Inž. Karel V e s e l ý , inž. Pavel T r ý z n a , VÚHU :

DOSAVADNÍ ZKUŠENOSTI S POUŽITÍM TRITIA PŘI VÝZKUMU PROUDĚNÍ PODZEMNÍCH VOD

Výzkum komunikací podzemních vod má značný význam v těch oblastech lidské činnosti, ve kterých je třeba předem znát hydrologické a hydrogeologické podmínky. Jsou to především hornictví a vodní hospodářství, které nutně vyžadují dobrou znalost vodního režimu, ať již z důvodů bezpečnosti nebo ekonomiky práce, či z důvodů prostě informačních.

Při výzkumu cest podzemních vod lze stopovací metodou řešit několik typických případů [1]. Jsou to zejména :

a) důkaz komunikace podzemních vod mezi dvěma různými místy,
b) stanovení rychlosti a směru proudění podzemních vod v určitém bodě terénu,
c) určení kvantitativního rozdělení vodního zdroje do několika různých větví,
d) proměření hydrogeologického uzlu.

Veškeré tyto uvedené případy lze řešit s použitím nejrůznějších druhů stopovačů. Je možno použít např. sloučenin o charakteru solí nebo barviv, mikrobiologických kultur nebo konečně radioaktivních látek. Ať je už použit jakýkoliv stopovač, je princip stopování ve všech případech stejný. Spočívá v tom, že do zvoleného místa zájmového hydrogeologického úseku je vloženo odměřené množství stopovače a poté se podle předem připraveného časového rozpisu odebírají v tomto místě, a kromě případu uvedeného ad b), i v několika dalších pozorovacích místech v terénu vzorky vod. Tyto vzorky se pak v laboratořích vyhodnocují co do obsahu stopovače. Je možné i takové řešení, že se měření obsahu stopovače ve vodách v různých pozorovacích místech neprovádí odběrem vzorků, ale přímo in situ. Podle výsledků měření se pak usuzuje na hledaný vodní režim.

Před každým stopovacím měřením je pochopitelně třeba se seznámit co nejdokonaleji s geologickými a hydrogeologickými poměry zájmového úseku tak dalece, jak je to za dané konkrétní situace možno.

Velmi důležitou otázkou při sledování cest podzemních vod je výběr vhodného stopovače. Na stopovač klademe několik požadavků. Žádá se od něj zejména :

a) dostatečná rozpustnost ve vodě,

b) minimální adsorpce v prostředí, kterým voda prostupuje,

c) přirozený obsah stopovače v neznačené vodě musí ležet hluboko pod mezí citlivosti vyhodnocovacího přístroje (nebo případně musí být přirozený obsah stopovače a jeho průběh ve všech pozorovaných místech dostatečně přesně znám),

d) zdravotní nezávadnost,

e) cenová dostupnost.

Jednotlivé požadavky spolu navzájem souvisejí. Tak např. přiměřená cena za váhovou jednotku stopovače bude jiná tam, kde může být citlivost detekčního přístroje vysoká, a jiná zase tam, kde je nutno použít k provedení stopovacího měření velkého množství stopovače. Zároveň je možno slevit z nároků na rozpustnost, je-li možno stopovač detekovat s vysokou citlivostí apod.

Z výše uvedených požadavků vyplývá, že nejvýhodnějším stopovačem v převážné většině případů je tritiovaná voda, tj. voda s molekulami, obsahujícími radioaktivní vodík. Tato tritiovaná voda sleduje až na většinou zanedbatelné výjimky dokonale cesty stopovaných podzemních vod. Zmíněné výjimky se týkají případů zvýšené tzv. izotopové výměny atomu vodíku s prostředím, kterým voda protéká. Přicházejí v úvahu hlavně tehdy, protéká-li prostředím bohatým na labilně vázaný vodík. Proti ostatním radioaktivním látkám je výhodou tritiované vody i poměrně vysoká dovolená koncentrace v pitné vodě (viz tabulku 1) [3]. Pokud se týká přirozeného obsahu tritia ve vodě, lze konstatovat, že leží hluboko pod mezí citlivosti špičkových detekčních přístrojů a je možno jej měřit až po úpravě vzorků vod na vhodném obohacovacím zařízení. x

---

x) Přirozeného obsahu tritia ve vodě je však možno rovněž využít ke studiu vodních režimů hydrogeologických systémů. Tritium totiž vzniká v atmosféře podobně jako uhlík 14 neustále pod vlivem kosmického záření, nebo v posledních desetiletích rovněž v důsledku zkoušek jaderných zbraní. Do vodních zdrojů se pak dostává dešťovými srážkami. Pomocí proměřování přirozeného obsahu tritia ve vodách lze zjišťovat, zda je určitý vodní horizont napájen vodou juvenilního charakteru, nebo z povrchu. U recentních vod je možno určovat tímto způsobem jejich přibližné stáří, tj. dobu od opuštění atmosféry [5].

Při určování potřebného množství stopovací látky, v daném případě tritiované vody, vznikají vzhledem k mnoha neznámým a nepostihnutelným faktorům, které se mohou při stopovacích měřeních uplatnit, určité těžkosti. Je nutno vycházet z meze citlivosti měřicího a vyhodnocovacího zařízení. Použité množství stopovače musí být tedy voleno tak, aby za doposud poznaných nebo pravděpodobně předpokládaných okolností byla konečná koncentrace v pozorovaných místech ještě nad mezí citlivosti měřicího zařízení, ale aby přitom v žádném časovém úseku nepřestoupila koncentrace stopovače v okolních zdrojích pitné a užitkové vody hodnotu, povolenou platnými hygienickými předpisy. Stanovení postupu měření není tedy obzvláště v naší hustě obydlené zemi nijak jednoduché. Při odhadu stupně zředění se vychází při výpočtu jednak ze statického, jednak z dynamického objemu podzemních vod v daném horizontu zájmového úseku. Konečné použité množství radioaktivní látky je zpravidla kompromisem mezi množstvím vypočteným jednak ze statického, jednak z dynamického objemu vody, a je korigováno se zřetelem na hygienické předpisy.

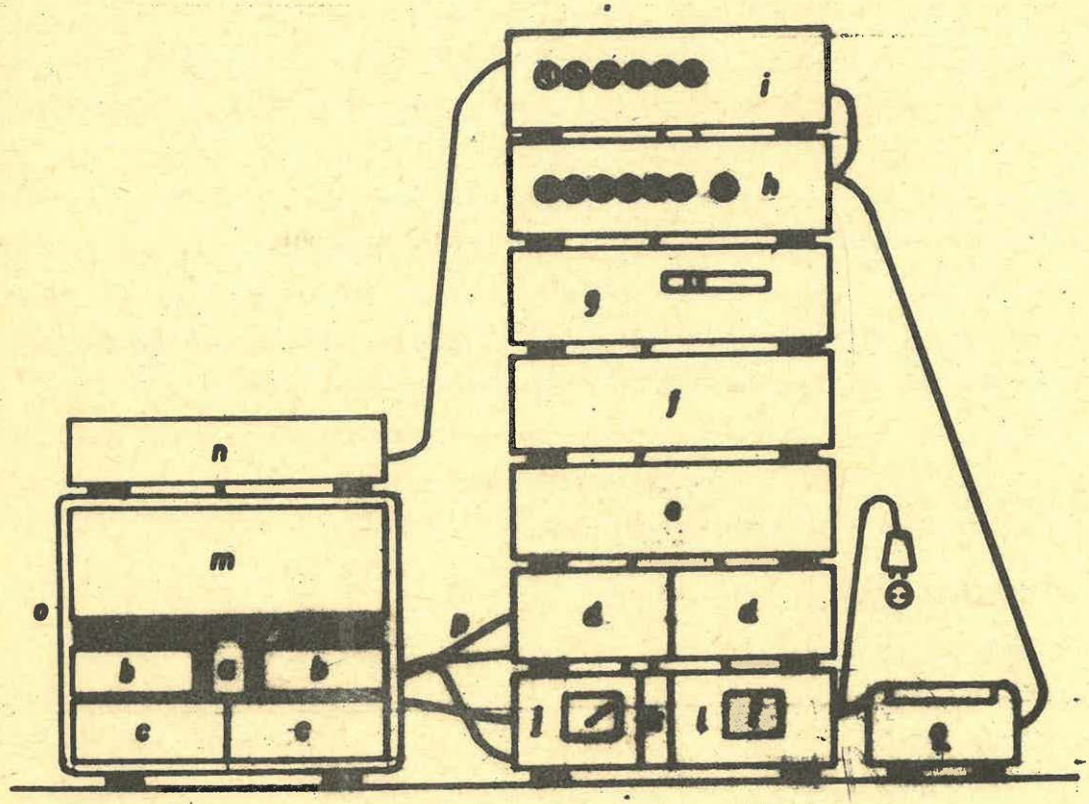
Každá stopovací akce, používající radioaktivních látek, podléhá samozřejmě schválení příslušného krajského hygienika, který má rovněž právo předepsat způsob kontroly dodržení hygienických předpisů.

Detekce tritia ve vzorcích vod

Měření radioaktivity tritia je samo o sobě poměrně náročným technickým úkolem. Tritium totiž vyzařuje beta-záření tak slabé energie (asi 18 keV), že není možno je úspěšně měřit s užitím běžných Geiger-Millerových trubic nebo pevných scintilátorů. Nelze tedy aktivitu tritia ve vodách měřit in situ. V našem případě, tj. při zjišťování obsahu tritia ve vzorcích vod, lze postupovat vcelku dvěma odlišnými způsoby. Buď lze převést vzorky vod do plynné formy a získaný plyn pak proměřovat pomocí Geiger-Millerovy trubice nebo proporcionálního počítače s vnitřním plněním, anebo je možno využít k měření metody kapalných scintilátorů. První z uvedených metod, respektive přípravou jejího použití, se v ČSSR zabývá Hornický ústav ČSAV v Praze [7]. Naproti tomu laboratoř technické a jaderné fyziky VÚHU v Mostě pracuje výhradně druhou metodou.

Postup měření je následující : Měřený vzorek vody je smíchán s kapalným scintilátorem a vlit do měřicí lahvičky, vyrobené ze speciálního skla s malým obsahem draslíku nebo případně z křemene. Takto připravené vzorkové roztoky se proměřují na spektrometrické aparatuře pro měření s kapalnými scintilátory (liquid scintillation spectrometer). Metoda detekce záření beta pomocí kapalných scintilátorů

se zakládá na skutečnosti, že ve scintilačním roztoku vznikají pod účinkem záření světelné záblesky, které mohou být registrovány. Poněvadž zdroj záření a scintilátor jsou obsaženy v témž roztoku, nevadí velmi malá pronikavost měkkého beta záření. Obecné schéma zařízení pro měření beta-záření touto metodou je uvedeno na obr. č. 1 [8].



Obr. č. 1

Schéma automatické aparatury pro měření nízkoenergetických beta-zářičů metodou kapalných scintilátorů

a - měřicí lahvička s roztokem vzorku v kapalném scintilátoru, b - fotonásobiče,
c - předzesilovače, d - zesilovače,
e - koincidenční jednotka, f - zesilovač,
g - jednokanálový amplitudový analyzátor, h - elektronické stopky,
i - čítač, j - zdroj vysokého napětí,
k - zdroj pomocných napětí, l - stabilizátor síťového napětí,
m - automatický měnič vzorků, n - řídicí jednotka,
o - chladicí box, p - stíněné propojovací kabely,
q - numerický zapisovač výsledků, r - světlotěsná měřicí komora.

Lahvička se scintilačním roztokem vzorku je při měření umístěna ve světlotěsné komoře mezi okénky zpravidla dvou nízkošumových fotonásobičů o vysoké citlivosti. Elektrické impulsy z fotonásobičů odpovídající příslušným světelným zábleskům jsou zpracovávány elektronickou aparaturou. V prvé řadě přicházejí po zesílení na koincidenční jednotku, vylučující z dalšího zpracování všechny impulsy, které nepřicházejí z obou fotonásobičů současně. Účelem tohoto výběru je omezit vliv šumu fotonásobičů na výsledek měření. Vyhodnocovacím přístrojem je pak obvykle čítač s předřazeným amplitudovým analyzátorem. Amplitudový analyzátor se nastavuje tak, aby bylo dosaženo co nejvyššího poměru kvadrátu četnosti impulsů, odpovídajících aktivitě tritia, k četnosti pozadí, tj. ostatních impulsů, vyvolaných kosmickým zářením, přirozenou radioaktivitou vzorku i konstrukčních materiálů apod.

V případě vyhodnocování vzorků podzemních vod při stopovacích měřeních není jedinou technickou obtíží detekce jen nízká energie beta-záření tritia, ale rovněž potřeba detekce velmi nízkých specifických obsahů tritia ve vzorcích. Detekční aparatura musí tedy mít značnou citlivost. Toho se dociluje mimo jiné snižováním pozadí aparatury, a to několika možnými cestami, např. stíněním měřicí komory před účinkem kosmického záření, vytvářením tzv. antikoincidenčního věnce kolem měřicí komory apod.

V laboratoři technické a jaderné fyziky VÚHU se obvykle postupuje v případě vyhodnocování vzorků podzemních vod takto :

V daném místě terénu je odebrán vzorek o objemu několika desítek kubických centimetrů. Z tohoto vzorku se v laboratoři pořizují obvykle jeden až dva vzorkové scintilační roztoky, a to tak, že k 19 ml kapalného scintilátoru typu SLS 31 v měřicí lahvičce se přidává 1 ml vzorkové vody (obr. č. 2). Takto připravené a opatrně protřepané vzorkové roztoky se v celých sériích proměřují na automatickém beta-spektrometru pro kapalné scintilátory ACEC Tritiomatic 3 100, který byl pro tyto účely ve VÚHU zvláště upraven (obr. 3). Tento přístroj je dodatečně opatřen chlazením fotonásobičů pomocí tlakově stabilizovaného proudu vodovodní vody na cca 9°C a 50 mm silným olověným stíněním měřicí věže. Připravuje se umístění měřicí věže do 140 mm silného železného stínění a zavedení antikoincidenčního okruhu pro odstranění účinku kosmického záření. Panelová elektronická část přístroje je chlazena proudem vzduchu tak, aby aparatura vydržela bez závad na elektronickém vyhodnocovacím systému nepřetržitý třísměnný provoz vždy po 6 dnů. Účinnost zařízení v této úpravě je pro vzorky vody, míchané se scintilátorem výše popsaným způsobem, asi 8 % při úhrnném pozadí asi 45 imp/min (úhrnné pozadí se rozumí pro lahvičku s 19 ml

scintilátoru SLS-31 bez vody).

Obr. č.2

Manipulace s radioaktivními vzorky

Obr.č.3

Automatická měřicí aparatura pro měření nízkoenergetických beta-zářičů Tritiomatic po úpravě ve VÚHU

Naměřené výsledky, zapsané automatickým tiskačem, jsou sestavovány do tabulek podle místa a času odebrání a sérií měření. Kompletní série výsledků v jednotlivých měřicích místech jsou pak vyhodnoceny pomocí matematicko-statistických metod, aby tak bylo snadněji odhaleno třeba i velmi malé dočasné zvýšení aktivity vody v těchto měřicích místech. Veškeré výpočty se provádějí numericky (na kalkulačním automatu Olivetti Tetractys).

Jednovrtová metoda výzkumu proudění podzemních vod

Jak bylo naznačeno již v úvodu, jednou z možných aplikací je určení efektivní rychlosti ze zjišťování úbytku koncentrace tritia (nebo jiného stopovače), injektovaného do perforované pažnice, zapuštěné do vrtu, protínajícího vodonosný horizont. Za předpokladu, že vrt je umístěn v prostředí, v kterém převládá laminární proudění, že stopovač, který již jednou opustil prostor vrtu, se nevrací zpátky, můžeme pro úbytek koncentrace stopovače psát

$$C = C_o \cdot e^{-\frac{v\,(t-t_o)}{0{,}785\,d}} \qquad (1)$$

kde C_o = počáteční koncentrace stopovače v čase t_o

C = koncentrace stopovače v čase t

v = efektivní filtrační rychlost proudění

d = průměr pažnice.

Poněvadž koncentrace stopovače, jeho specifická aktivita ve vzorku a naměřená intenzita záření vzorku jsou navzájem přímo úměrné veličiny, lze rovněž psát

$$I = I_o \cdot e^{-\frac{v\,(t-t_o)}{0{,}785\,d}} \qquad (2)$$

kde I_o = počáteční intenzita odpovídající aktivitě stopovače v čase t_o a

I = intenzita aktuální v čase t.

Pro rychlost /v/ tedy platí

$$v = \frac{0{,}785\,d}{t - t_o} \lg \frac{I_o}{I} \qquad (3)$$

Je nutno podotknout, že rychlost určená ze vztahu (3) je efektivní filtrační rychlost proudění ve směru proudnic, aniž by ovšem bylo možno touto metodou směr

určit. ✳ Tuto rychlost je nutno chápat jako víceméně orientační, protože při většině terénních měření nejsou zachovány předpoklady, ze kterých se vychází při odvozování uvedených vztahů.

Například jestliže vrt, ve kterém je prováděno měření prochází několika horizonty s rozdílnou rychlostí proudění, nastane ve vrtu vertikální proudění, které ovlivní vlastní proces ředění a tím pochopitelně i zjištěnou hodnotu efektivní rychlosti [9]. Tomuto jevu lze čelit tím, že se při měření použije speciální uzávěry, pomocí které je možno provádět měření v každém horizontu odděleně, aniž by se měření navzájem ovlivňovala. Dalším zdrojem chyb v měření může být i zanešení filtru a pažnic ve vrtu. Chybu do měření může vnést i to, že při vrtání vznikl vrt o větším průměru a po zapažení vznikla mezera mezi pažnicí a předvrtaným otvorem. Dále je možno způsobit chybu v měření i při míchání aktivní vody ve vrtu, při kterém dochází k zvýšené výměně aktivní vody vodou neaktivní z okolí vrtu.

Při experimentálním ověřování v laboratorních podmínkách se ukazuje, že při filtrační rychlosti blížící se k nule jsou naměřené výsledky zřeďovací metodou vyšší než skutečná rychlost a naopak při vysokých rychlostech jsou naměřené výsledky nižší než skutečná rychlost. V prvním případě se začne uplatňovat mechanismus difuse, který přispívá ke zdánlivému vyššímu zředění. Při velkých rychlostech naopak nestačí zředění proběhnout dostatečně rychle, nebo vzniká turbulentní proudění, při kterém se část stopovače vrátí do vrtu, i když byla již vyplavena.

Z rozboru výše uvedených faktů vyplývá, že rovnice pro výpočet efektivní rychlosti proudění není možno aplikovat na libovolnou rychlost proudění.

Jako příklad užití jednovrtové zřeďovací metody lze uvést terénní měření, které prováděla laboratoř technické a jaderné fyziky VÚHU v únoru 1965 na žádost Velkodolu Přátelství v Březové u Sokolova [11]. Toto měření zde bylo provedeno v rámci proměření hydrogeologického uzlu v Březové v jeho centrálním vrtu s označením H 1.

✳ Při určitém experimentálním uspořádání lze určit směr proudění i jednovrtovou metodou. V tomto případě se nepoužívá tritia, ale pronikavějších radioaktivních zářičů, zejména zářičů gama. Radioaktivní látka je injektována doprostřed vrtu. Po určité době se směrovou detekční sondou (obvykle s Geiger-Millerovou trubicí) proměřuje množství radioaktivní látky adsorbované na stěně pažnice v jednotlivých směrech [6]; [10]. Směr proudění se pak kryje se směrem, ve kterém bylo sondou naměřeno maximum intenzity radioaktivního záření.

V centrálním vrtu H 1 byla provedena injekce stopovače tak, že 4 skleněné ampulky po 1 Ci tritiované vody byly zabaleny do plastické trhaviny a odstřeleny asi v jedné třetině výšky vodního sloupce ode dna vrtu. Po důkladném promíchání vody ve vrtu bylo přikročeno k odběru vzorků. Vzhledem k tomu, že nelze měřit aktivitu tritia přímo ve vrtu Geiger-Millerovou trubicí, byly odebírány vzorky každých 10 minut po 130 minut od injekce. Po proměření odebraných vzorků v laboratoři byly získány údaje, obsažené v tabulce č. 2.

Výpočtem střední hodnoty rychlosti z tab. č. 2 je možno pro rychlost filtrace ve směru proudění stanovit výsledek 4,12 m/den.

Zjištění směru proudění proměřením hydrogeologického uzlu

Směr proudění podzemní vody v určitém spojitém vodním horizontu a průměrnou rychlost postupu vody je možno přibližně určit z výsledků proměření hydrogeologického kříže.

Výše zmíněné injekce tritia do vrtu H 1 v Březové bylo využito zároveň i k distančnímu měření, tj. k měření směru proudění podzemních vod kontrolou vzorků z ostatních vrtů hydrogeologického uzlu (viz obr. č. 4). Z křivek průběhu aktivity v jednotlivých vrtech je vidět (viz obr. č. 5), že průchod stopovače byl bezpečně prokázán pouze v jediném pozorovacím stanovišti, a to ve vrtu Bř 7. V ostatních pozorovacích vrtech byl výsledek měření negativní. Z výšek hladin vody v jednotlivých vrtech vyplývá, že průchod tritiové vlny by bylo možno očekávat ještě ve vrtu Ti 35. Důvodem, proč i zde byl výsledek měření negativní, může ale být zředění tritia pod mez citlivosti detekčního přístroje [11].

Zjišťování komunikací vodních zdrojů

V jiných a poměrně častých případech je třeba zjistit souvislost dvou nebo více vodních zdrojů, příp. zjistit původ napájení daného vodního zdroje, nebo zase zjistit cestu odtoku vod z tohoto zdroje. Přitom se zpravidla již nežádají v prvé řadě kvantitativní, ale spíše "kvalitativní" údaje, tj. namísto přesného určení rychlosti proudění nebo koeficientu filtrace se žádá spíše vyjádření, zda komunikace existuje nebo neexistuje (příp. v jaké míře).

V takových případech je třeba zodpovědně odhadnout potřebné množství radioaktivní látky a možné hygienické riziko. Není-li možno vyhovět platným hygienickým předpisům, nelze pochopitelně takovéto měření s radioaktivními látkami provádět.

Množství radioaktivních látek, používaná k podobným účelům, bývají někdy velmi značná. Tak např. v Řecku bylo v letech 1961 - 1962 užito ke stopování podzemních

vod jedenkrát 1000 Ci a jedenkrát 400 Ci tritiované vody. V Kenyi bylo roku 1964 ke značení vody v jezerech použito dokonce 1500 Ci tritia [4]. V Československu bylo zatím zřejmě nejrozsáhlejší úspěšnou akcí tohoto druhu vyšetřování souvislosti vodních zdrojů v okolí obcí Lipá a Vlastislav v Českém Středohoří. Toto měření prováděla od prosince 1966 do února 1967 laboratoř technické a jaderné fyziky VÚHU v Mostě na objednávku Krajského vodohospodářského rozvojového a investičního střediska v Teplicích [12].

Měření spojitosti nově vyhloubené studny v Lipé s prameništěm Modly u Vlastislavi mělo zejména ověřit, zda mezi uvedenými vodními zdroji neexistuje přímá vodní komunikace, např. puklinou ve vodonosné vrstvě mezi oběma místy, kterou by voda proudila značnou rychlostí. Výsledky měření sloužily jako součást podkladů pro projekci sběrné sítě vodovodu Litoměřice. Krajinný úsek, ve kterém byl stopovací radiometrický průzkum proudění podzemních vod prováděn, je zakreslen v obr. č. 6.

Na základě výsledků předběžných měření bylo rozhodnuto provést injekci tritiované vody o aktivitě přibližně 15 Ci přímo do nové studny v Lipé. Po 50 hod. po injekci byla do studně z hydrantu přiváděna voda tak, aby přítok byl asi 30 litrů za minutu. Počínaje následujícím dnem po injekci byly ze všech pozorovacích bodů, jakož i ze všech zdrojů pitné vody v okolí odebírány vzorky vody, které byly sváženy do laboratoře ústavu a zde vyhodnocovány. Pro všechny případy byl zajištěn náhradní přísun pitné vody pro obyvatelstvo okolních obcí cisternami - této služby však nemuselo být použito.

Vzorky byly odebírány podle časového rozpisu a vyhodnocovány výše popsanou metodou. Výsledky tohoto stopovacího měření jsou uvedeny v grafech na obr. č. 7. Popsaným měřením bylo zjištěno, že mezi nově vybudovanou studní v Lipé a prameništěm Modly u Vlastislavi existuje výrazná komunikace. Maximum aktivní vlny se na prameništi projevilo průměrně za 36 dní od provedení injekce do nové studny. Rychlost postupu sledované podzemní vody v případě, že směr proudění je přímý, činí přibližně 56 m/den. Na základě tohoto zjištění byly původní projekční záměry KVRIS v proměřované oblasti podrobeny přehodnocení.

Závěr

Nakonec je třeba zdůraznit, že stopovací metody jsou přínosem pro další poznávání a prohlubování znalostí o vlastnostech proudění. Neslouží jen výzkumu proudění podzemních vod, ale i výzkumu proudění plynů. Pro tento účel byla v laboratoři technické a jaderné fyziky VÚHU vypracována nová metodika odběru vzorků a jejich

proměřování rovněž pomocí kapalných scintilátorů.

Je třeba vidět i ekonomický přínos. Na podkladě úspěšného měření je možno učinit příslušná opatření, která mnohdy představují úsporu značných částek. Za příklad může sloužit již zmíněné zjišťování komunikace prameniště Modly - studna Lipá v oblasti Lipá - Vlastislav, na jejímž výsledku záviselo, zda se bude provádět stavba čerpací stanice v Lipé nebo ne. Takováto čerpací stanice by jistě představovala nákladnou investici.

Na druhé straně nelze v žádném případě vyvozovat závěry o neexistenci komunikace z negativního výsledku, tj. v případě, že se nepodaří prokázat přítomnost stopovače v pozorovacím místě. Negativní výsledek měření mohl být způsoben několika příčinami. Může to být např. špatně odhadnuté použité množství stopovače, nebo byl nesprávně sestaven plán časového odběru vzorků (což bylo zřejmě příčinou nejasností při měření na dole Rudý sever v SHR, kde bylo s odběrem započato týden po injekci tritia) nebo je příčinou neúspěchu nesprávný postup pracovníka odebírajícího vzorky, který je buď neodebral vůbec, nebo vzorky zaměnil. Konečně také komunikace nemusí existovat. Z dosavadních zkušeností lze konstatovat, že nejslabším článkem celé akce bývá právě neodpovědný přístup pracovníků závodů nebo brigádníků k odběru vzorků. Ukazuje se, že se vyplácí začít s odběrem vzorků současně s injekcí a pokračovat pravidelně až do skončení celé akce. V případě, že je podezření na puklinové proudění nebo proudění velkou rychlostí, je třeba i v případě několikastametrových vzdáleností odebírat vzorky několikrát za 24 hodin.

Vzhledem k tomu, že pro dokonalé vyhodnocení je třeba více na sobě nezávislých měření, je účelné kombinovat více metod např. geofyzikálních, aby výsledky byly skutečně zaručené a ověřené.

Literatura

1/ Trýzna P., Výběr přednášek "Věda-technika-ekonomika-řízení" (Dům techniky OŘ-SHD Most), /3/, 5 /1966/

2/ Čs. státní norma ČSN 341730 "Předpisy pro pracoviště s radioaktivními látkami" /1959/

3/ Vyhláška č. 34 MZd a MCHP ze dne 21. března 1963 o hygienické ochraně před ionizujícím zářením a o hospodaření se zdroji ionizujícího záření /1963/

4/ Guide to the Safe Handling of Radioisotopes in Hydrology, International Atomic Energy Agency, Vienna 1966

5/ Krotowicz J., Technika Poszukiwań (CUG Warszawa) 5 /18/, 51 /1966/

6/ Dvořák L., Filgas R., Vrbický B., Zjišťování směru proudění podzemní vody radioisotopy jednovrtovou metodou, výzkumná zpráva HoÚ ČSAV Praha 1966

7/ Dvořák L., Šulc J., Filgas R., Přístroj pro stanovení nízkých aktivit tritia ve vodě, výzkumná zpráva HoÚ ČSAV Praha 1966

8/ Veselý K., Radioisotopy /ÚVVR Praha/ 7 /2/, 227 /1966/

9/ Tritium in the Physical and Biological Sciences, Proc. of a Symposium, International Atomic Energy, Agency, Vienna 1962

10/ Krotowicz J., Błaszczak Z., Gradys S., Technika Poszukiwań (CUG Warszawa) 5 /19/, 30 /1966/

11/ Trýzna P., Jozlová J., Veselý K., Peníška J., Měření koeficientu filtrace pomocí tritia, výzkumná zpráva VÚHU Most 1966

12/ Veselý K., Trýzna P., Šerber E., Peníška J., Tittelbach K., Radiometrický stopovací průzkum komunikací podzemních vod v oblasti Lipá - Vlastislav, výzkumná zpráva VÚHU Most 1967

S h r n u t í

V článku jsou stručně shrnuty zkušenosti s použitím tritia ke stopování podzemních vod. Článek se v úvodu zmiňuje o účelu stopovacích měření a požadavcích, kladených na stopovač. Dále běžně seznamuje s problematikou detekce tritia ve vodách. Druhá polovina článku uvádí některé výsledky stopovacích měření, prováděných laboratoří technické a jaderné fyziky VÚHU v Mostě.

Р е з ю м е

ОПЫТЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТРИТИЯ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ТЕЧЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

В статье коротко подытожены опыты с применением трития для выслеживания подземных вод. В введении статья упоминает о цели индикативных замеров и о требованиях, которые ставляют на индицирующую среду. В следующем текущим образом статья знакомит с проблематикой детектирования трития в водах. Во второй части статьи приведены некоторые результаты индикативных замеров, исполненных в лабораториях технической и ядерной физики Исследовательского Института ВУГУ в г. Мост.

Tab. č. 1

Dovolené koncentrace tritia v pitné vodě

Podle :		z roku :	koncentrace Ci/l
ČSN 941730	2	1959	$2 \cdot 10^{-4}$
vyhlášky č. 34/1963	3	1963	$3 \cdot 10^{-7}$
mezinárod. doporučení	4	1966	$3 \cdot 10^{-6}$

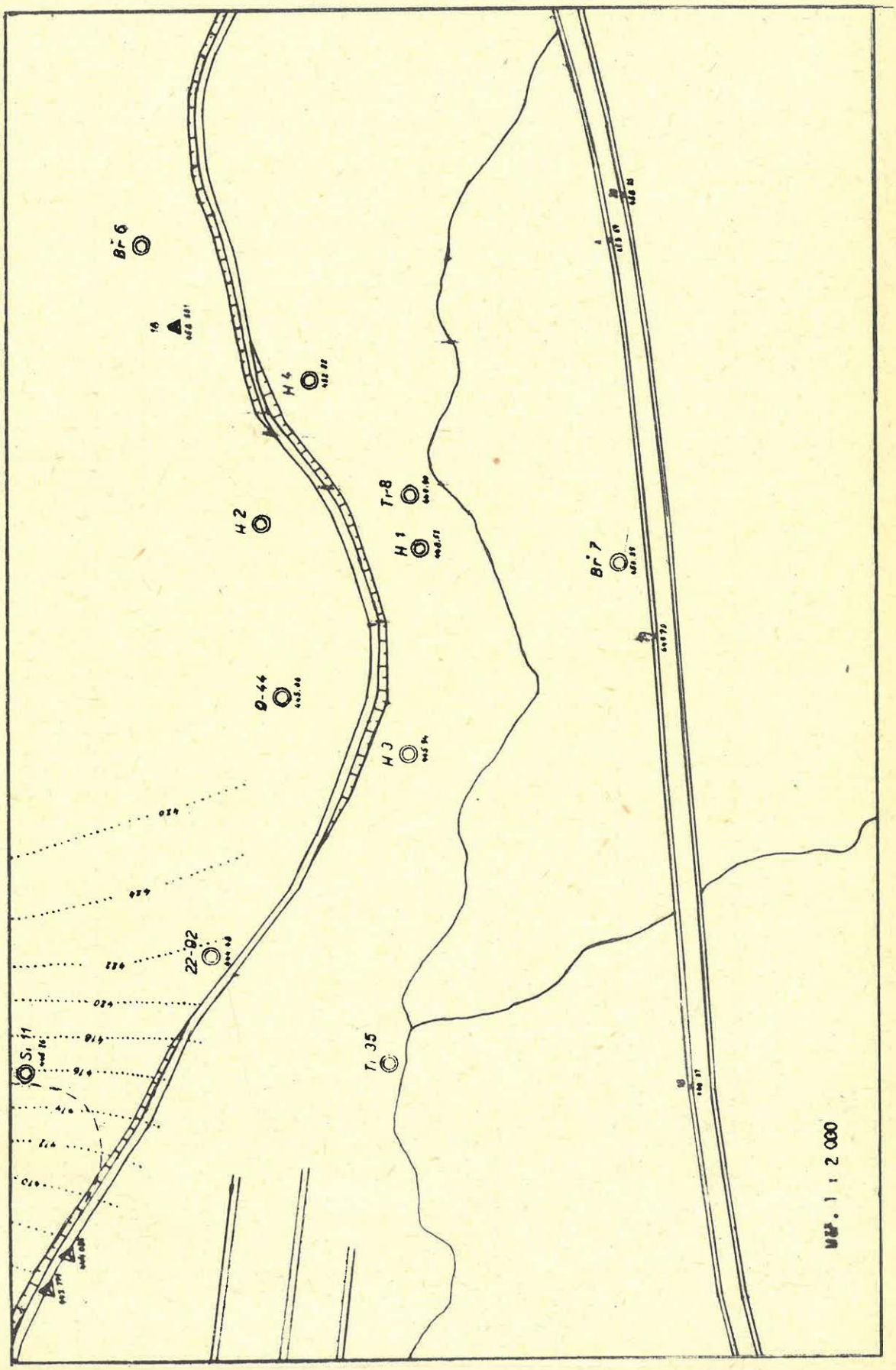
Tab. č. 2

Výsledky zřeďovacího pokusu ve vrtu H 1

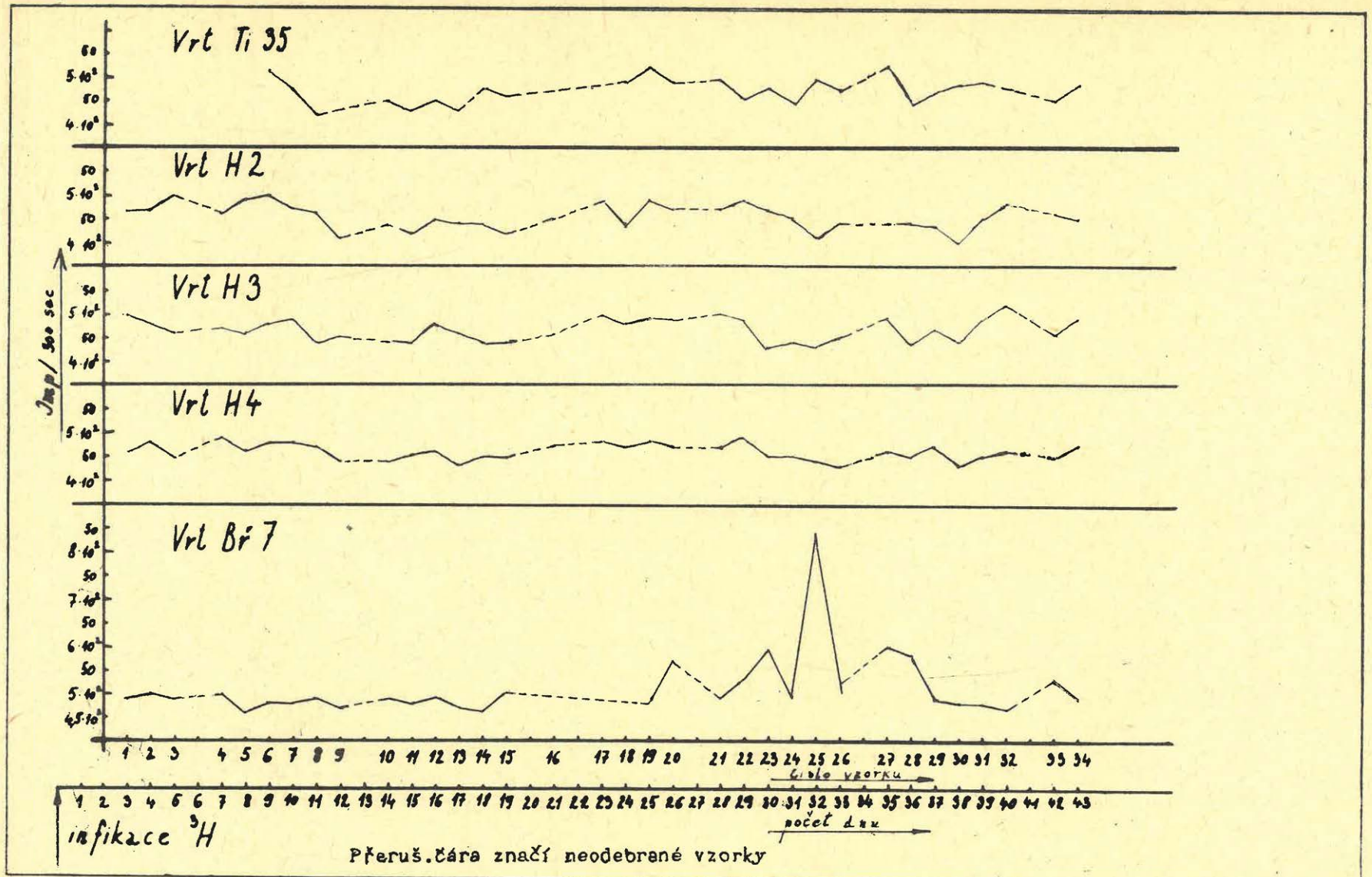
t	0	10	20	30	40	50	60
c (t)	85	75	60	56	52	49	43
v (t)	-	17,7	24,85	19,78	17,39	15,60	16,07

t	70	80	90	100	110	120	130
c (t)	38	36	30	28	24	22	19,2
v (t)	16,28	15,22	16,38	15,73	16,37	15,94	16,20

c (t) je v relativních jednotkách; v (t) je v cm/hod.; t je čas odběru vzorku v min.

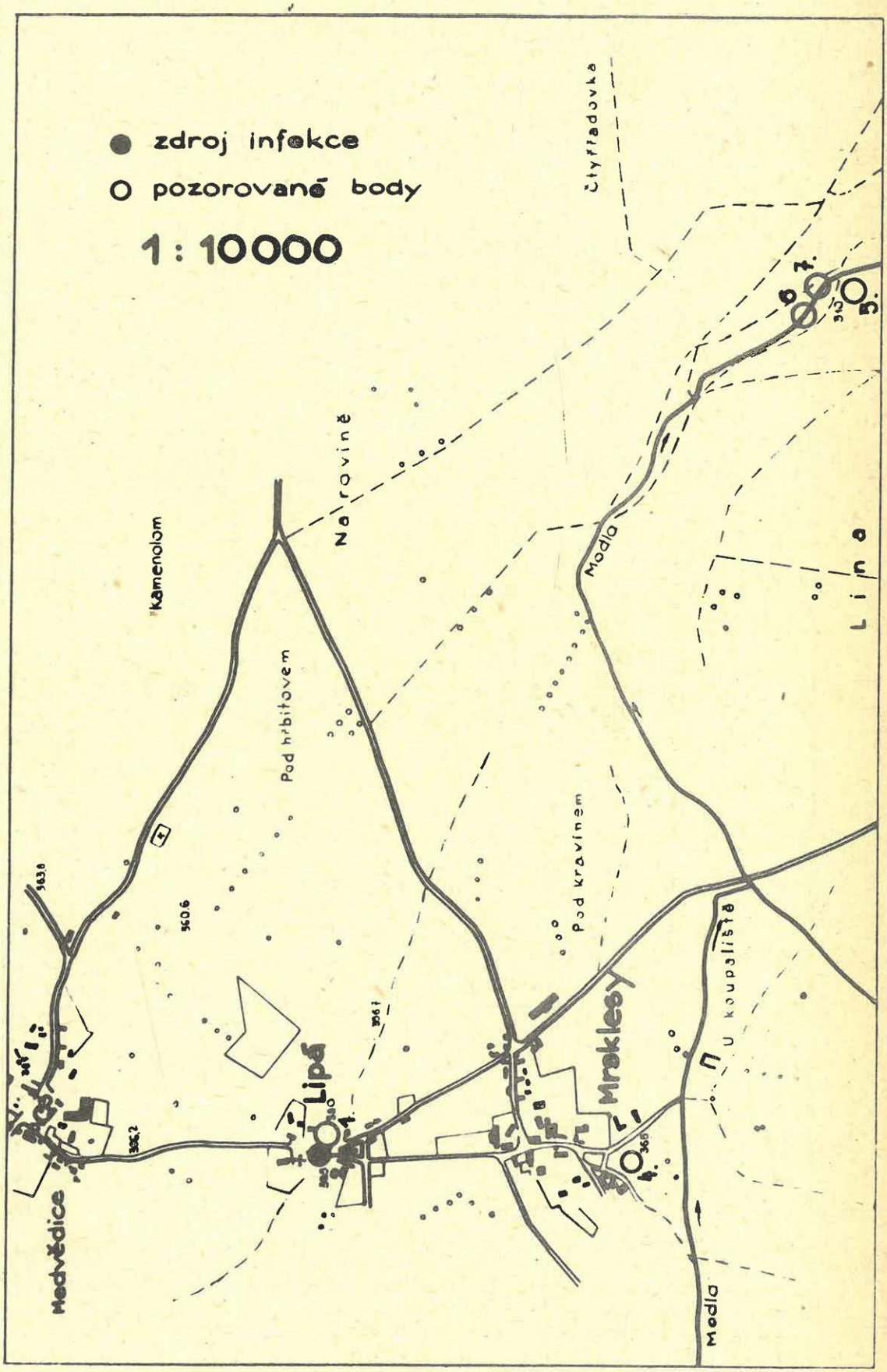


Obr. č. 4 Mapka hydrologického kříže v Březové



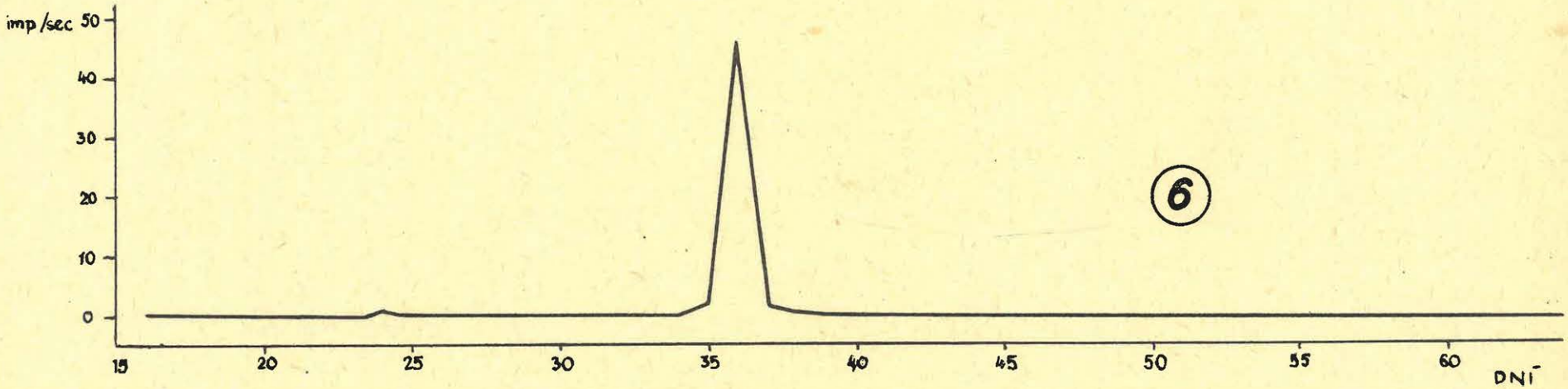
Přeruš.čára značí neodebrané vzorky

Obr.č. 5 Křivka aktivit v pozorovacích vrtech



Obr.č. 6

Mapka oblasti Lipá - Vlastislav



Obr.č. 7

Křivka aktivit v pozorovacích bodech 5 a 6