

# VODA V HORNINÁCH

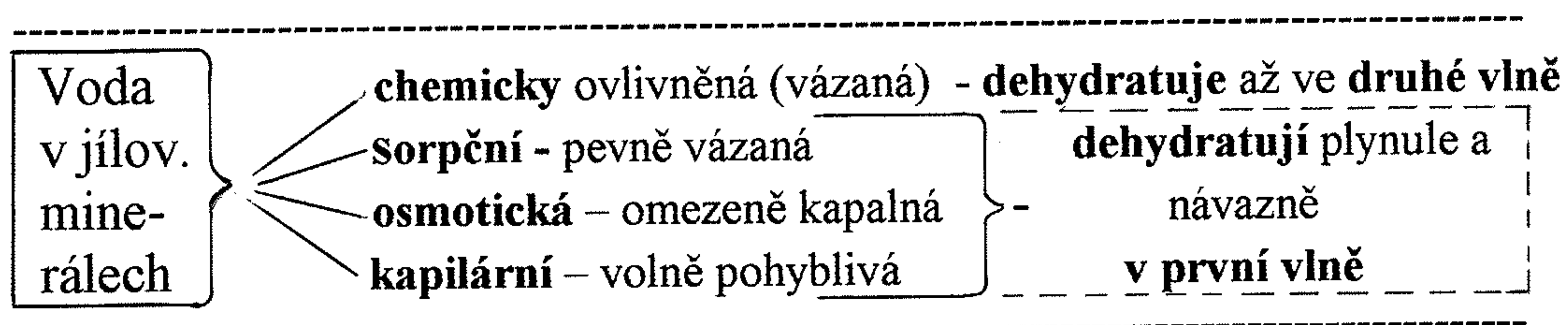
## A. STECHIOMETRICKÁ VODA

dehydratace skokem

1. Pevná - konstituční (hydroxylová) →  $\boxed{\text{OH}^-}$  500°–650°C
2. Volná - krystalová (hydrátová) →  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\boxed{\text{H}_2\text{O}}$  100°–200°C

## B. MOLEKULÁRNÍ VODA (molekulár. poutaná) dehydratace plynulá (dehydratační křivky)

1. Adsorpční – hygroskopická – „skalní vlhkost“  
tj. pevně vázaná („tuhá“) obalová voda pelikulární  
zvl. formou je voda opálová – nespr. označ. jako „jemně kapilární“
2. Osmotická („polotuhá“)



3. Zeolitová – kombinace a) chem. vázané („hydrátové“) vody a  
b) volné „kanálkové“ vody (snadno reversibil. dehydratuje)
4. Lehce vázaná obalová voda (přechod ke kapilární vodě)
  - a) Pendulární – obvěšná (=koutková=styková) je nepohyblivá
  - b) Funikulární – oblivná je omezeně kapilárně pohyblivá

## C. KAPILÁRNÍ VODA (Kapiláry $\varnothing$ 0,003 – 0,2 (max. 0,5) mm)

Menisková energie – kapilární tlak

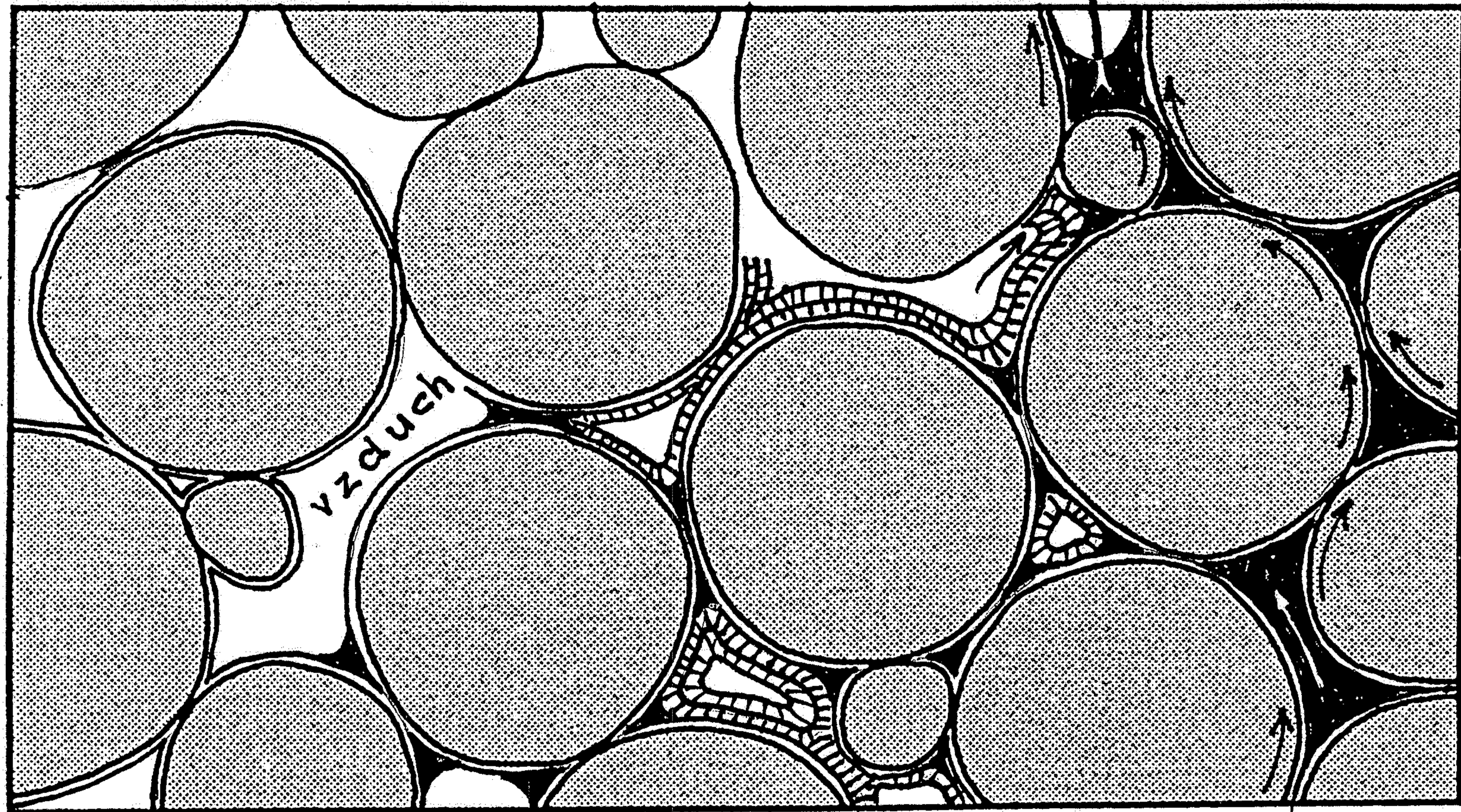
- a) Podepřená – vzestupná kapilární třáseň – horizontálně proudivá
- b) Zavěšená – kapilárně sestupná – horizontálně neproudívá

## D. GRAVITAČNÍ VODA - JÍMATELNÁ

Chemicky i molekulárně dokonale volná voda, jejíž proudový režim je ovládán pouze gravitací

PROVZDUŠNĚLÉ PÁSMO

KAPILÁRNÍ MENISKUS



VZDUCH

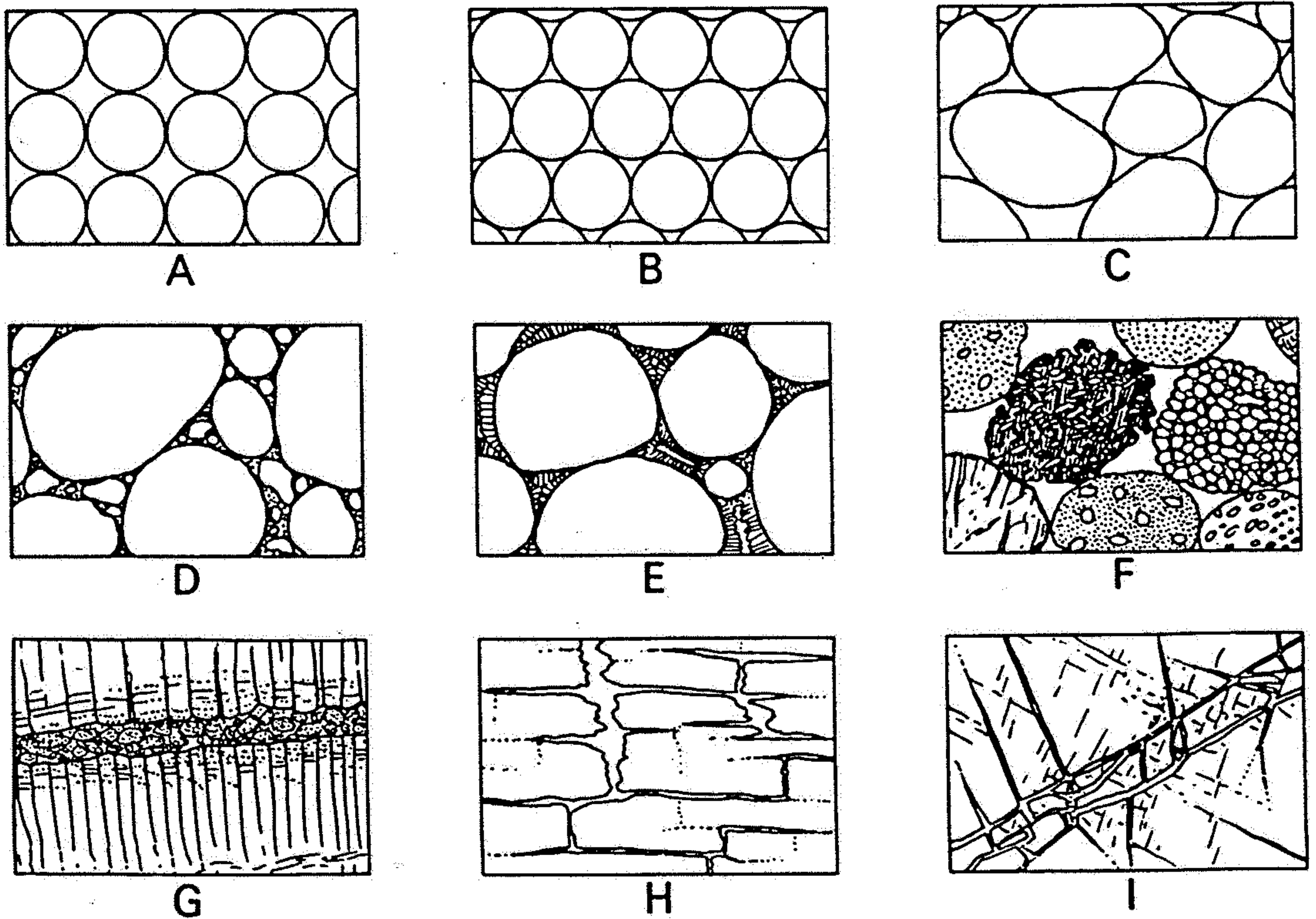
$\varnothing$   
0,003-0,5  
mm

PELIKULÁRNÍ  
VODA

PENDULÁRNÍ  
VODA

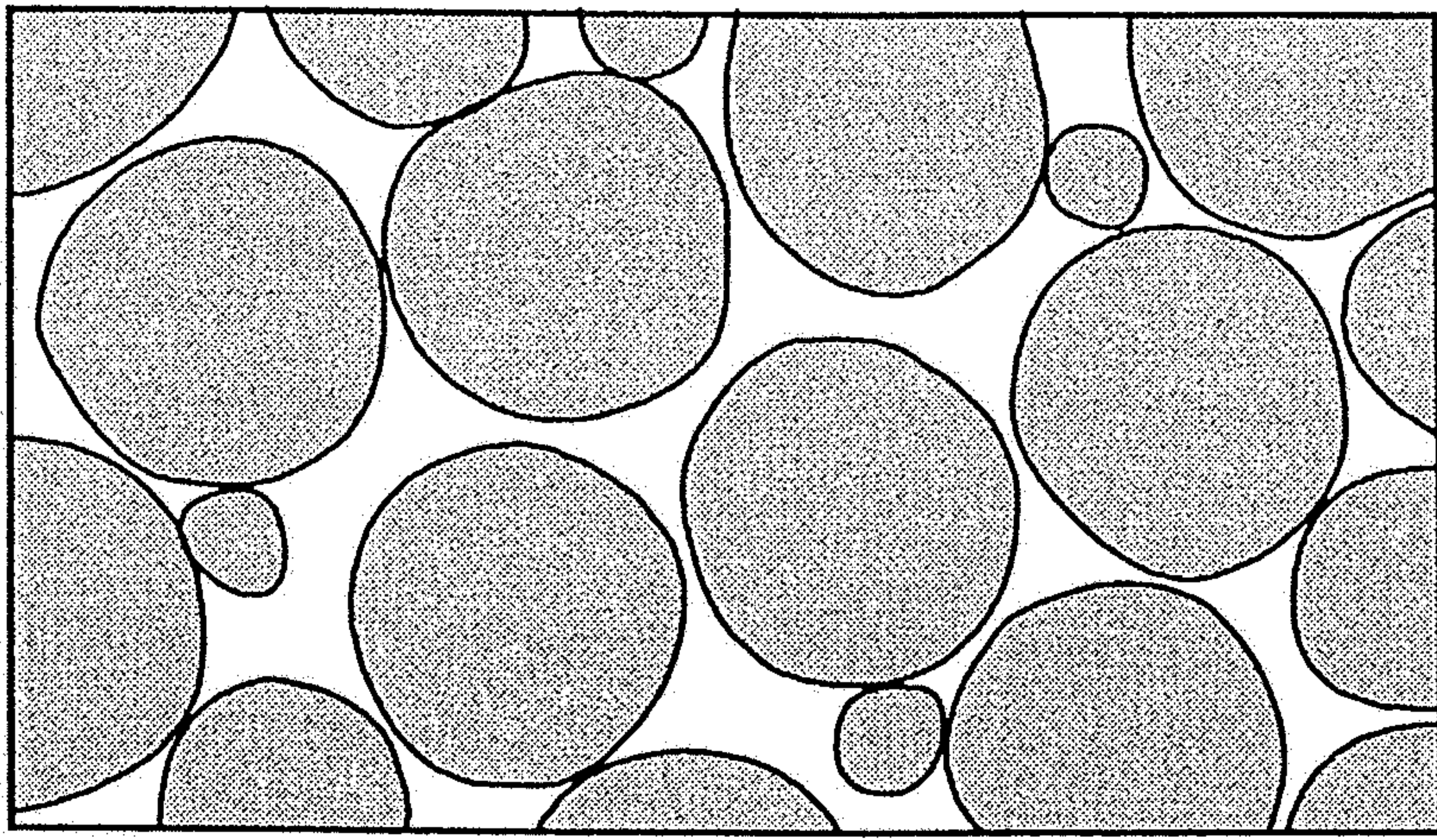
FUNIKULÁRNÍ  
VODA

KAPILÁRNÍ  
VODA

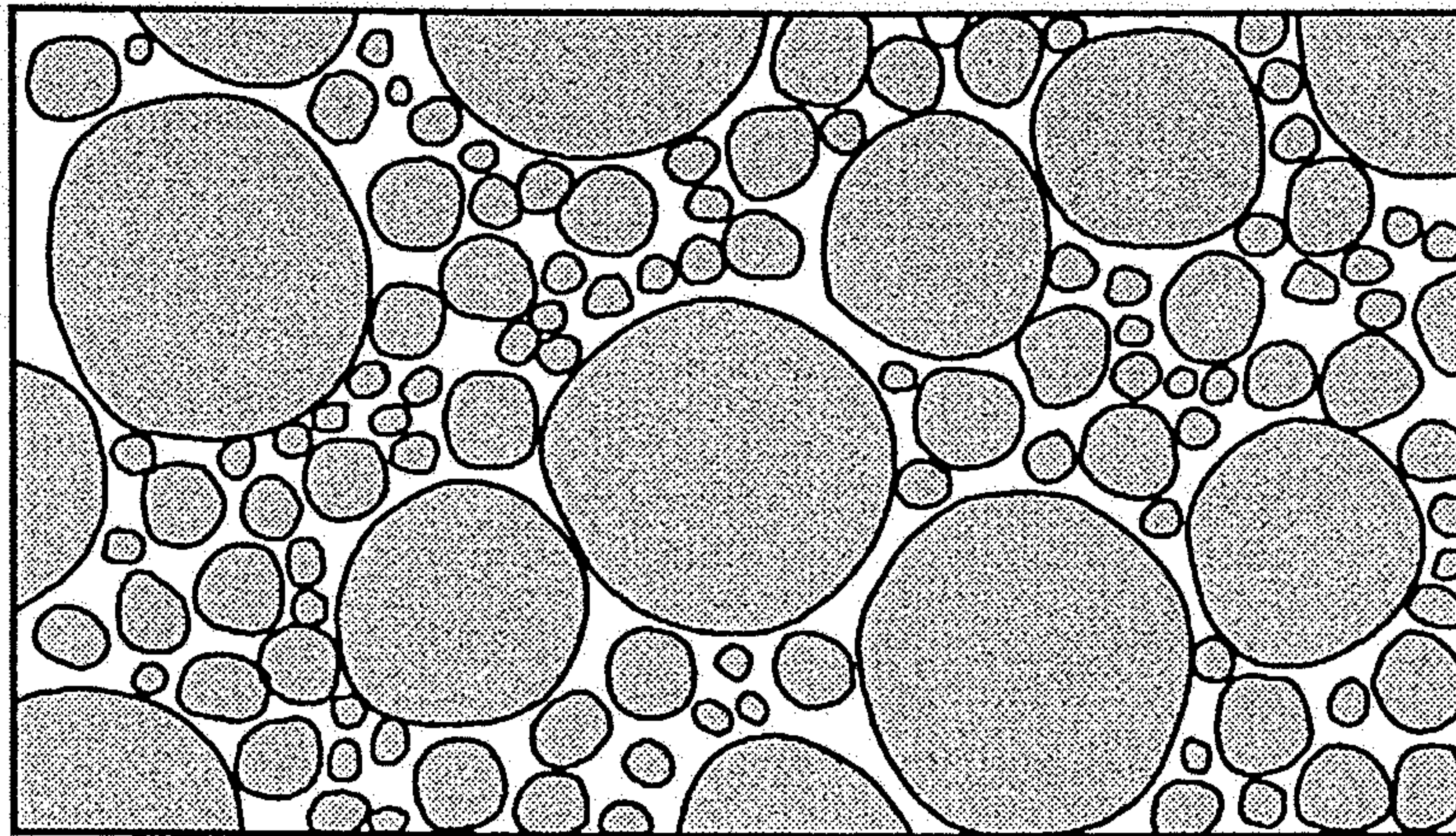


**FIGURE 14-2**

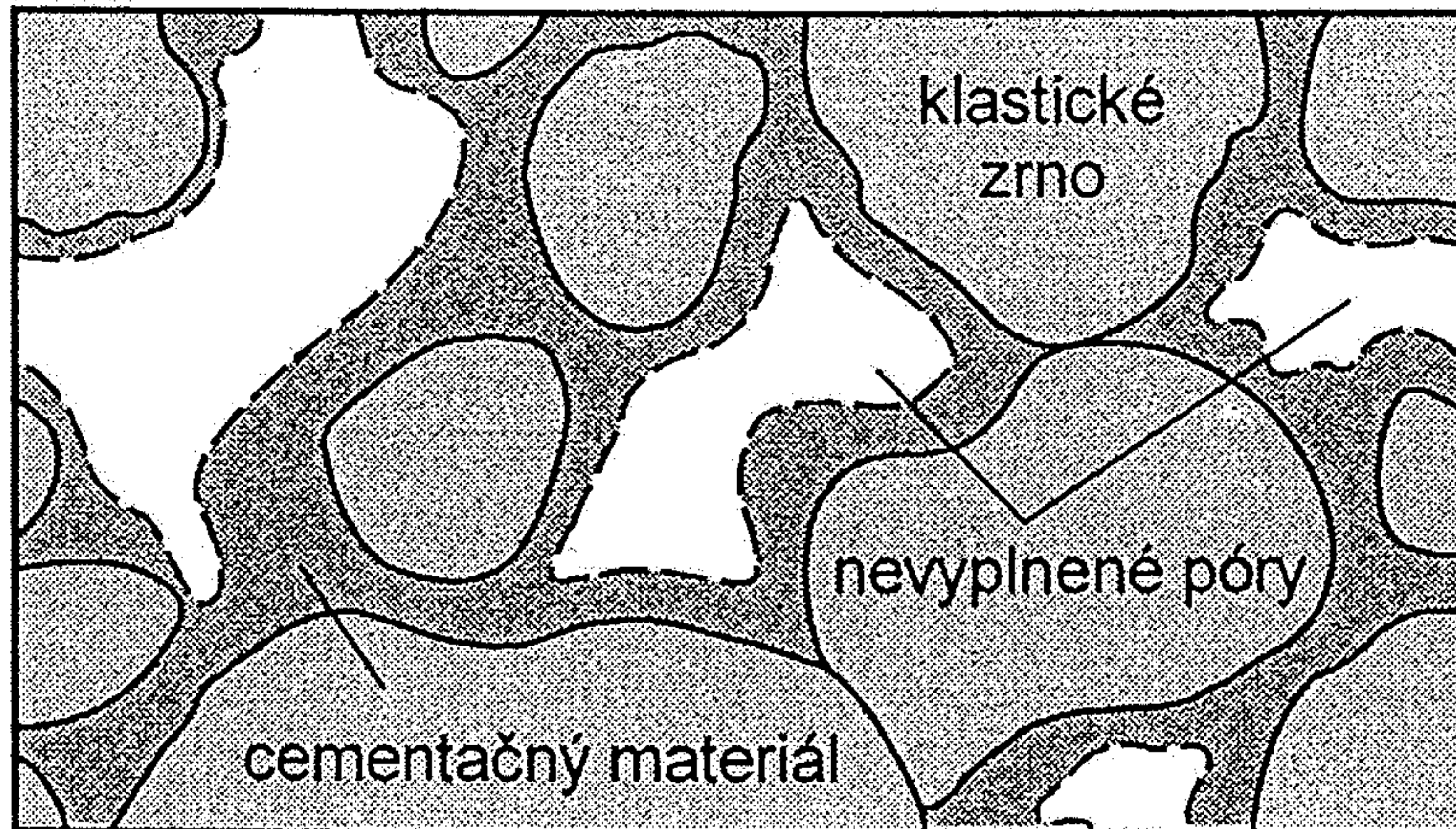
*Porosity in rocks. A and B: The decrease in porosity due to compaction of spheres. C: A sand with high porosity due to good sorting. D: A sandstone with low porosity due to poor sorting. E: Low porosity due to cementation. F: Very high porosity due to well-sorted grains that are themselves porous. G: Porous zones between lava flows. H: Limestone rendered porous by solution along joints. I: Massive rock rendered porous by fracturing.*



a



b

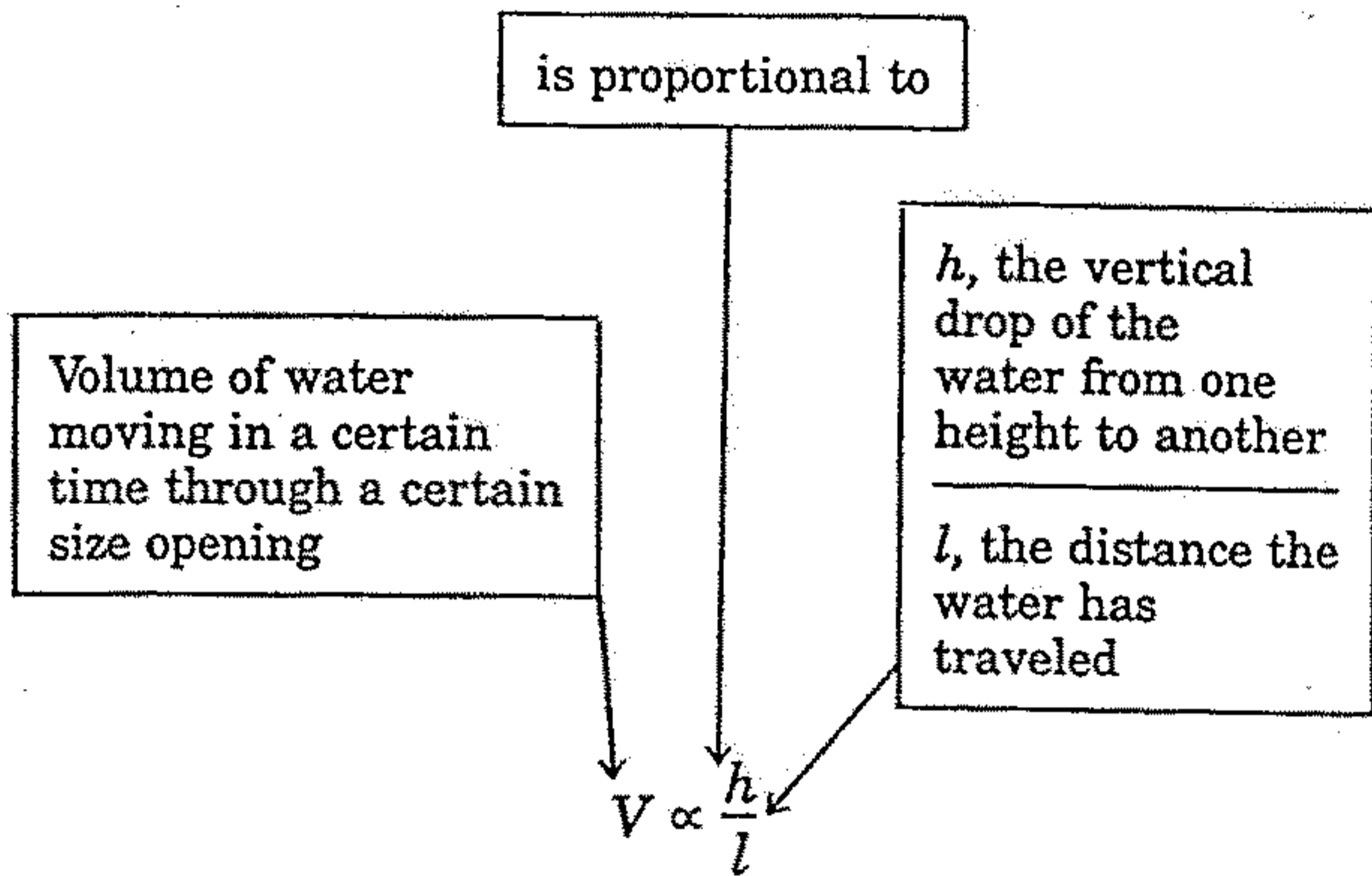


c

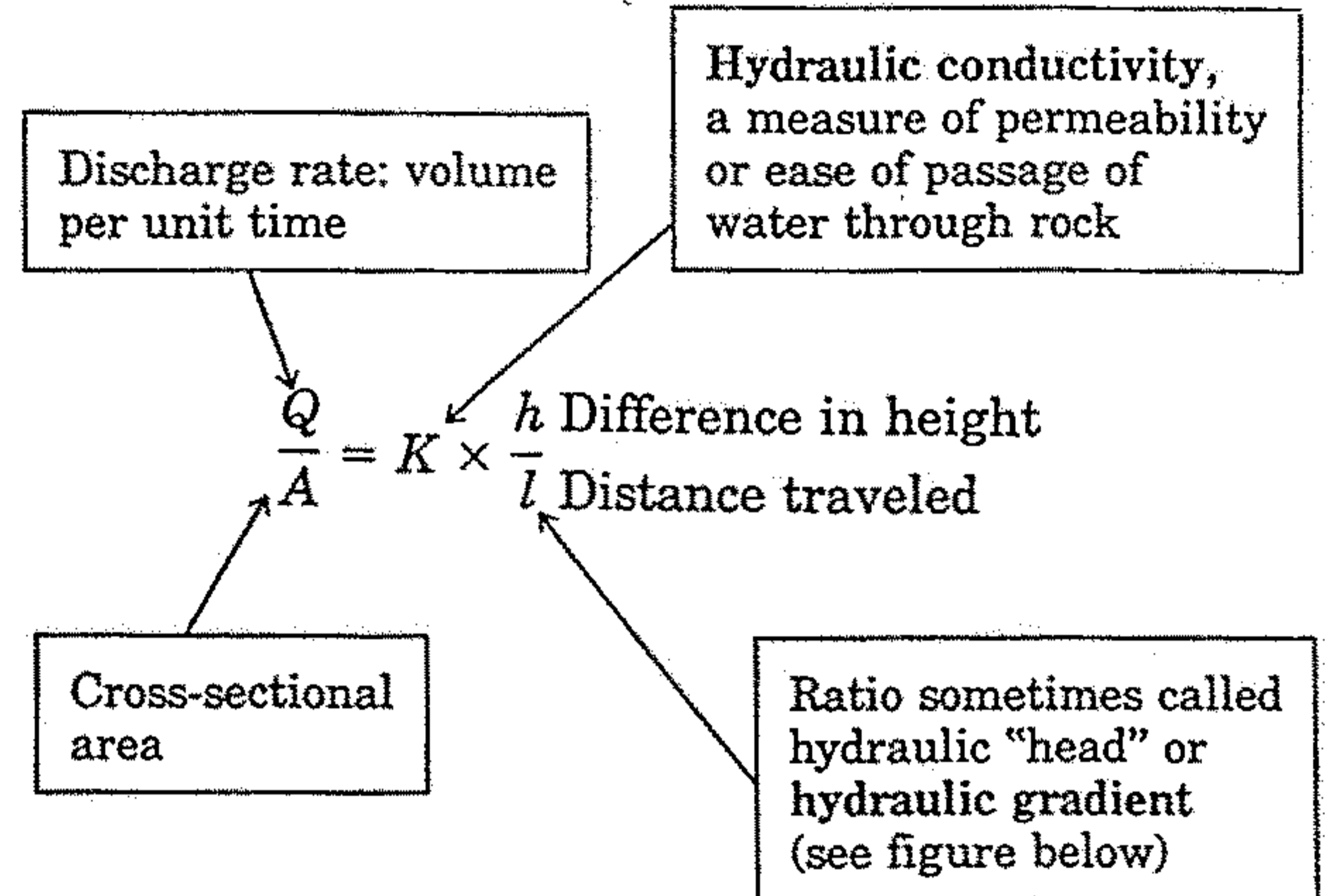
*Obr. 14.1. Schematické znázornenie zmeny pórovitosti klastických hornín v závislosti od stupňa vytriedenia a cementácie: a – vyše 30 % pórovitosť v dobre vytriedených sedimentoch, b – 17 % pórovitosť v slabo vytriedených sedimentoch, v ktorých priestor medzi veľkými zrnami je vyplnený jemnejším klastickým materiálom, c – značné zníženie pórovitosti a priepustnosti horniny v dôsledku prítomnosti cementačného materiálu obalujúceho jednotlivé klastické zrná. (podľa Skinnera – Portera 1987)*

# Darcy's Law of Groundwater Motion

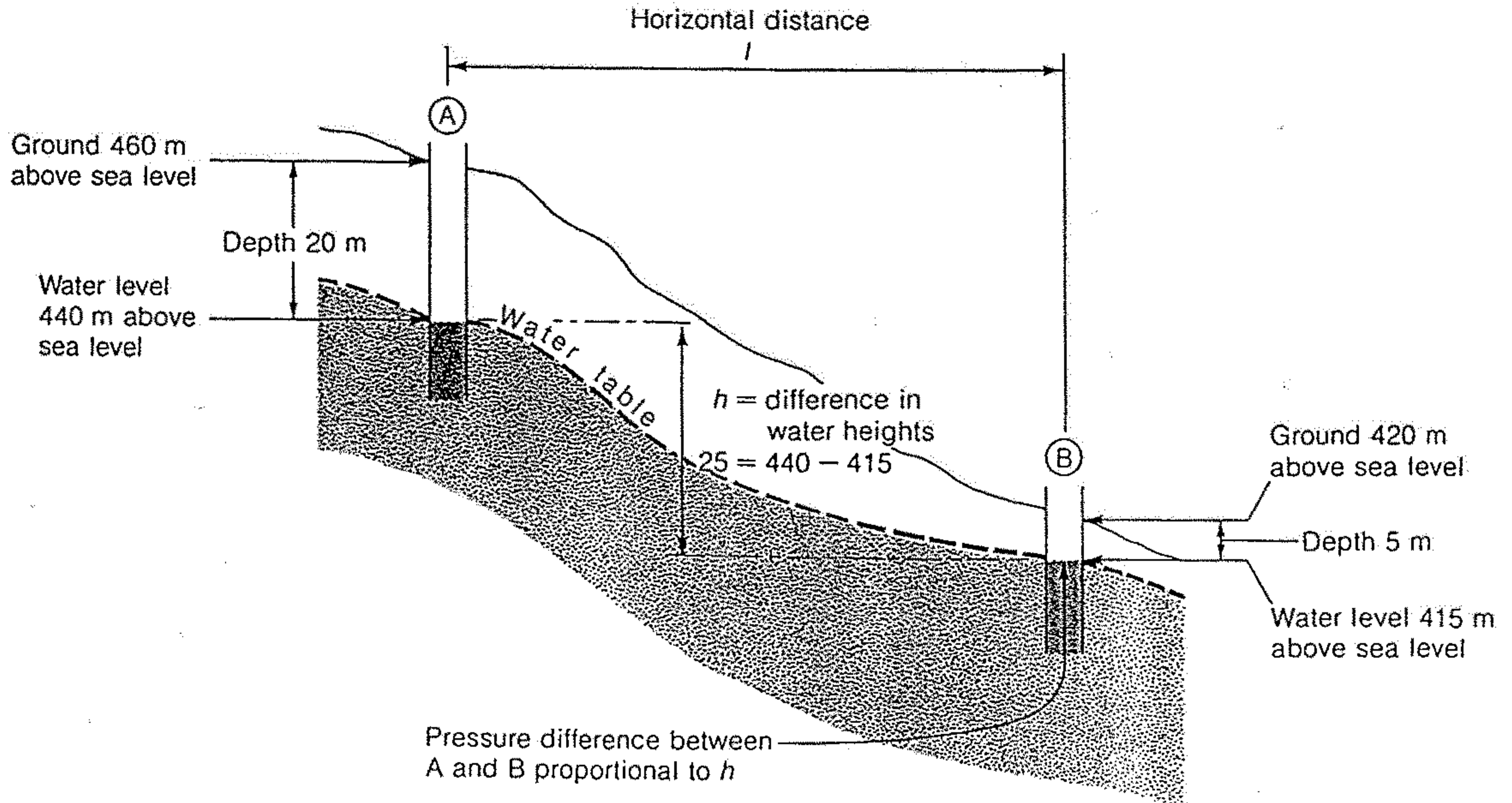
The law formulated by Darcy is given in terms of the volume of water moving through any opening in a given amount of time, essentially a velocity term, and the geometry of the general flow, or the ratio of the vertical to the horizontal distance.



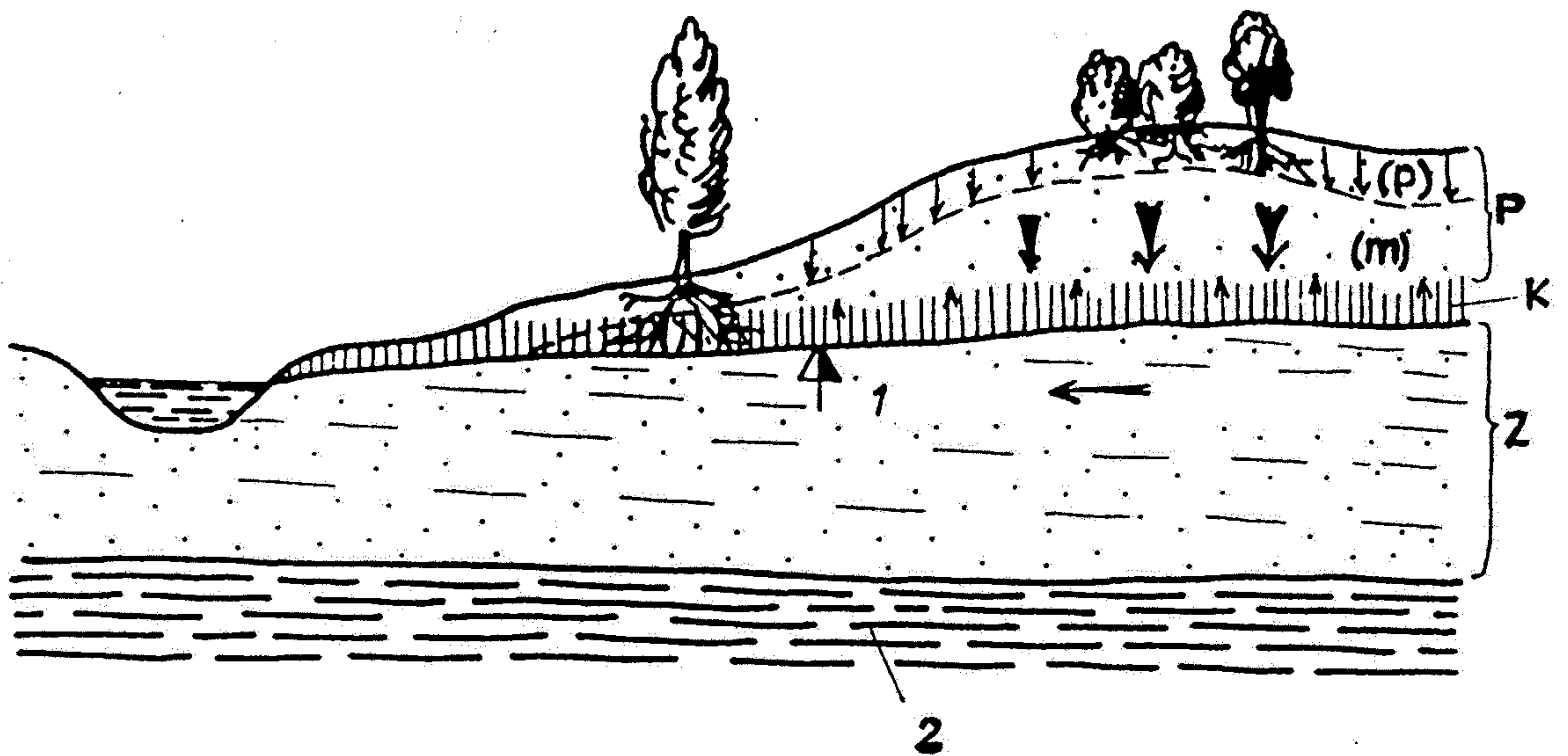
Darcy reasoned that the permeability of a rock is what slows down the flow for a given drop of height  $h$  in a certain distance  $l$ . So he made this proportion into an equation by multiplying the right-hand side by a proportionality factor,  $K$ . Darcy identified  $K$  as a measure of the permeability of the rock, or in other words, how easily it transmits water.



From this equation, we can determine the velocity of flow, or, if we know the velocity, the hydraulic conductivity.



Darcy's Law



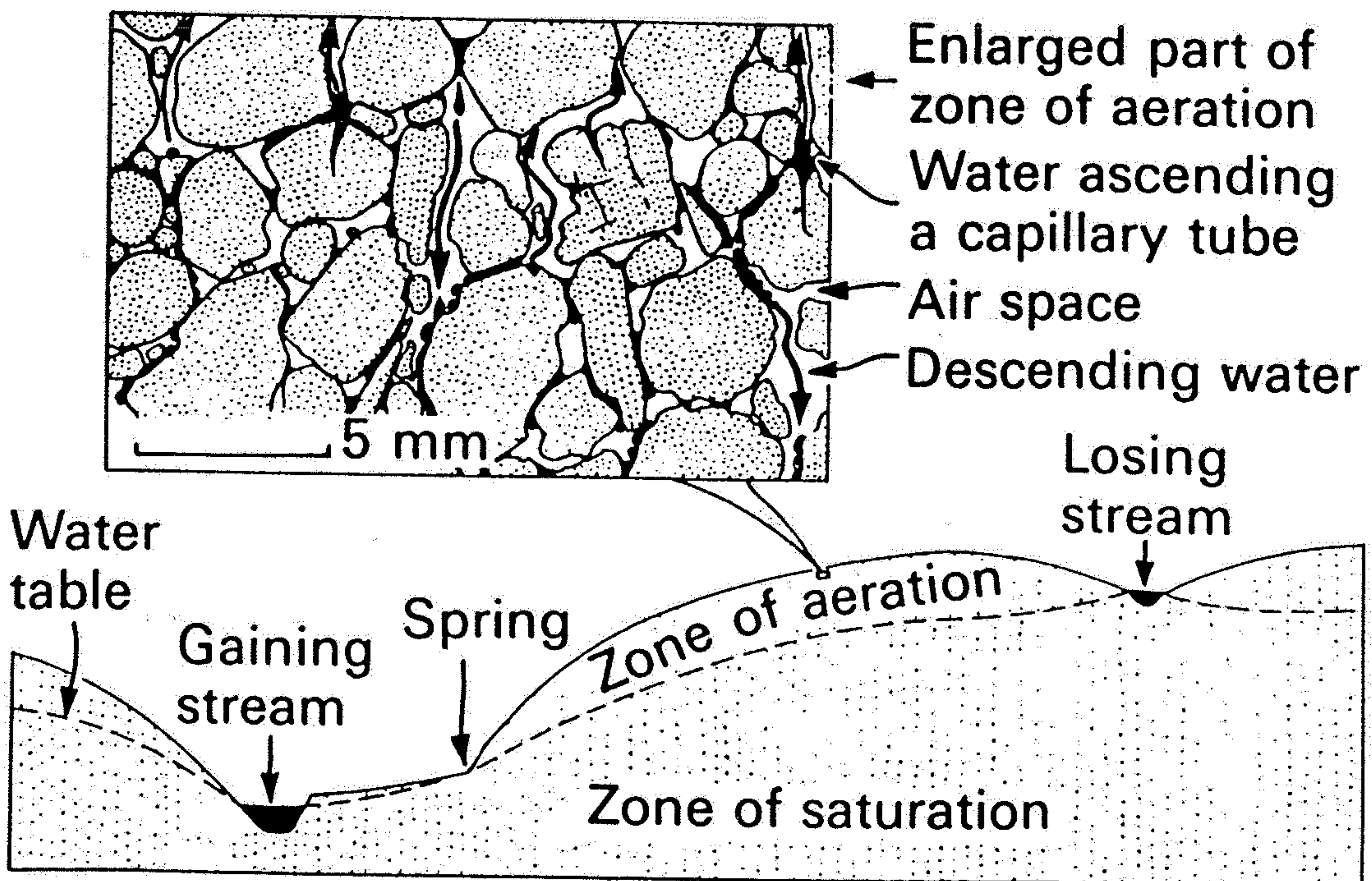
Obr. 334. Pronikání podzemní vody z povrchu do hloubky (podle O. Meinzera)

P – provzdušněné pásmo s půdní (p) vodou **zavěšenou**

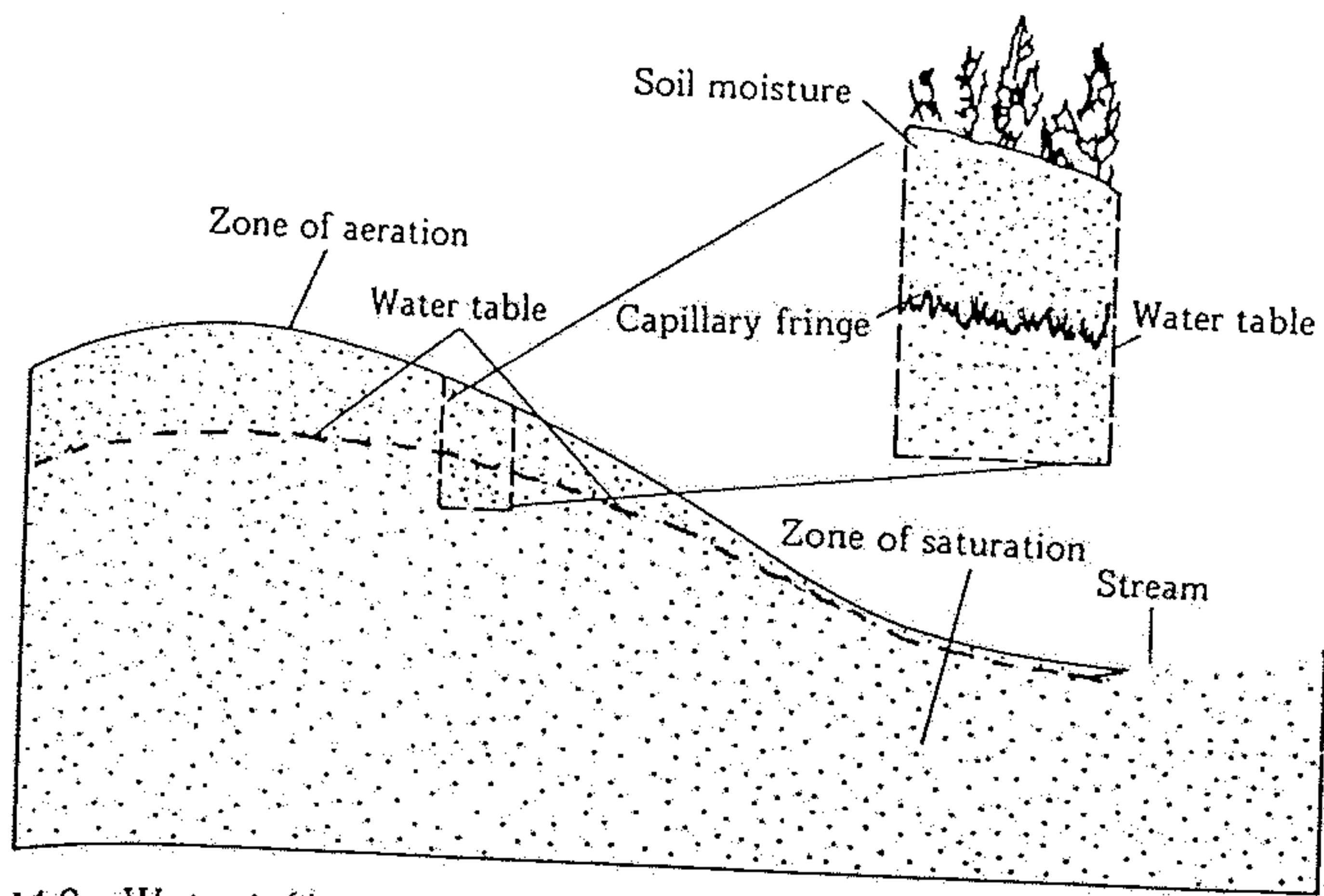
Z – zvodněné pásmo s kapilární (k) vodou podepřenou

(m) – provzdušněné pásmo (aerační p.) průsakové

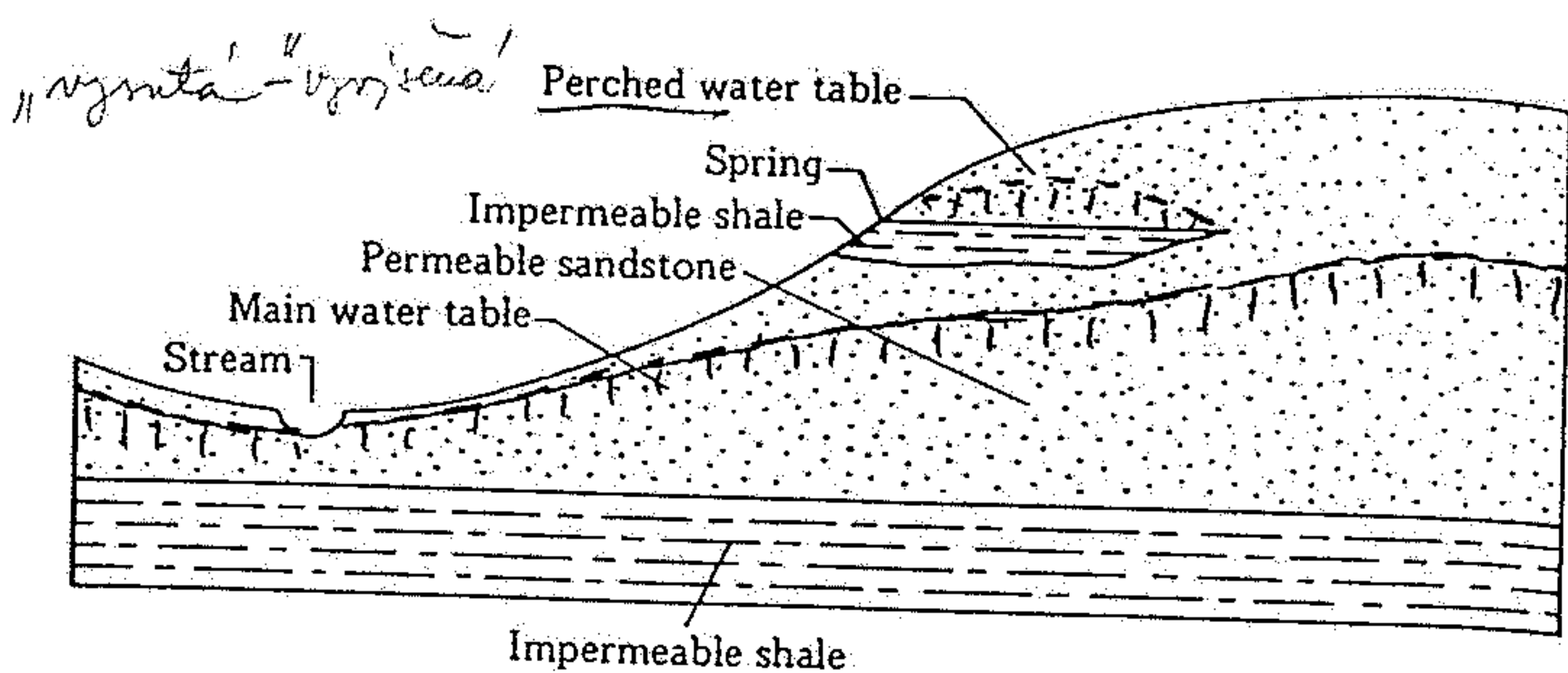
1 – hladina podzemní vody, 2 – nepropustné vrstvy



Cross section showing the water table and its relations to streams and a spring. The greatly enlarged inset shows the movement of water (black) in the zone of aeration.

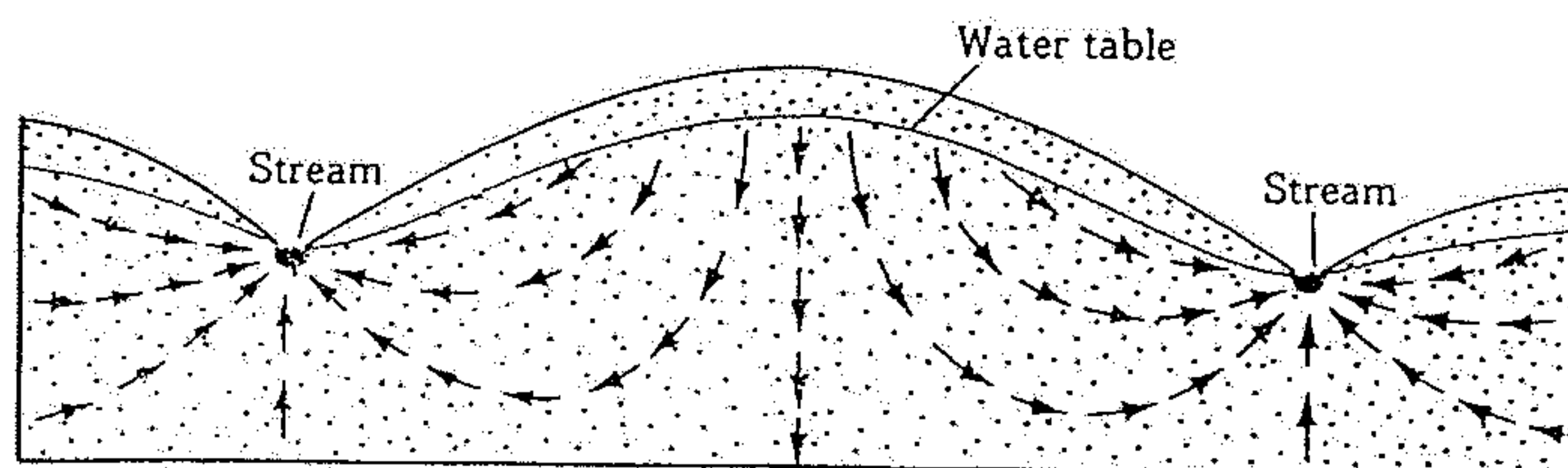
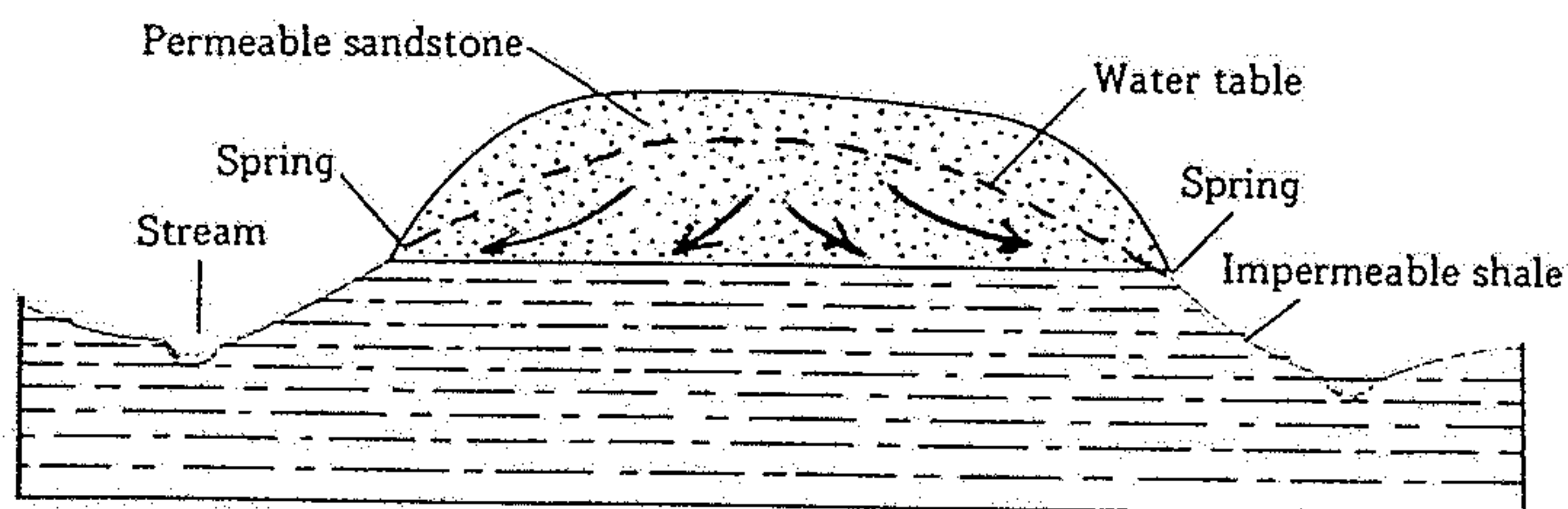


14.2 Water infiltrating the ground from the surface passes through a zone of aeration in which some of the pore space is filled with air. Part of this water may be held in the soil and used by plants. The water that passes downward eventually reaches the zone of saturation, where all pore spaces are water-filled. The upper surface of this zone is the groundwater table, or simply the water table. This may be capped by a capillary fringe.



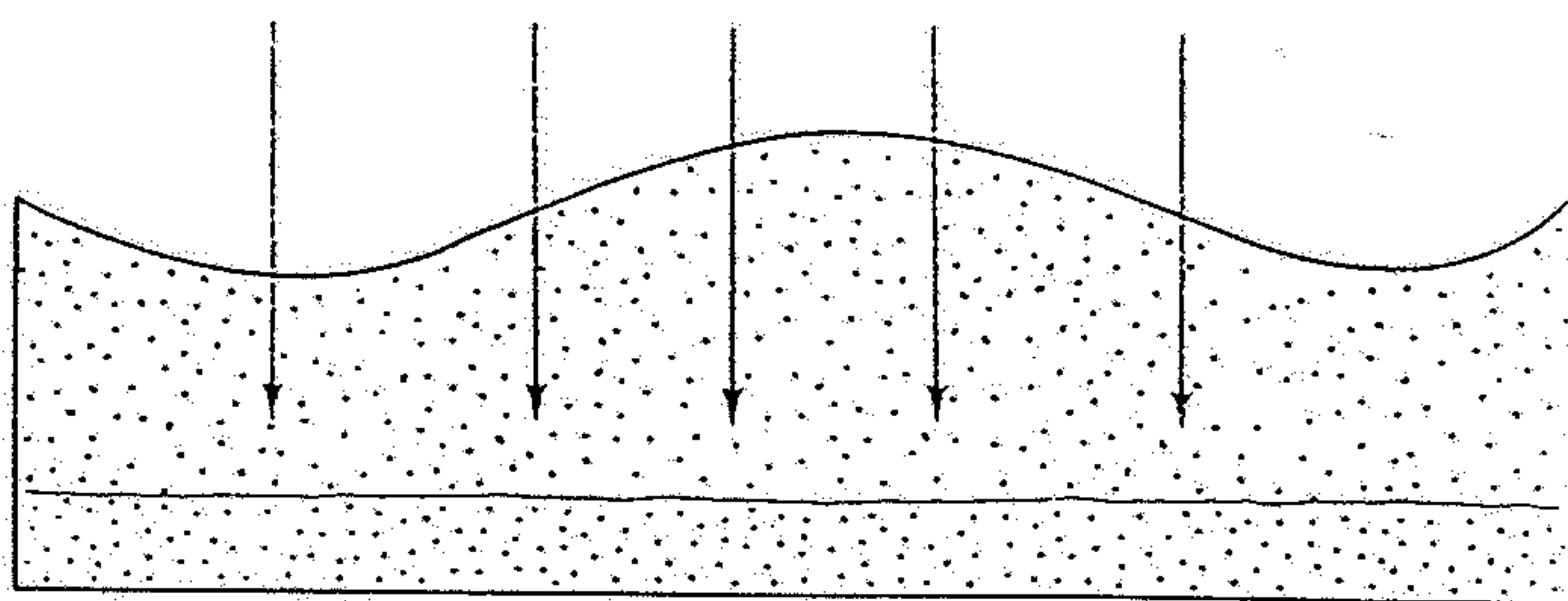
14.6 A perched water table results when groundwater collects over an impermeable zone and is separated from the main water table.

14.5 Nature seldom, if ever, provides uniformly permeable material. In this diagram a hill is capped by permeable sandstone that overlies impermeable shale. Water soaking into the sandstone from the surface is diverted laterally by the impermeable beds. Springs result where the water table intersects the surface at the contact of the shale and sandstone.

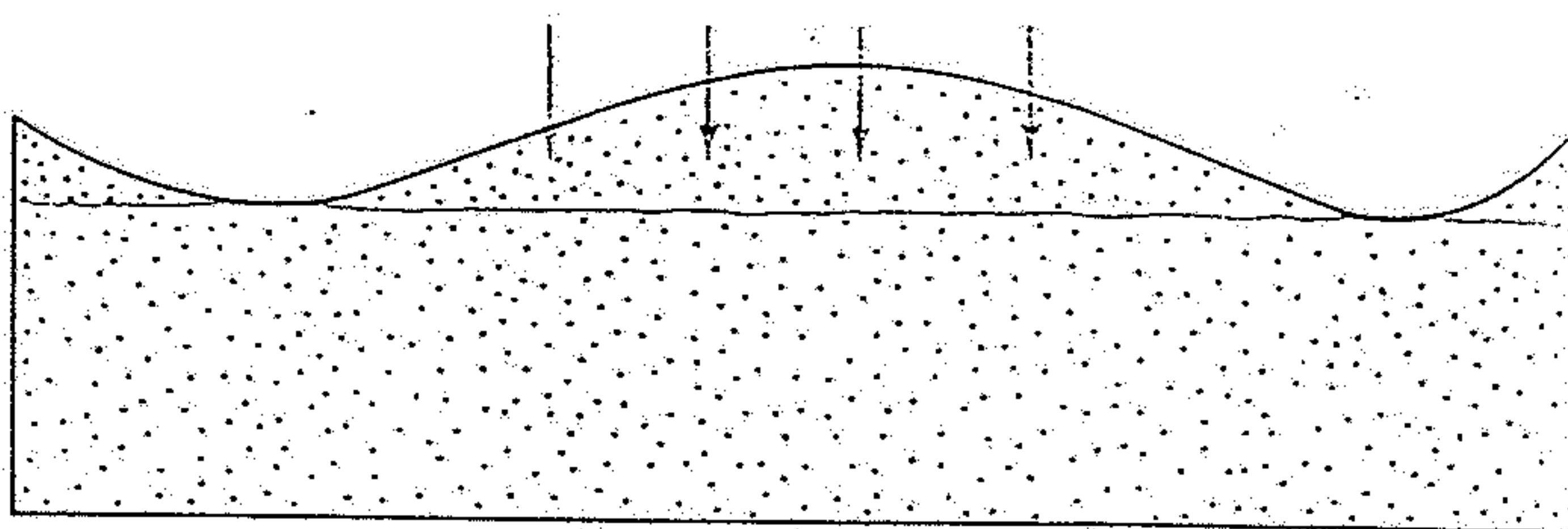


14.4 The flow of groundwater through uniformly permeable material is suggested here. Movement is not primarily along the groundwater table; rather, particles of water define broadly looping paths that converge toward the outlet and may approach it from below.

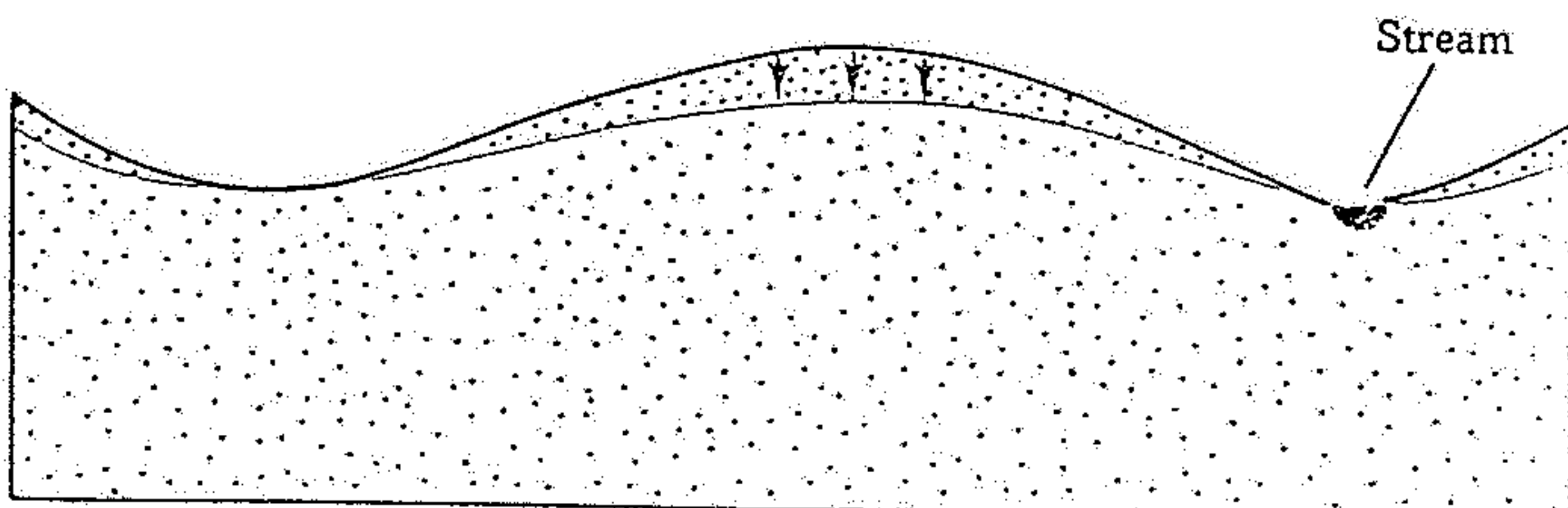
14.3 Ideally, the water table is a subdued reflection of the surface of the ground. In (a) and (b) the water table rises as a horizontal plane until it reaches the level of the valley bottoms on either side of the hill. Thereafter, as more water soaks into the ground, it seeks an outlet toward the valleys. Were the movement of the water not slowed down by the material making up the hill, it would remain essentially horizontal. The friction caused by the water passing through the material (and even to some extent, the internal friction of the water itself) results in a piling up of water beneath the hill; the bulge is highest beneath the crest and lowest toward the valleys (c). The shape of the water table may be altered by pumping water from a well (d). The water flows to this new outlet and forms a cone of depression.



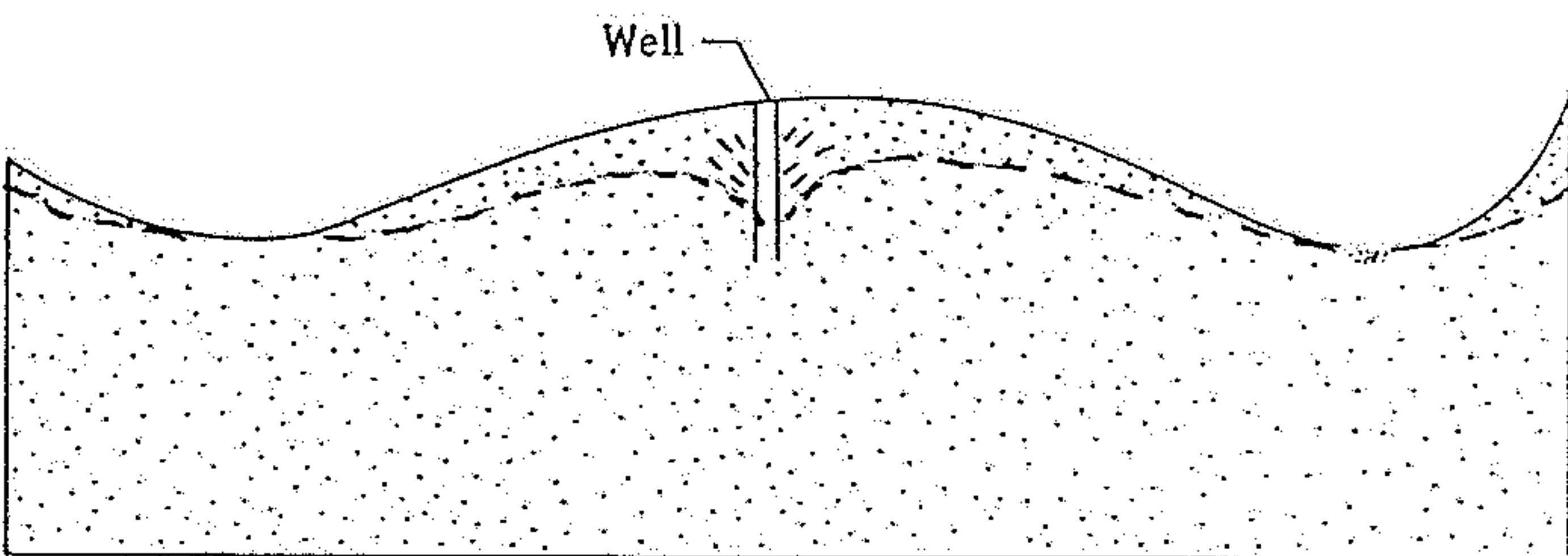
(a)



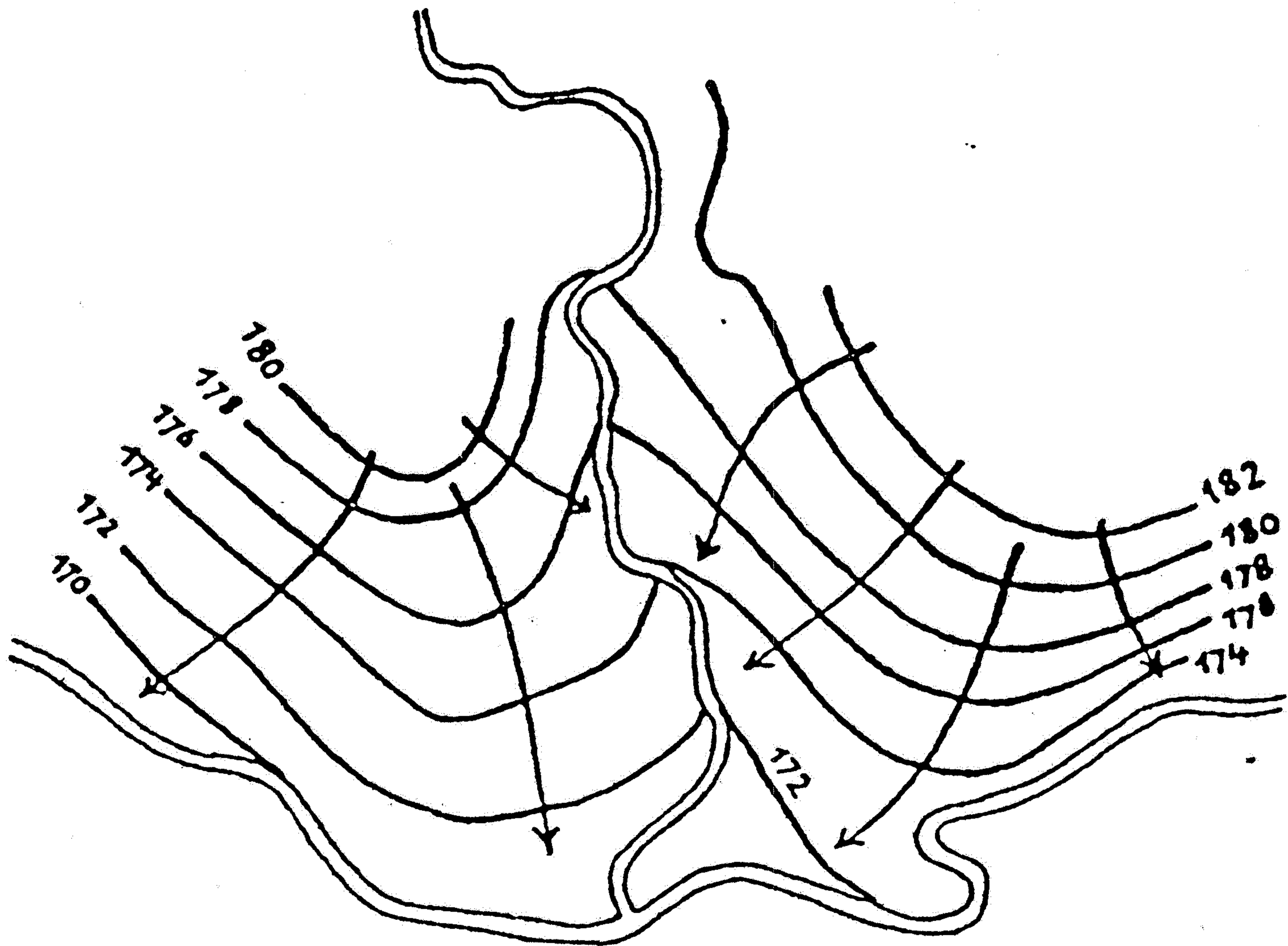
(b)



(c)



(d)



Obr. 6. *Hydroisohypsy a pohyb spodní vody při ústí Jizery do Labe.*  
 (Upraveno podle E. PRINZE.)



## 14.4

In this diagram ground water is shown in color. A perched water table lies above a lens of impermeable shale which is enclosed in sandstone. A spring is shown where this shale crops out on the hillside. Three other springs occur where the permanent water table comes to the surface at the contact between the sandstone and the impermeable igneous rock, and also at the swale where the permanent water table crops out as a swamp. Points A, B, and C designate spots at which it would be unwise to drill for water. A and C are impermeable igneous rocks. At point B a well which taps only the perched ground water will be unreliable or dry during times of low precipitation. Reliable wells may be expected below in the zone beneath the permanent water table. The river sands and gravels should also provide a reliable source of ground water.

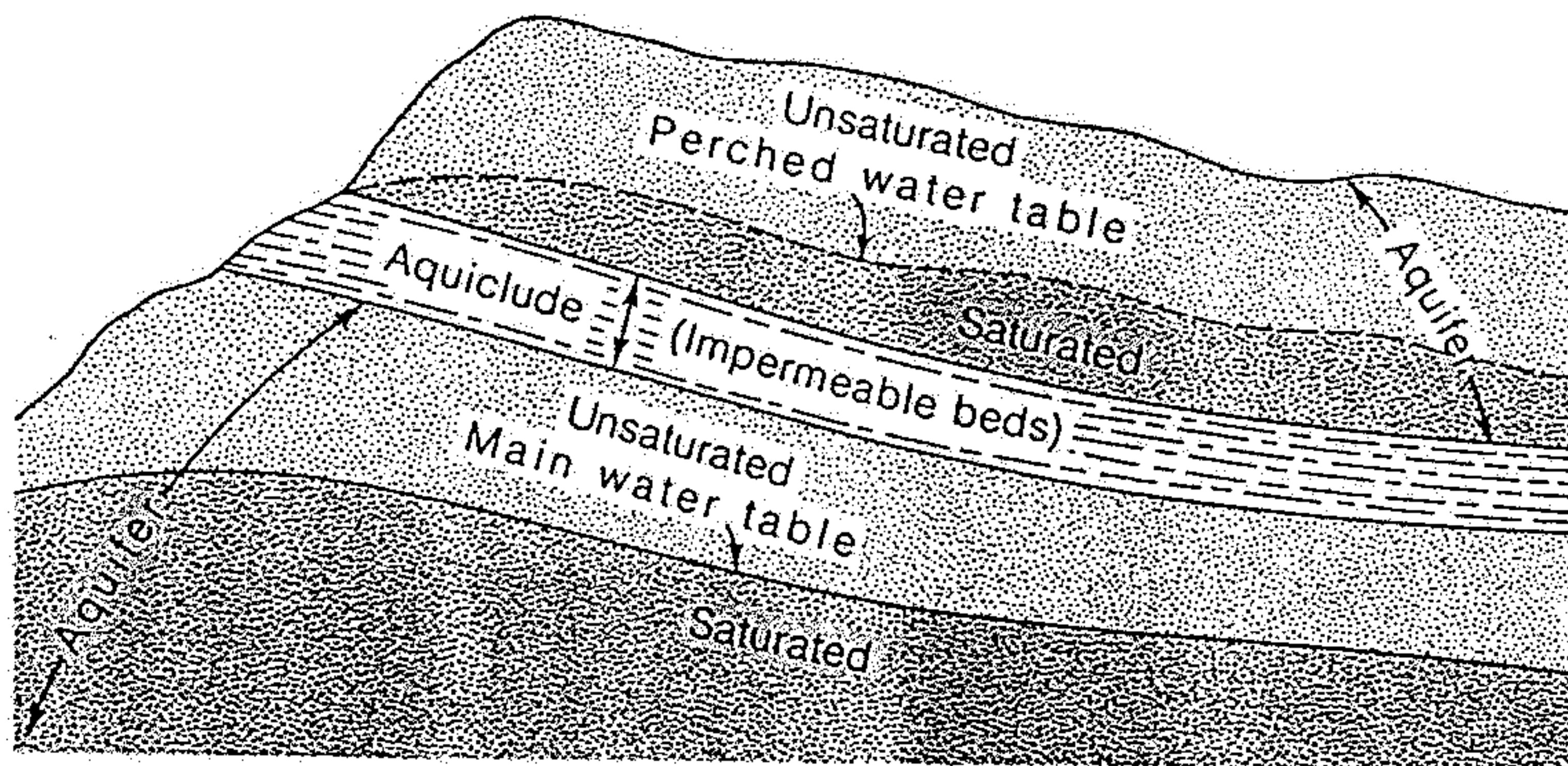
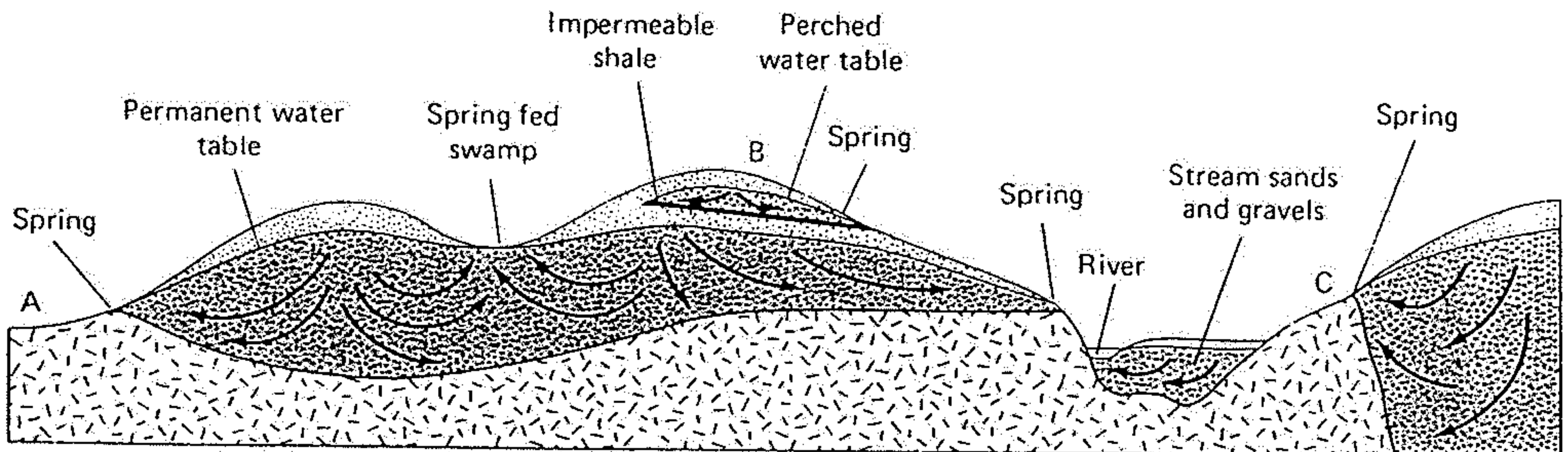


Figure 7-15

A perched water table is separated from the main water table by an aquiclude composed of shale or other impermeable beds.

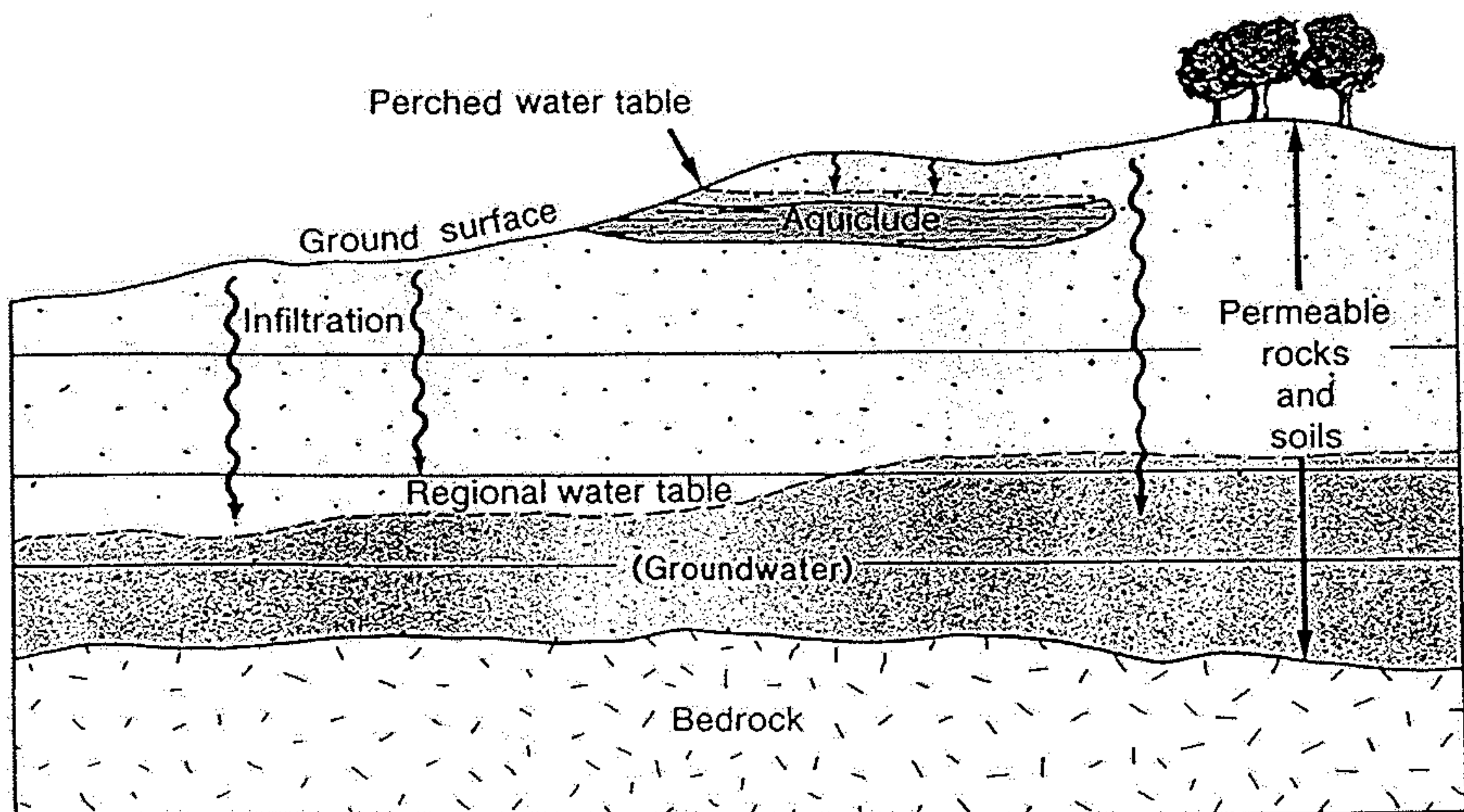
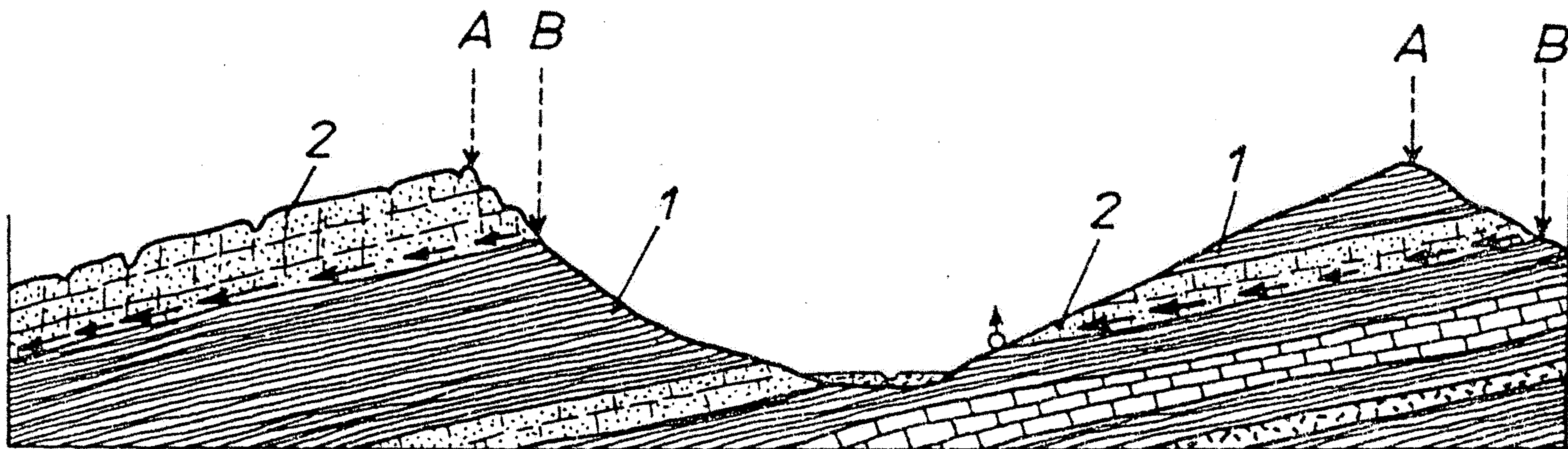
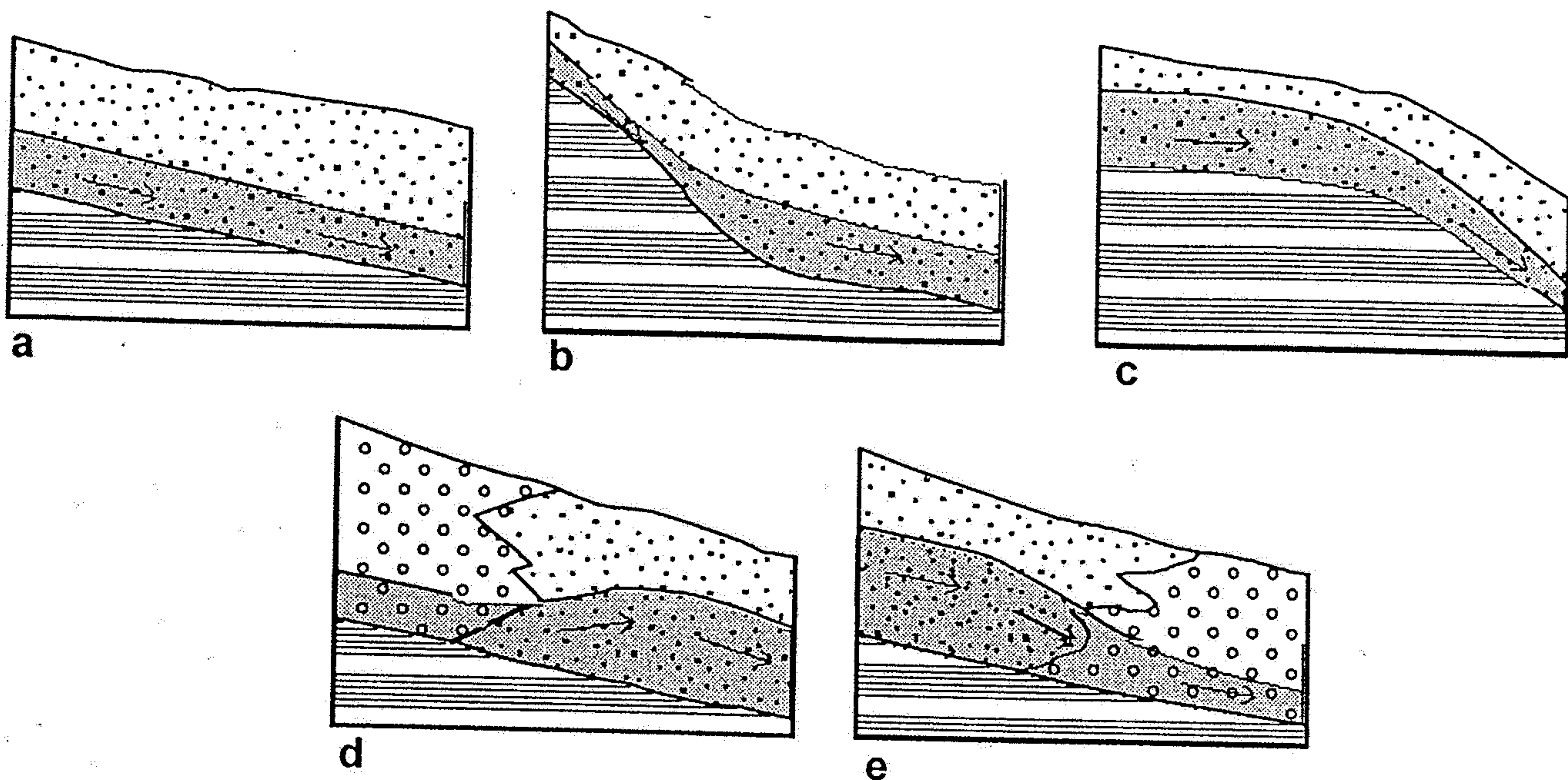


Figure 10.4 A perched water table may create the illusion of a high regional water table.

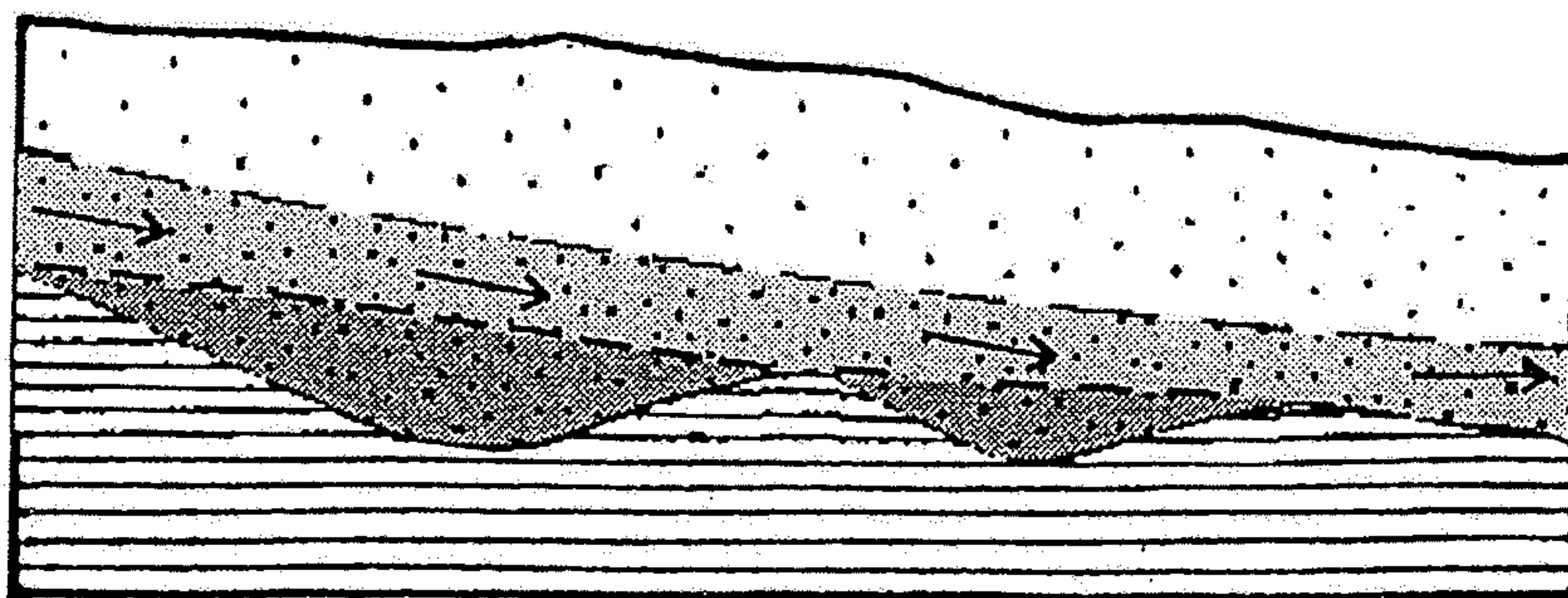


Obr. 366. Schematický řez znázorňující rozdíl mezi orografickým *A* a hydrogeologickým rozvodím *B* (podle *R. Kettnera*)

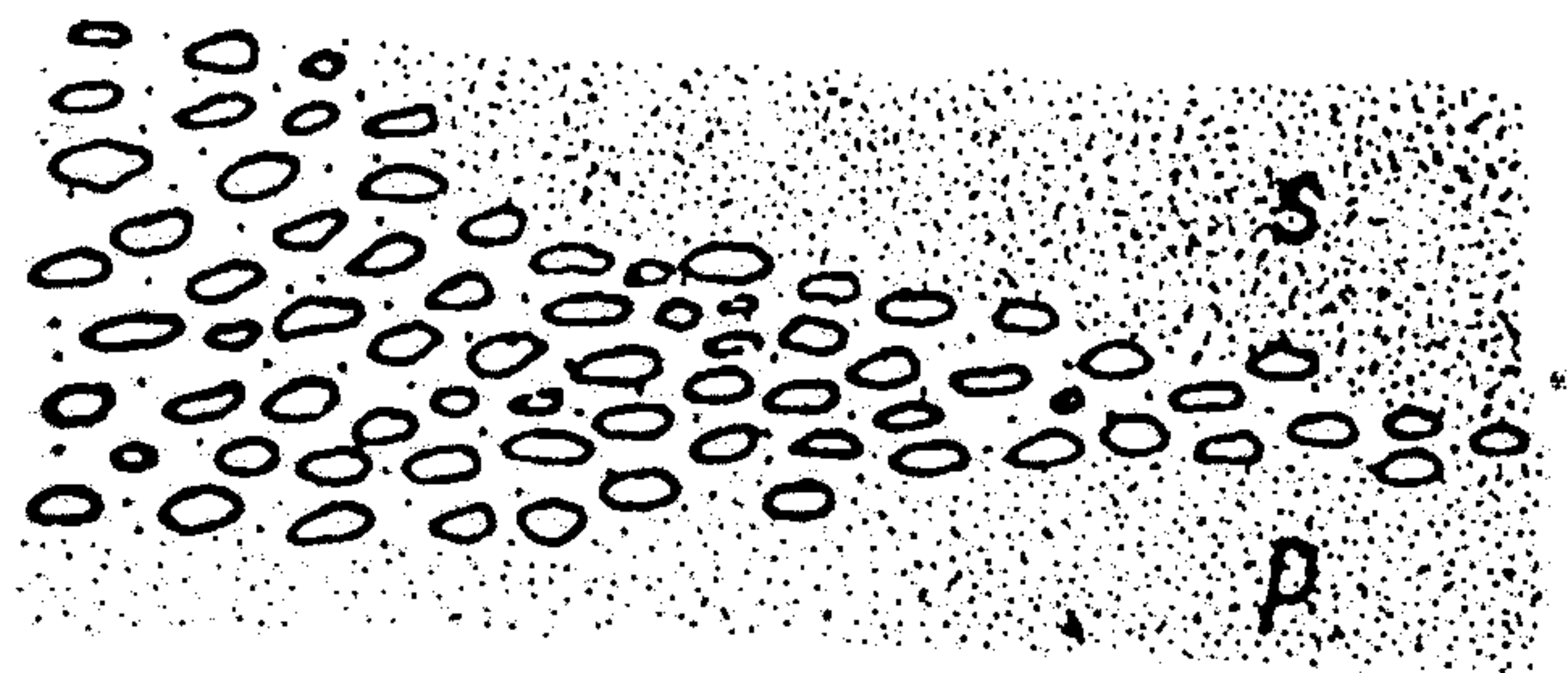
*1* – vrstvy nepropustných hornin, *2* – vrstvy propustných hornin; šipky značí proudy podzemních vod



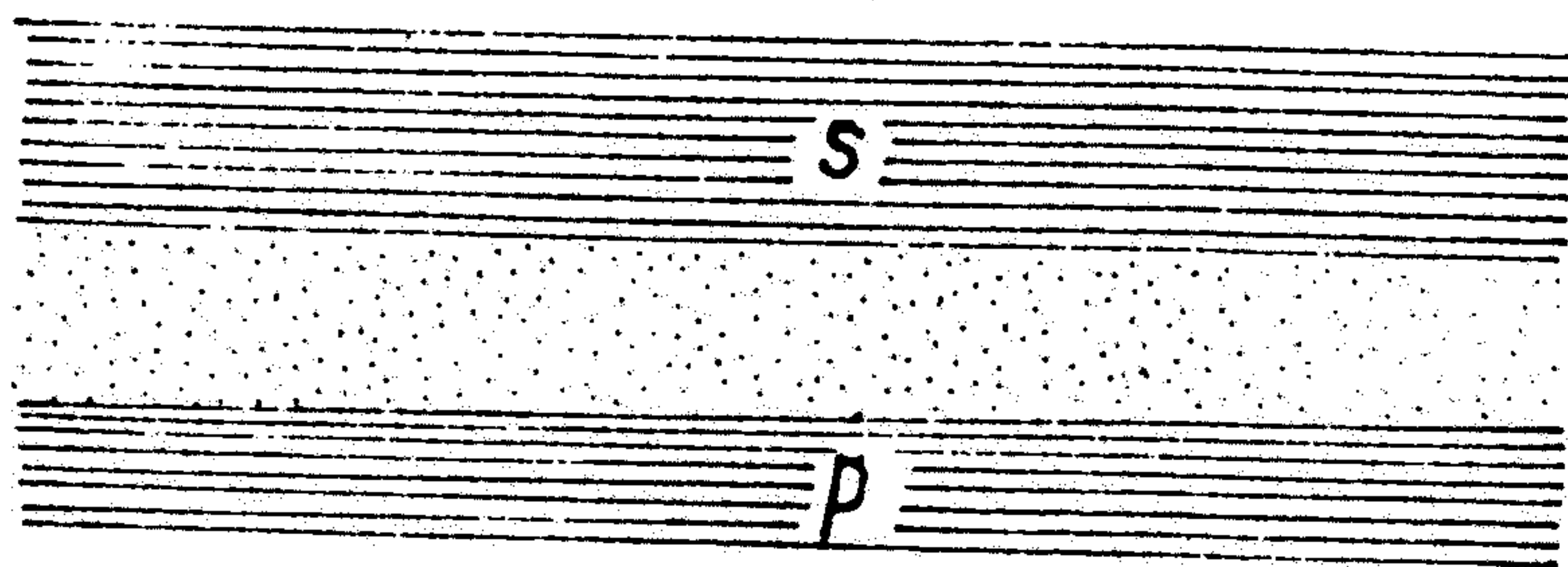
Obr. 14.5. Zmeny hladiny podzemnej vody v závislosti od zmien sklonu nepriepustného podložia a zmeny litologického charakteru (priepustnosti) zvodnenej horniny: a – pri stálom úklone nepriepustného podložia je priebeh hladiny paralelný s podložím zvodneného horizontu, b – pri zmiernení sklonu nepriepustného podložia dochádza k zvýšeniu hladiny a zníženiu rýchlosti pohybu podzemnej vody, c – pri zvýšení sklonu sa zníži hladina a zvýši sa rýchlosť pohybu, d – pri prechode do menej priepustných hornín, sa zvýši hladina a zníži rýchlosť pohybu, e – pri prechode do priepustnejších hornín, sa zníži hladina a zvýši rýchlosť pohybu



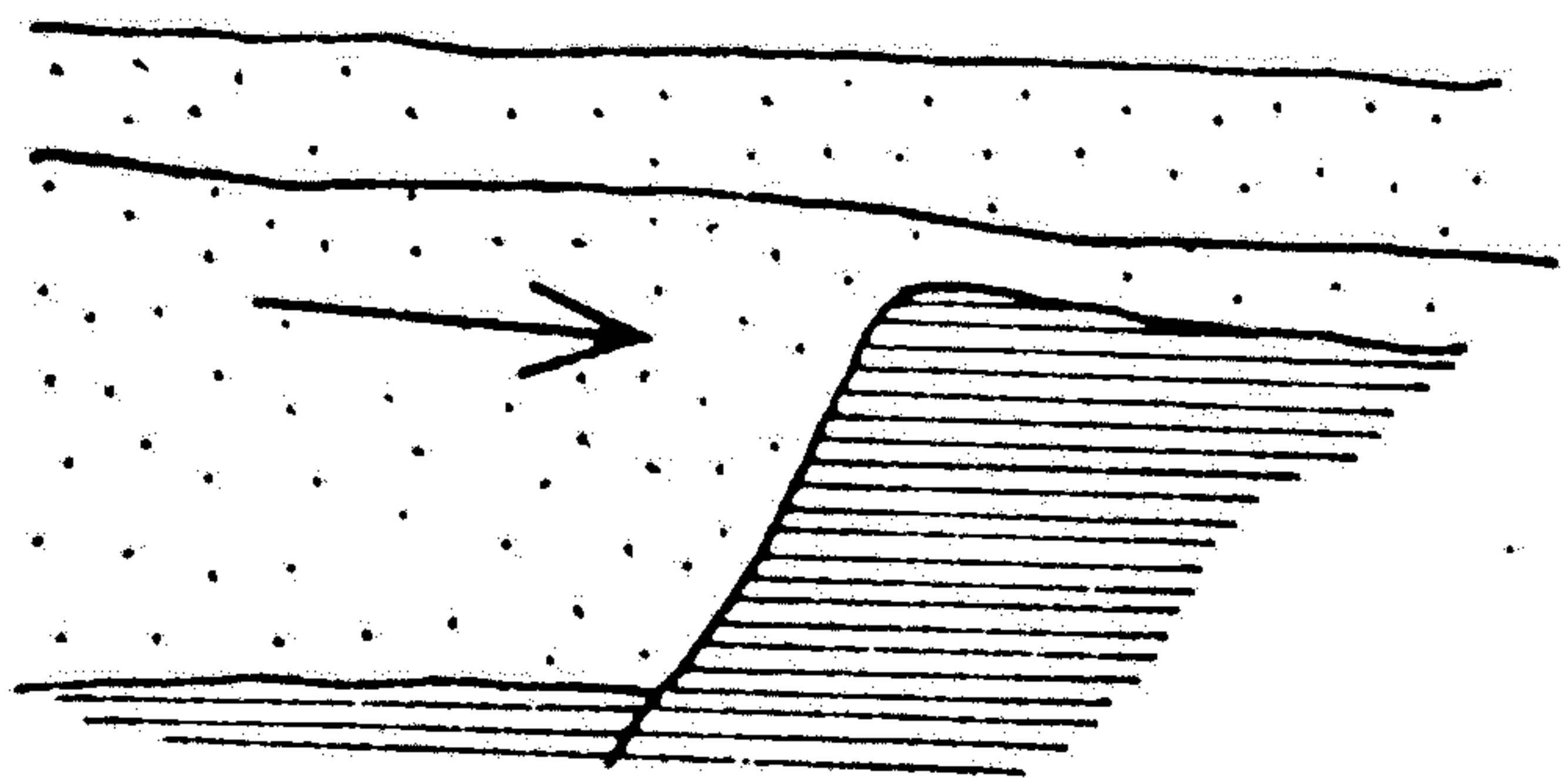
Obr. 14.4. Schéma znázorňuje uklonenú hladinu podzemnej vody. Jej pohyb v smere sklonu nepriepustného podložia vo vrchnej časti zvodneného horizontu je vyznačený šípkami. V depresiách nepriepustného podložia v spodnej časti zvodneného horizontu sa podzemná voda nepohybuje a má charakter stojatej podzemnej vody



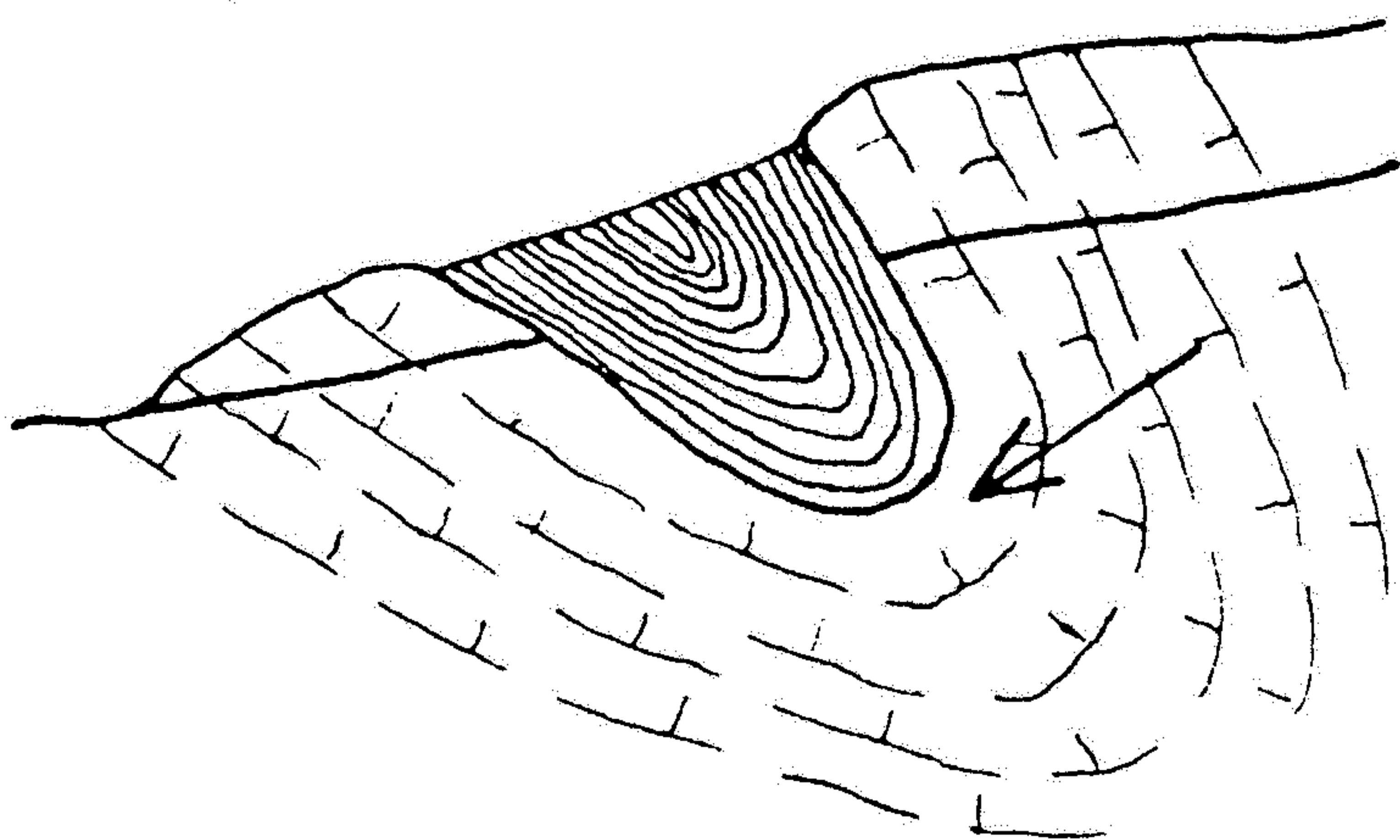
a



b

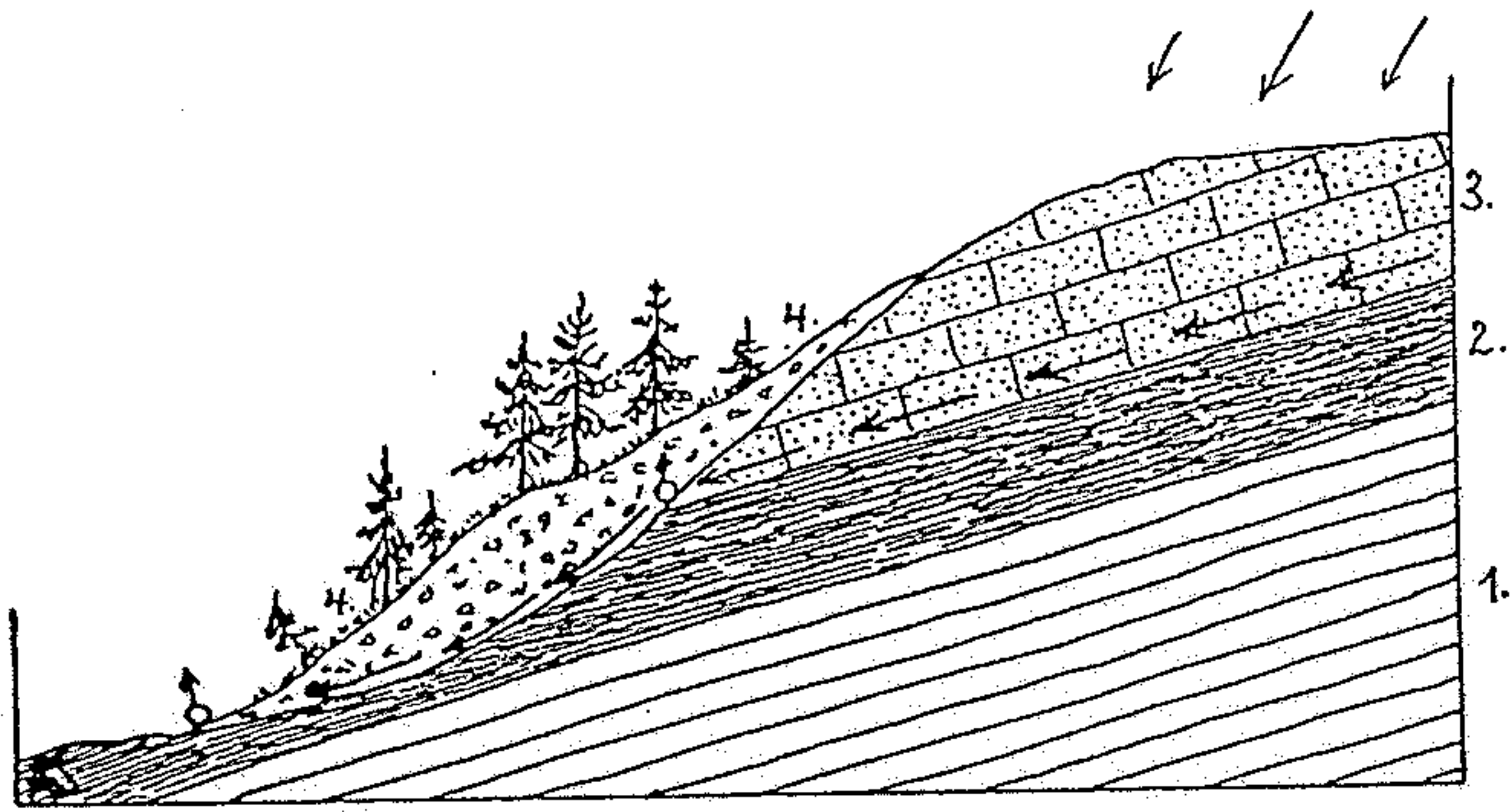


c

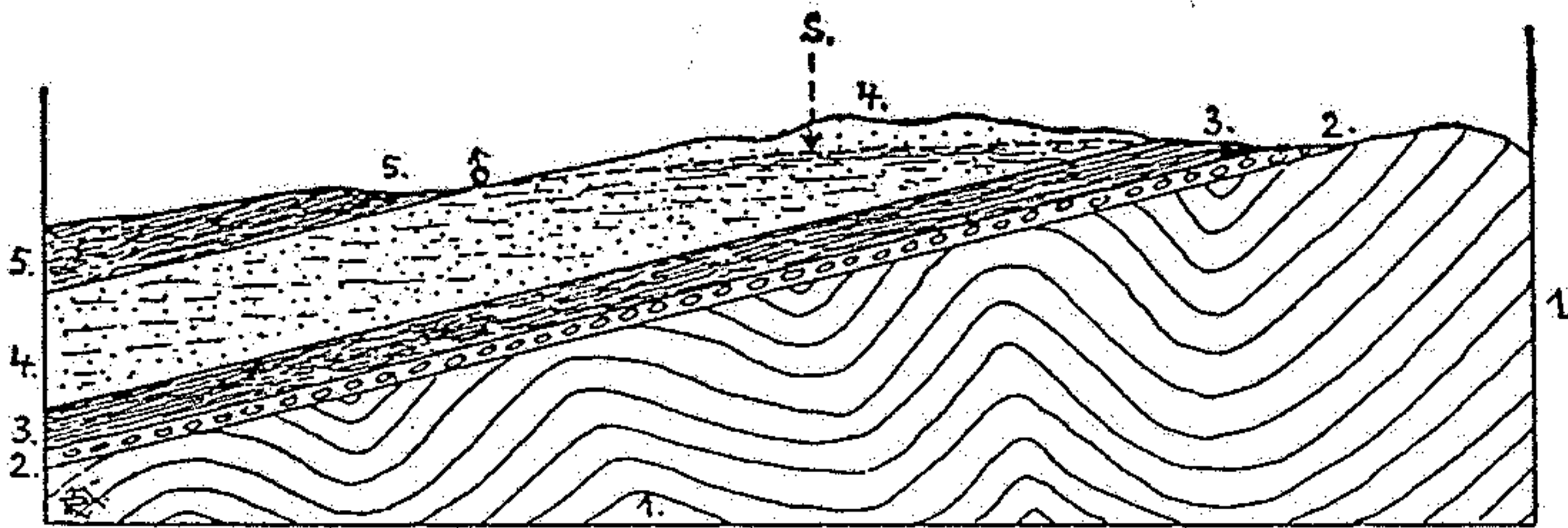


d

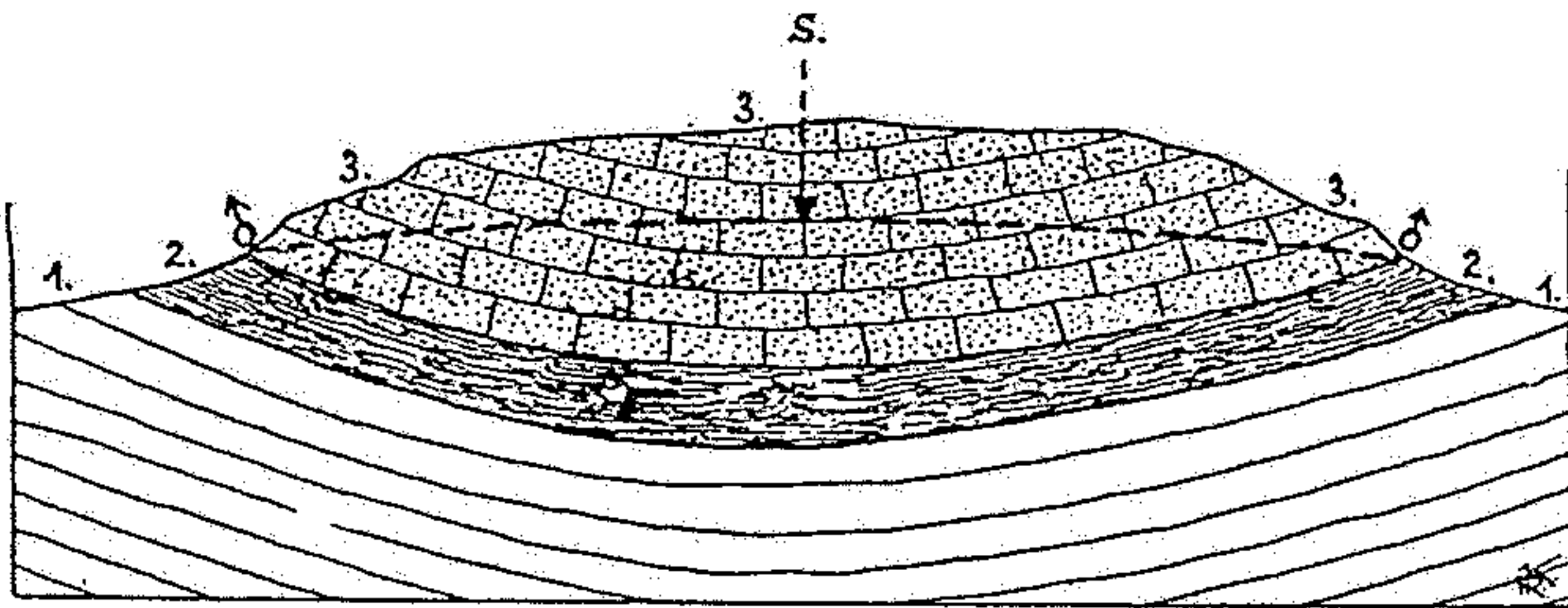
Hydrogeologický izolátor a hydrogeologická bariéra. Počevní (p) a stropní (s) izolátor: a — s neostrou hranicí proti kolektoru, b — s ostrým ohraničením proti kolektoru. Hydrogeologická bariéra: c — počevní, d — stropní. Šipky označují směr proudění podzemní vody.



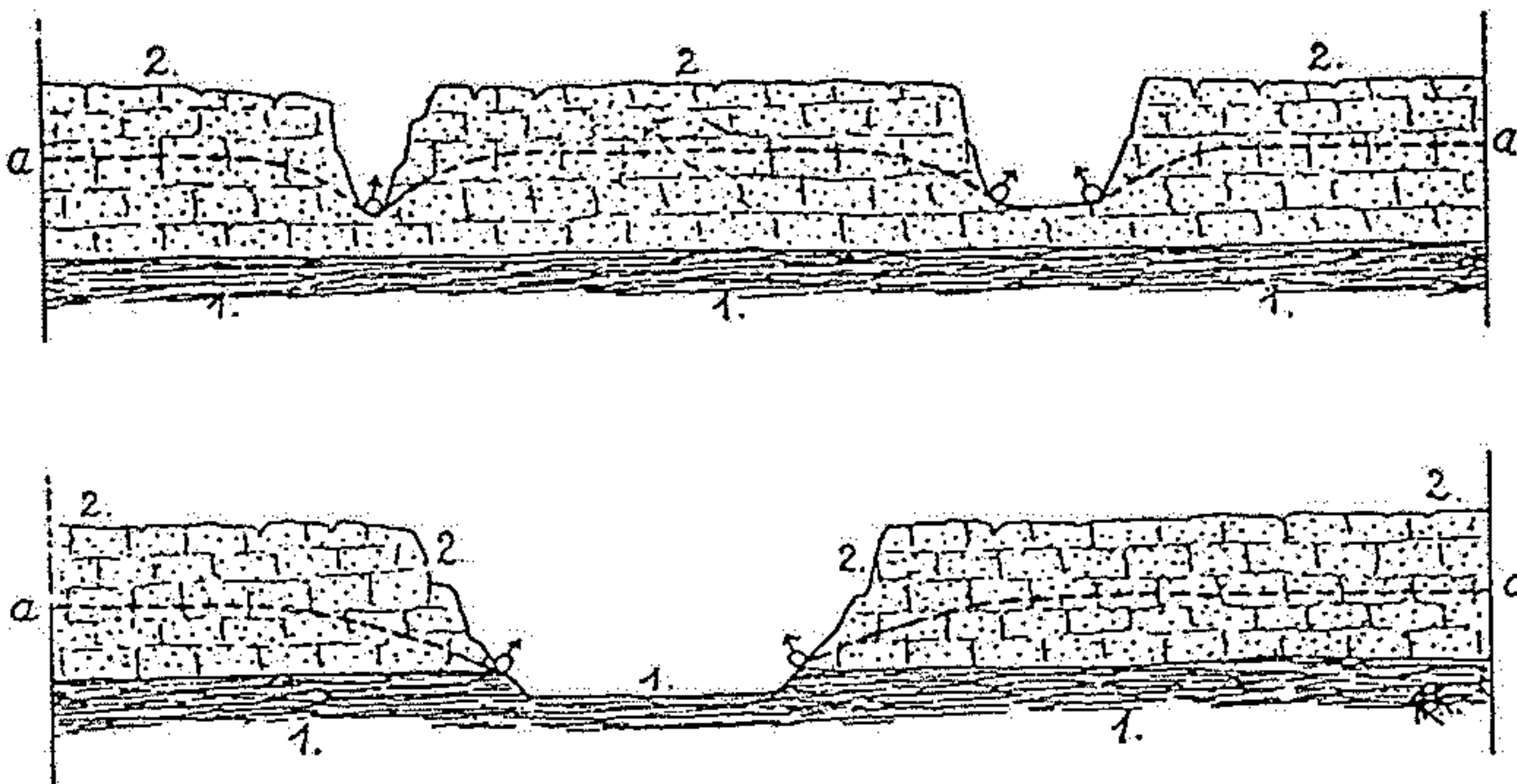
Obr. 27. Posunutí vrstevního pramene po svahu k dolnímu konci ssuťových uloženin 4.



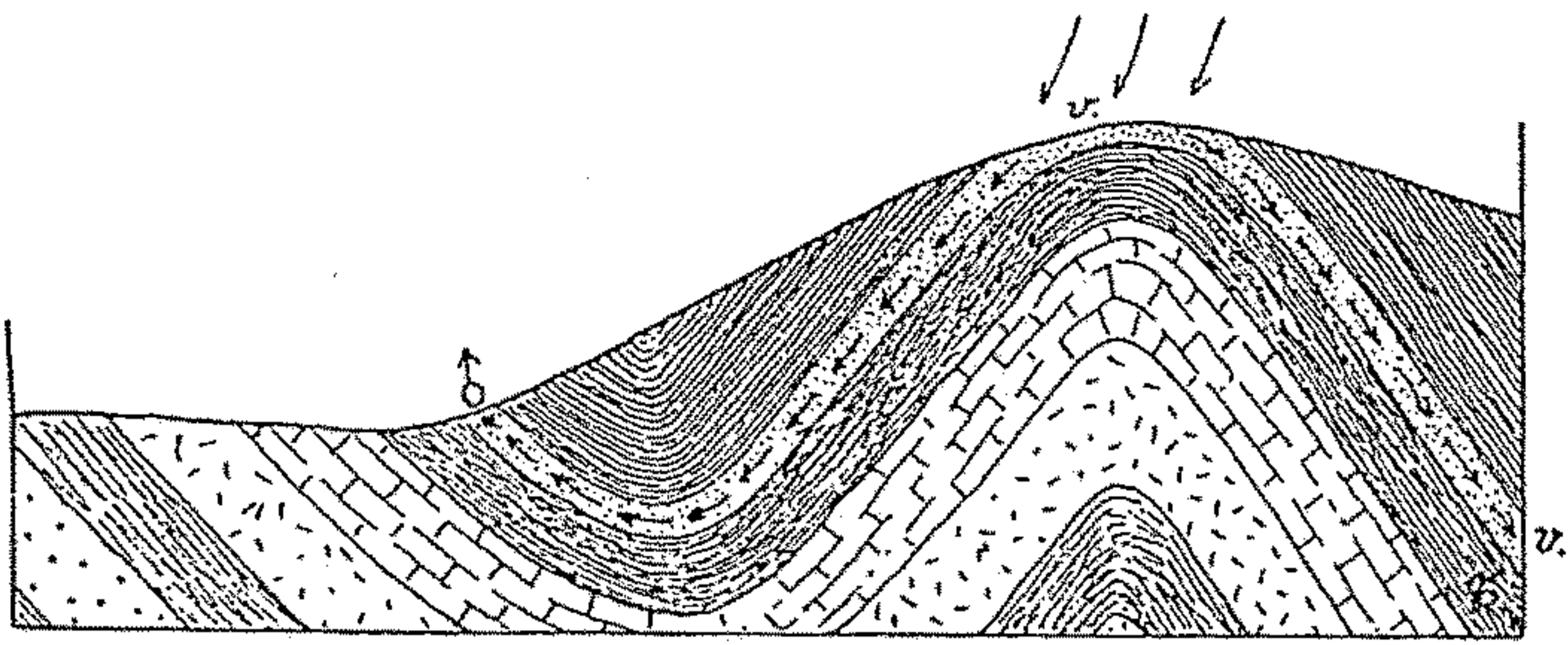
Obr. 28. Přetékající pramen vytékající z nádrže spodní vody, sevřené dvěma nepropustnými souvrstvími 3. a 4. 5. = horniny propustné, s. = hladina spodní vody, δ = pramen.



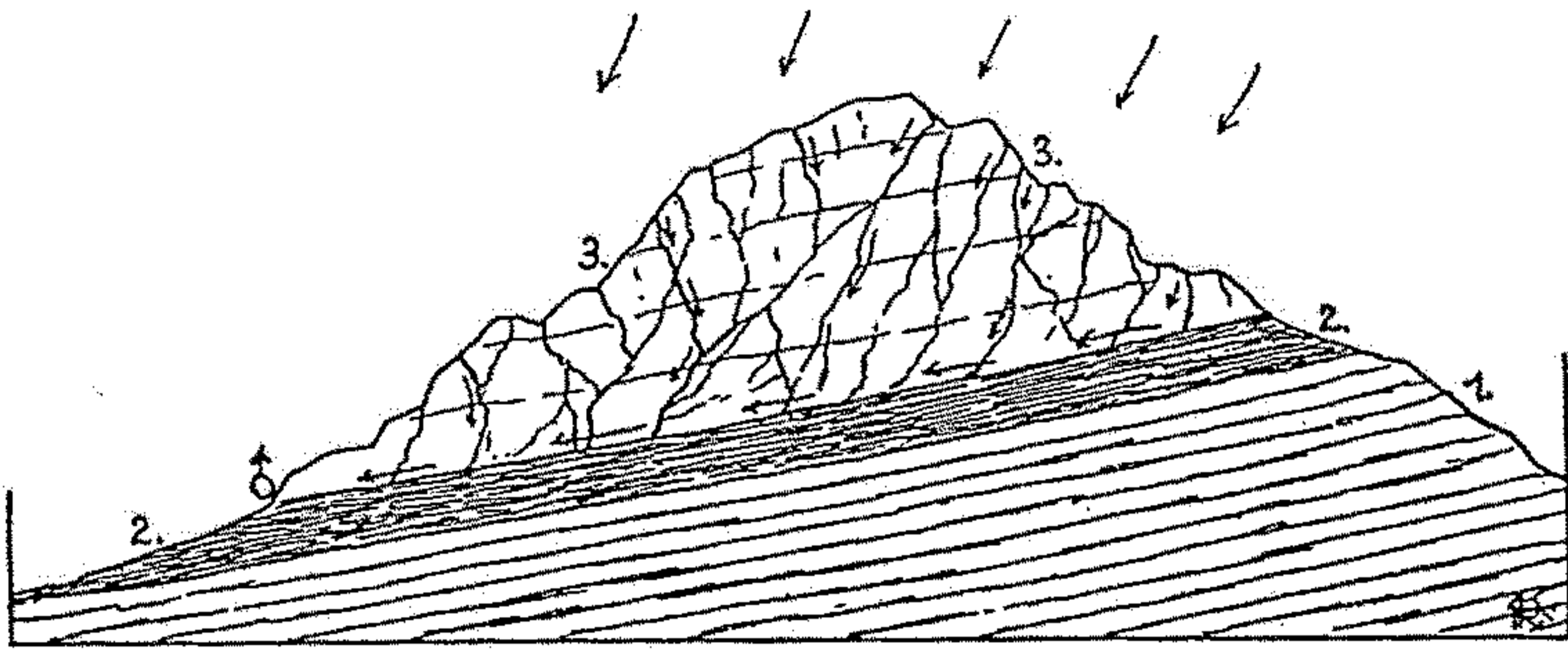
Obr. 29. Přetékající prameny, vznikající na obou stranách pánve či synklinály zvodněných vrstev.



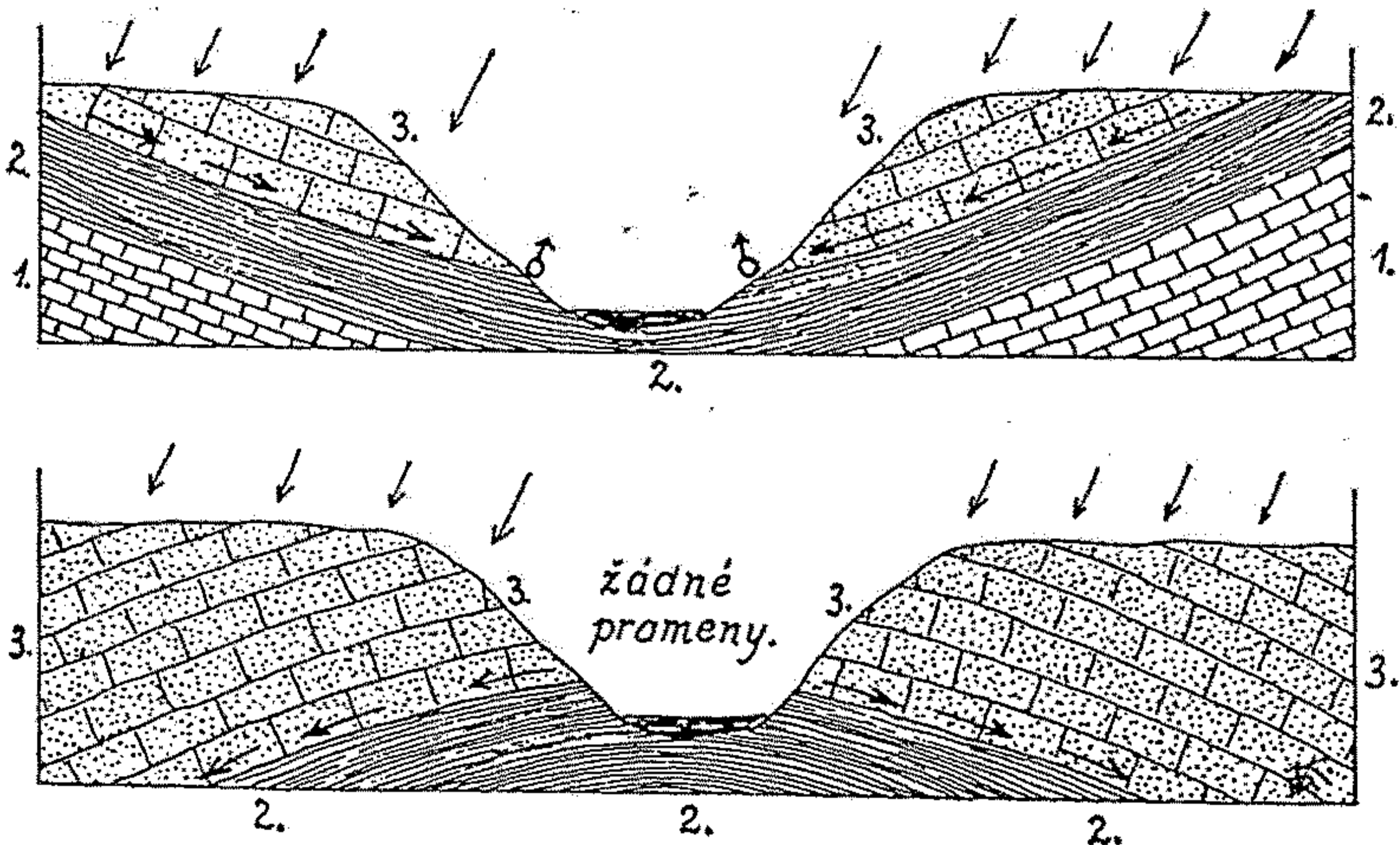
Obr. 22. Schematické znázornění roklinových a údolních pramenů. 1. = vrstvy nepropustné, 2. = vrstvy propustné, a = hladina spodní vody, δ = prameny.



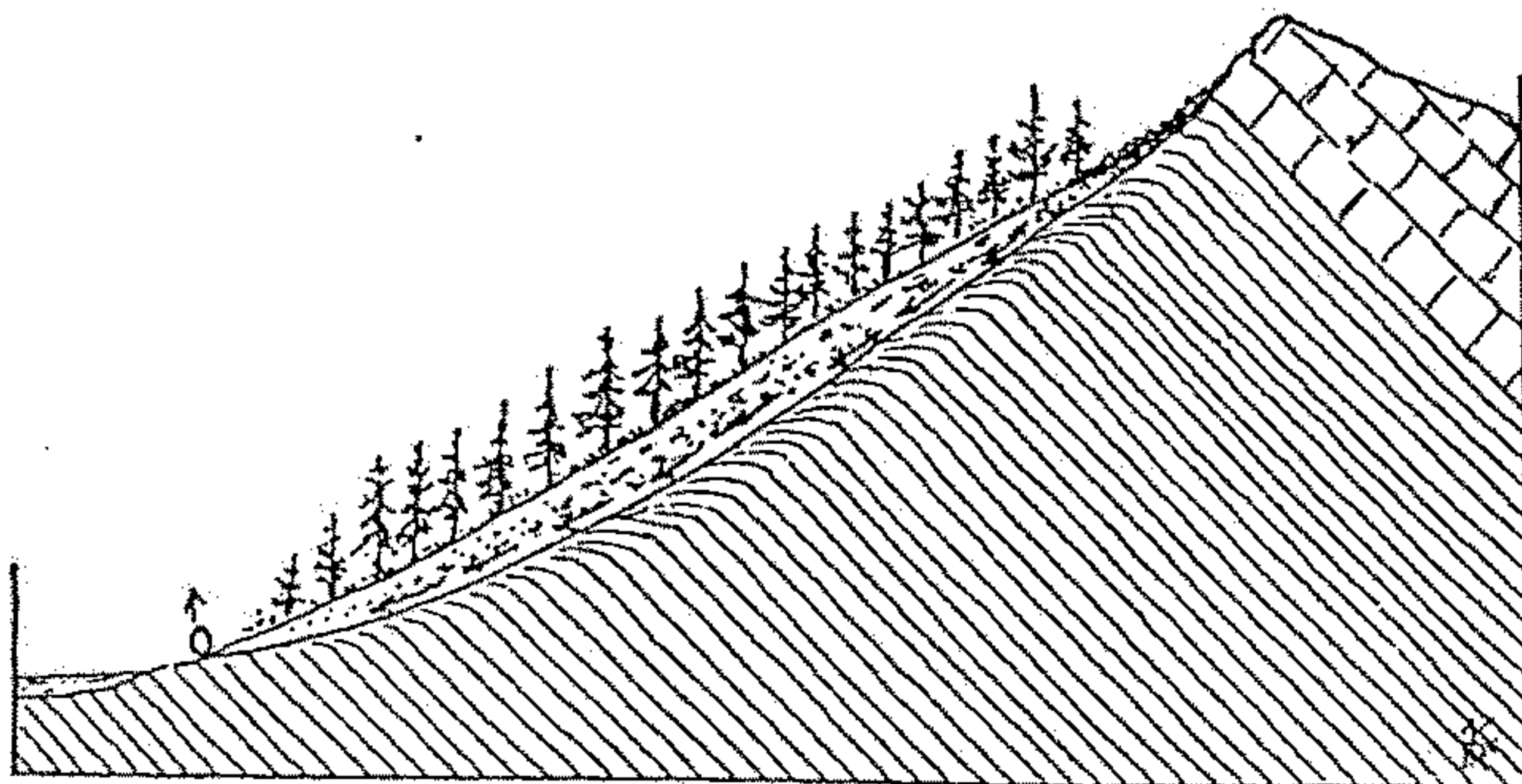
Výstupný pramen  $\delta$  vyvěrající přetlakem ze zvodněných vrstev v v rameni synklinály. Zvodněné vrstvy jsou v podloží i nadloží sevřeny nepropustnými vrstvami.



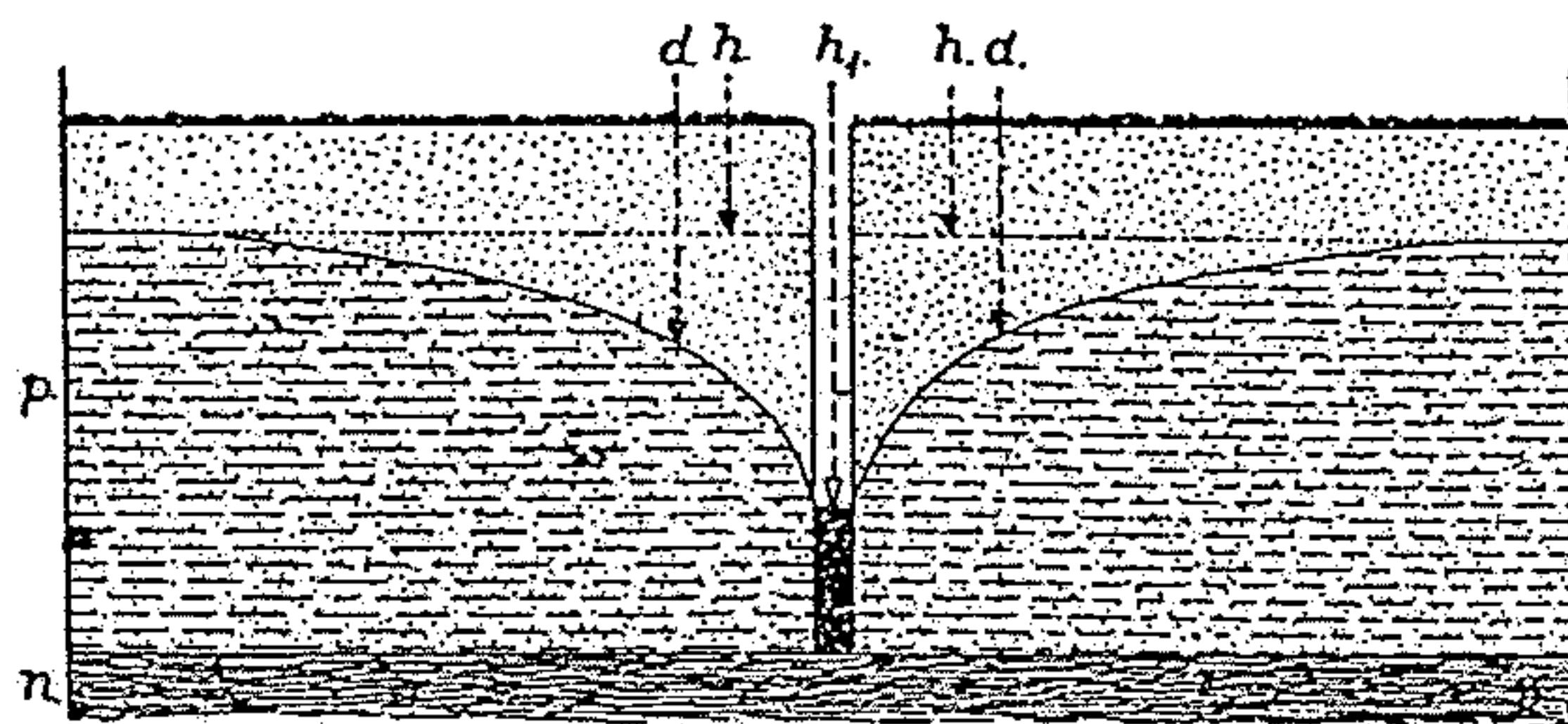
Obr. 24. Vrstevný pramen  $\delta$  vyvěrající na dolním výchozu nakloněné styčné plochy mezi vrstvami nepropustnými 2. a propustnými rozpukánými horninami 3.



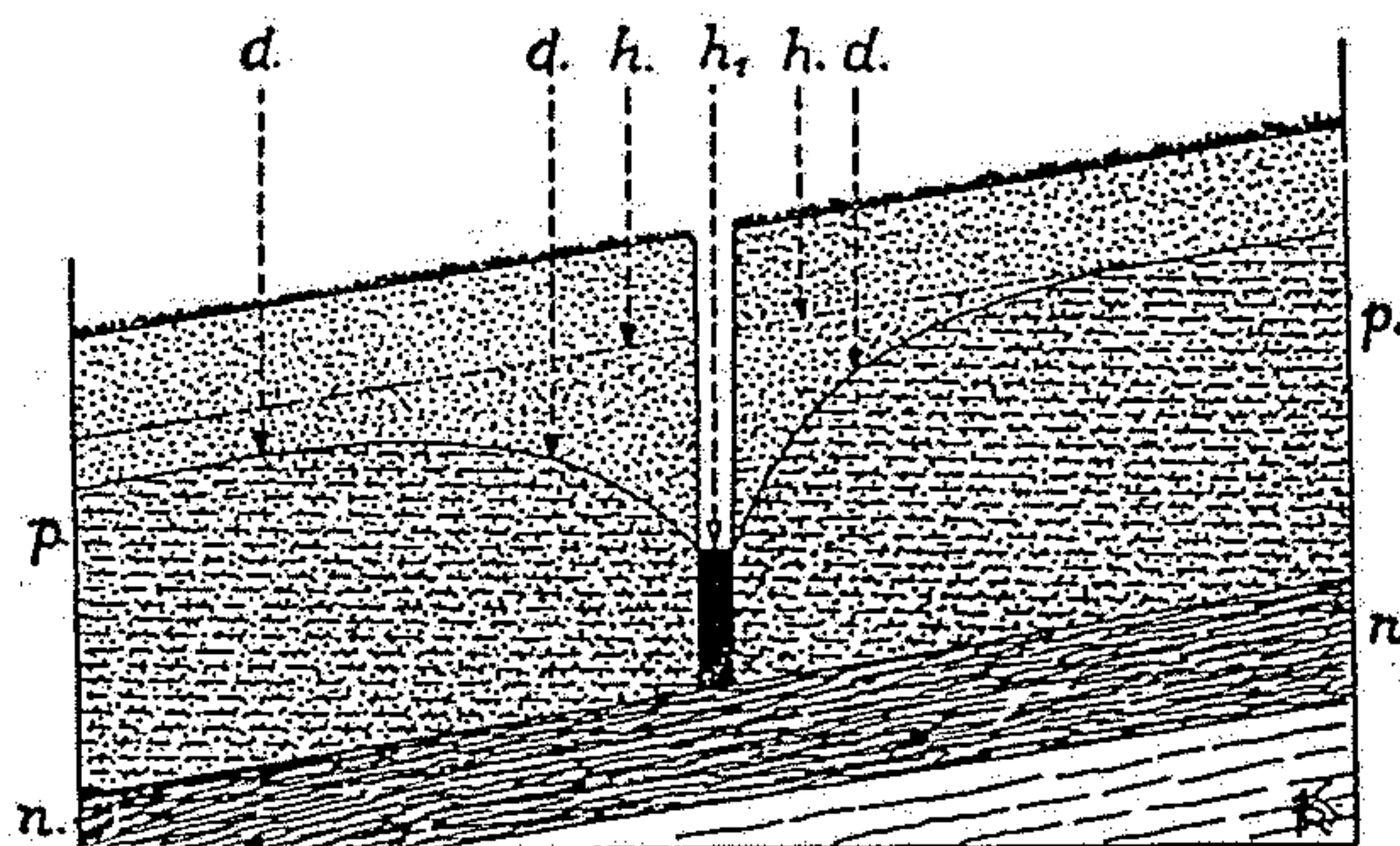
Obr. 25. V údolí probíhající v ose synklinály vyvěrají vrstevné prameny po obou stranách údolí. V údolí probíhající v ose antiklinály není vrstevných pramenů.



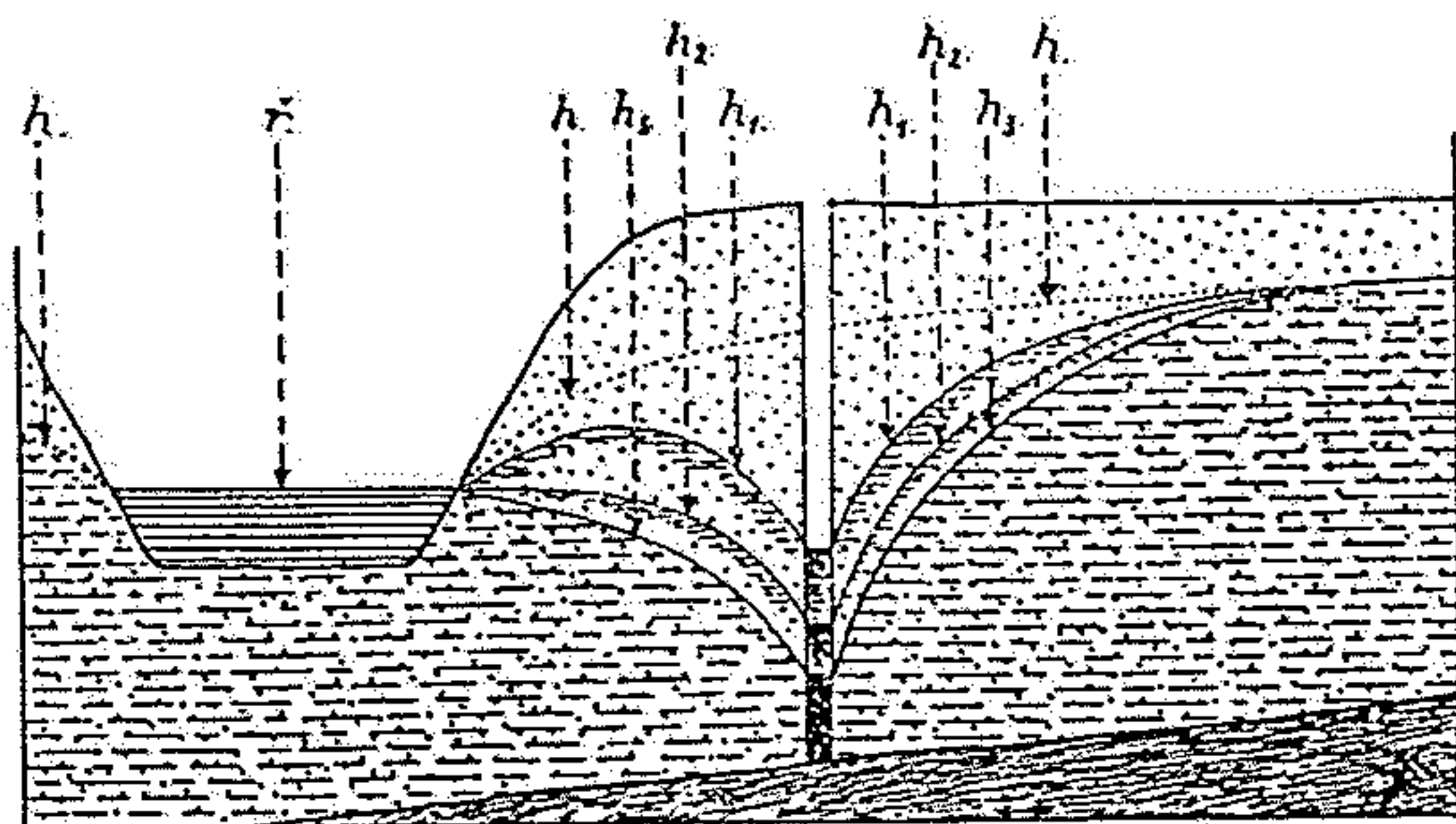
Obr. 26. Pramen ssulový.



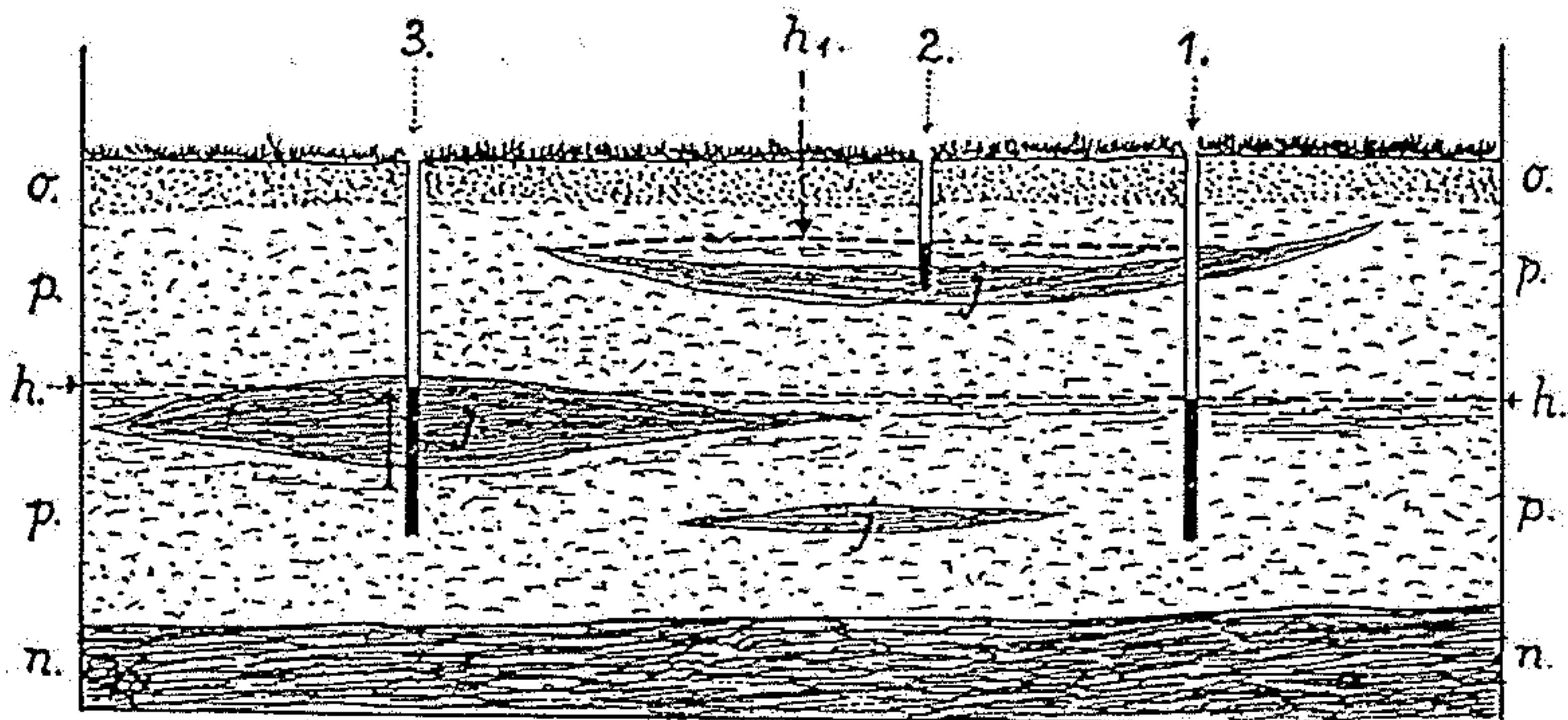
Obr. 11. Depresní kužel, vznikající poklesem hladiny spodní vody při čerpání vody ze studně ve vodorovně uložených vrstvách.  $n$  = nepropustný podklad,  $p$  = vrstvy propustné,  $h$  = normální hladina spodní vody,  $h_1$  = hladina spodní vody ve studni, snižená čerpáním,  $d$  = depresivní křivka hladiny spodní vody, vznikající při čerpání.



Obr. 12. Tvar depresního kužele hladiny spodní vody v okolí studně čerpající vody z nakloněných vrstev.

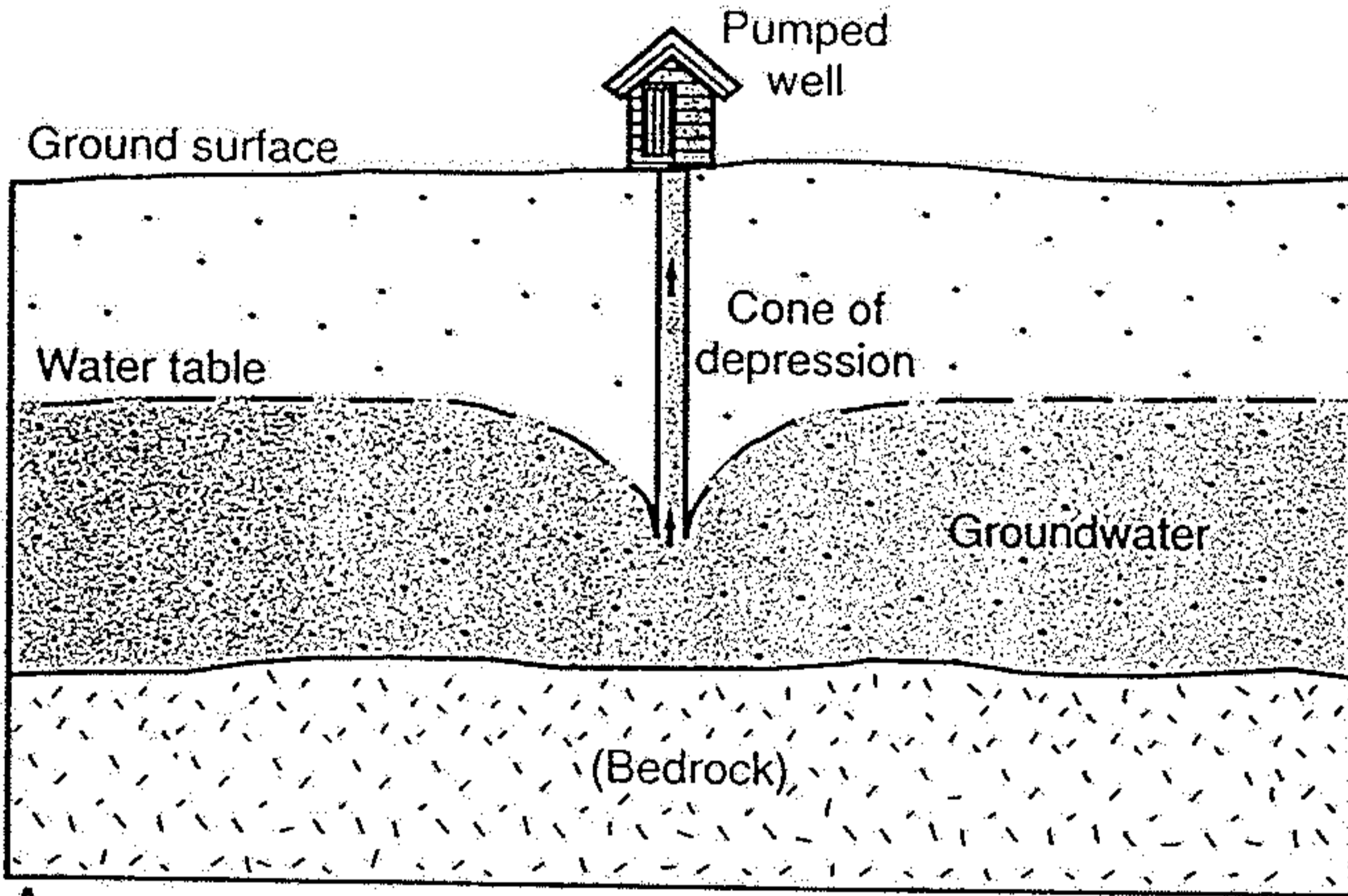
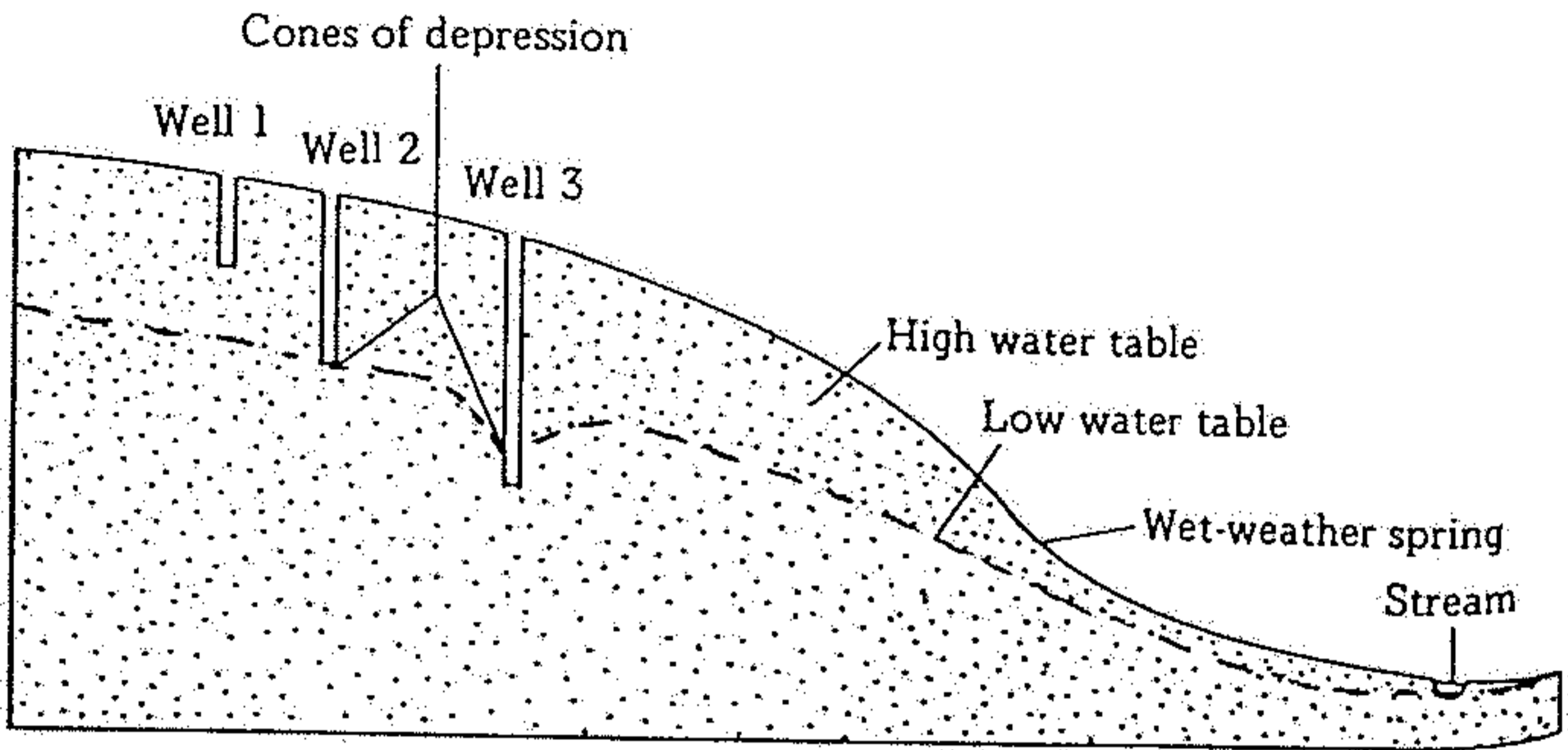


Obr. 13. Vcezování říční vody do studny, ležící v blízkosti řeky, snížila-li se hladina spodní vody ve studni čerpáním pod úroveň hladiny vody v řece.



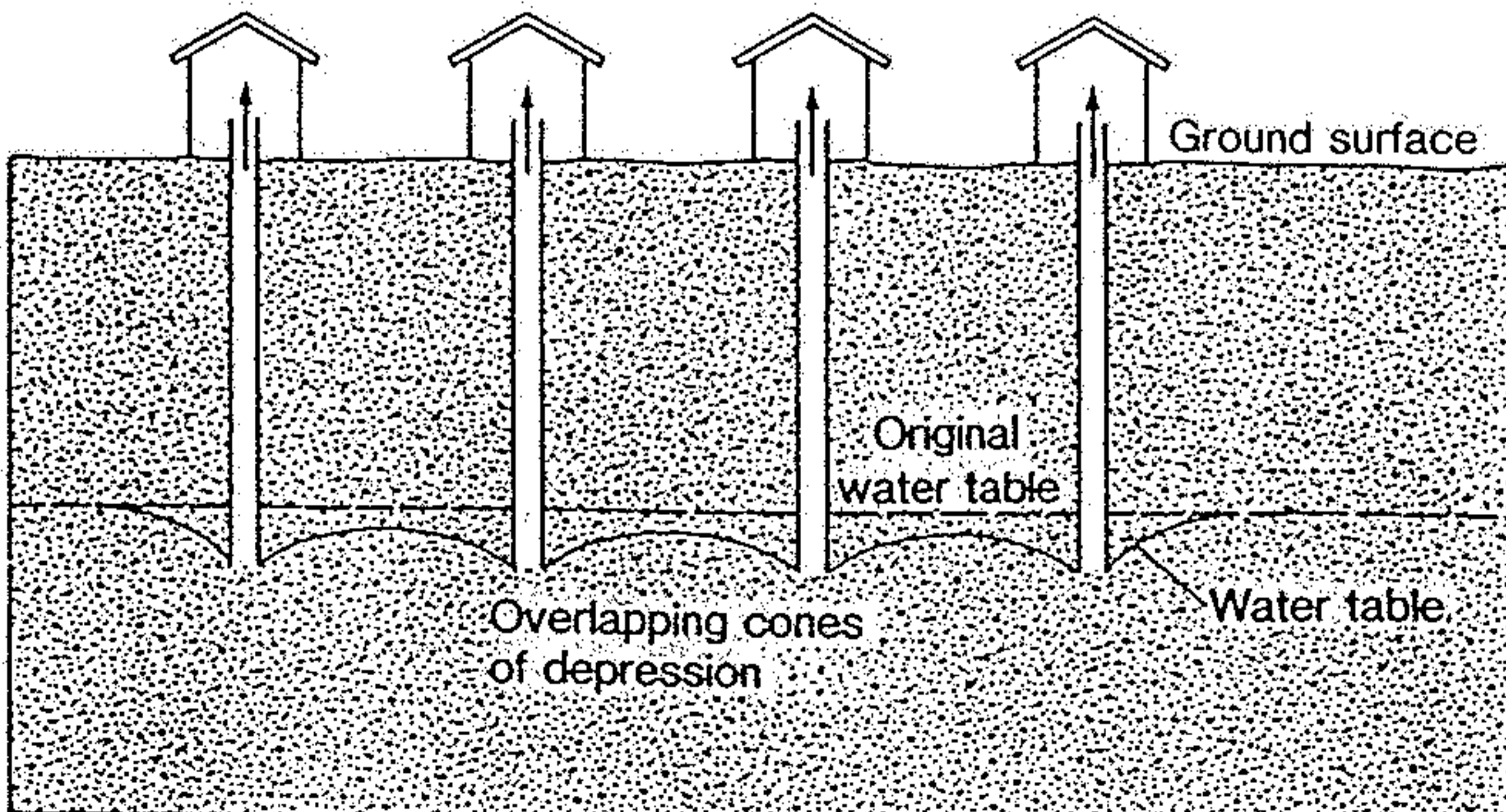
Obr. 14. Vznik napjaté vody v podloží čočkovitých vložek nepropustných hornin.  $n$  = nepropustné podloží,  $p$  = horniny propustné,  $j$  = jílovité nepropustné čočkovité vložky, uložené v propustných horninách  $p$ ,  $o$  = ornice. Studna 1 zastihuje nenapjatou hladinu spodní vody  $h$ , studna 3 čerpající vodu z téže nádrže, má vodu napjatou, neboť je stlačována jílovitou čočkovitou vložkou  $j$ . Studna 2 čerpá vodu s volnou hladinou  $h_1$ , která se zadržuje na horní jílovité vložce  $j$ .

14.7 To provide a reliable water source a well must penetrate deep into the zone of saturation. In this diagram Well 1 reaches only deep enough to tap the groundwater during periods of high water table; a seasonal drop of this surface will dry up the well. Well 2 reaches to the low water table, but continued pumping may produce a cone of depression that will reduce effective flow. Well 3 is deep enough to produce reliable amounts of water, even with continued pumping during low water-table stages.



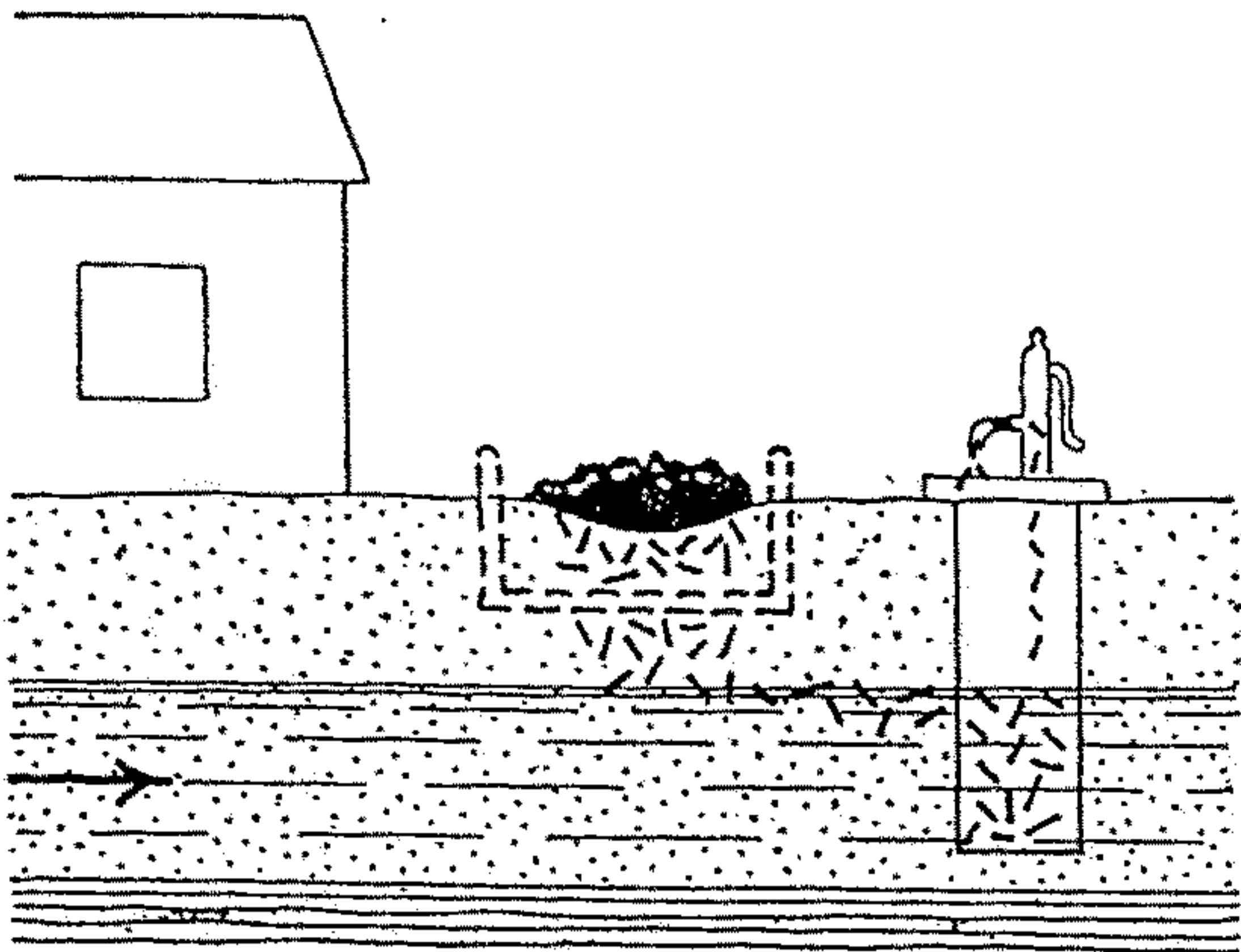
A

**Figure 10.9** The formation and effect of cones of depression. (A) Lowering of the water table in a cone of depression around a pumped well in an unconfined aquifer. (B) Overlapping cones of depression lead to net lowering of the water table.

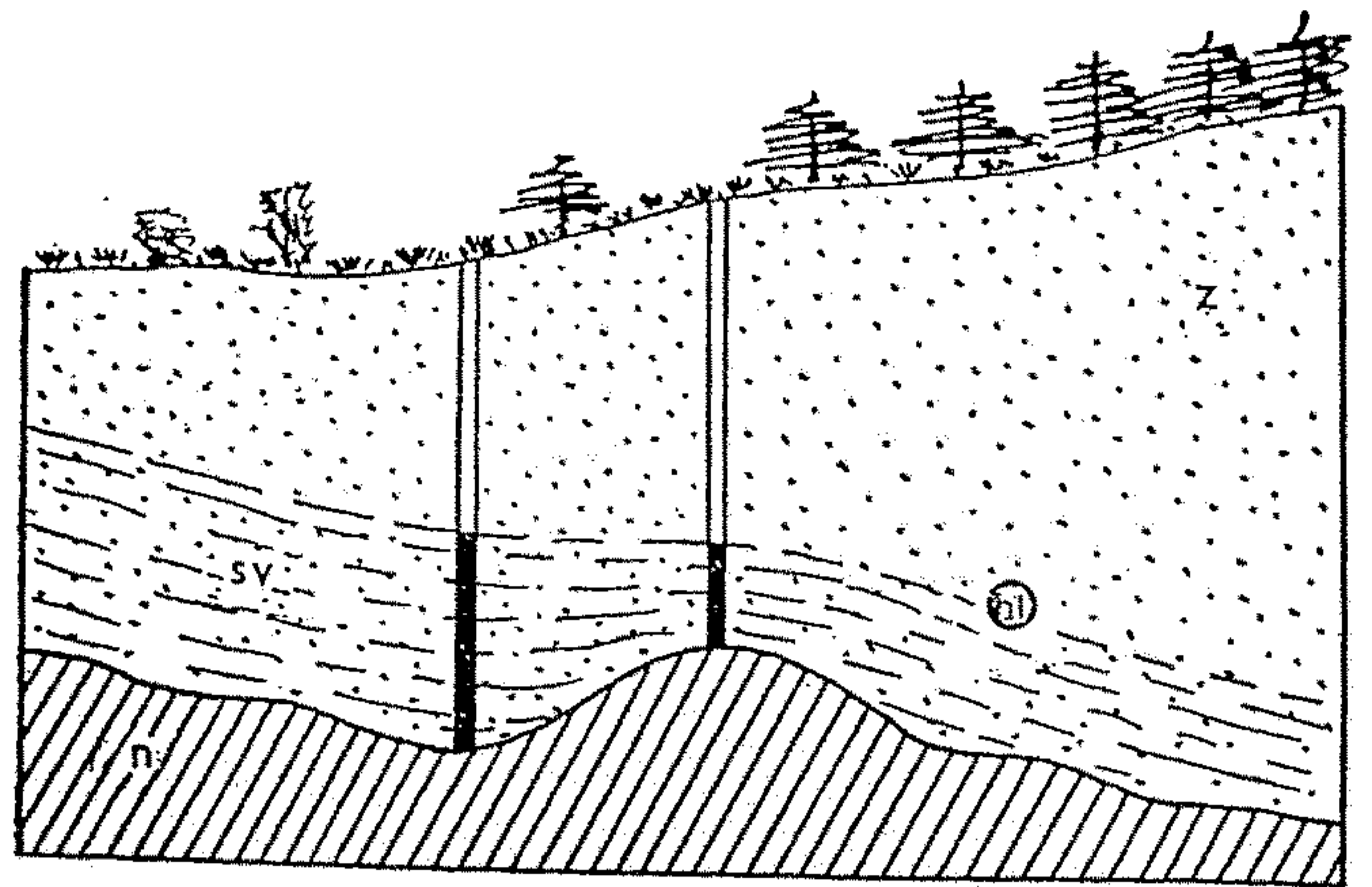


B

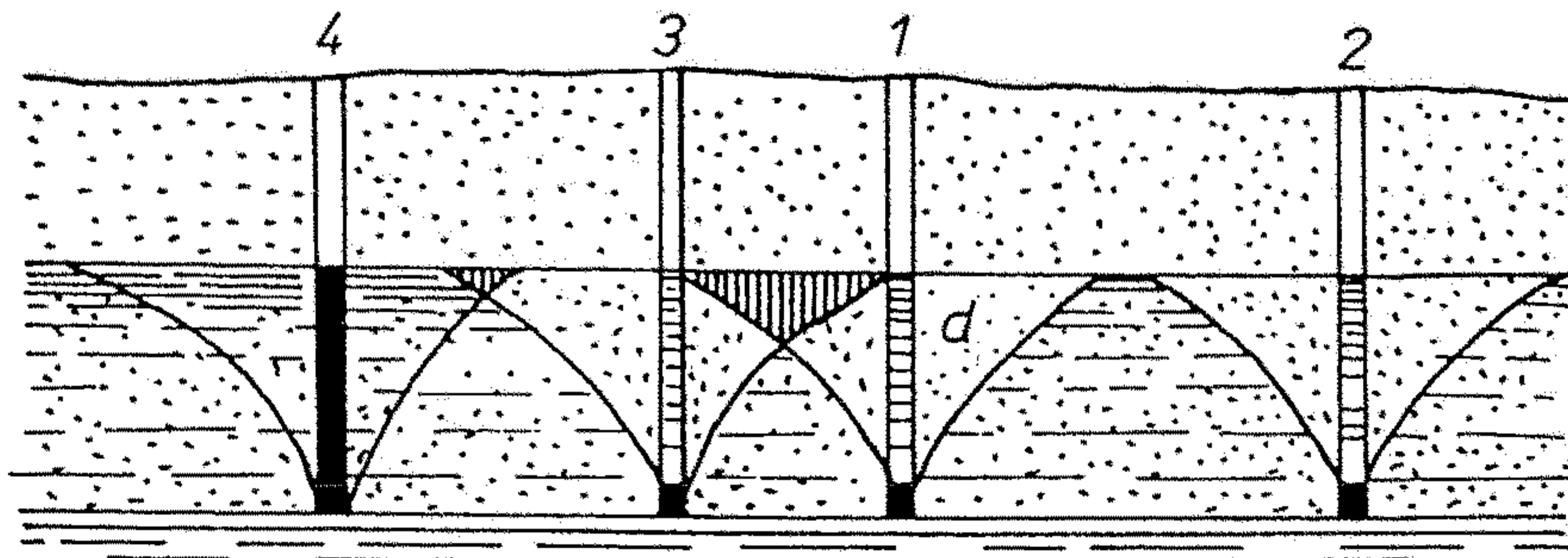




Obr. 221. Nesprávně založená a špatně chráněná studně. V blízkosti žumpa infikuje vodu mikroby. Je potřeba žumpu betonovat a izolovat. (Podle L. Čepka.)

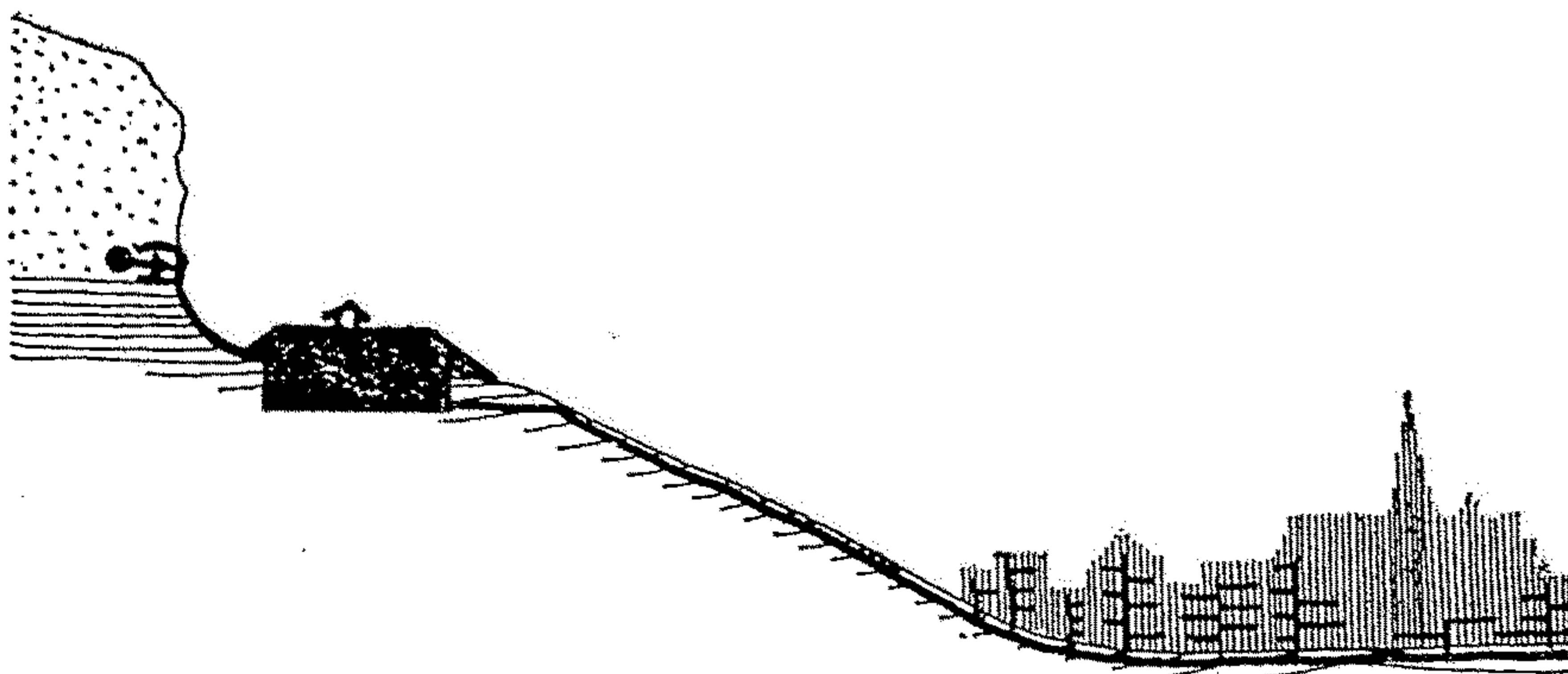


Obr. 212. Hladina podzemní vody (hl) přizpůsobuje se nerovnému nepropustnému podkladu (n). Z - vrstva propustná, sv - zvodněný obzor. Ve dvou sondách (studních) je vody různé (černě). Podzemní voda se pohybuje zvolna doprava. (Podle L. Čepka.)

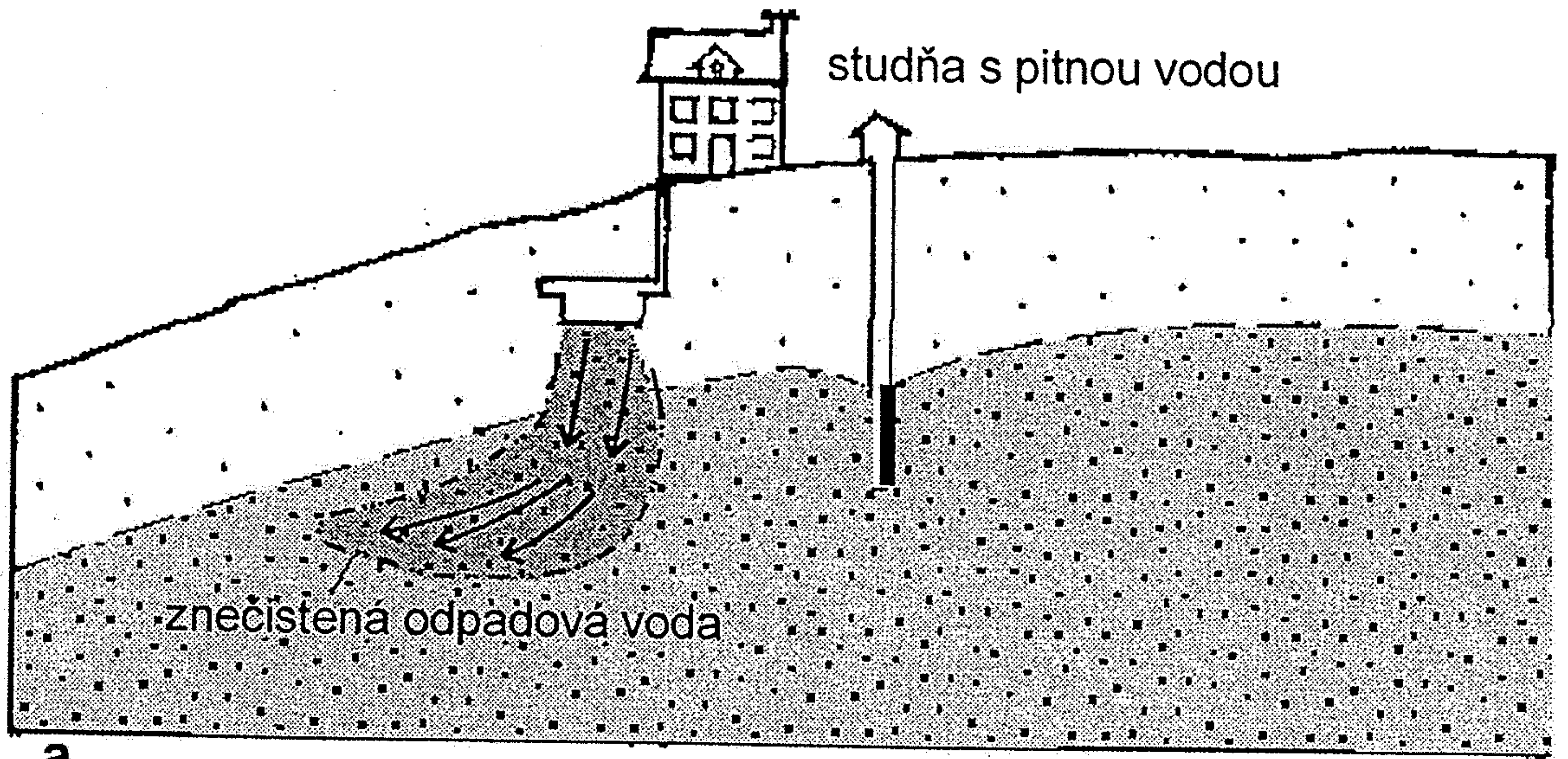


Obr. 360. Hustota a vzdálenost studní se řídí průměrem jejich depresních kuželů. Největší vydatnost má studna 2, potom 4 a 1, nejmenší studna 3 (podle L. Čepka)

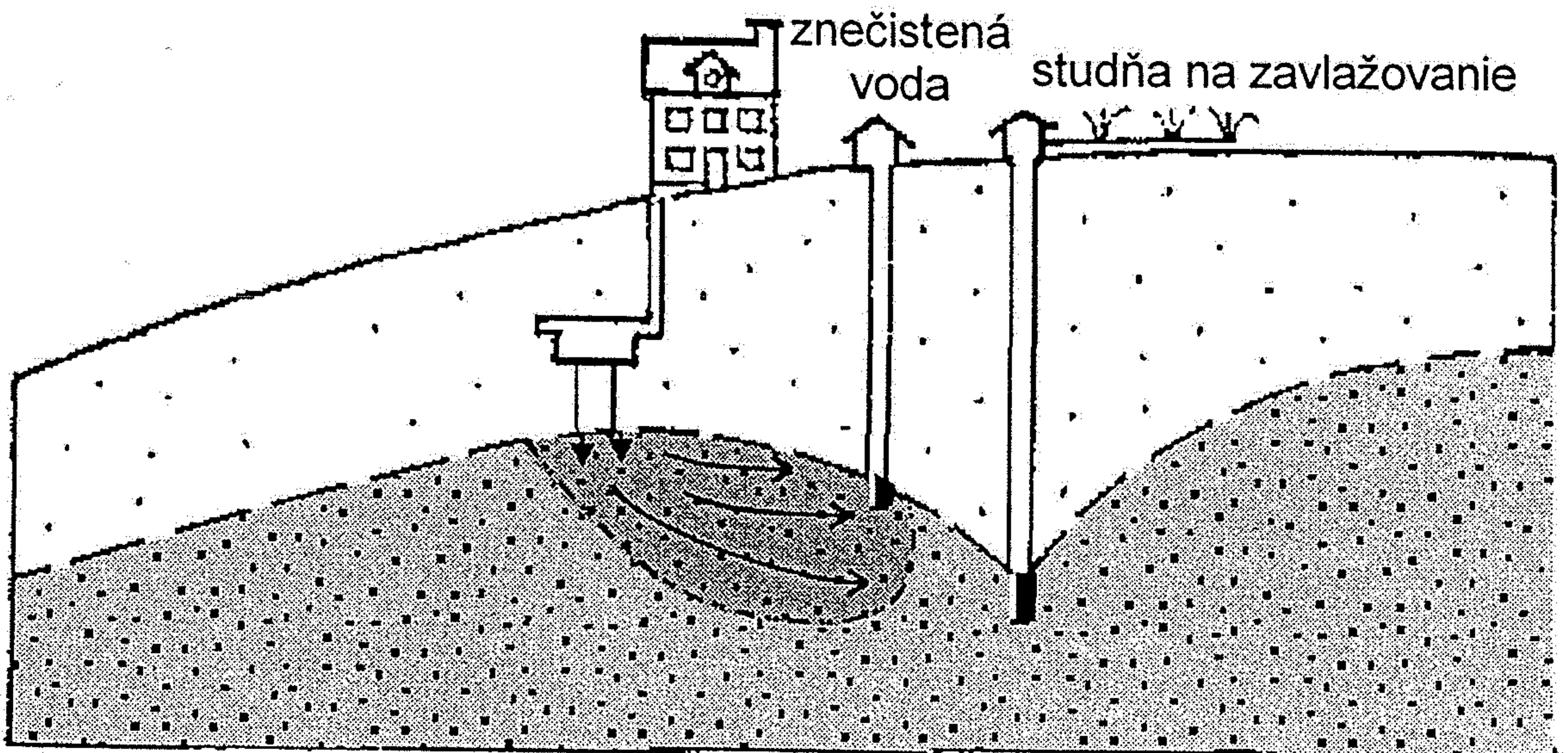
*d* – depresní kužel, 2 – správně založená studna (její depresní kužel se jen dotýká depresního kužele studny 1), 3 – nesprávně založená studna (její depresní kužel přetíná depresní kužel studny 1); studna 4 byla rovněž vyhloubena příliš blízko studny 3



Obr. 220. Schema gravitačního vodovodu. Pramenitá voda se odvádí z jímek do rezervoáru, odkud je vlastní vahou přiváděna na místa spotřeby (město). (Podle L. Čepka.)



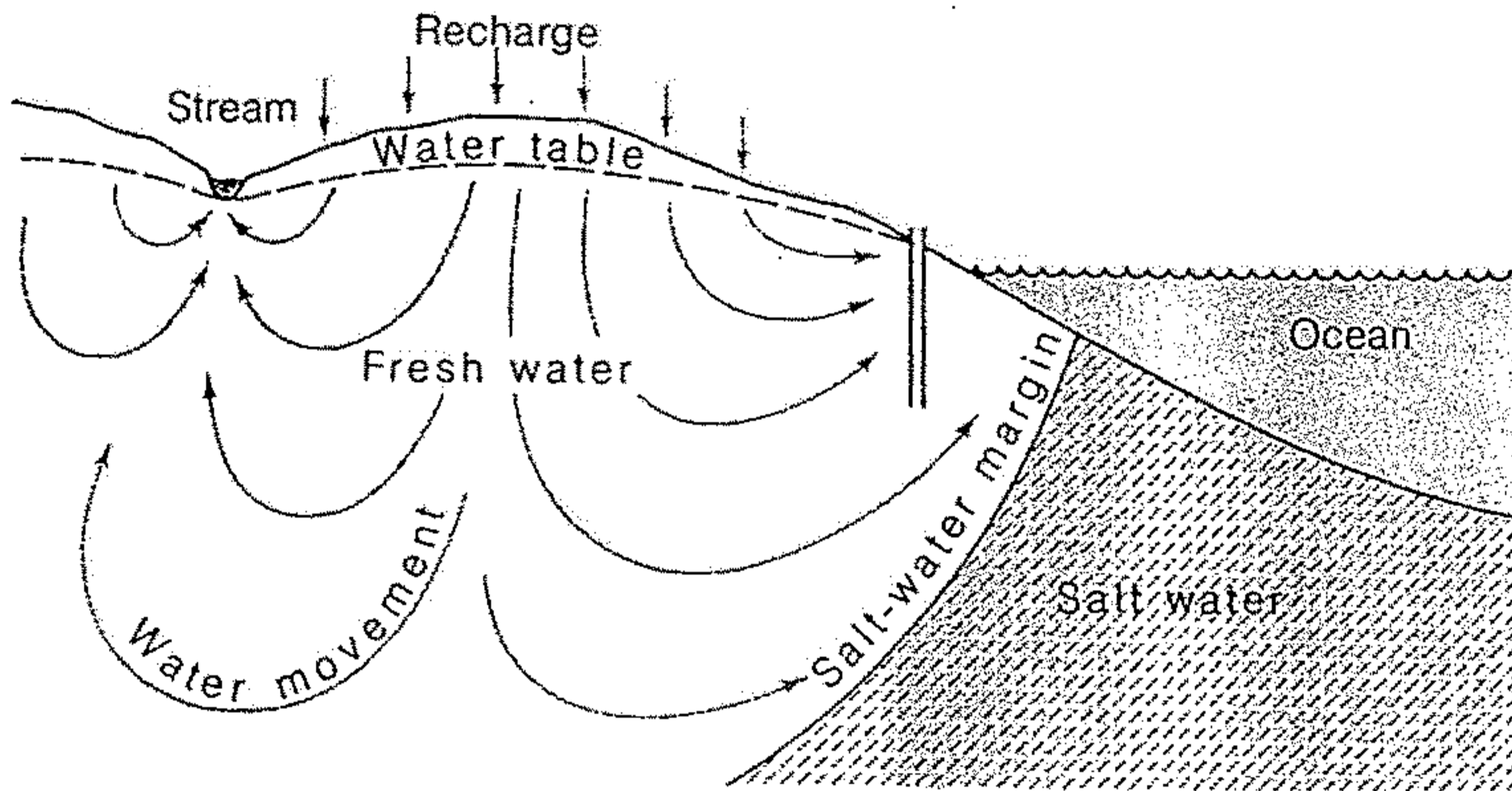
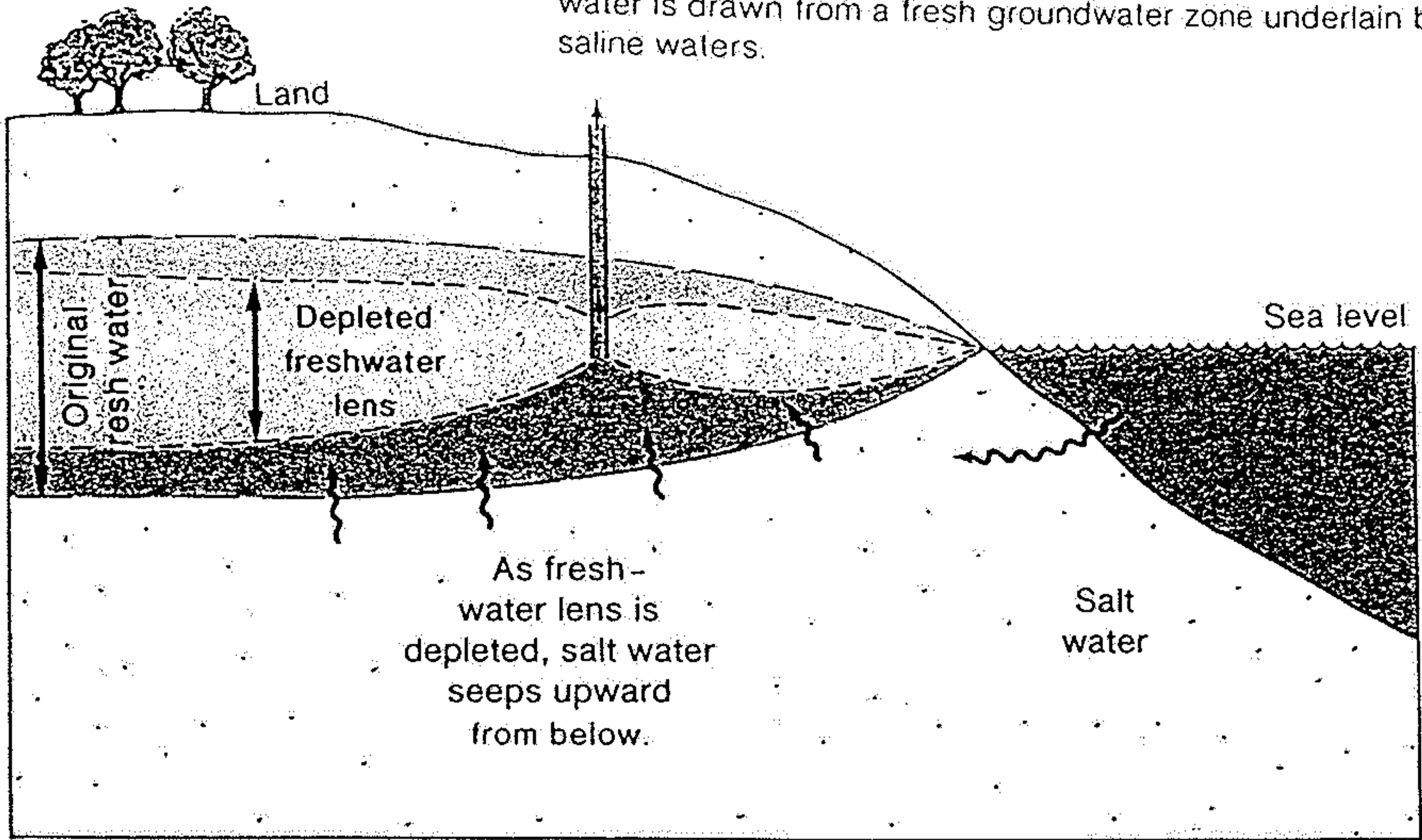
a



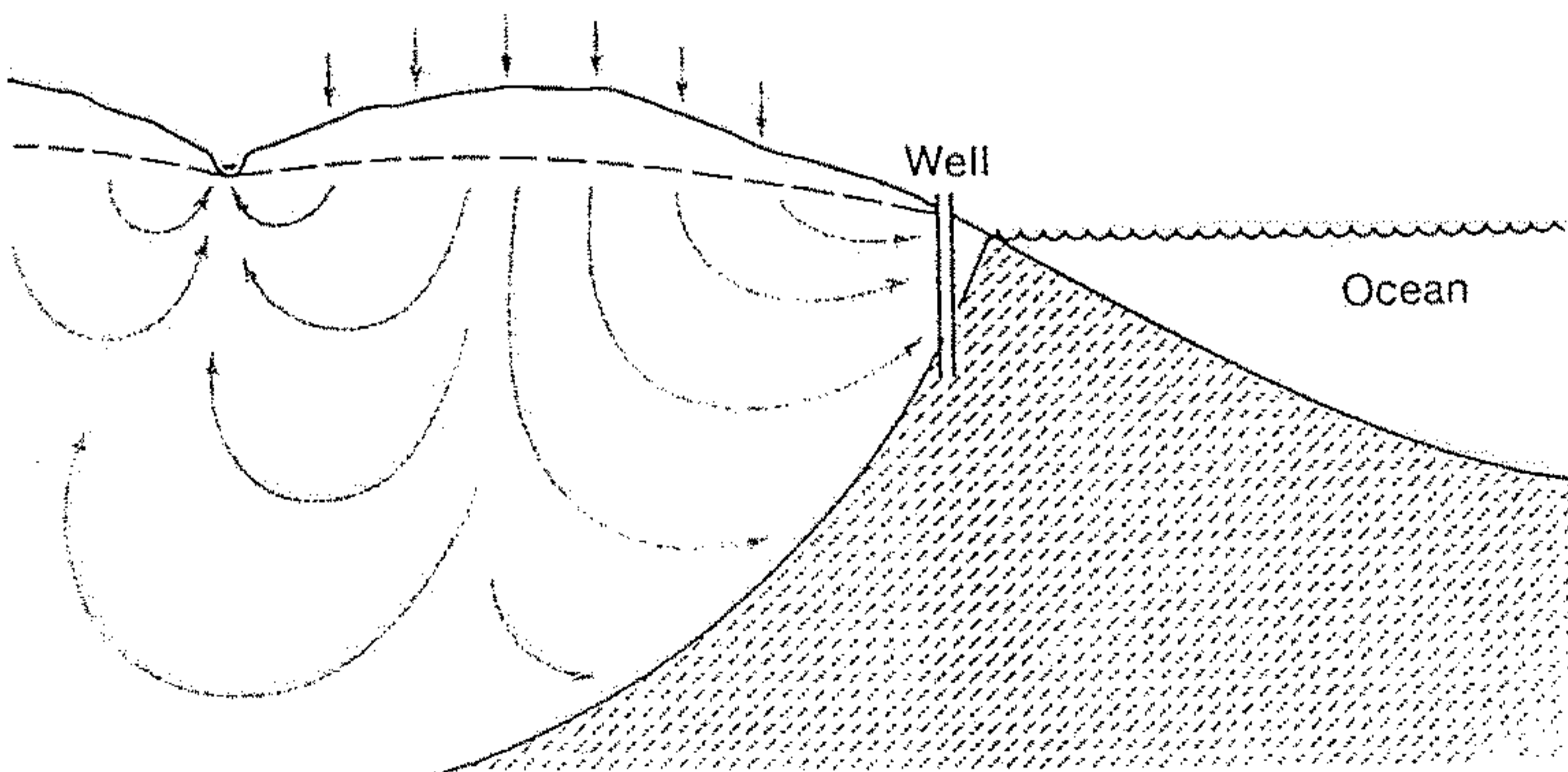
b

Obr. 14.17. Nesprávne prevádzkovanie čerpacích studní môže spôsobiť ich znečistenie. a – pri správnom čerpaní vody z malej studne nedochádza k jej kontaminácii znečistenými odpadovými vodami, b – nadmerné čerpanie vody zo studne na zavlažovanie viedlo k poklesu hladiny podzemnej vody v jej okolí v dôsledku vytvorenia depresného kužela so značným dosahom depresie, čo malo za následok zmenu pohybu znečistenej vody a kontamináciu vody v studni s dovtedy vyhovujúcou pitnou vodou

**Figure 10.12** Saltwater intrusion in a coastal zone. If groundwater withdrawal exceeds recharge, the lens of fresh water thins, and salt water flows into more of the aquifer system from below. "Upconing" of saline water also occurs below a cone of depression. Similar effects may occur in an inland setting where water is drawn from a fresh groundwater zone underlain by more saline waters.

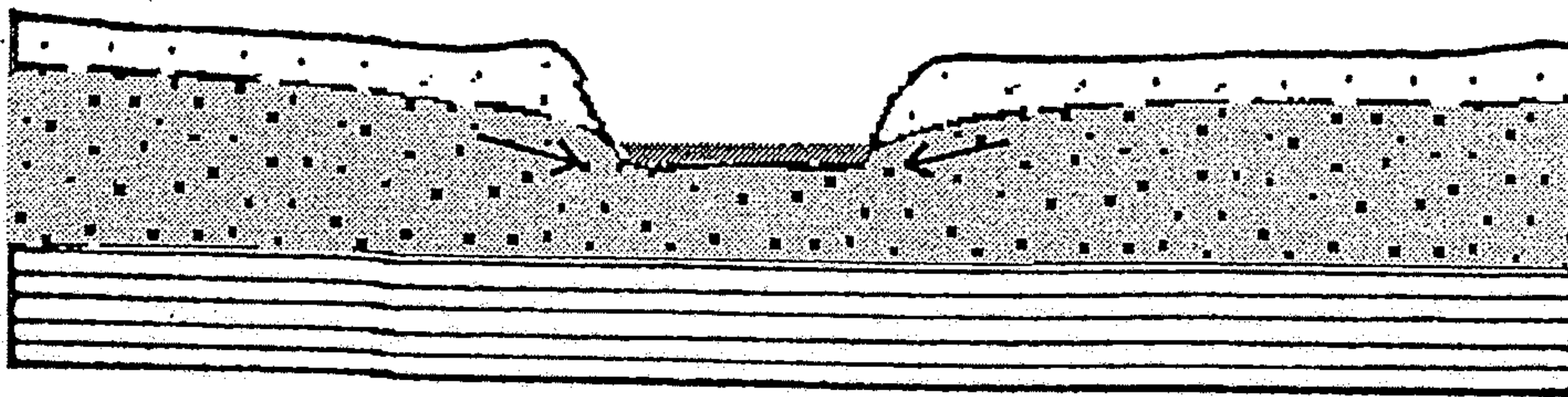


(a) Before extensive pumping

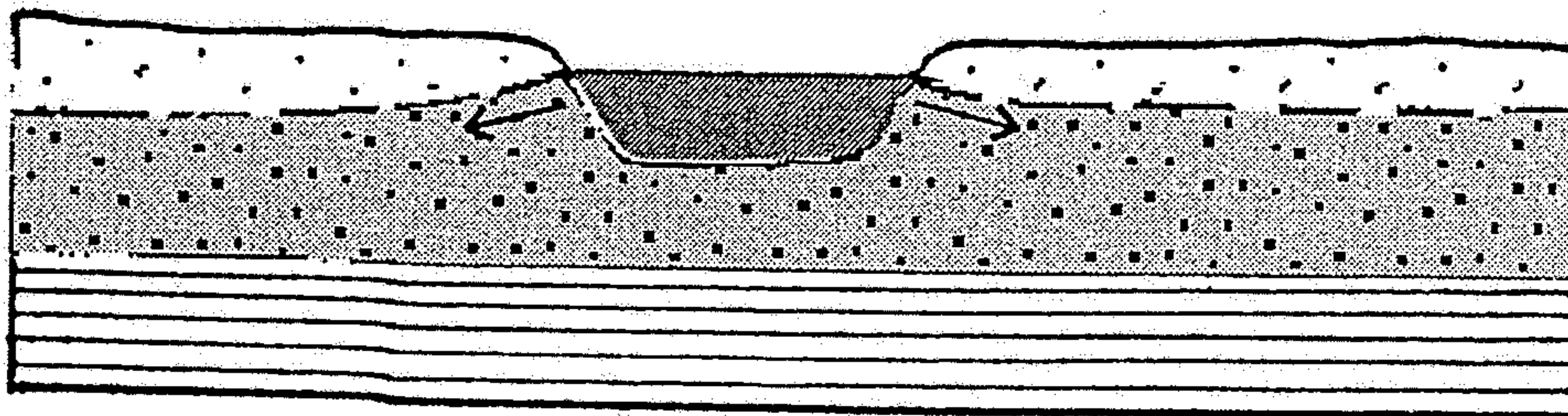


(b) After extensive pumping by many wells

The boundary between fresh groundwater and salt water along shorelines is determined by the balance between recharge and discharge to the ocean or wells. Normally, as in (a), the pressure of fresh water keeps the salt-water margin slightly offshore. Extensive pumping, as in (b), lowers the pressure of the fresh water, allowing the salt-water margin to move inland.

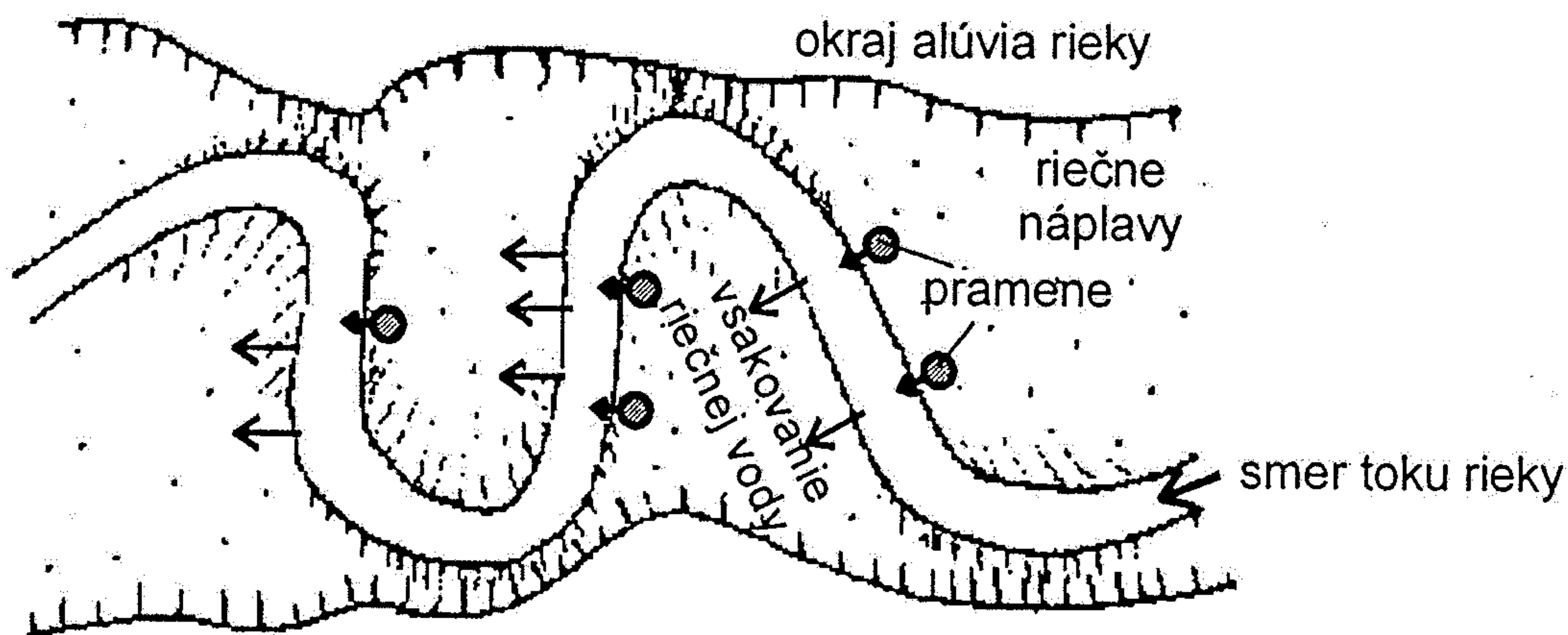


**a** v suchom období podzemná voda dopĺňa vodu v rieke

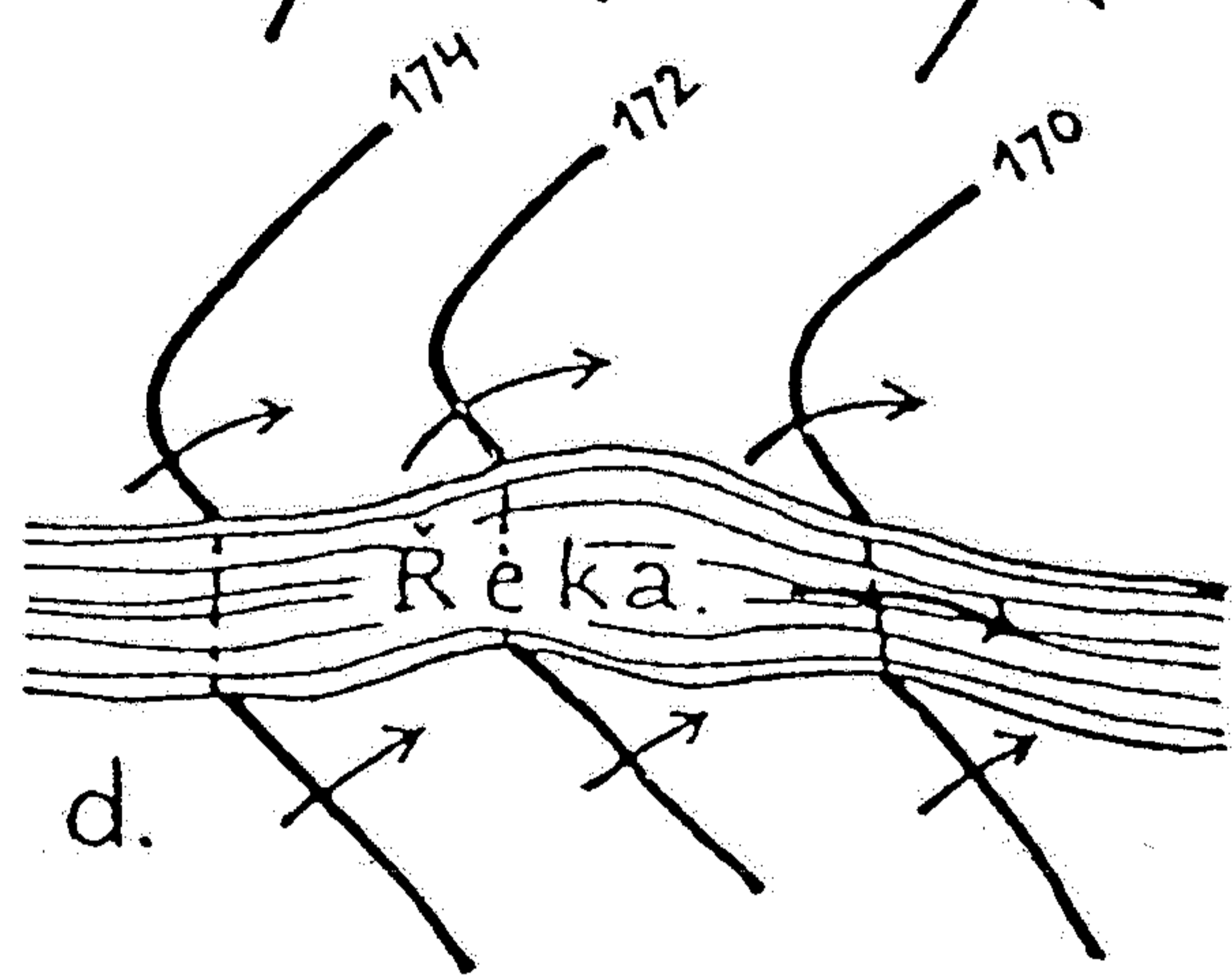
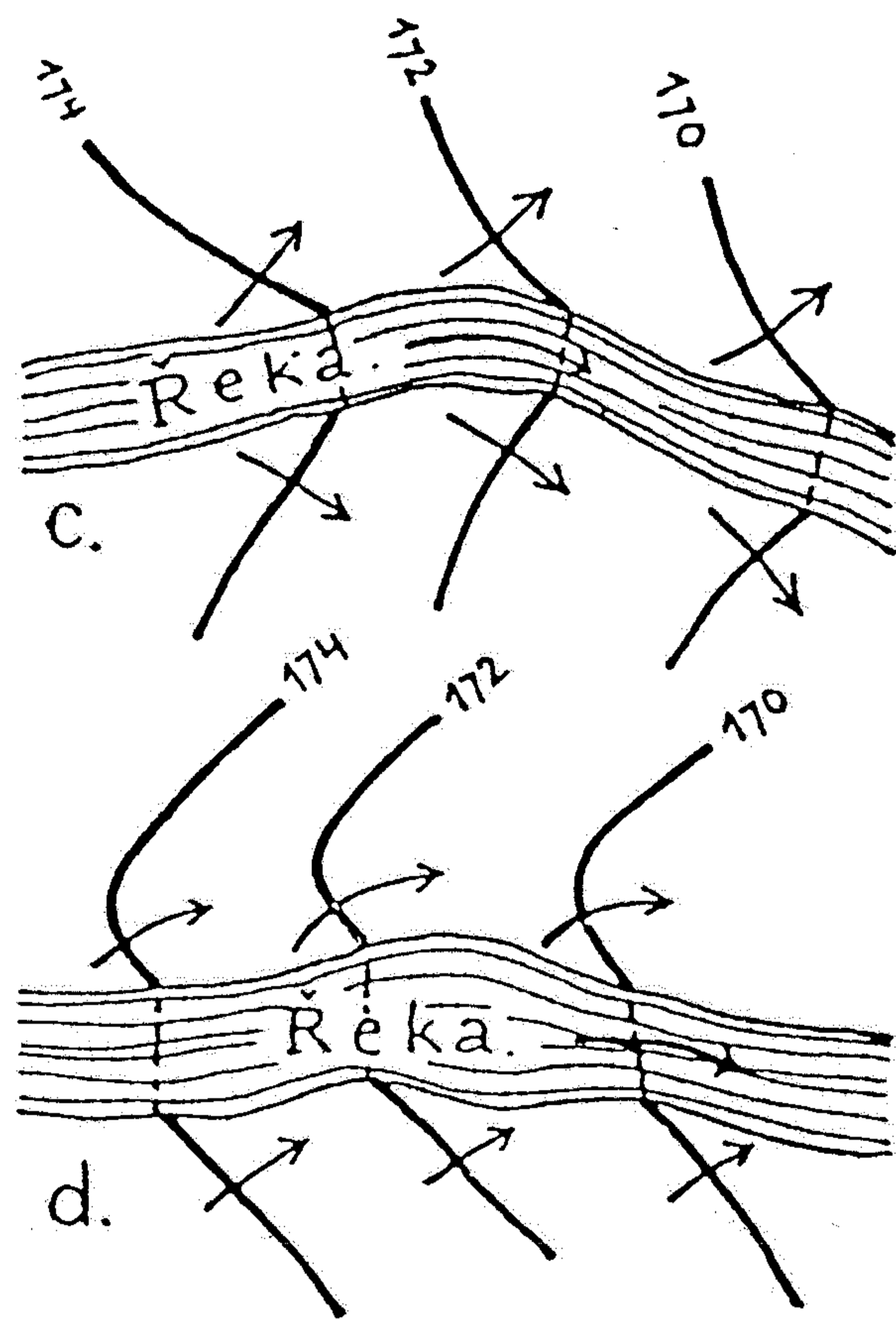
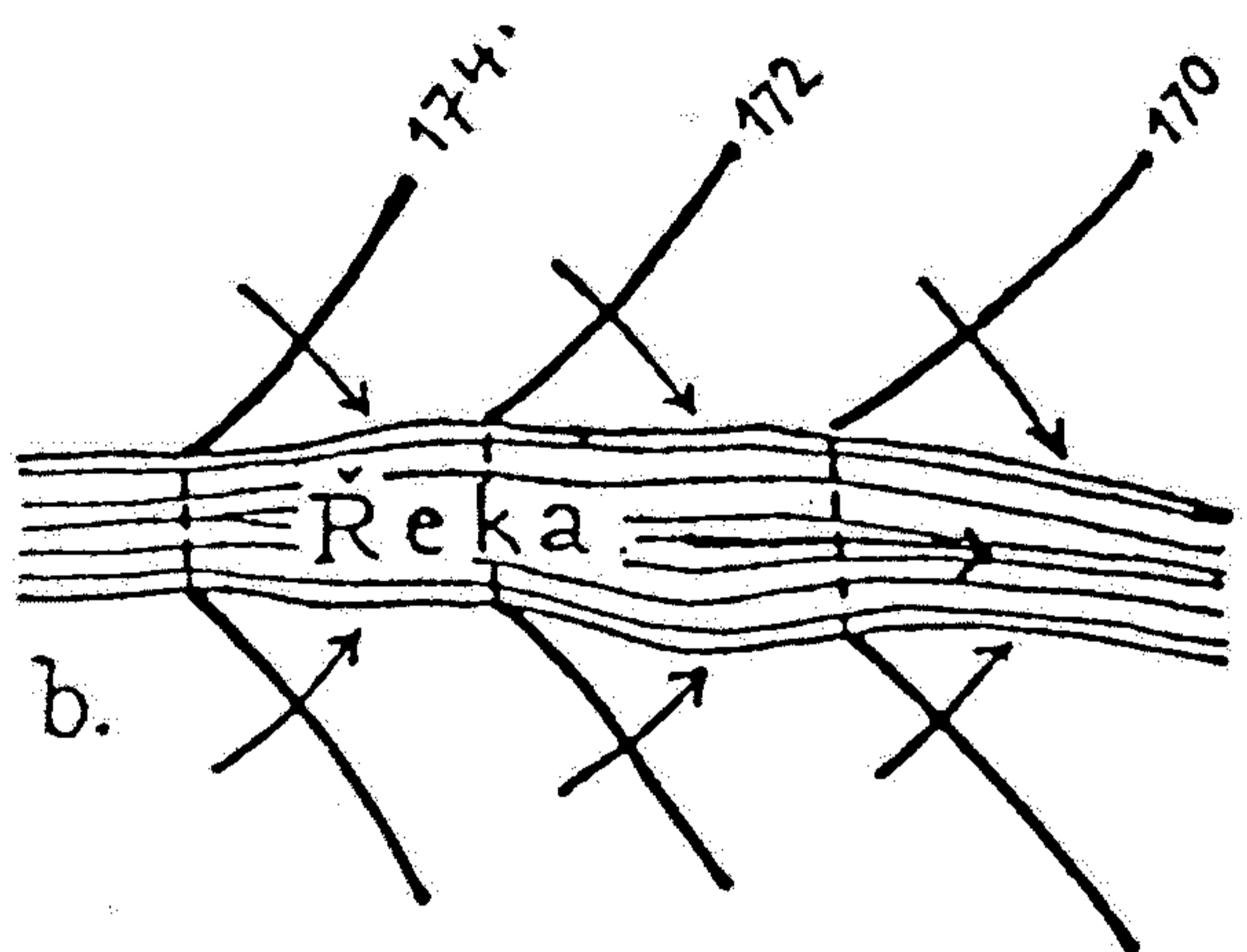
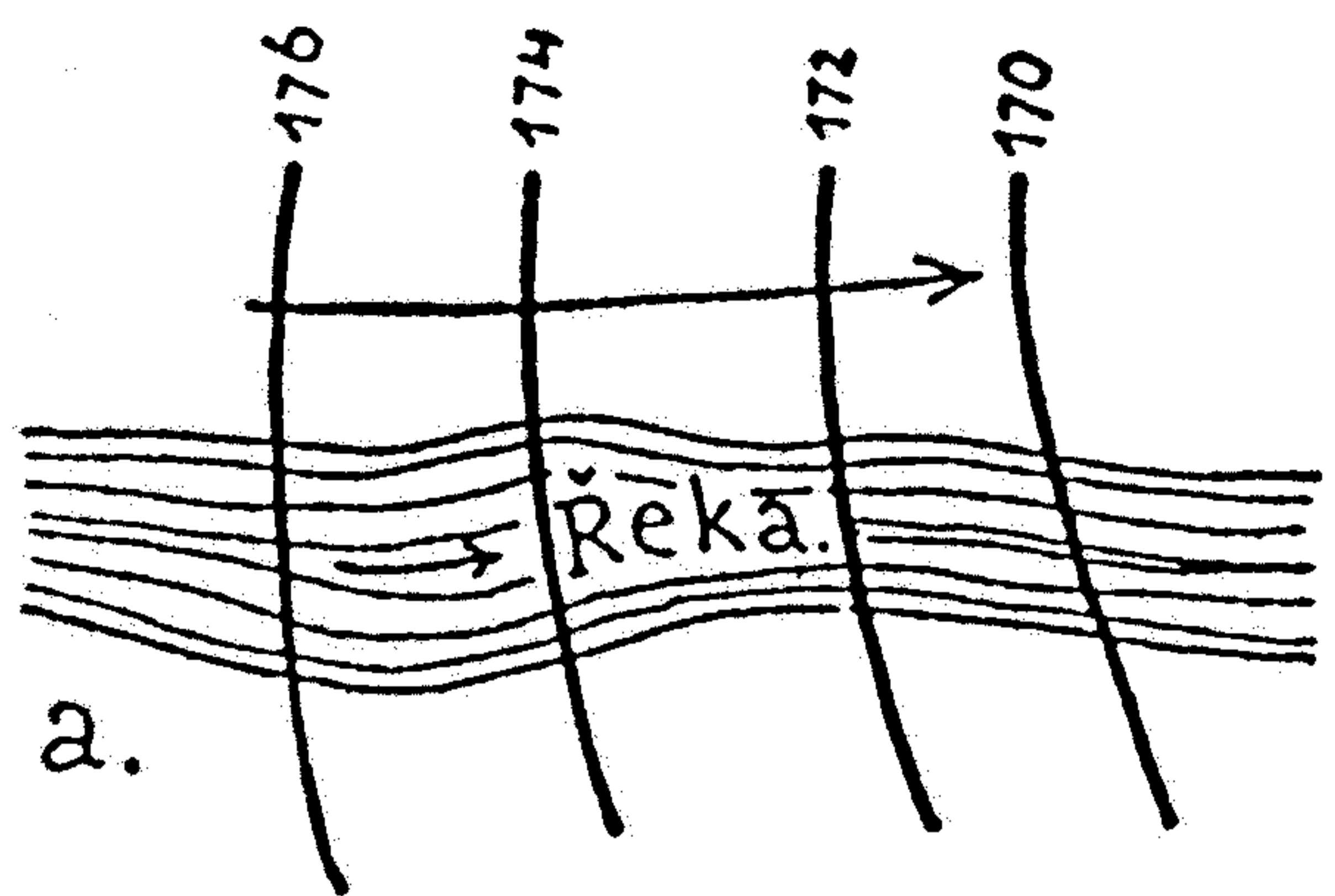


**b** voda z rieky pri vysokom stave dopĺňa podzemnú vodu

*Obr. 14.8. Zmena hladiny podzemnej vody riečnych náplavov v blízkosti vodného toku v závislosti od vodného stavu: a – pri nízkom vodnom stave v rieke dochádza k poklesu hladiny – rieka je napájaná podzemnou vodou, b – pri vysokom vodnom stave rieka napája rezervoár podzemnej vody v riečnych náplavoch a spôsobuje vzostup jej hladiny*



*Obr. 14.9. Schéma meandrujúcej rieky v riečnych náplavoch ukazuje miesta vsakovania riečnej vody do náplavov a miesta vyvierania podzemnej vody riečnych náplavov v podobe prameňov alebo skrytých výverov do povrchového toku*



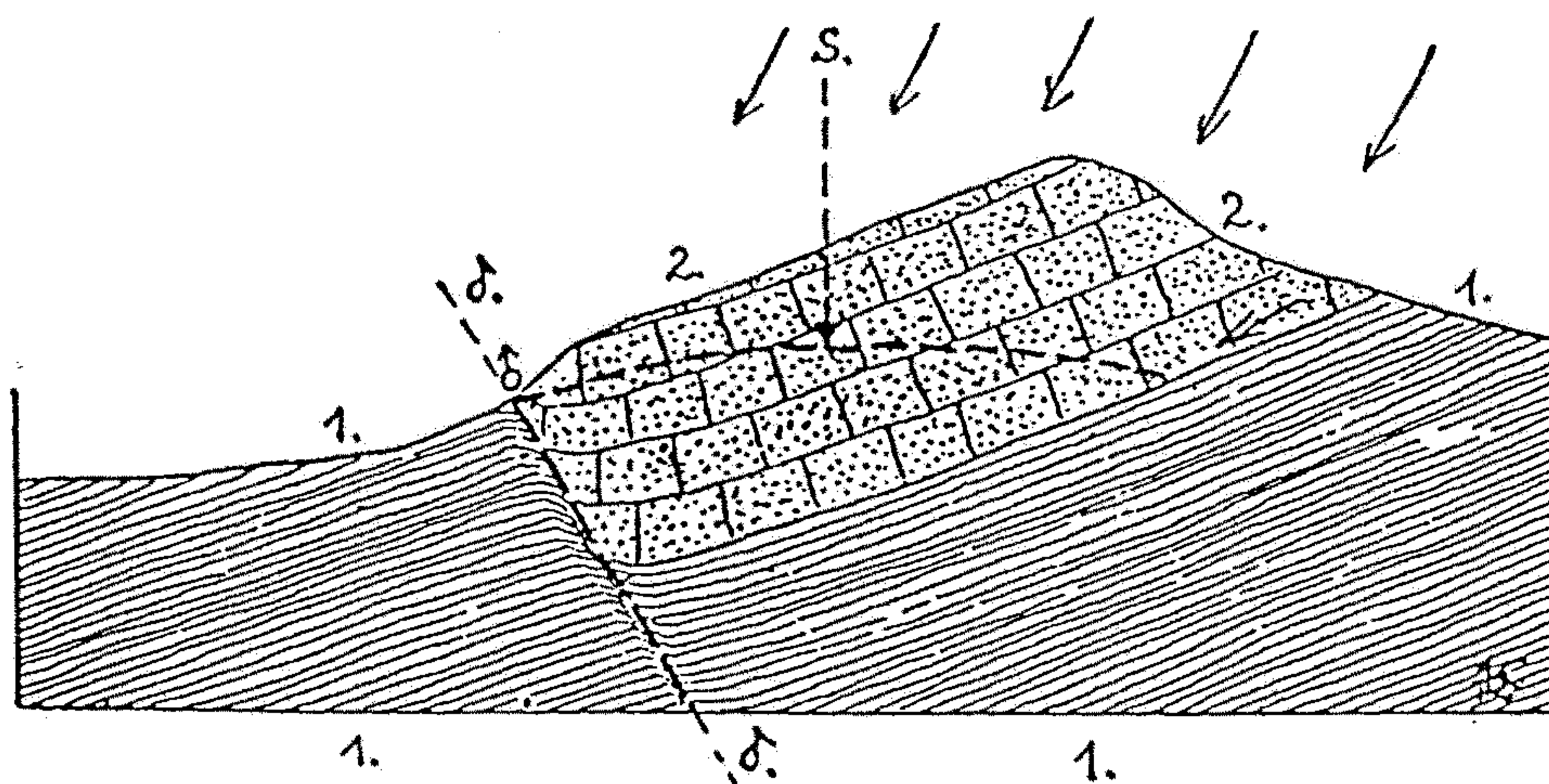
Obr. 7. Různý průběh hydroisohyps a pohyb spodní vody v blízkosti říčního toku.

a: hydroisohypsy probíhají kolmo na tok řeky a pohyb spodní vody se děje rovnoběžně s říčním tokem.

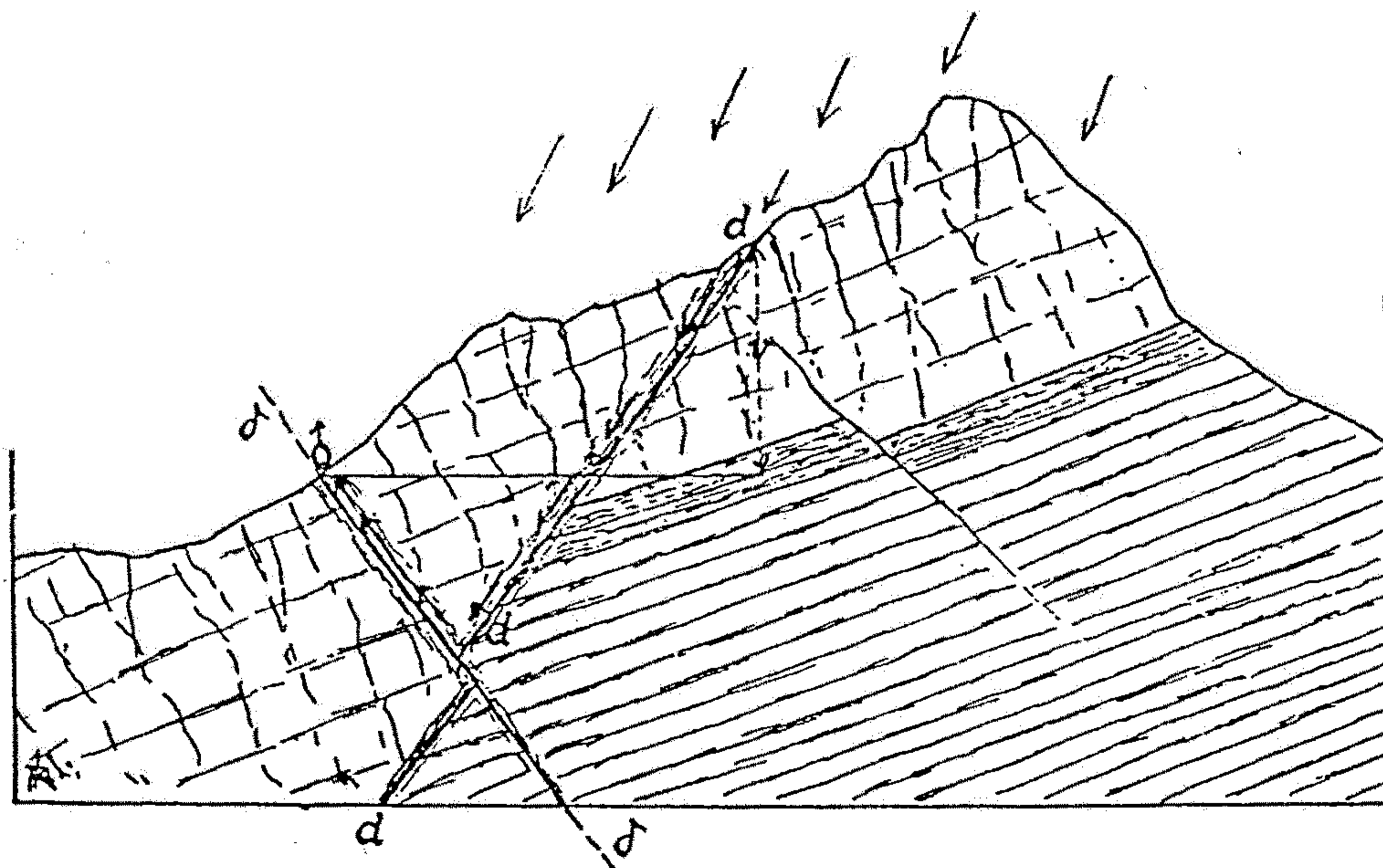
b: průběh hydroisohyps ukazuje, že pohyb spodní vody směřuje s obou stran do řeky, takže řeka rozmnožuje svou vodnost přítokem spodní vody.

c: průběh hydroisohyps ukazuje, že hladina spodní vody má spád od řeky, takže se spodní voda rozmnožuje vcezuující se říční vodou.

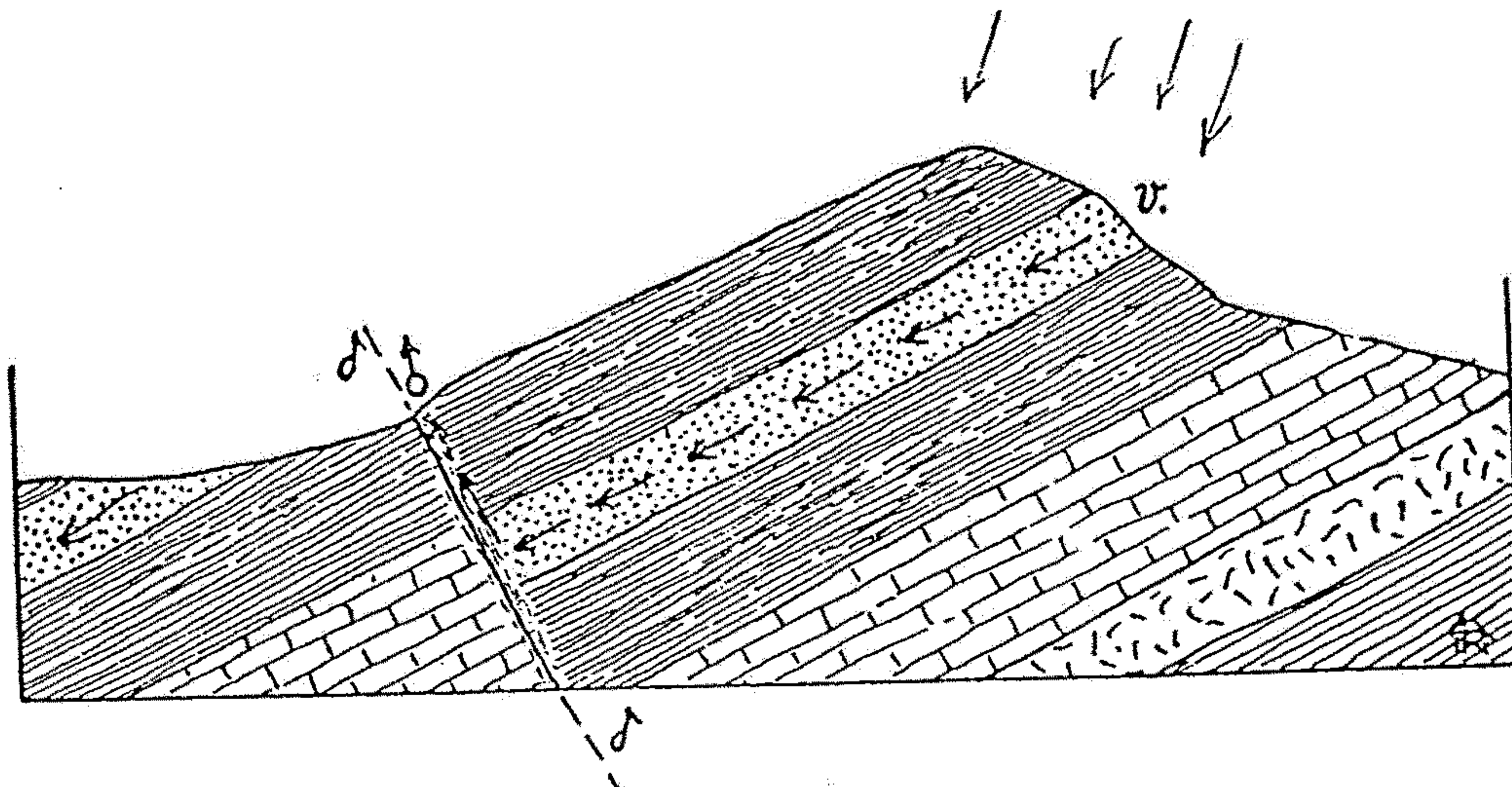
d: průběh hydroisohyps ukazuje, že řeka na levém břehu svou vodu ztrácí, kdežto na pravém břehu přijímá spodní vodu. (Podle E. PRINZE.)



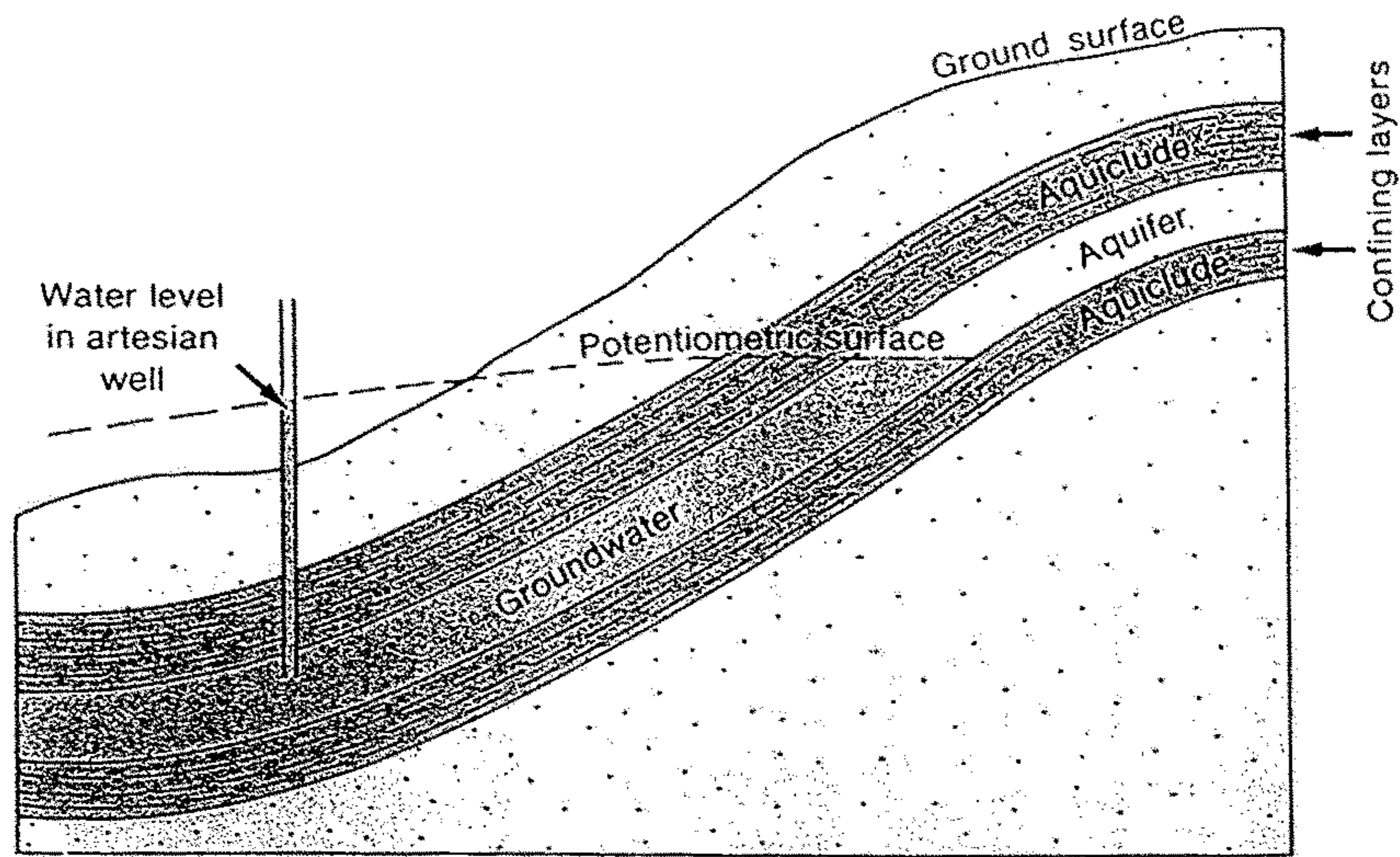
Obr. 31. Přetékající pramen, vznikající na výchozu zlomové plochy, která omezuje nádrž spodní vody.



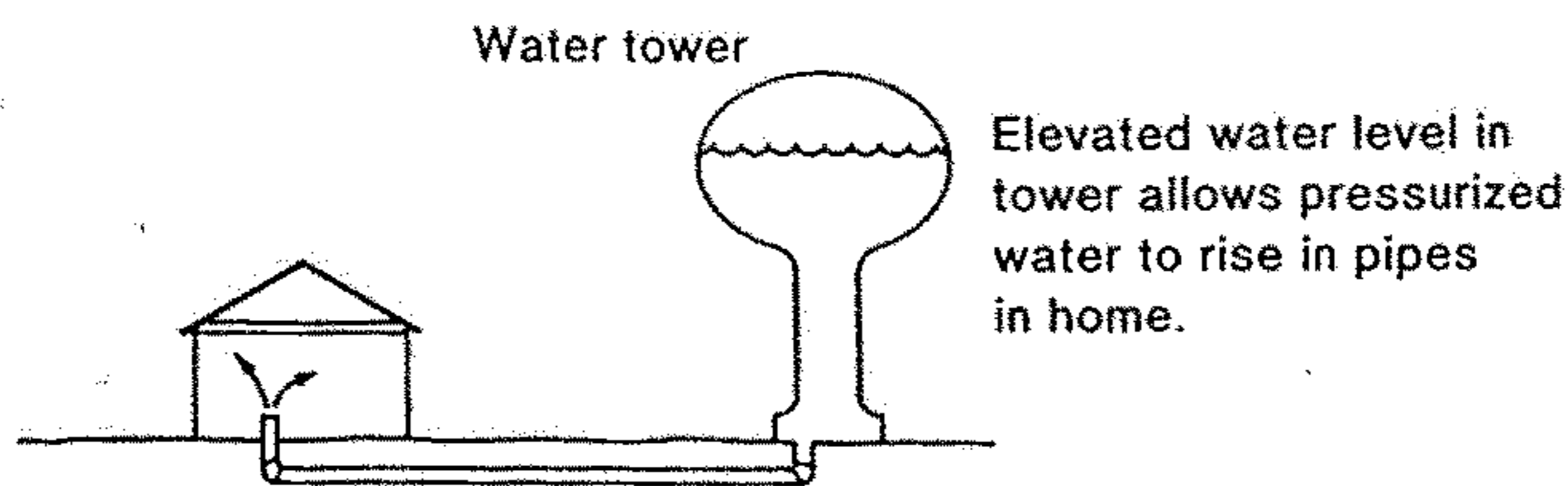
Obr. 34. Výstupný pramen, přivádějící k povrchu puklinovou vodu, která unikla do země rozdrceným pásmem při dislokaci d, po jiném poruchovém pásmu při dislokaci δ, v = výška přetlaku.



Obr. 33. Výstupný pramen vyvěrající ze zvodněných vrstev v na poruchovém pásmu při dislokaci δ.

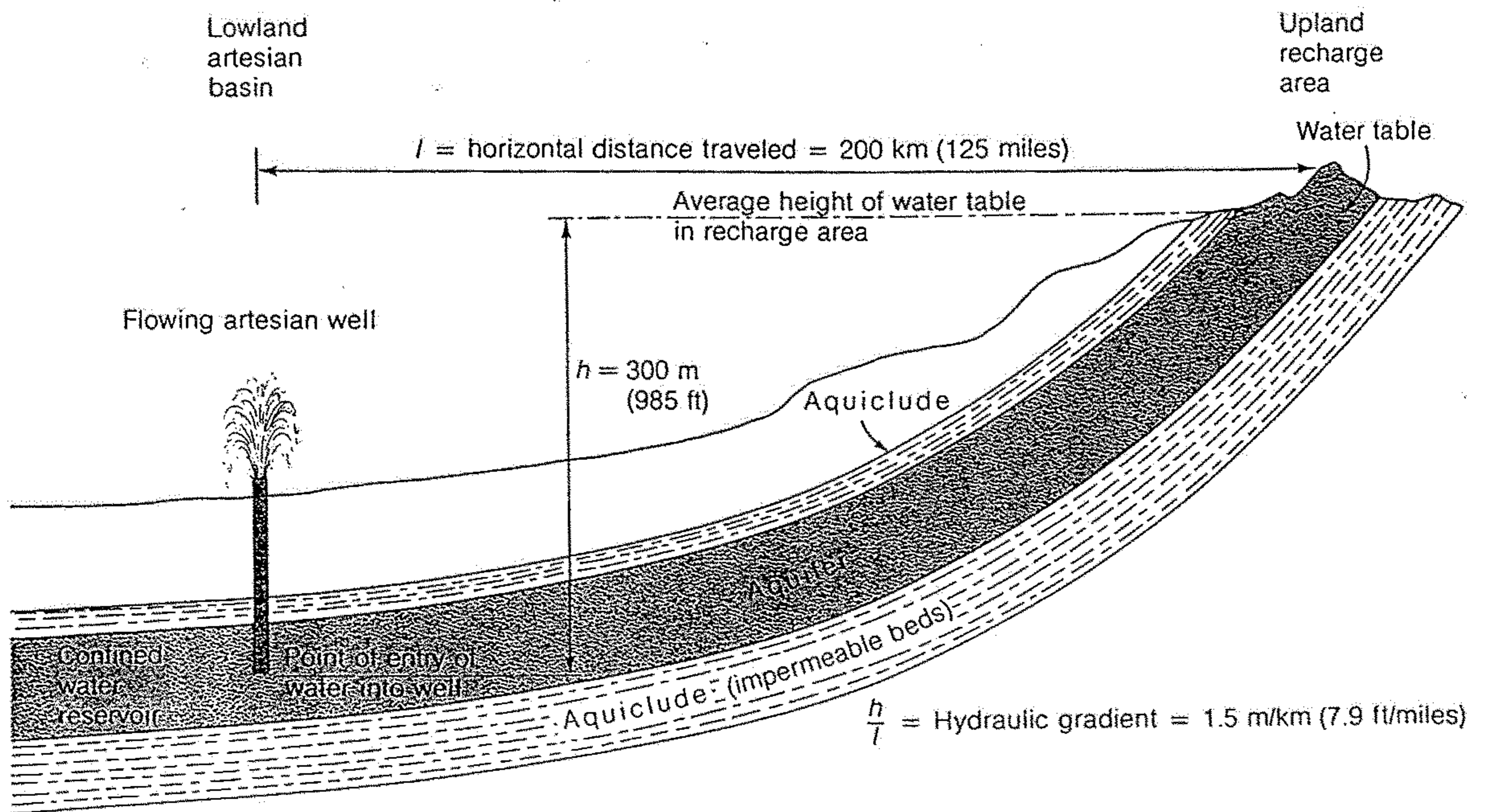


A



B

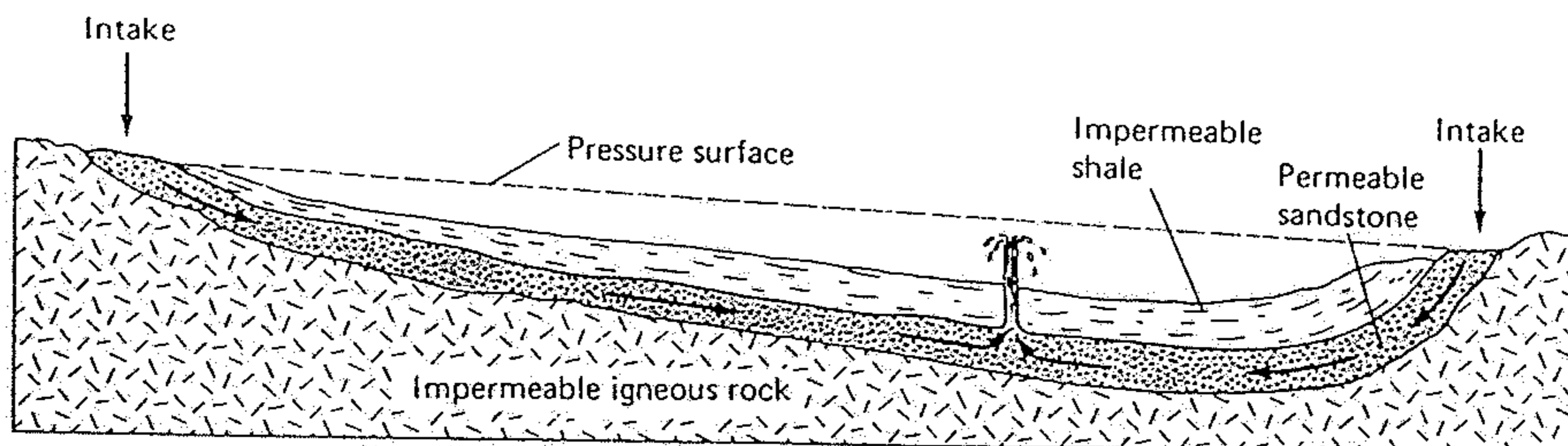
**Figure 10.3** Elevated water pressure, naturally and artificially produced. (A) A confined aquifer. Natural internal pressure in the system creates artesian conditions, in which water may rise above the apparent (confined) local water table. The aquifer here is a sandstone; the confining layers, shale. (B) The same result produced artificially by building a water tower.



**Figure 7-14**

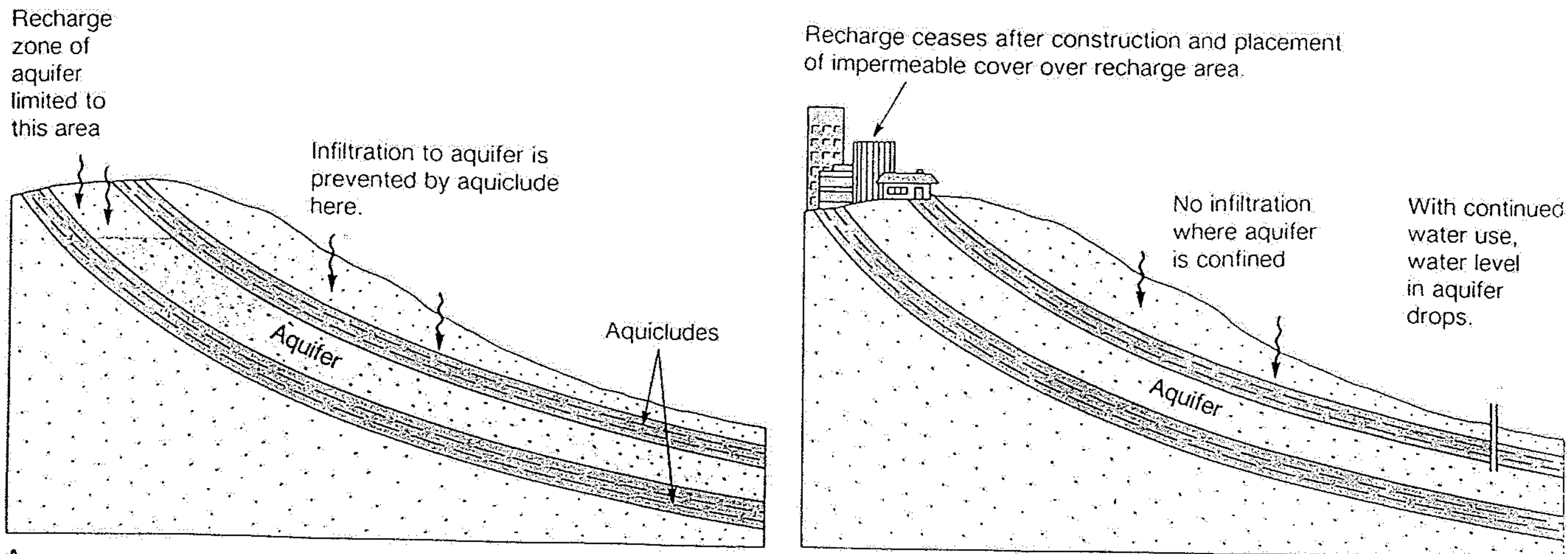
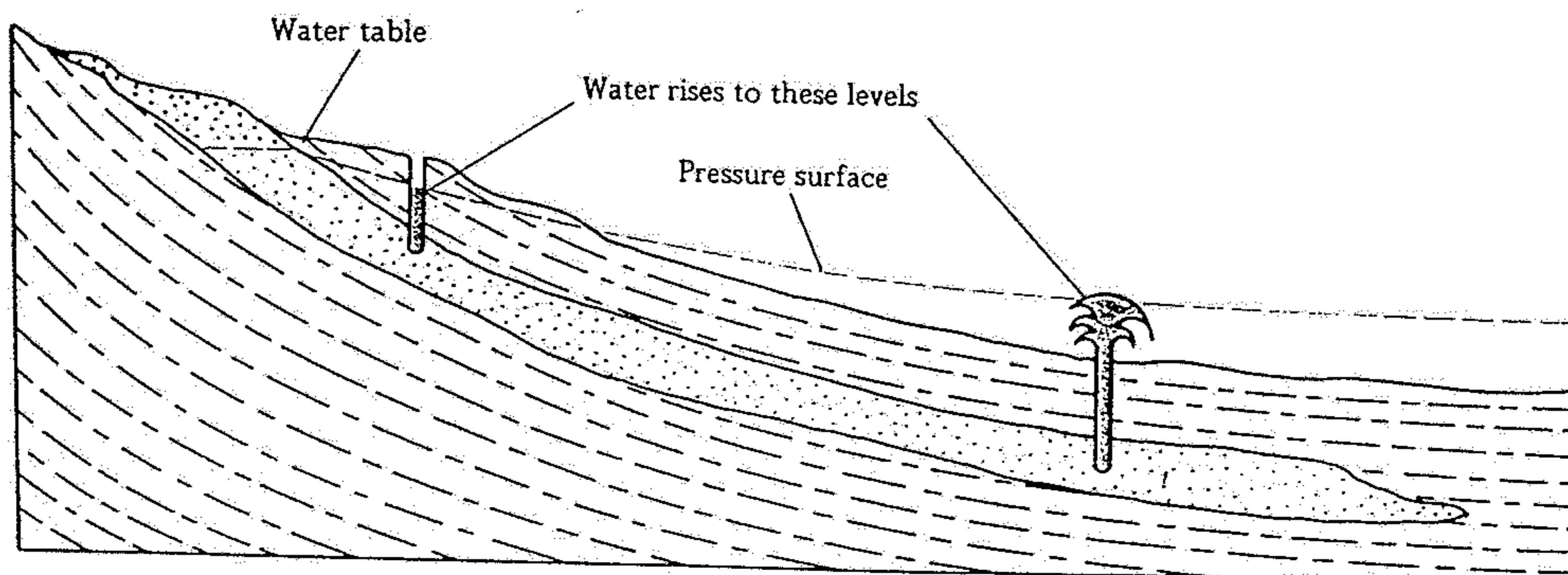
A confined water reservoir is created where water enters an aquifer situated between two confining aquicludes. The artesian well flows in response to the natural (before the well was drilled) pressure difference between the height of the water table in the recharge area and the bottom of the well, equivalent to the pressure of a water column 300 m high in this

example. The actual pressure difference that governs the flow from the top of the well is the difference between the elevation of the water table and the top of the well. If the well head were as high as the water table in the recharge area, there would be no pressure difference and thus no flow.



In the artesian system diagrammed here water is confined in a permeable sandstone (the aquifer) between overlying shale and underlying igneous rock, both impermeable. The sandstone receives water at the surface where it is exposed at either side of the basin. The water feeds down into the aquifer beneath the basin. Here it is under pressure of the water higher in the sandstone. If a well punctures the shale seal over the aquifer, then water will rise in the well and flow out at the surface. This water should rise to the pressure surface indicated, but friction in the system reduces the flow.

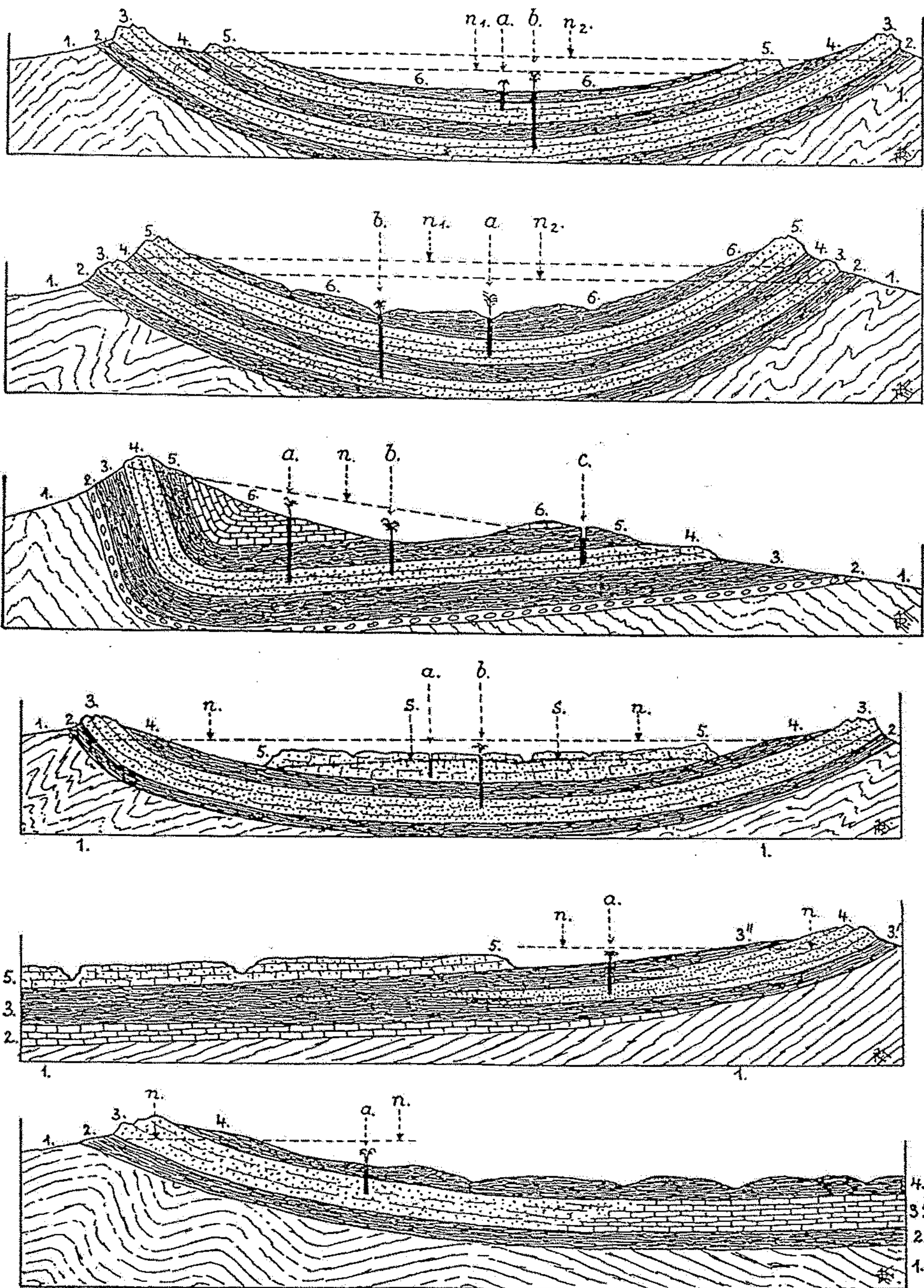
14.9 The wells in the diagram meet the conditions that characterize an artesian system: (1) an inclined aquifer, (2) capped by an impermeable layer, (3) with water prevented from escaping either downward or laterally, and (4) sufficient head to force the water above the aquifer wherever it is tapped. In the well at the right of the diagram the head is great enough to force water to appear at the surface.



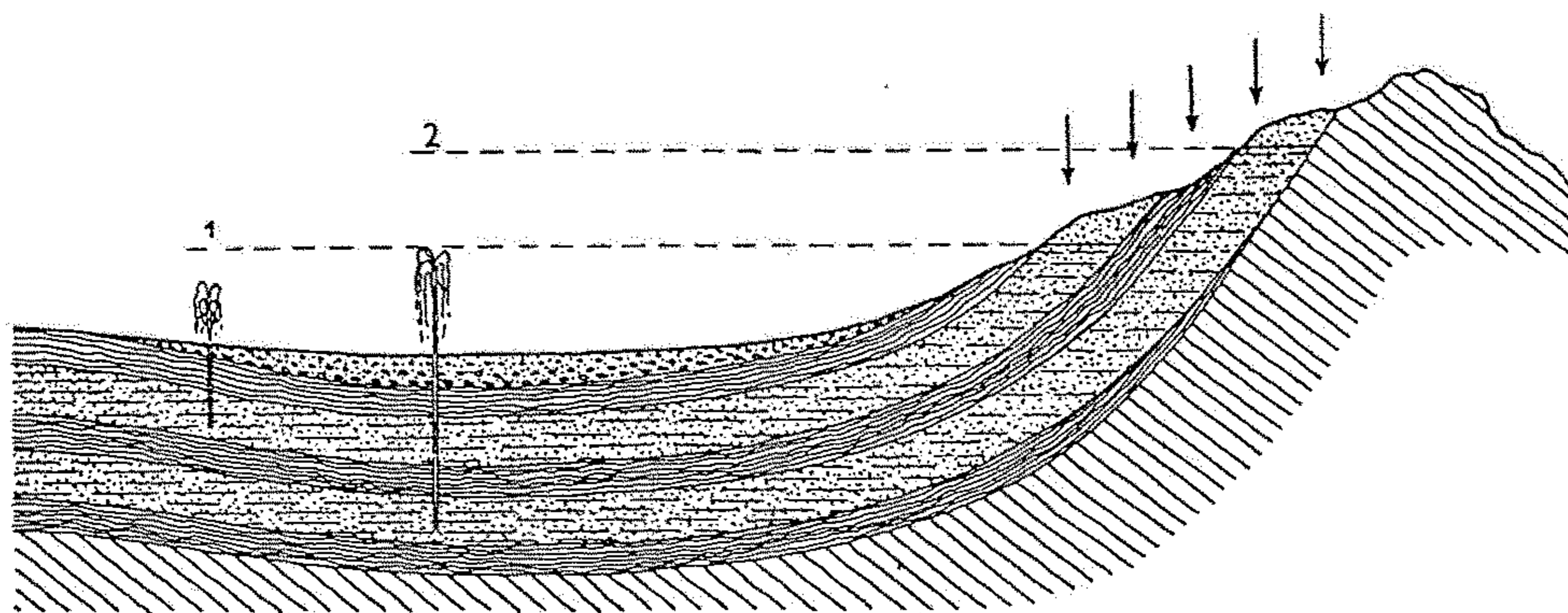
**Figure 10.13** Recharge to a confined aquifer. (A) The recharge area of this confined aquifer is limited to the area where permeable rocks intersect the surface. (B) Recharge to the confined aquifer

may be reduced by placement of impermeable cover over the limited recharge area.





Obr. 16. Různé příklady artéských vod. (Originál.)



Obr. 215. Schema artéské pánve se střídajícími se propustnými (tečkovaně) a nepropustnými vrstvami (hustě šrafováno). Svislé šipky naznačují infiltraci srážkové vody, čísla artéské studny (vrty).