

5	Stopovače a stopovací zkoušky	29. listopad 2019
6	Minerální vody	13. prosinec 2019
7	Regionální hydrogeologie	10. leden 2020
8	Lázně a lázeňství	21. únor 2020

Univerzita třetího věku

Martin Slavík martin.slavik@natur.cuni.cz

29.11.2019

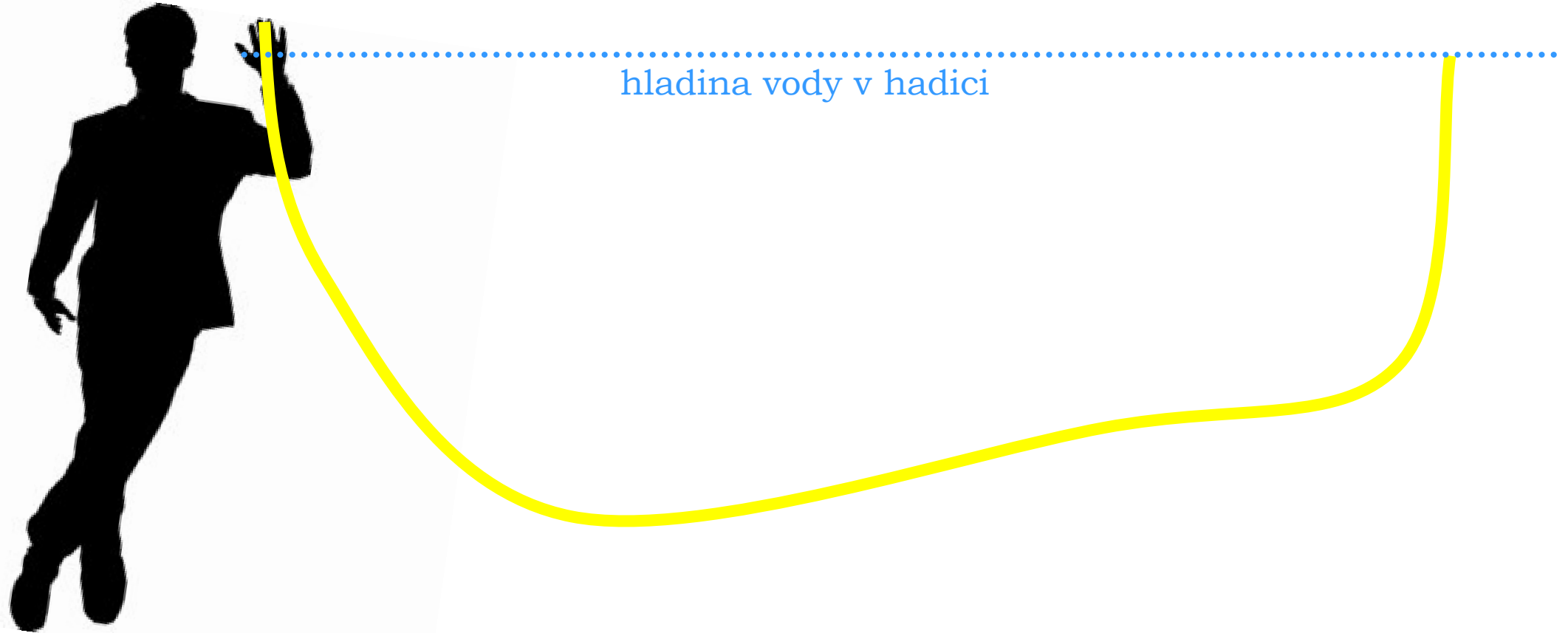
Stopovače a stopovací zkoušky

Univerzita třetího věku

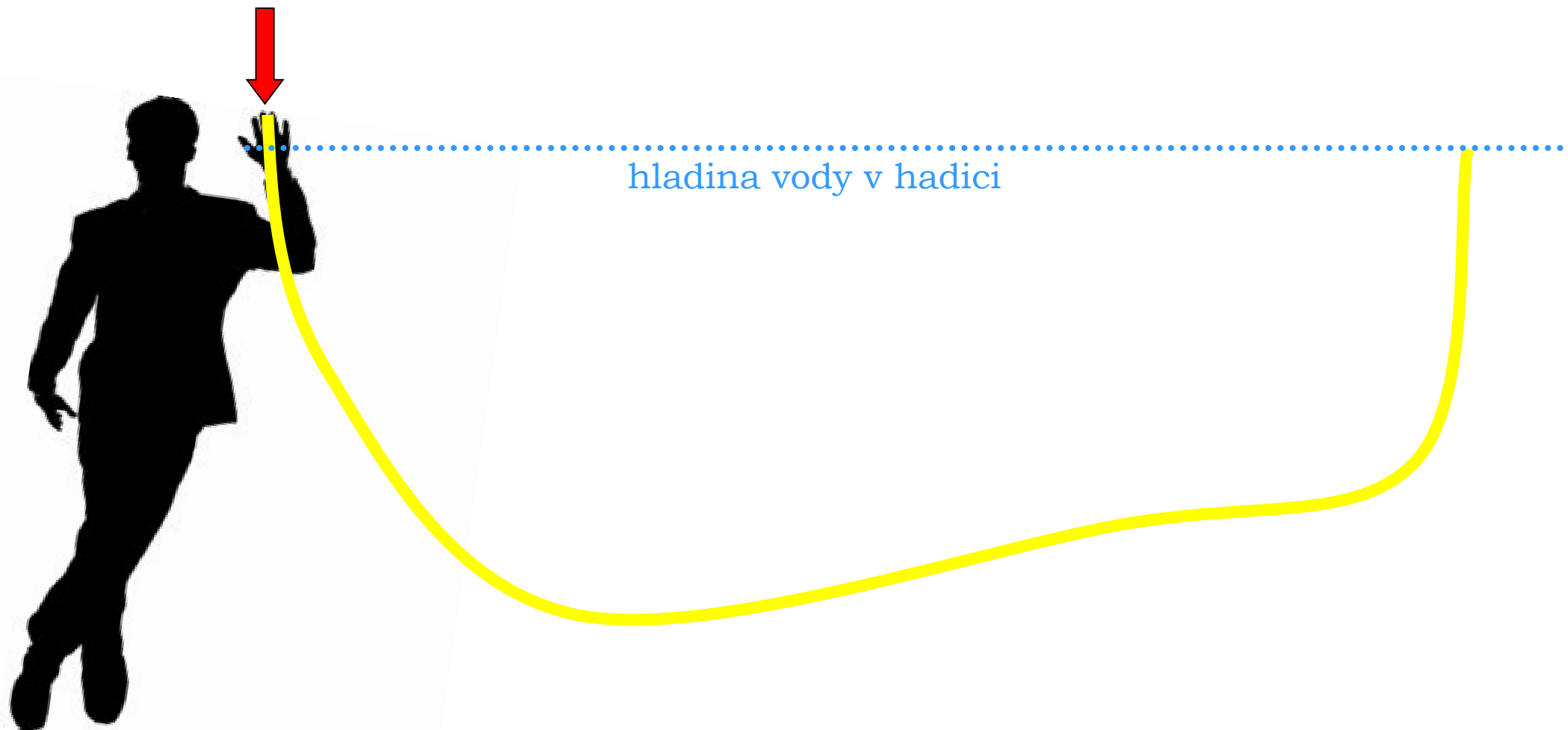
Martin Slavík martin.slavik@natur.cuni.cz

29.11.2019

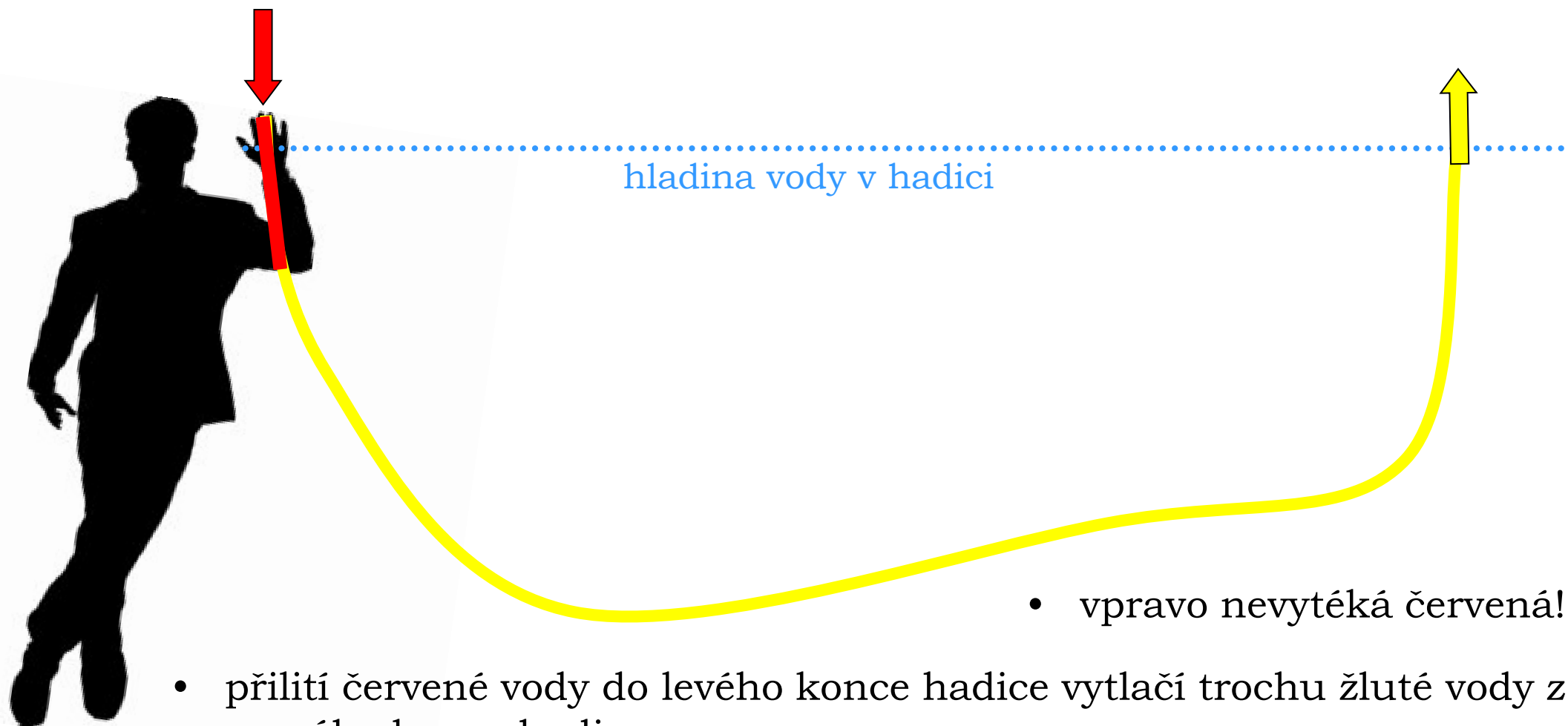
Šíření hydraulické odezvy vs. proudění vody



Šíření hydraulické odezvy vs. proudění vody

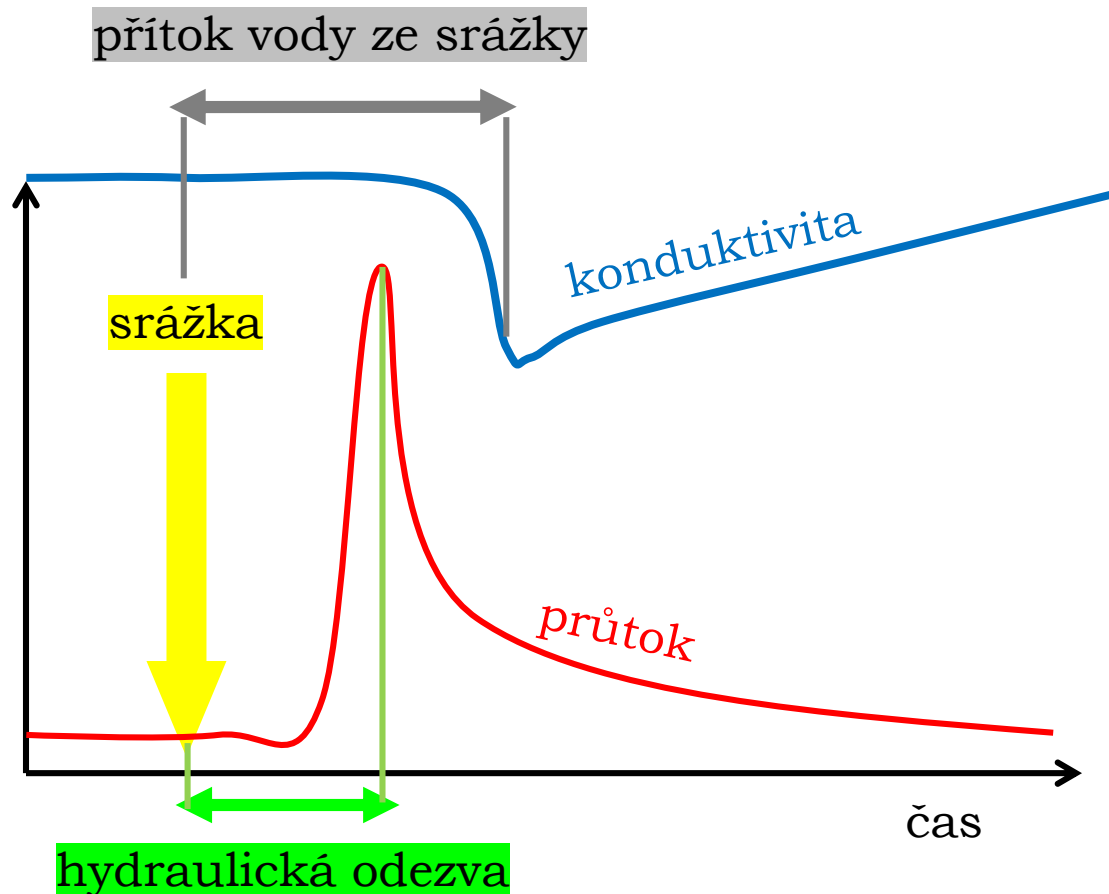


Šíření hydraulické odezvy vs. proudění vody



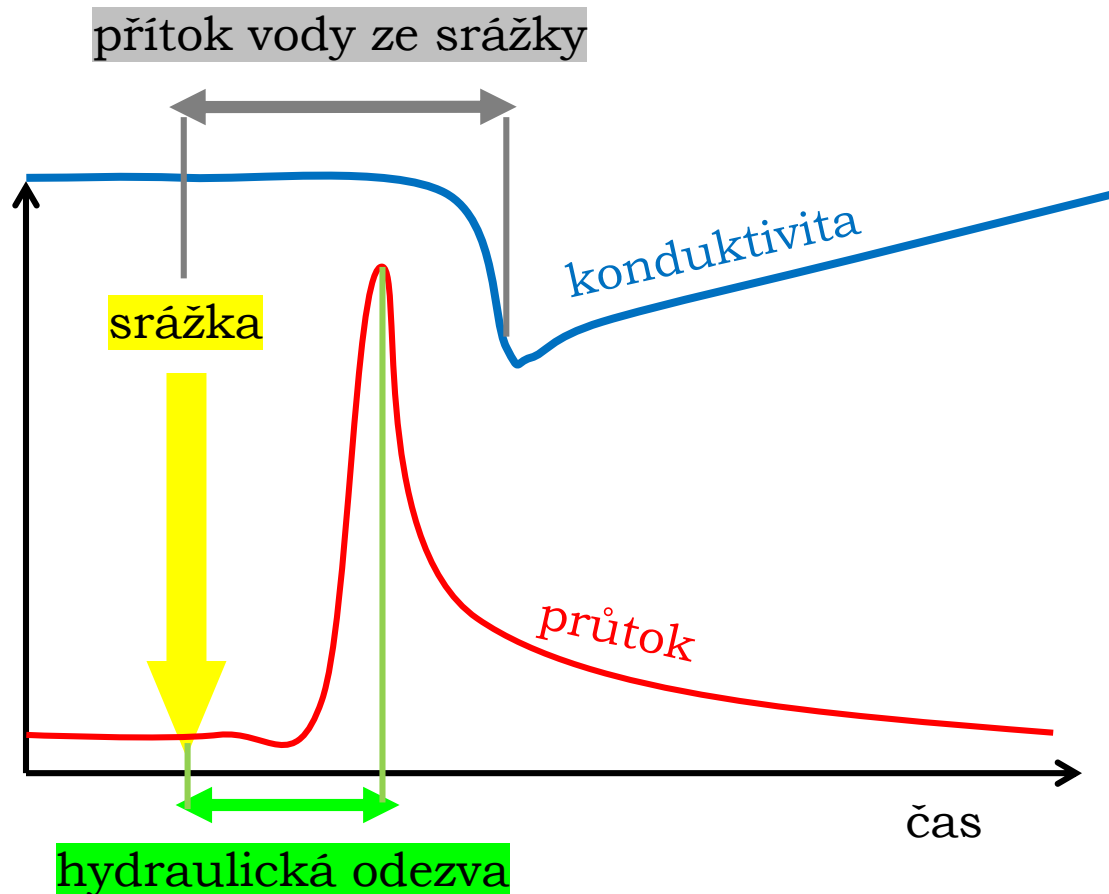
- vpravo nevytéká červená!
- přilítí červené vody do levého konce hadice vytlačí trochu žluté vody z pravého konce hadice
- hydraulický vzruch se šíří celou hadicí, částice vody se posunou vždy jen o pár centimetrů

Šíření hydraulické odezvy vs. proudění vody



- po srážce se nejdříve zvýšil **průtok**, kdy doba potřebná k jeho zvýšení odpovídá **hydraulické odezvě**
- teprve po nějaké době došlo i ke změně **konduktivity**, kdy doba potřebná k jejímu snížení odpovídá **přítoku vody ze srážky** (proudění vody)

Šíření hydraulické odezvy vs. proudění vody

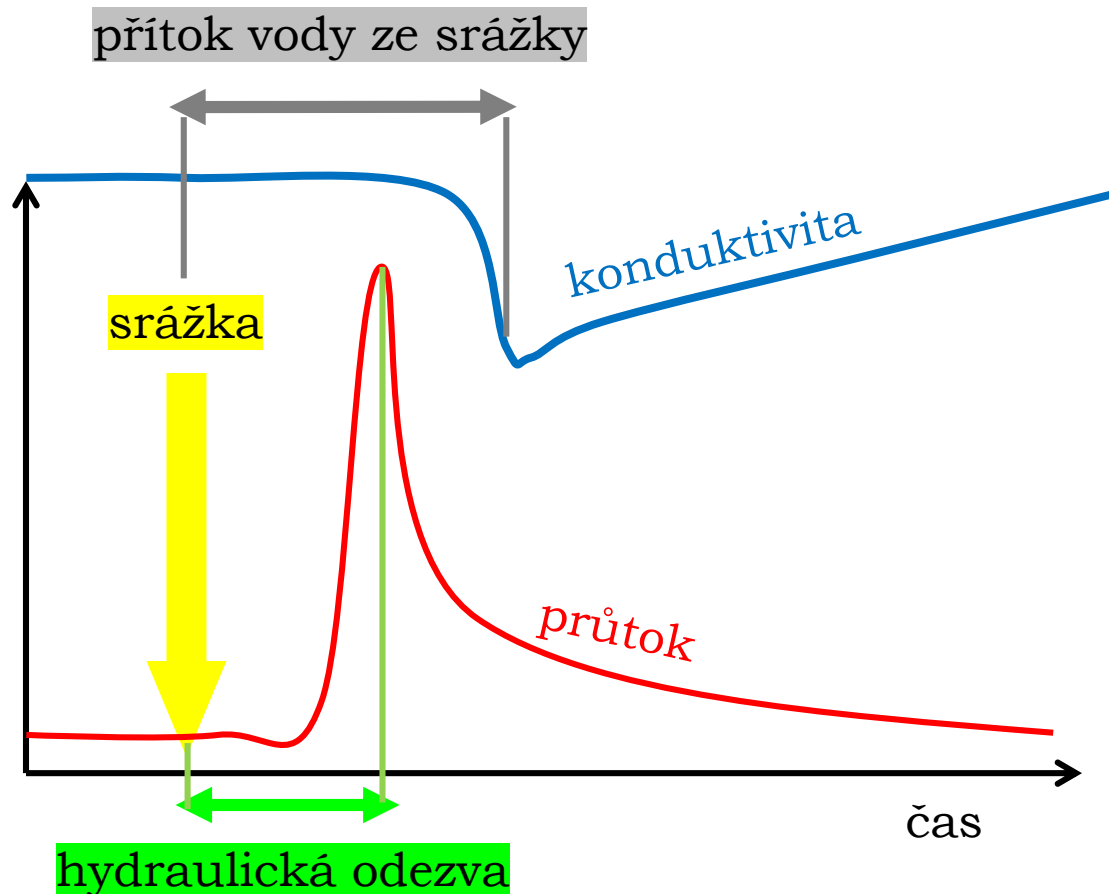


- po srážce se nejdříve zvýšil **průtok**, kdy doba potřebná k jeho zvýšení odpovídá **hydraulické odezvě**
- teprve po nějaké době došlo i ke změně **konduktivity**, kdy doba potřebná k jejímu snížení odpovídá **přítoku vody ze srážky** (proudění vody)

Hydraulická odezva

- je to šíření tlakové změny
- nemá přímý vztah k šíření vlastních částic vody
- často se šíří řádově rychleji než voda (až rychlostí zvuku ve vodě)

Šíření hydraulické odezvy vs. proudění vody

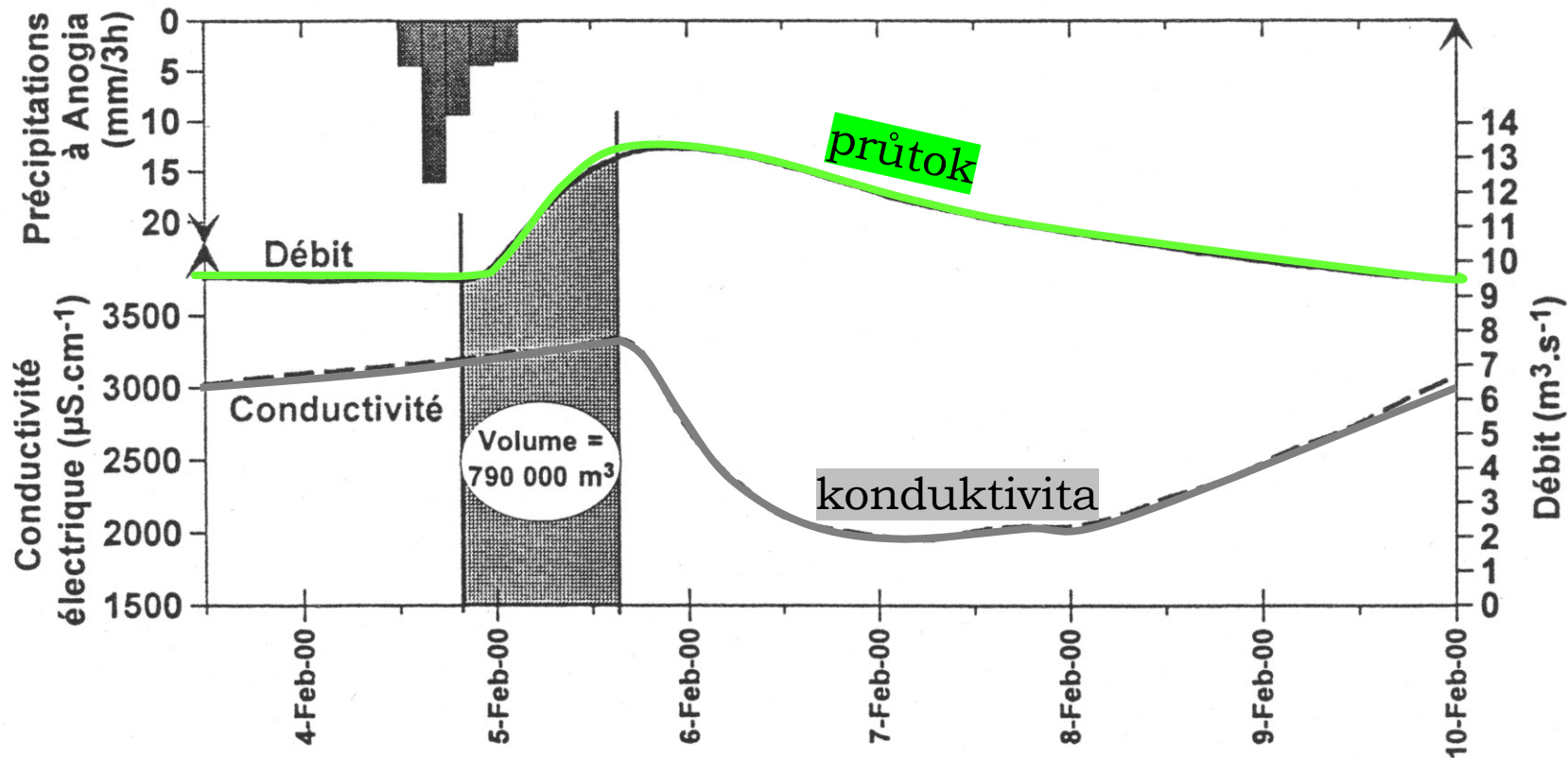


- po srážce se nejdříve zvýšil **průtok**, kdy doba potřebná k jeho zvýšení odpovídá **hydraulické odezvě**
- teprve po nějaké době došlo i ke změně **konduktivity**, kdy doba potřebná k jejímu snížení odpovídá **přítoku vody ze srážky** (proudění vody)

Proudění vody

- je to šíření (pohyb) vlastních částic vody
- přítok vody ze srážky se projeví např. změnou fyzikálně chemických parametrů (teplota, konduktivita, složení)

Šíření hydraulické odezvy vs. proudění vody



Arfib (2001)
krasové kanály na Krétě

- pramen okamžitě po srážce reagoval zvýšením průtoku (**hydraulická odezva**)
- teprve po 20 hodinách dorazí první srážková voda do pramene (**proudění vody**)
- z průtoku pramene (m^3/s) a dobou (s) mezi hydr. odezvou a dorazením srážkové vody (~den) lze spočítat objem krasových kanálů, kterými voda protéká ($790\,000\text{ m}^3$)

Transportní procesy

Skutečné proudění vody a látek v ní rozpuštěných je příliš složité, než aby se dalo modelovat nebo měřit přímo v přírodních podmínkách. Částičky vody se pohybují velmi různými rychlostmi a dráhami díky tzv. transportním procesům:

- **advekce**
- **mechanická disperze**
- **difuze**
- rozpad (např. radioaktivní)
- retardace (opoždění stopovače / kontaminantu kvůli sorpci na horninové prostředí)

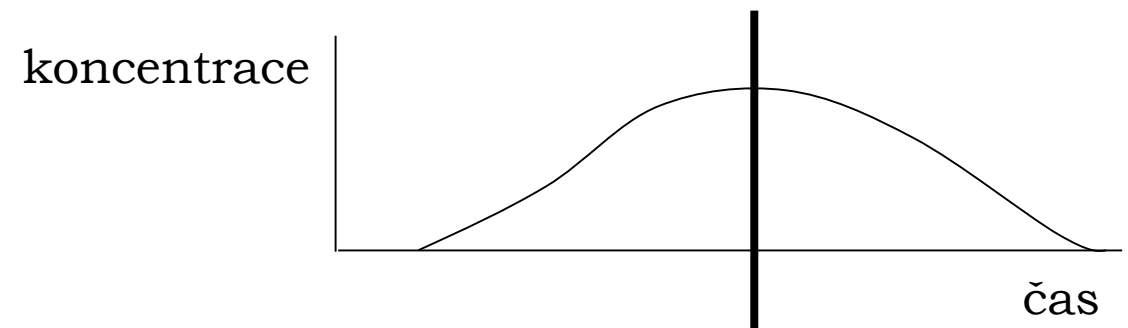
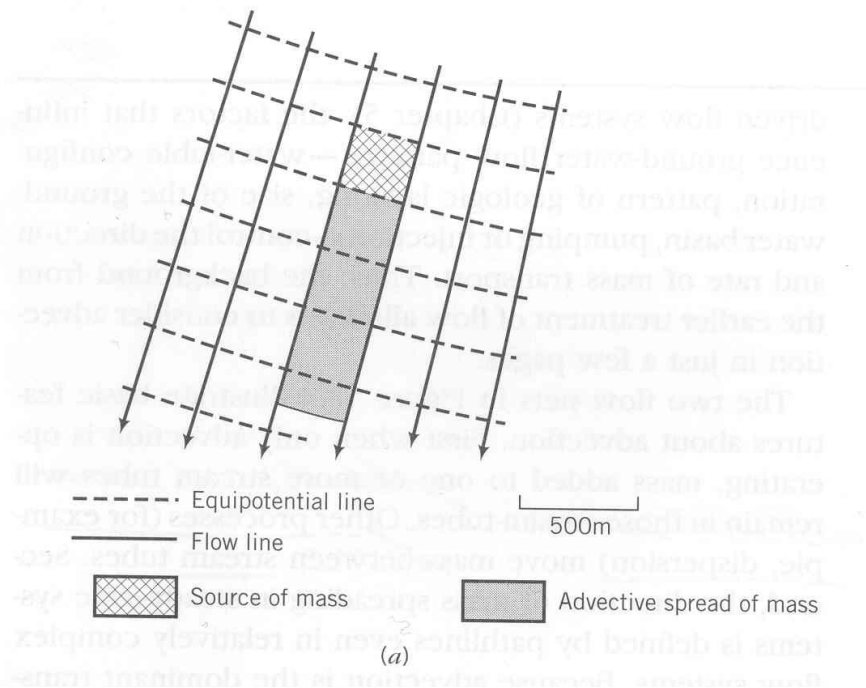
Transportní procesy

ADVEKCE

- pohyb středu nebo také „těžiště“ vodní masy
- „hranol vody“, který se pouze sune prostředím vpřed
- odpovídá střední (skutečné) rychlosti proudění (tedy průniku poloviny stopovače)

$$v_s = K \frac{i}{n_e}$$

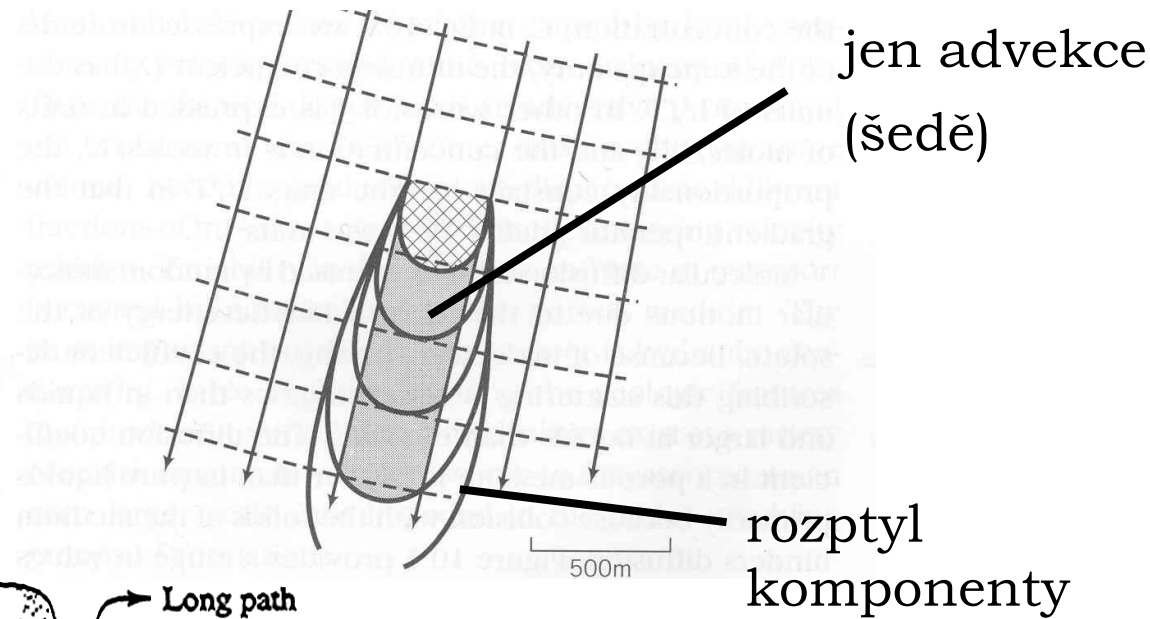
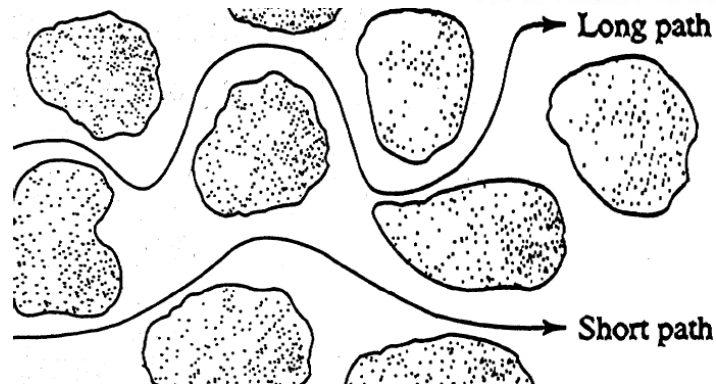
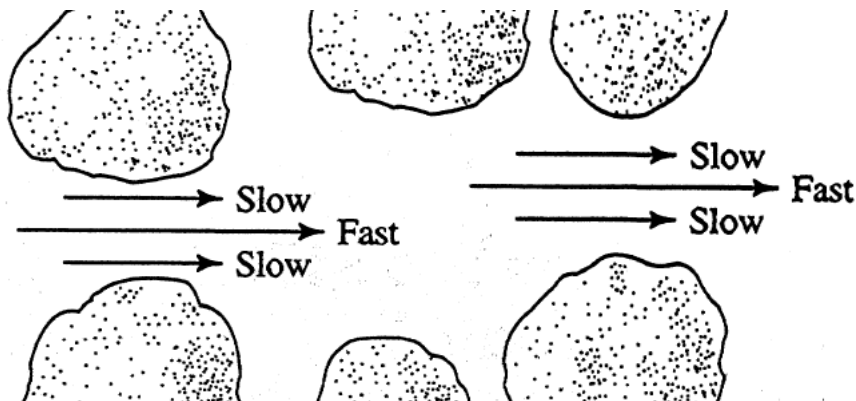
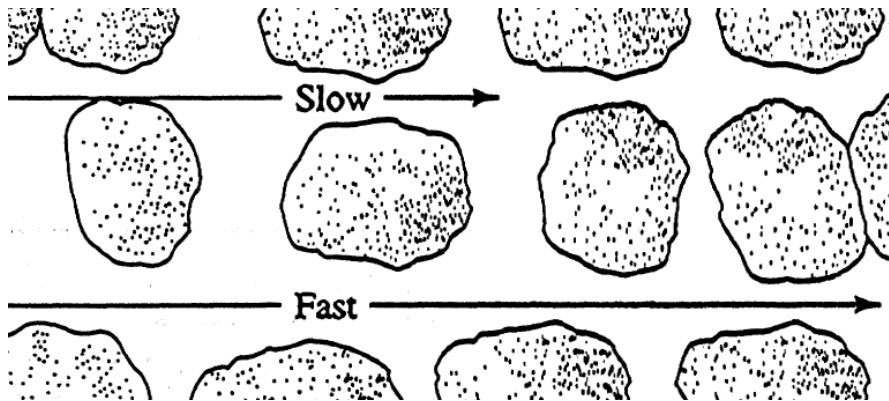
- v kontextu stopovače či kontaminantu jde o pouhé jeho unášení prouděním



Transportní procesy

MECHANICKÁ DISPERZE

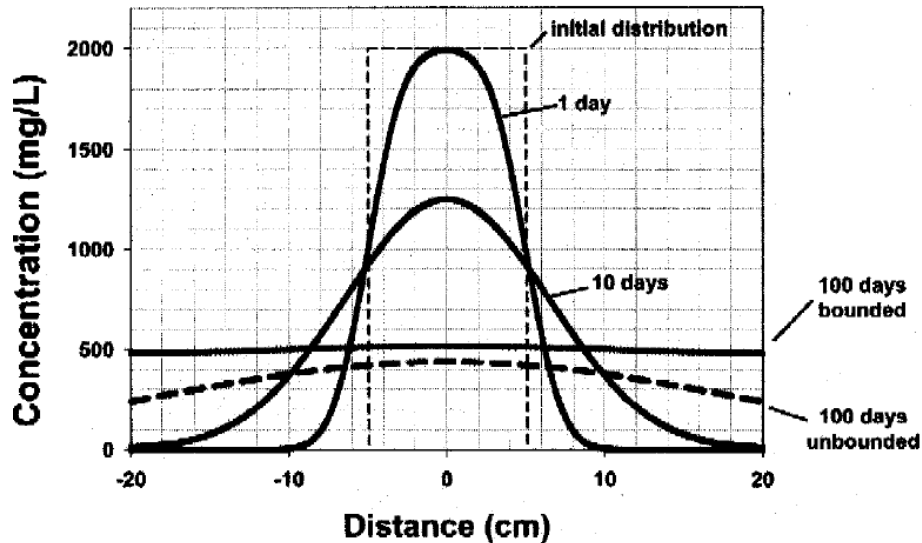
- rozptyl komponenty vlivem mikroskopických nerovností v proudění vody
- nestejně šířky a délky pórových kanálů (ve větších pórech rychlejší)
- různí se průtokový profil (uprostřed póru rychlejší než u okraje)
- obtékání zrn pevné fáze



Transportní procesy

DIFUZE (MOLEKULÁRNÍ DIFUZE)

- rozptyl komponenty v rámci „náhodného“ (tepelného) pohybu částic = Brownův pohyb
- prolínání molekul jedné látky mezi molekuly jiných látek
- vyskytuje se i ve stojaté vodě bez advekce
- závisí na koncentračním gradientu (nikoliv na hydraulickém!) podle prvního Fickova zákona:



$$J = -D \frac{dc}{dx}$$

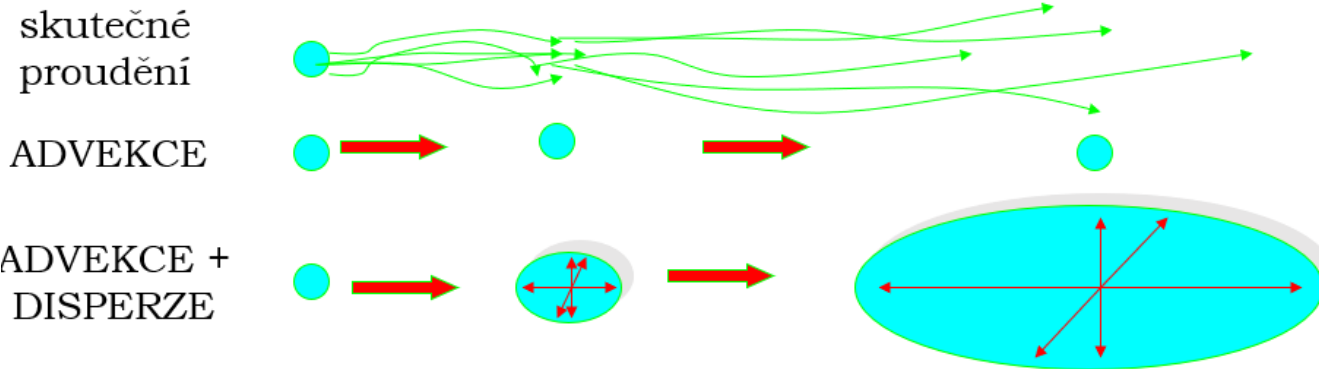
- oproti ostatním transportním procesům má difuze obvykle malý význam (v průlinovém prostředí)
- výjimka je v jílech, kde dochází k pomalému proudění, a o to víc se zde projeví difuze
- v průlinovém prostředí je molekulární difuze nižší než v ve volné kapalině, protože molekuly naráží do stěn pórů
- v puklinovém prostředí dochází k difuzi látek do boků puklin a tím zpomalení jejich pohybu díky transportu do málo propustné horninové hmoty

Transportní procesy

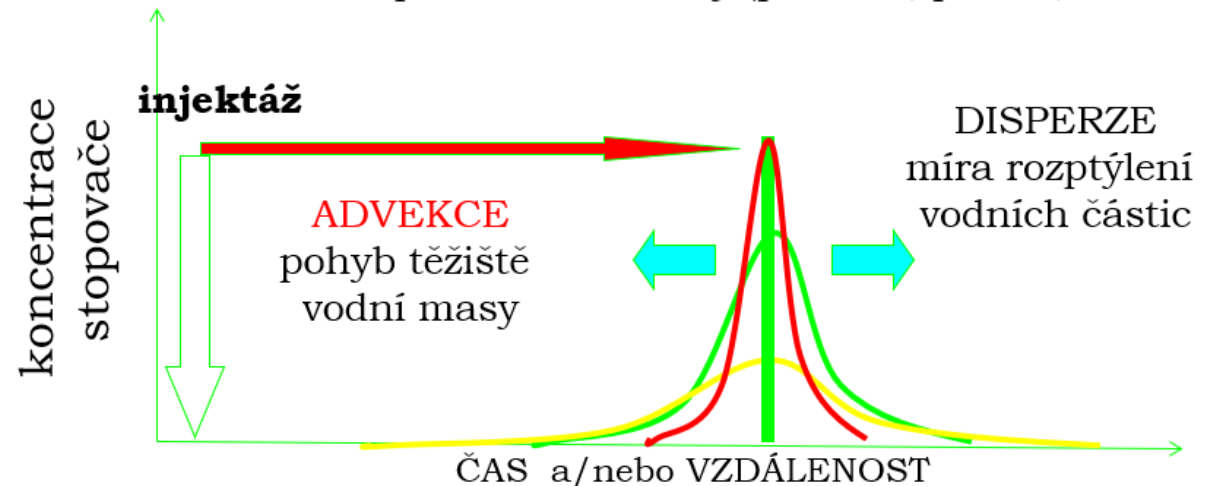
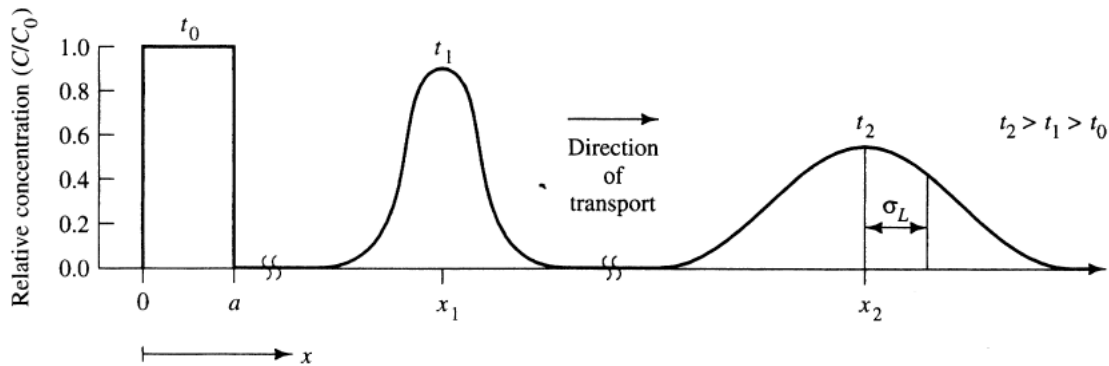
HYDRODYNAMICKÁ DISPERZE (mechanická disperze a molekulární difuze)

- používána, protože mechanickou disperzi a molekulární difuzi v reálných případech nelze oddělit
- proto dány dohromady do jednoho termínu hydrodynamická disperze
- rozptyl vodních částic a rozpuštěných látek okolo těžiště daného advekcí
- zvyšuje se s rychlostí proudění

- má 3 složky: podélnou (m)
příčnou horizontální (cm)
příčnou vertikální (mm)

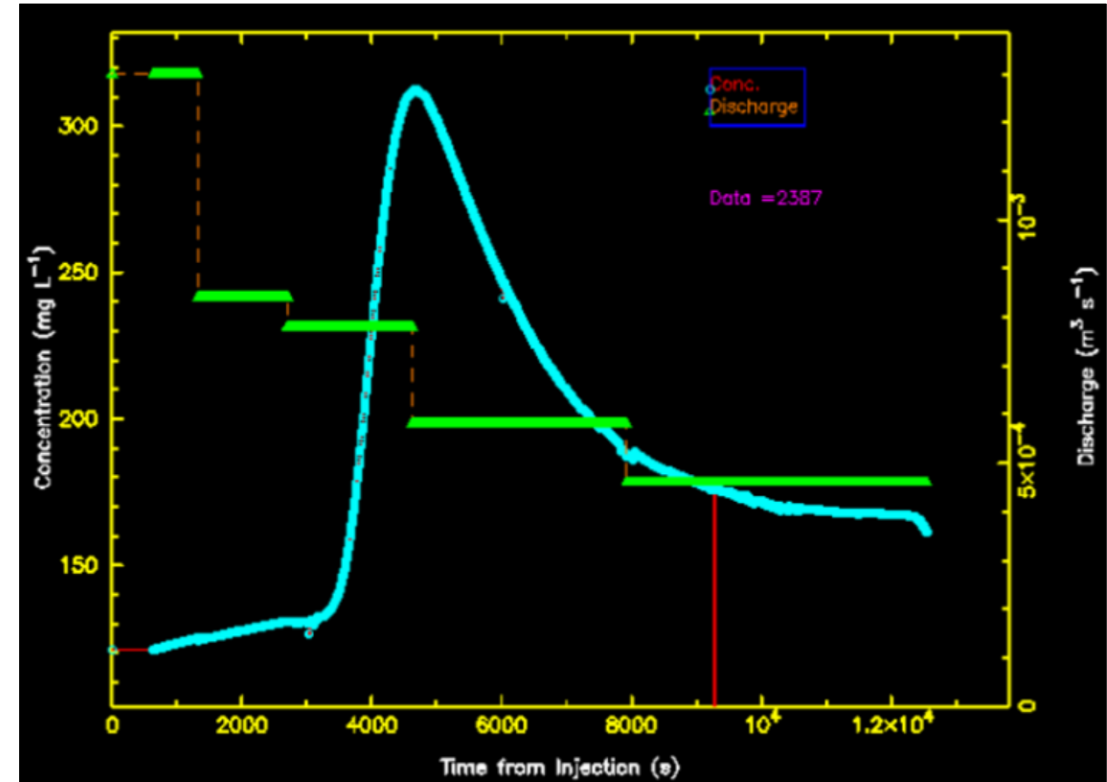


disperze má 3 složky (podélná, příčná, vertikální)



Co to jsou stopovací zkoušky?

Cílená **injektáž stopovače** do podzemí a **sledování** jeho pohybu.



Co to jsou stopovací zkoušky?

Cílená **injektáž stopovače** do podzemí a **sledování** jeho pohybu.

Stopovač

- látka, která se používá ke sledování pohybu vody v horninovém prostředí a tocích
- pro sledování pohybu vody musí mít stopovač velmi obdobné chování jako voda sama
- ideální stopovač by neměl reagovat, rozpadat se, sorbovat se atd.
- měl by být snadno detekovatelný, mělo by snadno jít zjistit jeho množství + měl by být neškodný pro životní prostředí

- rozpustné či nerozpustné ve vodě
- fluoreskující i nefluoreskující
- anorganické i organické

Environmentální

- „přirozené“, které se do prostředí dostávají přírodní cestou (izotopy vodíku, kyslíku, uhlíku, freony)

Umělé

- cíleně je do prostředí injektujeme za účelem stopovací zkoušky

Co to jsou stopovací zkoušky?

Cílená **injektáž stopovače** do podzemí a **sledování** jeho pohybu.

Injektáž:

- do vrtu
- do povrchového toku
- do ponoru
- do podzemního toku (krasové kanály)

Místa **sledování**:

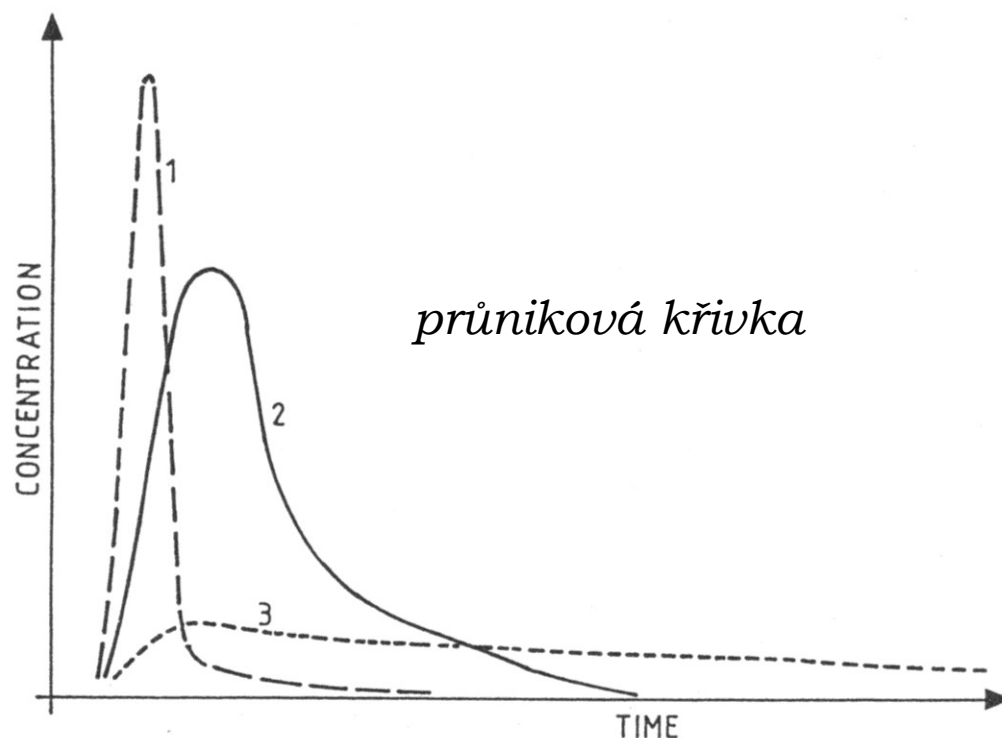
- vrty
- prameny
- (povrchové toky)



K čemu jsou stopovací zkoušky?

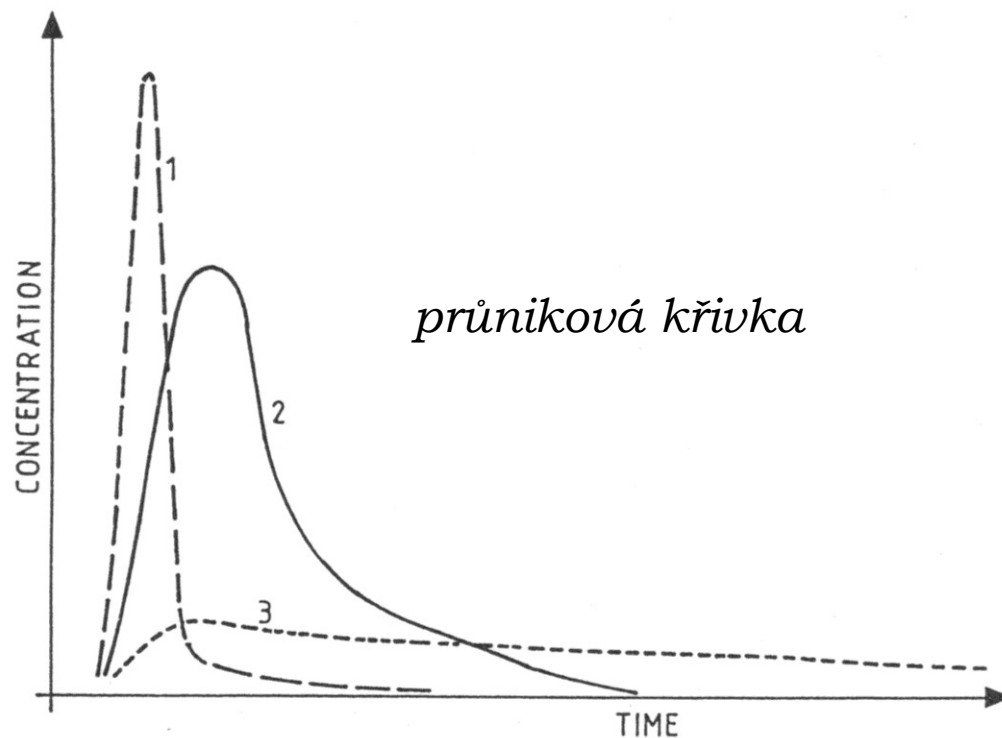
- **kvalitativní stopovací zkouška:** určení či ověření, kam proudí voda; určí se směr proudění vody a velmi přibližná rychlost proudění
- **kvantitativní stopovací zkouška:** určení nejen směru proudění, ale daleko více parametrů, např. geometrie proudové oblasti, objem vody, která je přítomna v prostředí, průtočná plocha krasového kanálu, kolik stopovače dorazilo, velmi přesná rychlost proudění vč. nejvyšší či průměrné rychlosti, odlišení transportních procesů. Jsme schopni popsat vývoj koncentrace stopovače v čase.

Využití ve všech druzích hydrogeologického prostředí.



Jak provádět stopovací zkoušky?

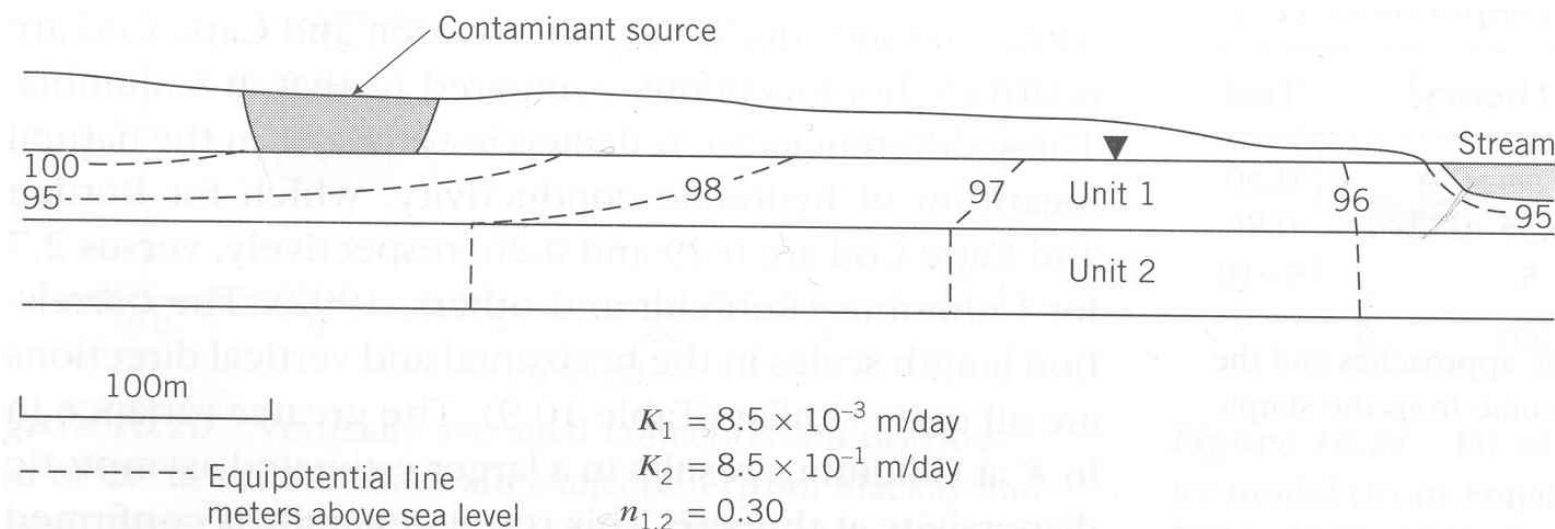
- **kvalitativní stopovací zkouška:** není potřeba příliš častý odběr vzorků nebo měření (nezajímá nás průniková křivka), hrozí nebezpečí falešného objevení stopovače (málo vzorků) či naopak nezachycení stopovače
- **kvantitativní stopovací zkouška:** náročné na provedení, musí být dostatečný počet odebraných vzorků či četnost měření, aby bylo možné sestavit průnikovou křivku, musí být měřen průtok na místě injektáže i na všech měřených místech, aby bylo možné bilancovat množství proteklého stopovače



K čemu jsou stopovací zkoušky?

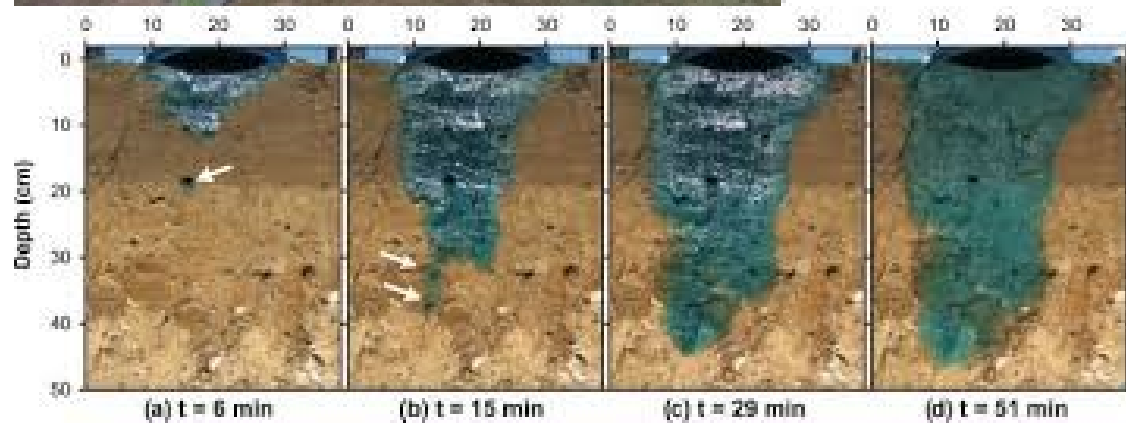
Získané parametry mohou sloužit jako podklady pro:

- základní výzkum (kam dále teče voda z jeskyně? je tohle pokračováním tamté jeskyně...?)
- pro zjištění toku termální vody, kanalizace
- zjištění zranitelnosti prostředí z hlediska jeho kontaminace (např. kras – velká rychlost šíření)
- simulace pohybu kontaminantů a bakterií



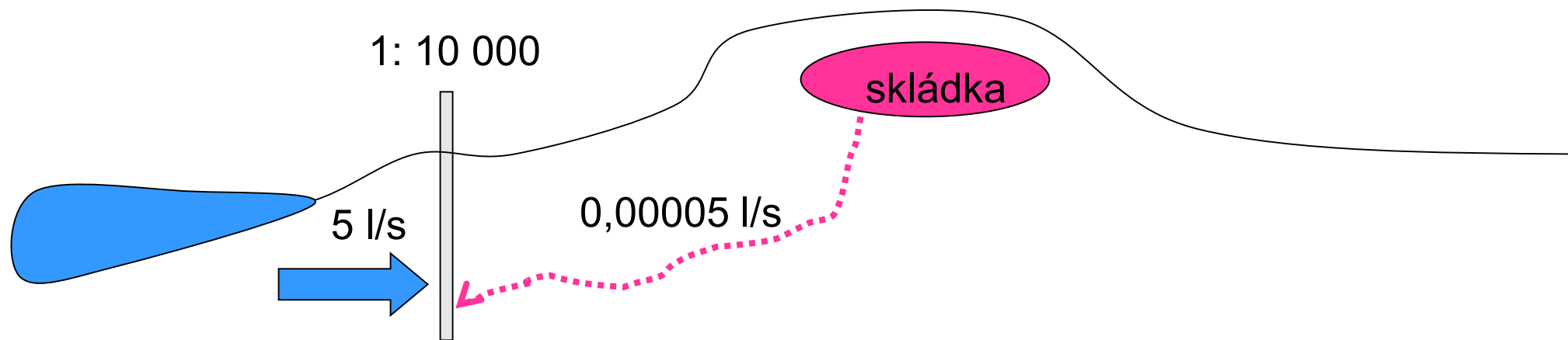
K čemu jsou stopovací zkoušky?

- stopovací zkoušky lze použít ve všech prostředích
- použití v saturevané i nenasaturevané zóně
- používají se čím dál tím více (posun hydrogeologie od hledání zdrojů vody k touze porozumět proudění a kvantifikovat různé jevy, které se na něm podílejí)



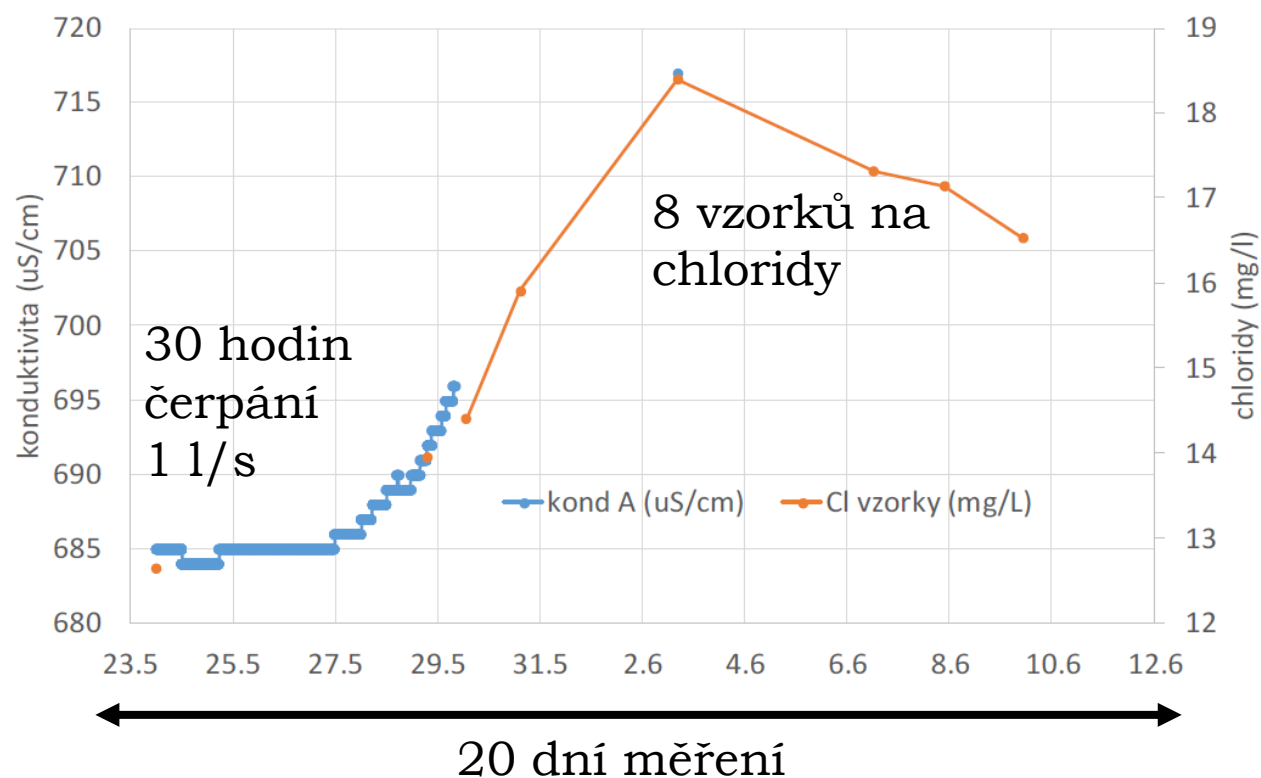
Výhody

- je jasně definovaný způsob injektáže a také dobře popsaná průniková křivka (odezva zkoumaného systému)
- jedná se o nejlepší možné informace o proudění vody zjistitelné v terénních podmínkách
- věrohodnější a detailnější informace než z čerpacích zkoušek
- jsme schopni zachytit i velmi nízkou frakci vody (tj. velmi nízkou koncentraci)

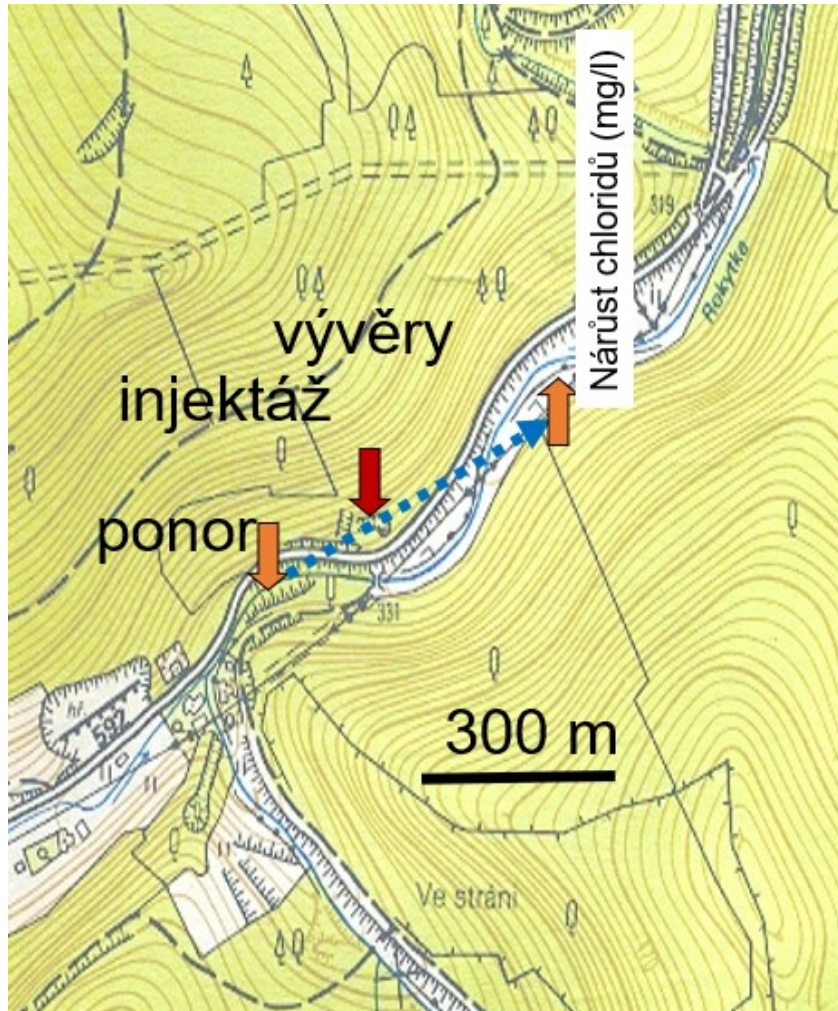


Nevýhody

- proudění je často velmi pomalé a z časových důvodů nelze stopovací zkoušku uskutečnit (poté se využívají environmentální stopovače)
- v některých případech je provádění stopovací zkoušky velmi drahé (nové vrty, analýza vzorků, náročné na lidský čas, někdy je potřeba používat el. centrálu pro čerpání a vhánění vody do vrtu, potřeba povolení...)

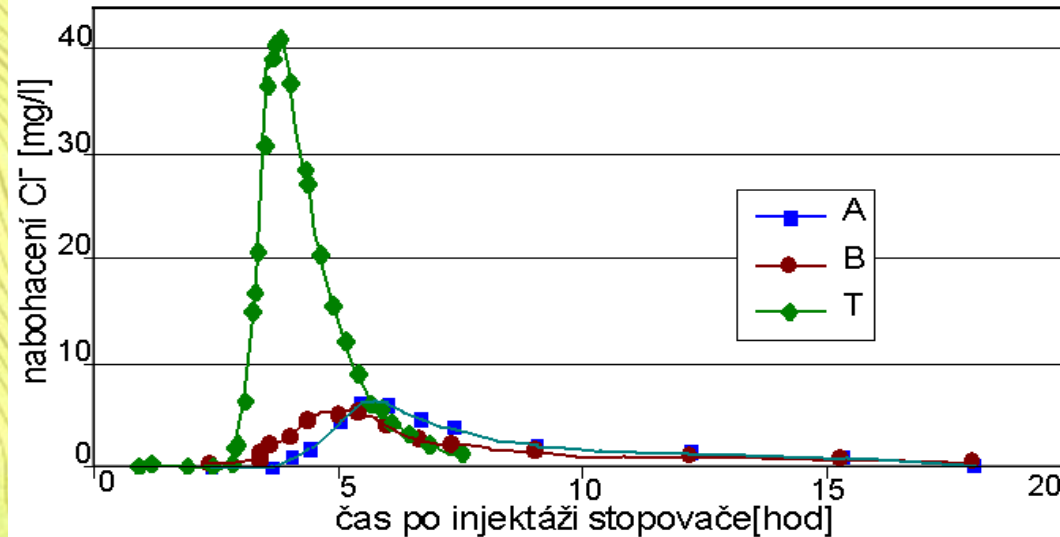


Příklad stopovací zkoušky

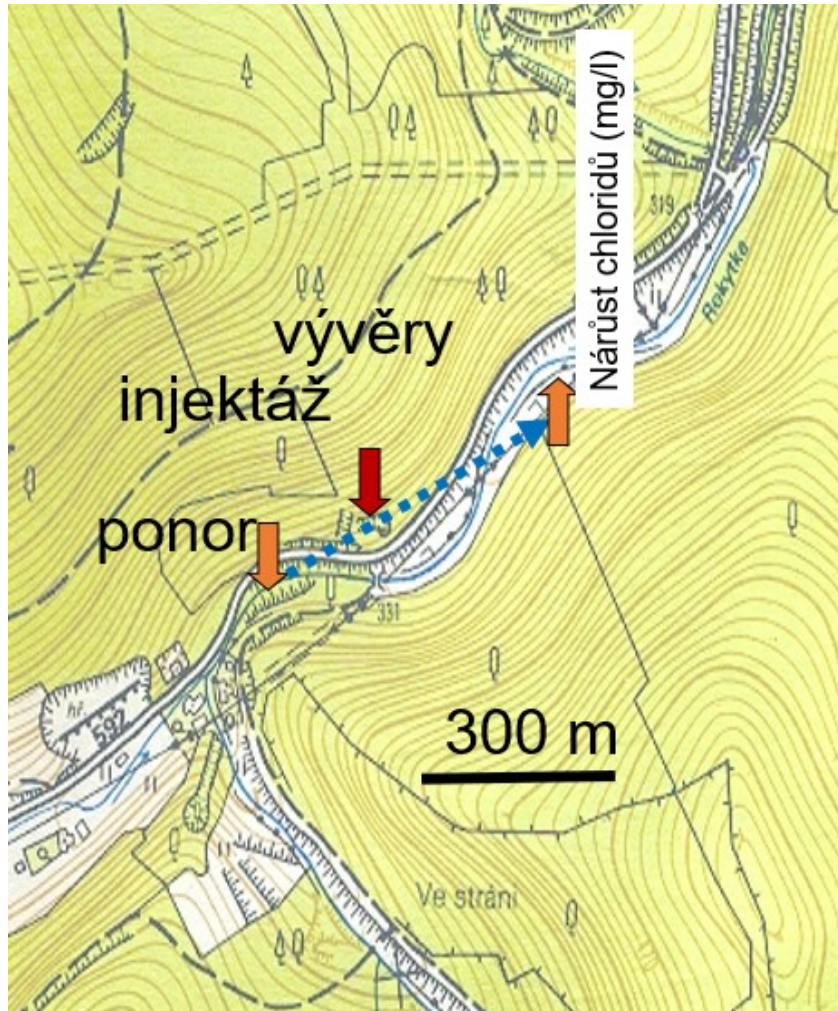


Ještědské krystalinikum

- krystalické karbonáty, kde jsou ponory a vývěry
- jako stopovač použita kuchyňská sůl (NaCl)
- injektováno v jednom bodě a po cca 300 m byly 3 body měření A, B, T

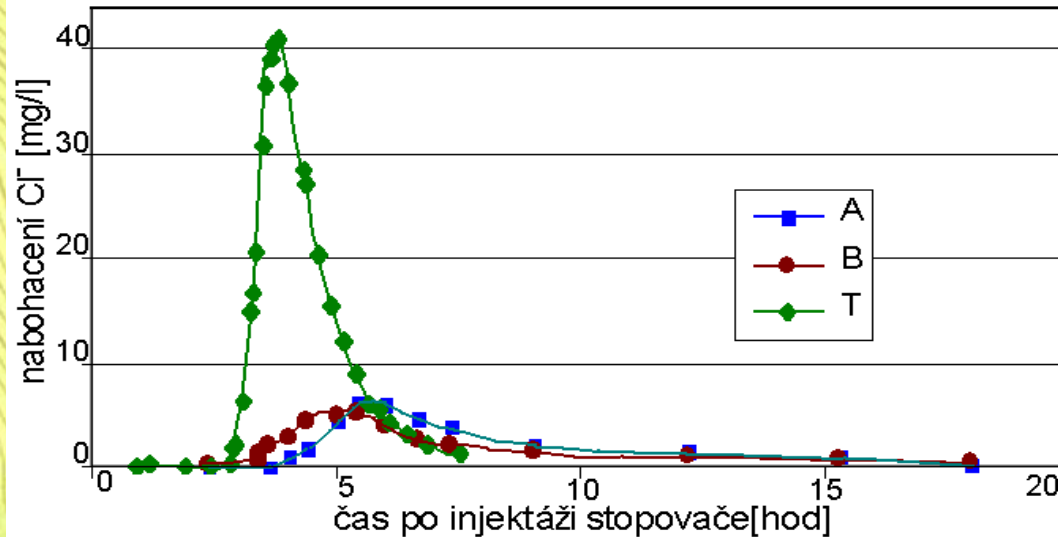


Příklad stopovací zkoušky



Výsledky ze stopovací zkoušky:

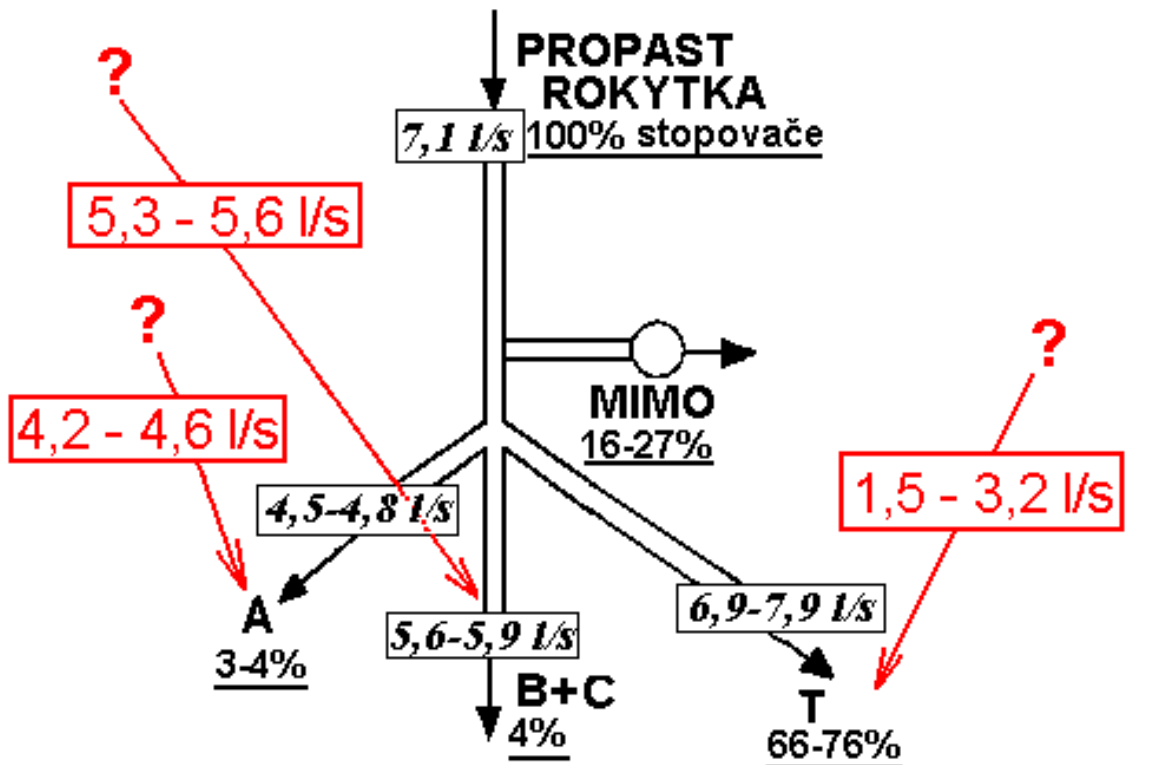
- střední rychlost 3 cm/s
- objem kras. kanálů, kterými protéká voda, je 120 m³
- Pecletovo číslo* se pohybuje od 8 do 48, dominuje tedy advekce
- návratnost stopovače 73 %, to předpovídá existenci dalšího vývěru (voda tekla ještě někam jinam kromě sledovaných míst)



* určuje zastoupení mezi transportními procesy:

< 0,4 převládá disperze
0,4–0,6 oba procesy
> 0,6 převládá advekce

Příklad stopovací zkoušky



Stopovací zkouška ukázala:

- kam voda proudí
- kolik vody přitéká z jiných míst (7,1 l/s vs. 11 l/s)
- kolik vody proudí do neznámých vývěrů (27 %)
- předpovídá existenci nového pramene, který byl později skutečně nalezen
- ukazuje se jasný rozdíl mezi prameny A, B, T v původu vody
- měření konduktivity a chemismu nenalezlo rozdíl mezi jednotlivými prameny

4,5-4,8 l/s vydatnost sledovaného místa v l/s

3-4% % objevené stopovací látky

1,5 - 3,2 l/s množství vody, které nepochází z propasti Rokytka v l/s celkové vydatnosti sledovaného místa

Stopovací zkoušky ve vrtech

Mnohórovňové vzorkování

- umožňuje detailnější charakterizaci proudění ve vertikálním směru
- velmi nákladné, vrt se musí rozdělit na několik oddělených segmentů a ty vzorkovat zvlášť
vs.

Odběr vzorků z celé mocnosti perforovaného úseku vrtu

- platí pro většinu stopovacích zkoušek ve vrtech
- odběr z celé mocnosti vrtu

Stopovací zkoušky ve vrtech

Stopovací zkouška s přírodním hydraulickým gradientem

- nejlépe odpovídá skutečnému proudění, ale při nízkém gradientu hrozí špatný odhad směru spádu hladiny (odebíráme vzorky z vrtů, do kterých stopovač vůbec neproudí)
- směr spádu hladiny se navíc může měnit v čase
- nízký hydraulický gradient znamená pomalé proudění, a tedy značnou dobu trvání stopovací zkoušky či omezené vzdálenosti

vs.

Stopovací zkouška s uměle zvýšeným hydraulickým gradientem

- je uměle navýšen gradient, čímž odpadají nevýhody přírodního gradientu
- vede k jasně definovanému směru spádu hladiny, kdy je v čase konstantní směr proudění vody
- 3 možné režimy:
 - **Divergentní proudění:** voda společně se stopovačem injektována do jednoho objektu a stopovač sledován v okolních objektech bez čerpání
 - **Konvergentní proudění:** voda čerpaná z jednoho vrtu a stopovač injektován do okolních vrtů, stopovač sledován všude
 - **Dipólové proudění:** čerpaná podzemní voda jedním vrtem je následně jiným vrtem společně se stopovačem injektována zpět do prostředí (nákladné)

Typické vzdálenosti mezi místem injektáže a místem vzorkování jsou 3–10 m, výjimečně až 30 m.

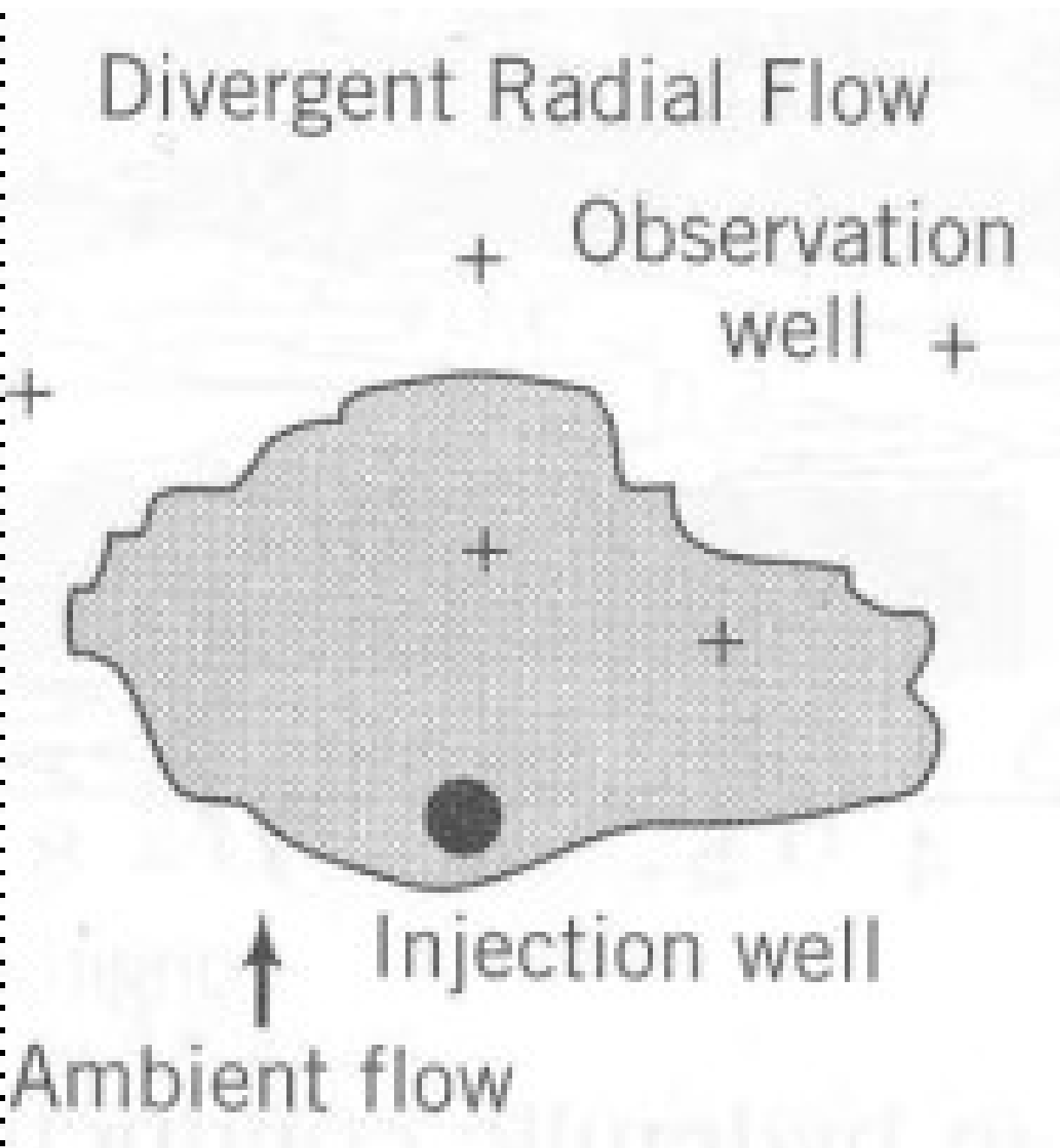
Stopovací zkouška s pi:

- nejlépe odpovídá skutečnému směru proudění
 - směr spádu hladiny s
 - nízký hydraulický gradient
- vs.

Stopovací zkouška s u:

- je uměle navýšen gradient
- vede k jasně definovanému směru proudění
- 3 možné režimy:
 - **Divergentní proudění**: proudění se stopovačem sledová
 - **Konvergentní proudění**: proudění se stopovačem sledová
 - **Dipólové proudění**: proudění se stopovačem inj

Typické vzdálenosti mezi:



• typický odhad směru spádu

• u trvání stopovací

• směr proudění vody

• jednoho objektu a

• stován do okolních vrtů,

• jiným vrtem společně

• výjimečně až 30 m.

Stopovací zkoušky ve vrtech

Stopovací zkouška s přírodním hydraulickým gradientem

- nejlépe odpovídá skutečnému proudění, ale při nízkém gradientu hrozí špatný odhad směru spádu hladiny (odebíráme vzorky z vrtů, do kterých stopovač vůbec neproudí)
- směr spádu hladiny se navíc může měnit v čase
- nízký hydraulický gradient znamená pomalé proudění, a tedy značnou dobu trvání stopovací zkoušky či omezené vzdálenosti

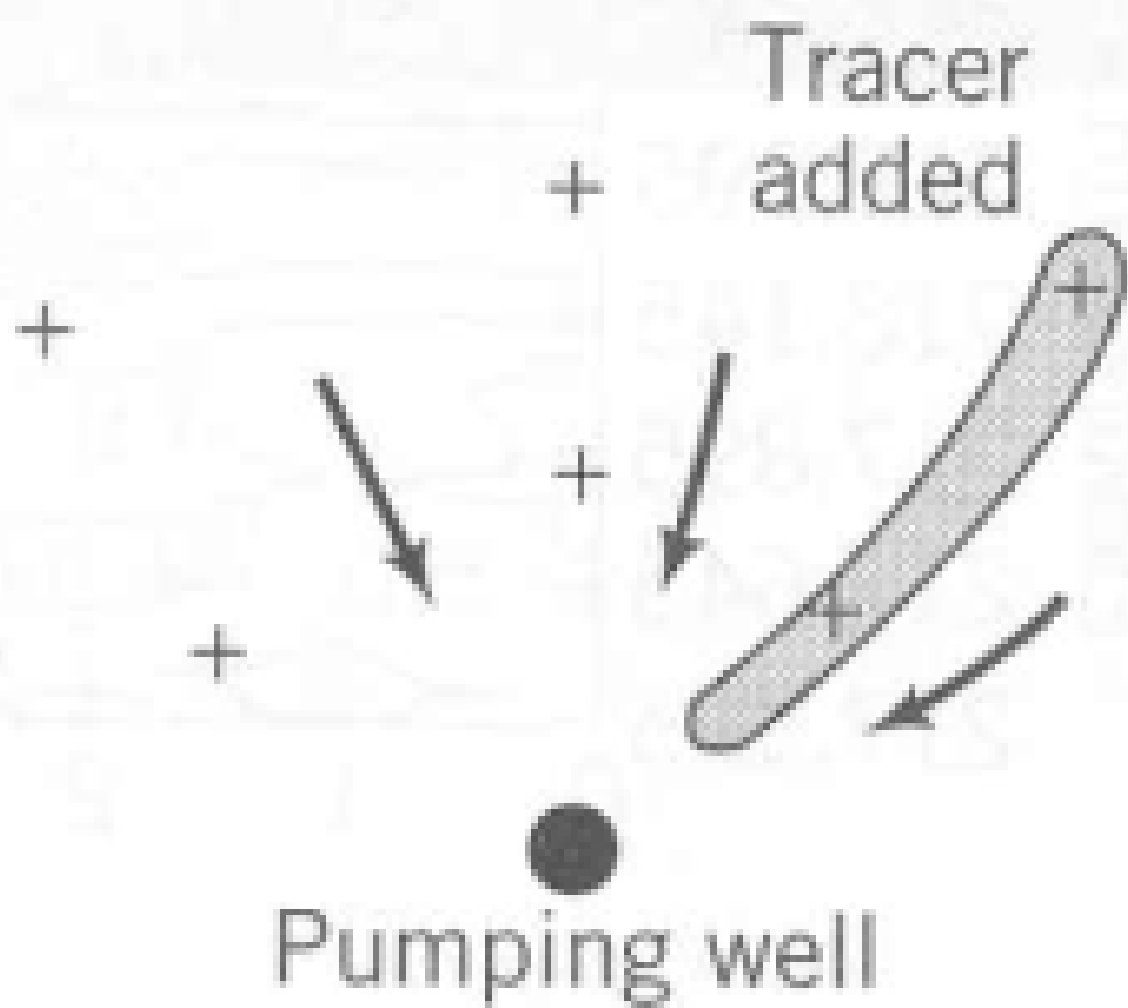
vs.

Stopovací zkouška s uměle zvýšeným hydraulickým gradientem

- je uměle navýšen gradient, čímž odpadají nevýhody přírodního gradientu
- vede k jasně definovanému směru spádu hladiny, kdy je v čase konstantní směr proudění vody
- 3 možné režimy:
 - **Divergentní proudění:** voda společně se stopovačem injektována do jednoho objektu a stopovač sledován v okolních objektech bez čerpání
 - **Konvergentní proudění:** voda čerpaná z jednoho vrtu a stopovač injektován do okolních vrtů, stopovač sledován všude
 - **Dipólové proudění:** čerpaná podzemní voda jedním vrtem je následně jiným vrtem společně se stopovačem injektována zpět do prostředí (nákladné)

Typické vzdálenosti mezi místem injektáže a místem vzorkování jsou 3–10 m, výjimečně až 30 m.

Convergent Radial Flow



Stopovací zkouška s 1

- nejlépe odpovídá skutečnému směru spádu hladiny (odebíráme vrtu)
 - směr spádu hladiny
 - nízký hydraulický gradient
 - zkoušky či omezené možnosti
- vs.

Stopovací zkouška s 1

- je uměle navýšen gradient
- vede k jasně definovanému směru proudění vody
- 3 možné režimy:
 - **Divergentní proudění** - stopovač sledováno
 - **Konvergentní proudění** - stopovač sledováno
 - **Dipólové proudění** - se stopovačem i s

Typické vzdálenosti me

řadný odhad směru spádu

du trvání stopovací

směr proudění vody

ednoho objektu a

řetován do okolních vrtů,

jiným vrtem společně

výjimečně až 30 m.

Stopovací zkoušky ve vrtech

Stopovací zkouška s přírodním hydraulickým gradientem

- nejlépe odpovídá skutečnému proudění, ale při nízkém gradientu hrozí špatný odhad směru spádu hladiny (odebíráme vzorky z vrtů, do kterých stopovač vůbec neproudí)
- směr spádu hladiny se navíc může měnit v čase
- nízký hydraulický gradient znamená pomalé proudění, a tedy značnou dobu trvání stopovací zkoušky či omezené vzdálenosti

vs.

Stopovací zkouška s uměle zvýšeným hydraulickým gradientem

- je uměle navýšen gradient, čímž odpadají nevýhody přírodního gradientu
- vede k jasně definovanému směru spádu hladiny, kdy je v čase konstantní směr proudění vody
- 3 možné režimy:
 - **Divergentní proudění:** voda společně se stopovačem injektovaná do jednoho objektu a stopovač sledován v okolních objektech bez čerpání
 - **Konvergentní proudění:** voda čerpaná z jednoho vrtu a stopovač injektován do okolních vrtů, stopovač sledován všude
 - **Dipólové proudění:** čerpaná podzemní voda jedním vrtem je následně jiným vrtem společně se stopovačem injektována zpět do prostředí (nákladné)

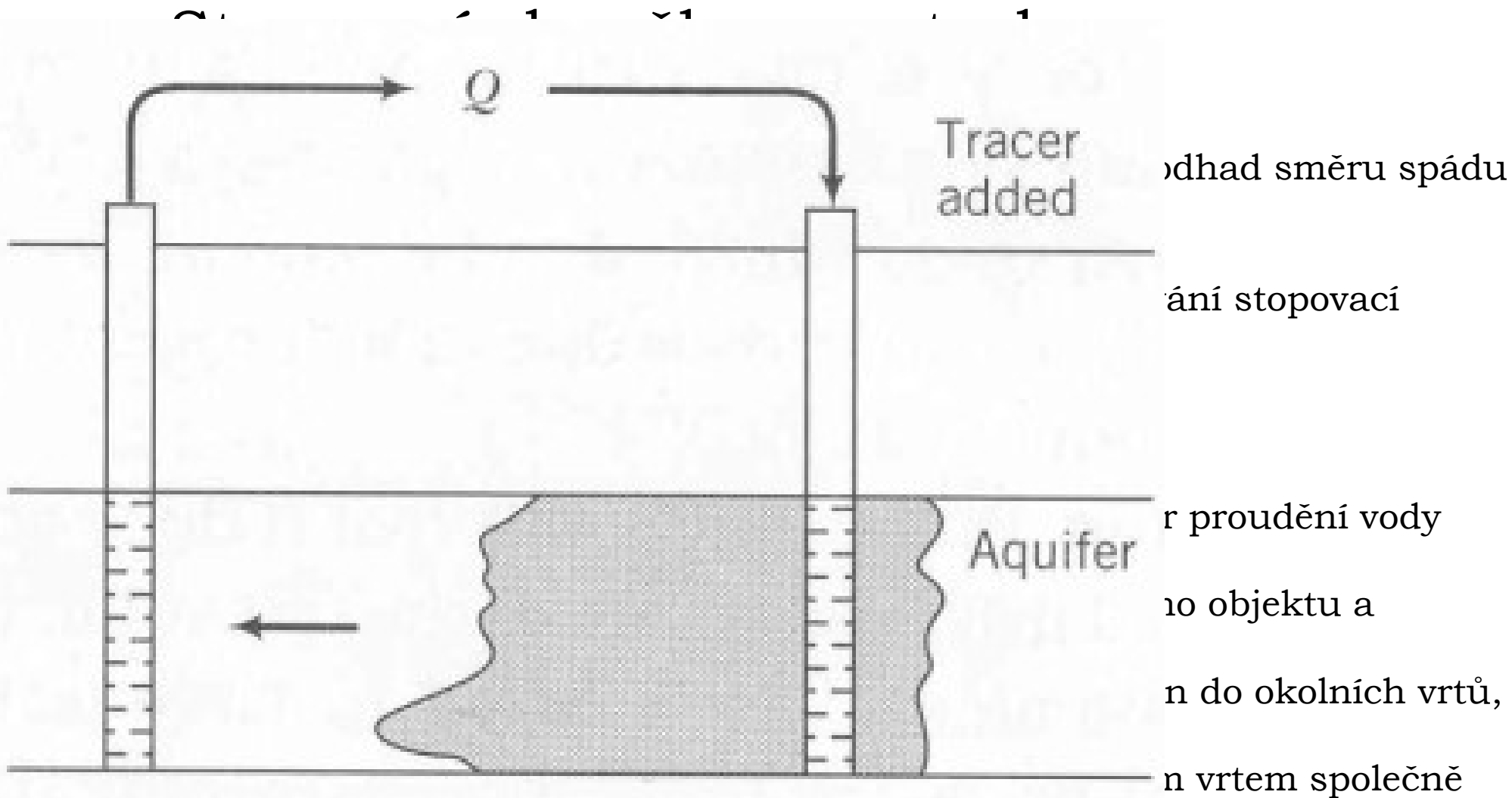
Typické vzdálenosti mezi místem injektáže a místem vzorkování jsou 3–10 m, výjimečně až 30 m.

Stopovací zkouška

- nejlépe odpojit vrt od hladiny (odebrání vzorků)
 - směr spádu lze odhadnout
 - nízký hydraulický odpor zkoušky či omezení
- vs.

Stopovací zkouška

- je uměle navržena
- vede k jasnému výsledku
- 3 možné režimy:
 - **Divergenční** stopovací
 - **Konvergenční** stopovací
 - **Dipólové** stopovací



(b) Two-Well Tracer Test

Typické vzdálenosti mezi vrtami jsou obvykle menší než 30 m.

Jaké lze použít stopovače?

- **ve vodě rozpustné**
- ve vodě nerozpustné
- **fluoreskující**
- nefluoreskující

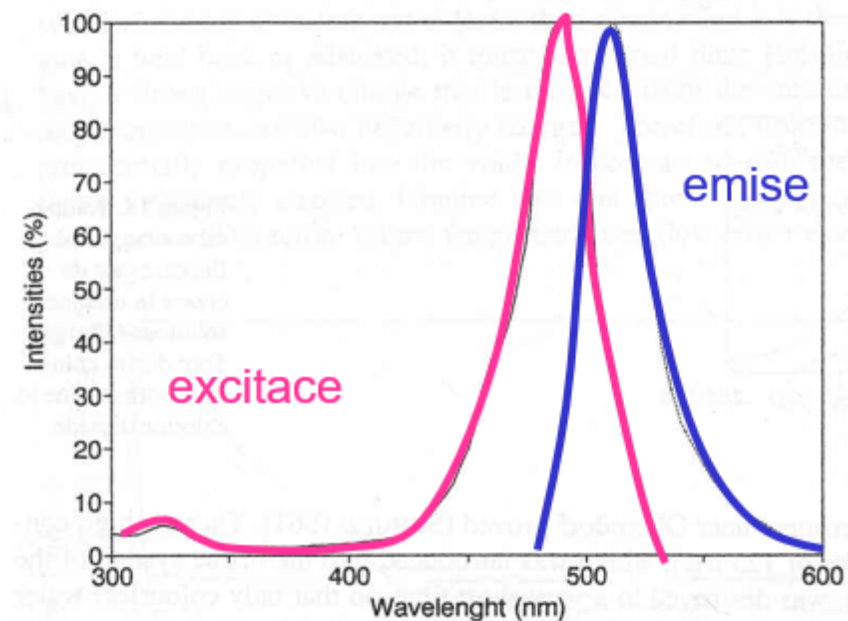
(pro zopakování):

Fluorescence = spontánní záření, na rozdíl od luminiscence zanikne ihned po odstranění zdroje excitace.

Fluorimetrie = využívá jevu luminiscence / fluorescence.

Fluorescentní látka je excitována monochromatickým světlem, některý z valenčních elektronů se vybudí do vyšší energetické hladiny. Říkáme, že to světlo absorbuje.

Při návratu zpět promaří část energie ve formě fotonu, tedy emitovaného záření. To má nižší energii, tedy větší vlnovou délku.



Fluoreskující stopovače

Z fluoreskujících látek používáme v hydrogeologii organické látky:

- xantheny, rhodaminy, stilbeny: uranin, eosin, sulphorodamin, pyranin, sodium naphtionate, optické zjasňovače
- každá látka má své přesné označení (např. CI (color index) a CAS (chemical abstract service))

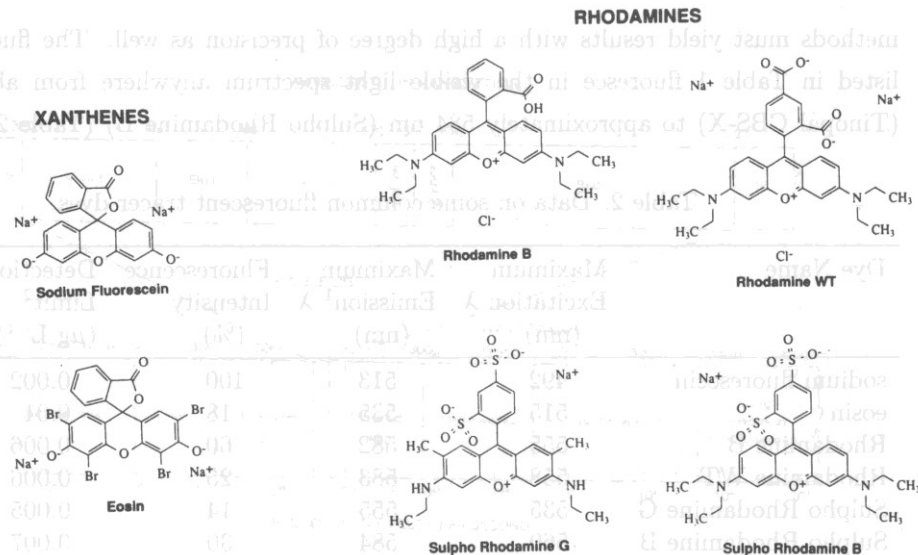


Table 1. Some commonly used fluorescent dye types, their dye names, and their respective Colour Index and CAS numbers.

Dye Type and Common Name	Colour Index Generic Name	CAS No.
<i>Xanthenes</i>		
sodium fluorescein	Acid Yellow 73	518-47-8
eosin	Acid Red 87	17372-87-1
<i>Rhodamines</i>		
Rhodamine B	Basic Violet 10	81-88-9
Rhodamine WT	Acid Red 388	37299-86-8
Sulpho Rhodamine G	Acid Red 50	5873-16-5
Sulpho Rhodamine B	Acid Red 52	3520-42-1
<i>Stilbenes</i>		
Tinopal CBS-X	Fluorescent Brightener 351	54351-85-8
Tinopal 5BM GX	Fluorescent Brightener 22	12224-01-0
Phorwite BBH Pure	Fluorescent Brightener 28	4404-43-7
Diphenyl Brilliant Flavine 7GFF	Direct Yellow 96	61725-08-4
<i>Functionalized Polycyclic Aromatic Hydrocarbons</i>		
Lissamine Flavine FF	Acid Yellow 7	2391-30-2
pyranine	Solvent Green 7	6358-69-6
amino G acid	—	86-65-7

Fluoreskující stopovače

FLUORESCEIN $C_{20}H_{12}O_5$

- ve vodě téměř nerozpustný
- v angl. literatuře občas zaměňován s uraninem, nicméně bez Na jiná látka!

URANIN (sodium fluorescein; sodná sůl fluoresceinu) $C_{20}H_{10}Na_2O_5$

- derivát fluoresceinu (přidání NaOH), netoxický, nekarcinogenní vč. rozpadových produktů
- velmi rozpustný ve vodě (>600 g/l)
- objeven/získán 1871, využíván v medicíně, kosmetice, forenzních vědách
- nejpoužívanější stopovač (spolu s NaCl)
- kosmetika, občas přítomen jako pozadí
- prodává se ve formě červeného prášku 1600 Kč/kg



Fluoreskující stopovače

URANIN

- látka s největší fluorescencí vůbec
- malá tendence k sorpci, používá se i v průlinovém prostředí
- problém $\text{pH} < 6$ (sorbuje se kationt, nízká fluorescence)
- kvalitativní stanovení: pouhým okem (koncentrace až 10^{-10} g/ml)
- kvantitativní stanovení: spektrofotometry
limit detekce 2×10^{-12} g/ml

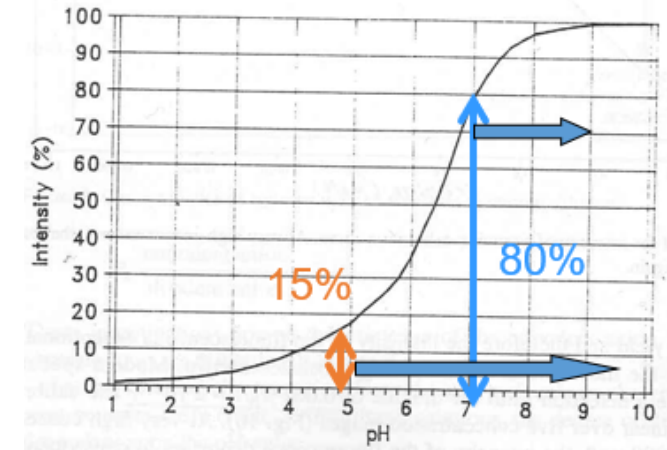
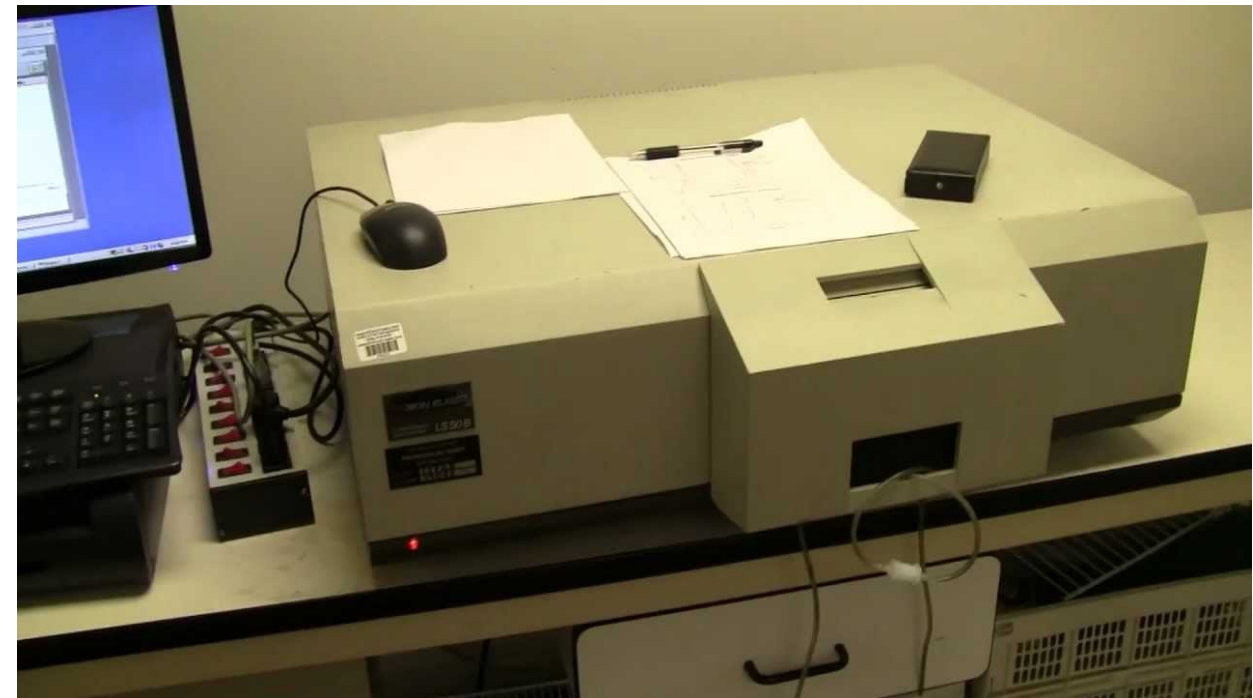
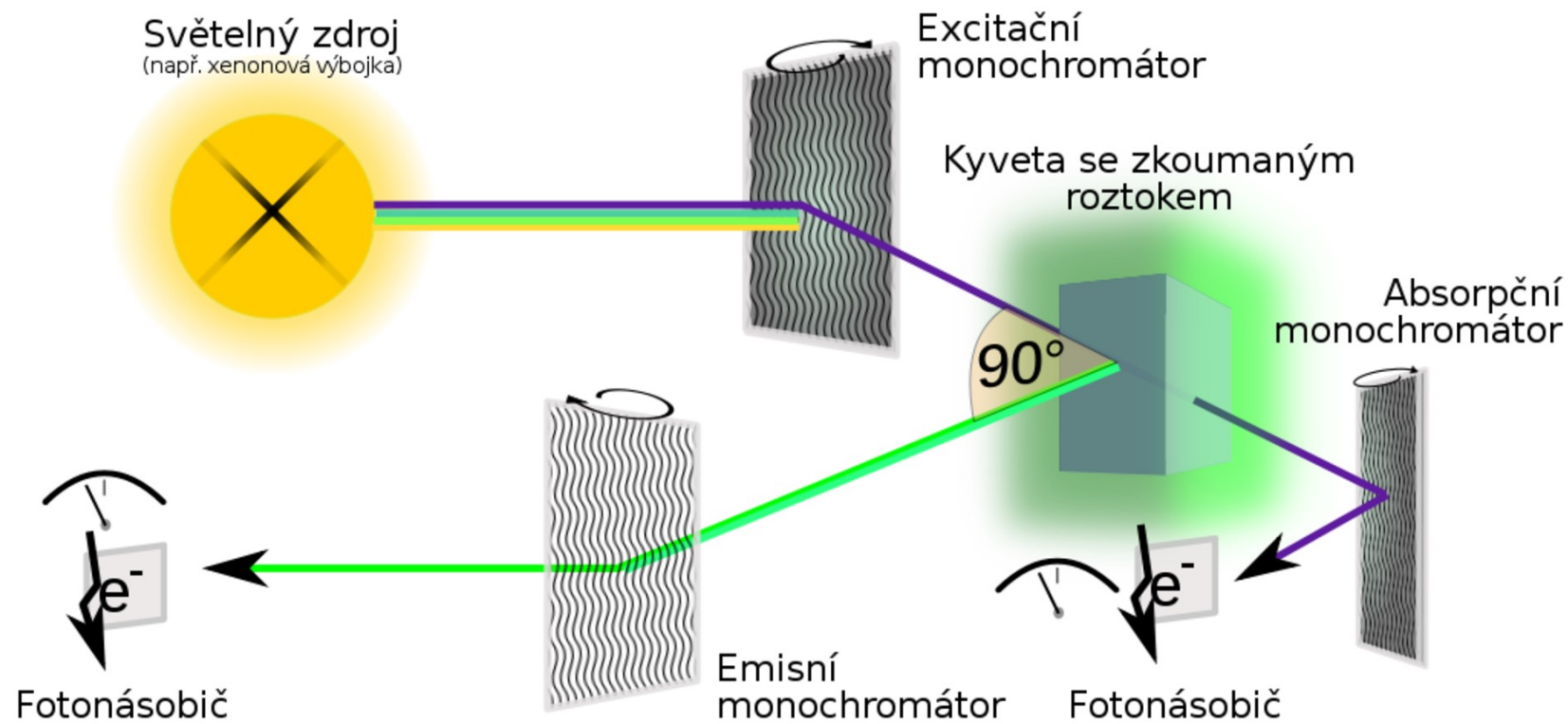
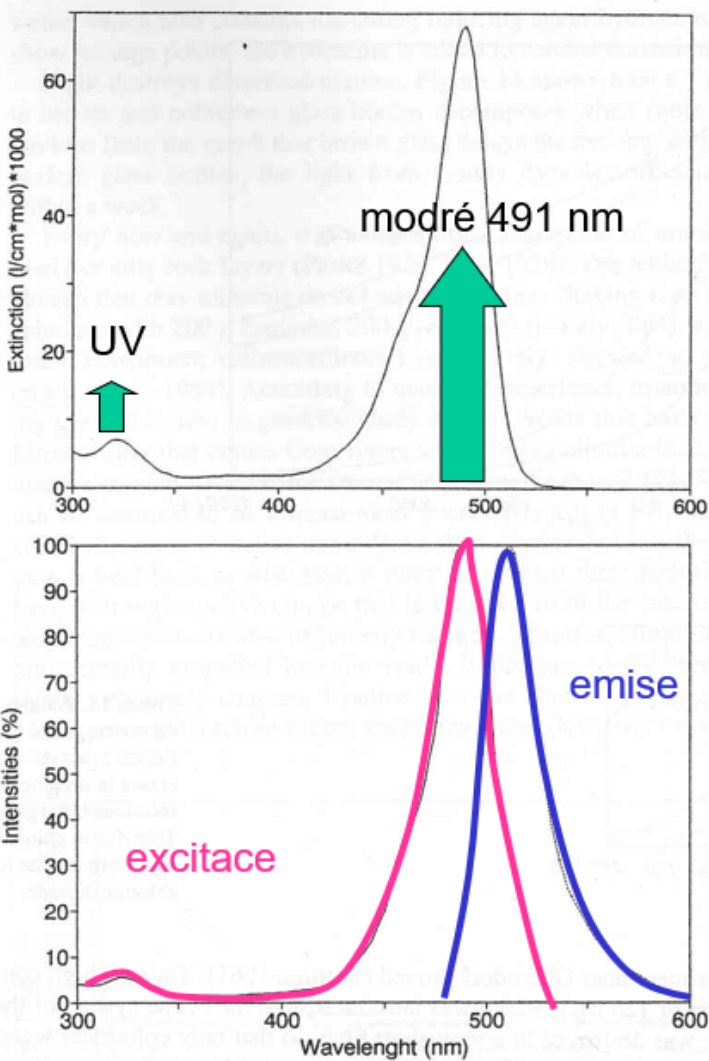


Figure 11. Dependence of the intensity of uranine's fluorescence upon the pH-value.



Fluoreskující stopovače

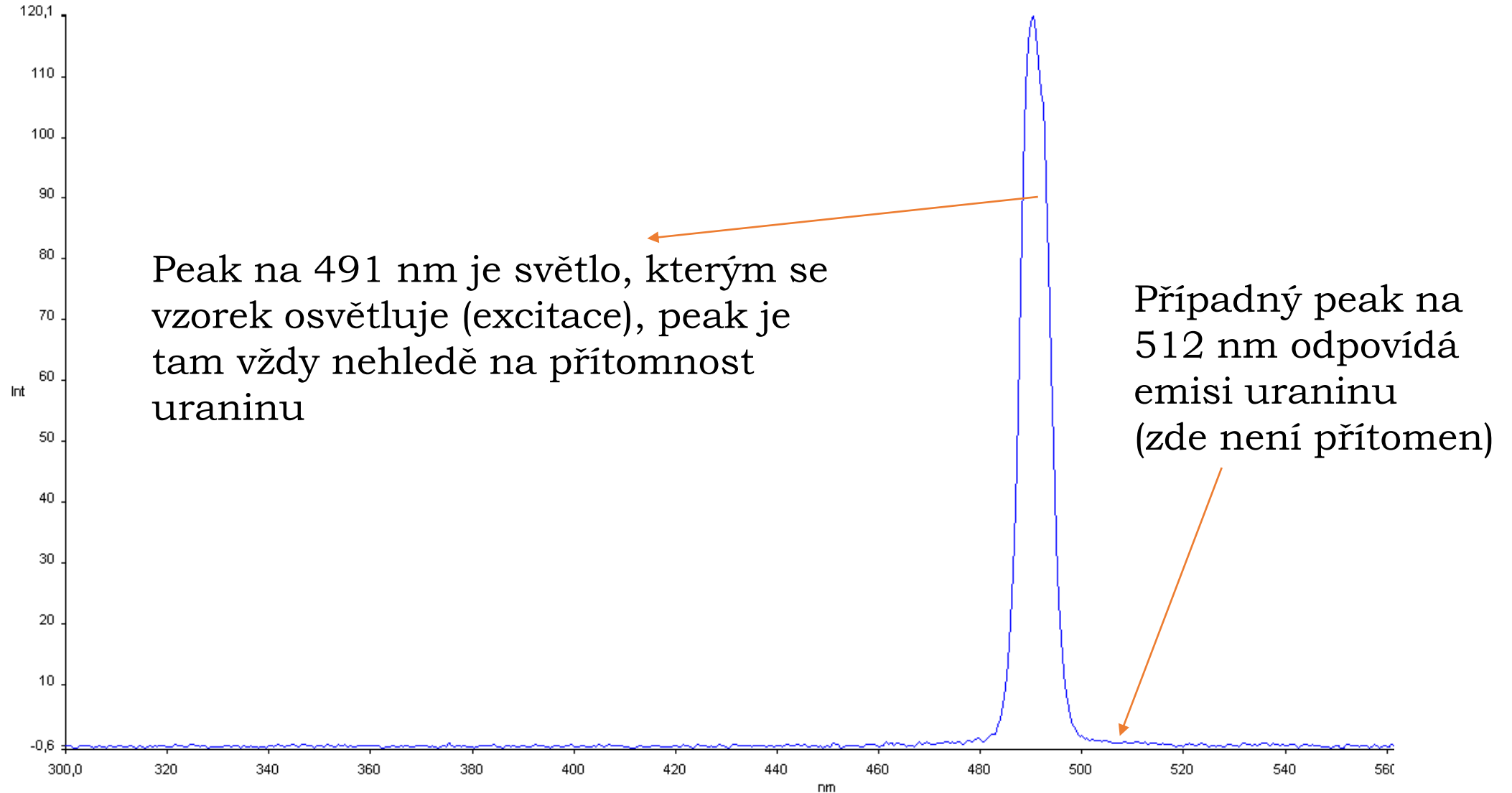
- kvantitativní stanovení: spektrofluorimetry
limit detekce 2×10^{-12} g/ml



- max excitace na 491 nm,
- tomu odpovídá emise 512 nm

Fluoreskující stopovače

Výstup ze spektrofluorimetru:



Fluoreskující stopovače

Výstup ze spektrofluorimetru:

peak emise uraninu
okolo 512 nm
(uranin přítomen)

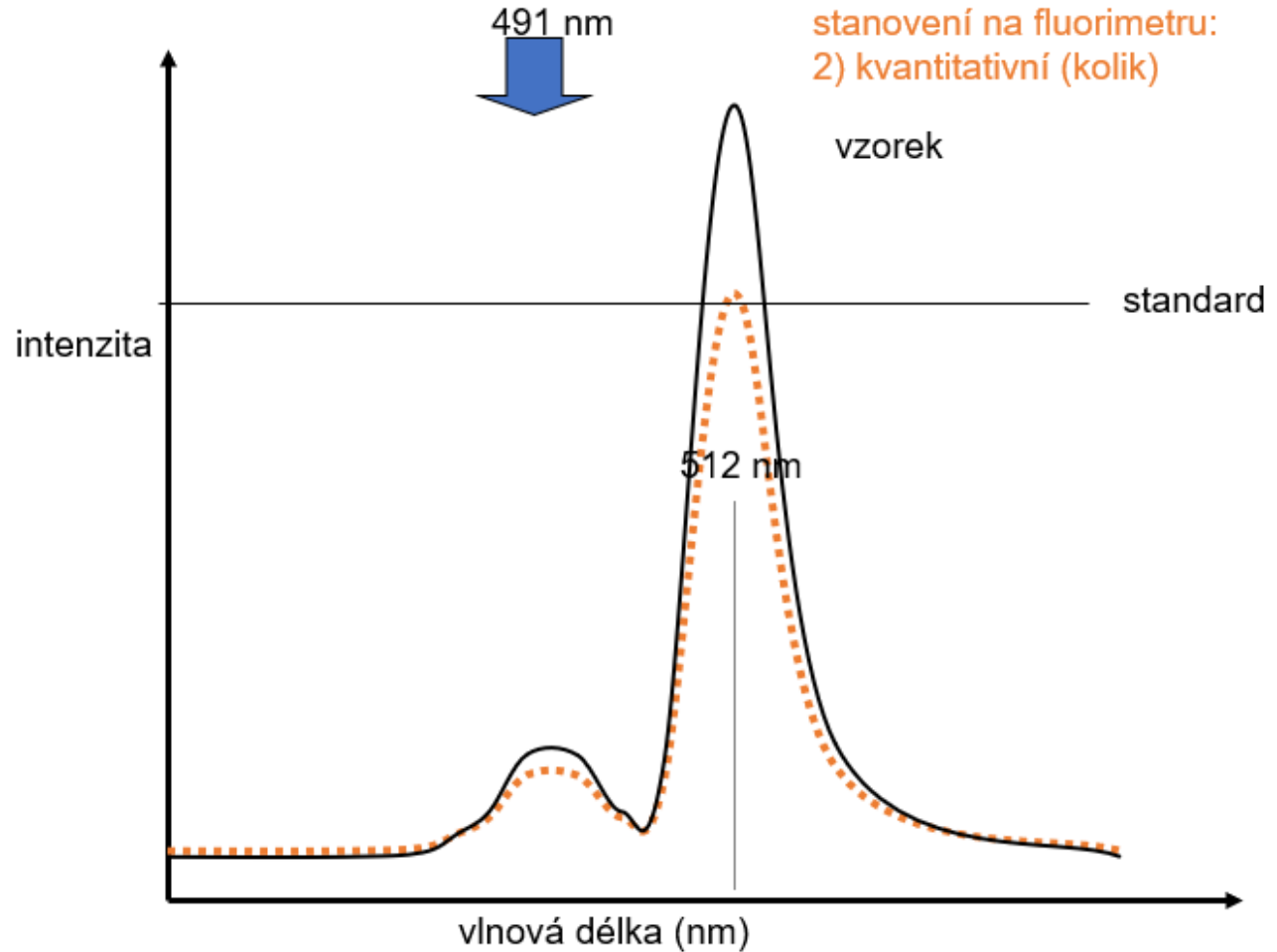


Fluoreskující stopovače

Výstup ze spektrofluorimetru:

JE PŘÍTOMEN

DOKONCE LZE STANOVIT,
KOLIK HO JE SROVNÁNÍM SE
STANDARDEM

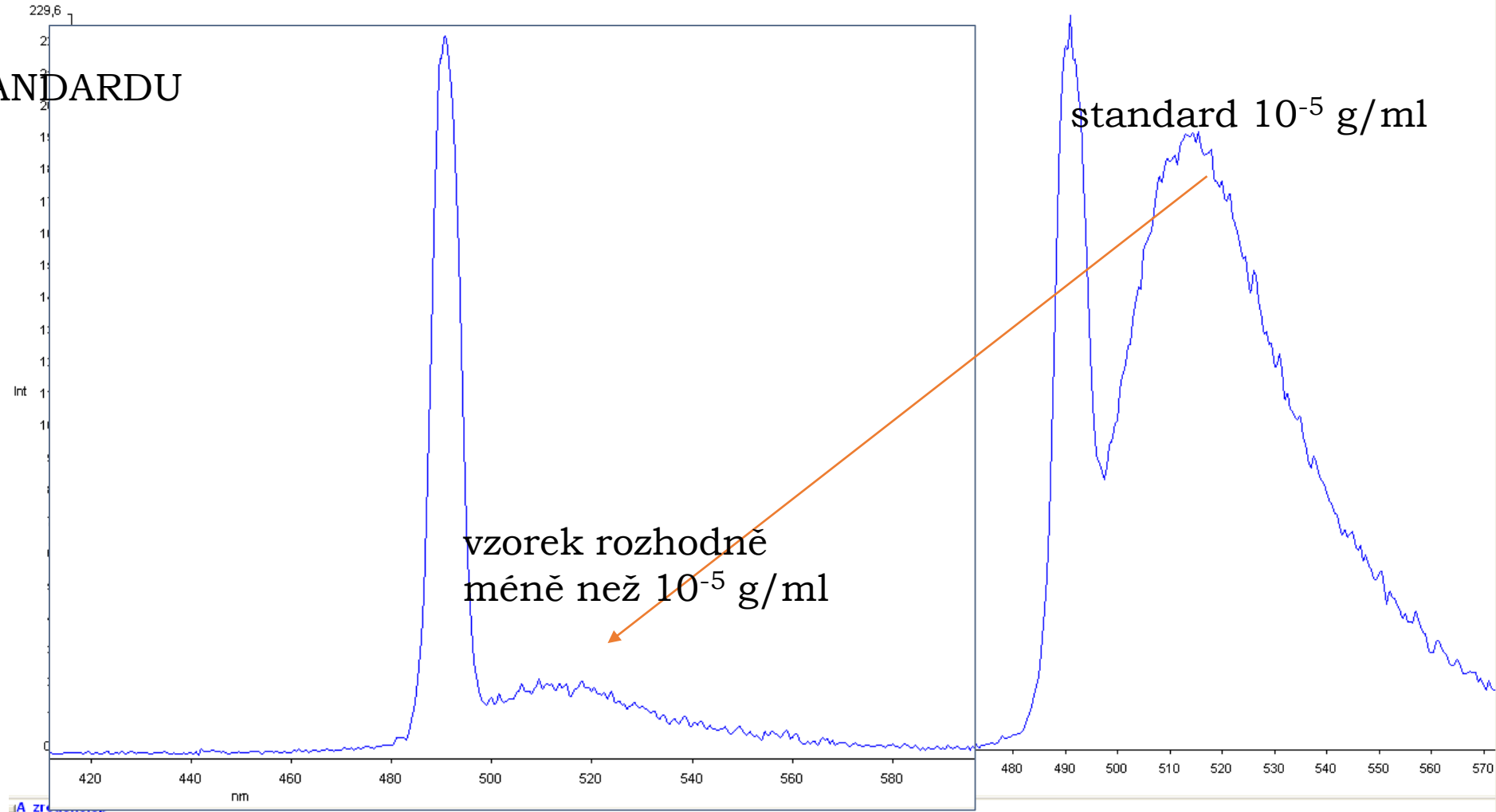


Fluoreskující stopovače

Výstup ze spektrofluorimetru:

JE PŘÍTOMEN

ROZDÍL VZORKU A STANDARDU



...pozor na použité množství



Švýcarská řeka v barvě toxického odpadu. ‚Blíží se kolaps ekosystému,‘ varovali tím protestující



Členové hnutí Extinction Rebellion obarvili v Curychu řeknu Limmat na zeleno. | Foto: Stadtpolizei Zuerich | Zdroj: Reuters

Bojovníci za ochranu klimatu obarvili švýcarskou řeku Limmat na zeleno. Chtěli tak upozornit na „blížící se kolaps ekosystému“.



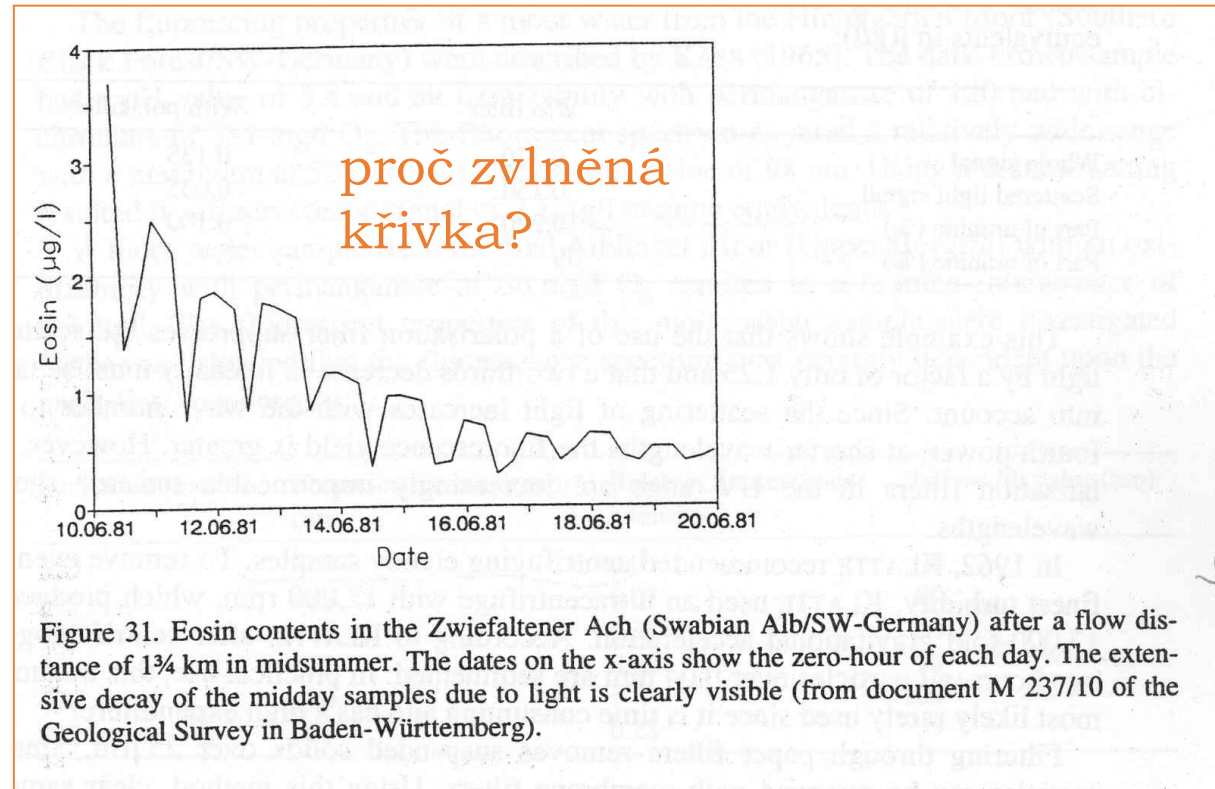
♡ 62 23:42 - 10. 9. 2019



Fluoreskující stopovače

EOSIN

- barvení soli na silnice, barvení rtů, červená razítka (možná kontaminace)
- méně závislý na pH, použití i při $\text{pH} < 6$
- lze odlišit od fluoresceinu (měření za různých pH)
- extrémně citlivý na světlo
- potřeba větší množství, drahý



Fluoreskující stopovače

SULPHORODAMIN B



SODIUM NAPHTIONATE



Jaké lze použít stopovače?

- **ve vodě rozpustné**
- ve vodě nerozpustné
- fluoreskující
- **nefluoreskující**

Nejčastěji různé sole.



Sole

- obvykle dobře stanovitelná koncentrace

NaCl

- obyčejná kuchyňská sůl
- jedna z nejpoužívanějších látek
- měření pomocí konduktometru (měří konduktivitu vody) anebo z odebraných vzorků
- za ideálních podmínek teoreticky nereaktivní, nesorbuje se, pohybuje se prostředím úplně stejně jako voda
- nevýhodou je vysoká požadovaná koncentrace, proto je nutné používat vyšší množství stopovače



Cond 340i in Feldarmierung
FM 325 (optional)

Cond 330i in Schutzarmierung
SM 325 (optional)

Sole

Litium (**LiCl**)

- málo se sorbuje a lze použít i v průlinovém prostředí
- velmi vysoká rozpustnost (800 g/l)
- není toxické
- velmi nízké pozadí

Bromidy

- velmi nízké pozadí
- nesmí se používat tam, kde hrozí průnik do vodáren (oxidace na toxické látky)

Iodidy

- také velmi nízké pozadí
- vyšší pořizovací cena
- nejsou stabilní a rozpadají se

Jaké lze dál použít stopovače?

Další typy stopovačů:

- spory *Lycopodium clavatum* (často falešná detekce z kontaminace)
- fluorescentní mikrosféry (malinké kuličky polystyrénu) pro určení transportu bakterií
- bakterie, protože mají odlišné chování od rozpuštěných stopovačů (neprojdou tenkými póry, nejsou ovlivněny difuzí) – pro určení doby zdržení v ochranných pásmech vodních zdrojů (50 dní)
- bakteriofágy (viry, využívají pro rozmnožení bakterie) – velmi nízký limit detekce
- radioaktivní stopovače (při transportu nutno počítat s rozpadem; velmi nízká koncentrace)

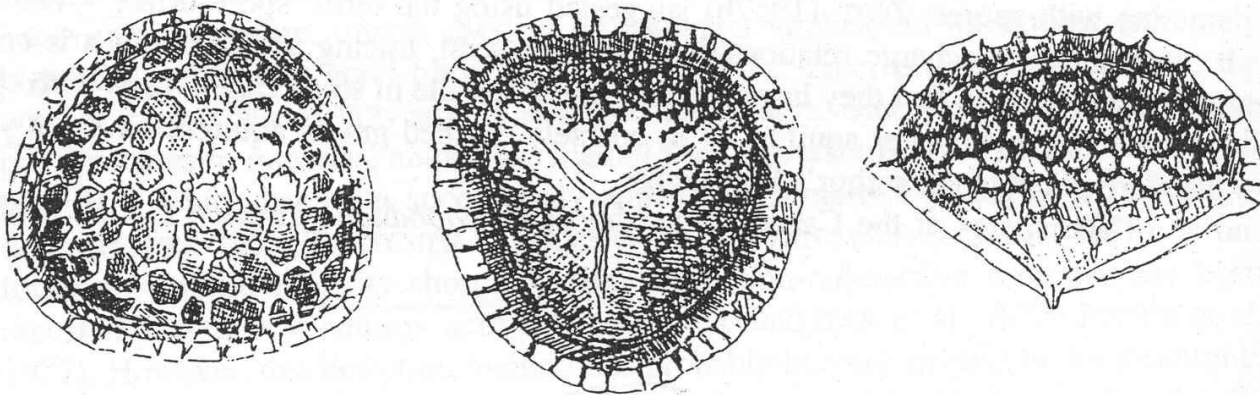
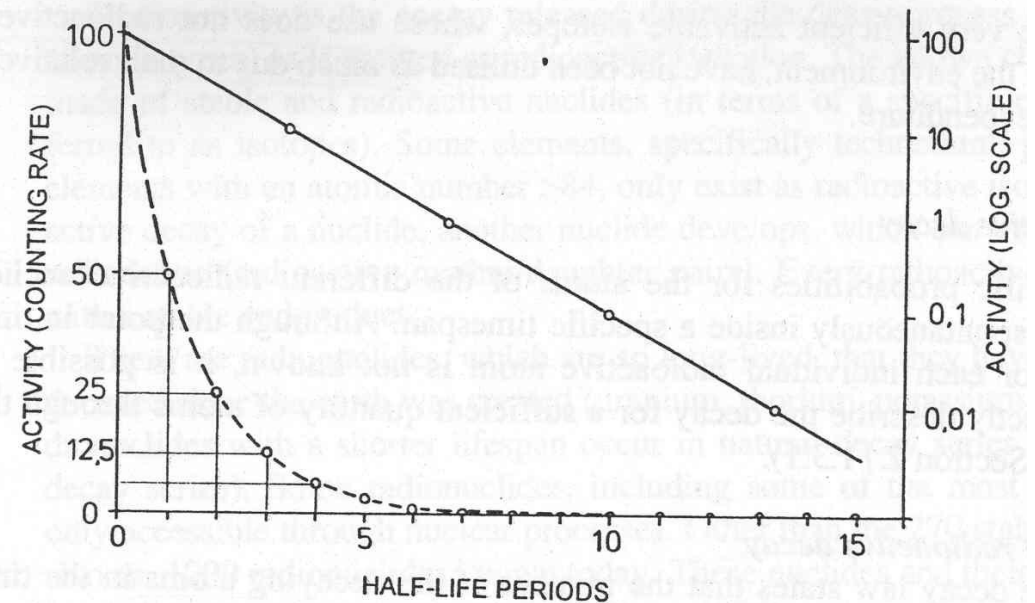


Figure 87. *Lycopodium clavatum* spores from ERDTMANN (1954). Left: distal, middle: proximal, right: lateral view.



Děkuji za pozornost!