of medium in jointed rock deep tunnels
Lei (1999); Kolymbas and Wagner (2007)	$Q_{LK} = 2\pi k \frac{h}{\ln \left(\frac{h}{r} + \sqrt{\frac{h^2}{r^2} - 1} \right)}$	Initial water level, for both deep and shallow tunnels
El Tani (1999)	$Q_{EI} = 2\pi kh \frac{1 - 3\left(\frac{r}{2h}\right)^2}{\left[1 - \left(\frac{r}{2h}\right)^2\right] \ln \frac{2h}{r} - \left(\frac{r}{2h}\right)^2}$	Initial water level, tunnels of circular, elliptical or square cross-sections, non-homogeneous aquifer
Karlsrud (2001)	$Q_{Ka} = 2\pi k \frac{h}{\ln \left(\frac{2h}{r} - 1 \right)}$	Initial water level, homogeneous, isotropic and semi-infinite aquifer
Moon and Fernandez (2010) ¹	$Q_{MF1} = \frac{k(2R_y h - h^2)}{R_x - r}$ (shallow tunnel) $Q_{MF2} = 2\pi k \frac{h}{\ln \frac{2h}{r}}$ (deep tunnel)	Lowered water level, using permeability reduction of medium, for both deep and shallow tunnels

¹ R_x is the horizontal influence distance of groundwater level drawdown from the center of tunnel, and R_y is the vertical influence distance of groundwater level drawdown from the initial groundwater level.

(Kai Su et al. 2016)

Převod čtvercového průřezu štolou na kruhový

$$r' = D_w / \sqrt{\pi}$$

$$r' = 0.546 D_w$$

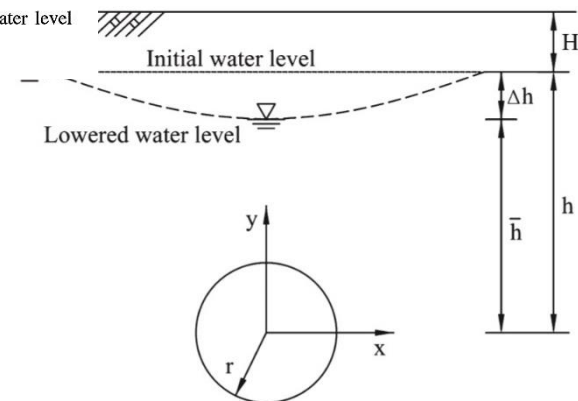


Figure 1. Circular tunnel profile: H , the depth from ground surface to the initial water table; h , the initial piezometric head above the tunnel center; Δh , drawdown of the water level; \bar{h} , the lowered piezometric head above the tunnel center; r , tunnel radius.

Analytické metody

Výpočet ustáleného přítoku podzemních vod do otevřené důlní (stavební) jámy

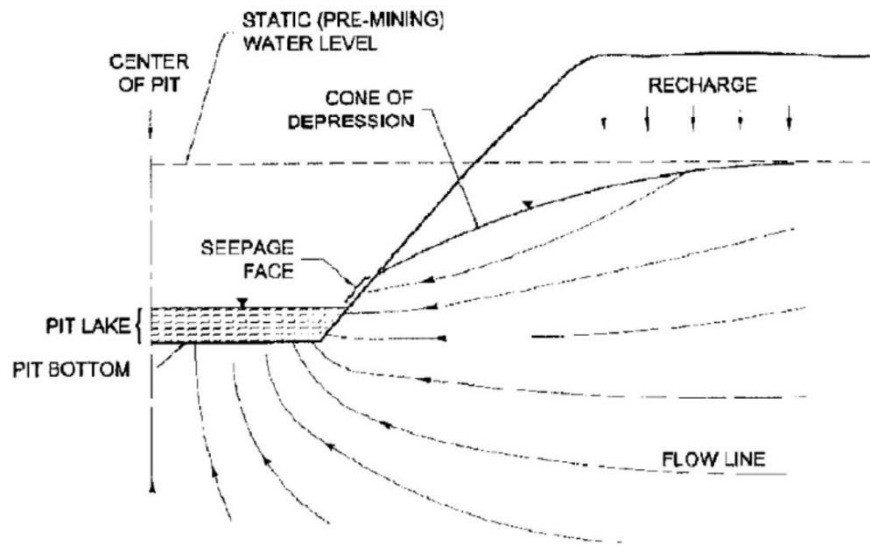


Figure 1. Pit inflow conceptual model.

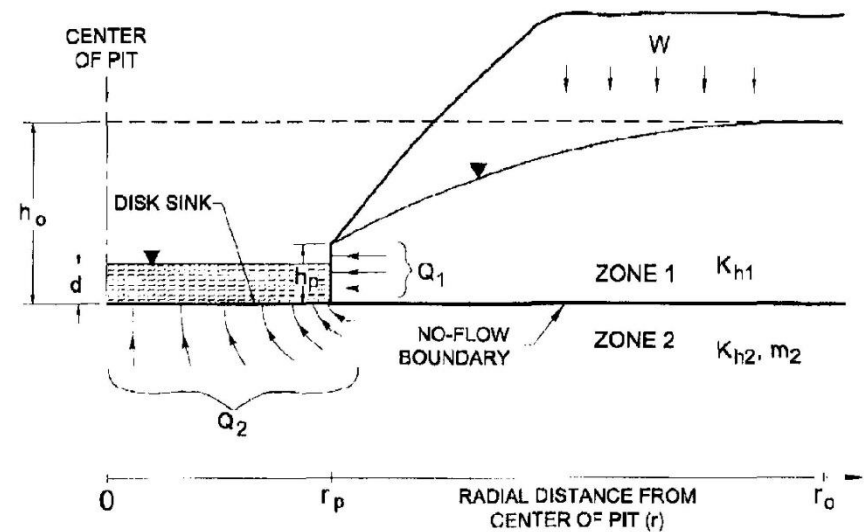


Figure 2. Pit inflow analytical model.

(Marinelli and Niccoli 2000)

Analytické metody

Výpočet ustáleného přítoku podzemních vod do otevřené důlní (stavební) jámy

Iterační odvození poloměru r_0

$$h_0 = \sqrt{h_p^2 + \frac{W}{K_{h1}} \left[r_0^2 \ln \left(\frac{r_0}{r_p} \right) - \frac{r_0^2 - r_p^2}{2} \right]}$$

Výpočet přítoku ze zóny 1

$$Q_1 = W\pi(r_0^2 - r_p^2)$$

Výpočet přítoku ze zóny 2

$$Q_2 = 4r_p \left(\frac{k_{h2}}{m_2} \right) (h_0 - d)$$

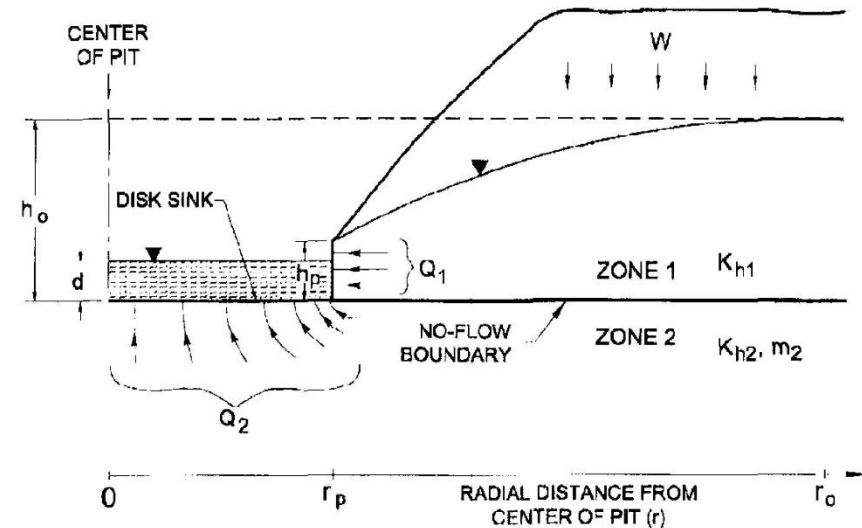


Figure 2. Pit inflow analytical model.

(Marinelli and Niccoli 2000)

vliv anizotropie hydraulické vodivosti

$$m_2 = \sqrt{\frac{k_{h2}}{k_{v2}}}$$