

František Š p u r a j

STUDIUM VLASTNOSTÍ NÁRTKOVÝCH POLYMERŮVÝCH FOLIÍ JAKO DETEKTORŮ  
STOP V PEVNÉ FÁZI

Laboratoř radiologické dosimetrie ČSAV

Brno, květen 1973

STUDIUM VLASTNOSTÍ NĚKTERÝCH POLYMERNÍCH FOLIÍ JAKO DETEKTORŮ STOP  
V PEVNÉ FÁZI

František Spurný, Laboratoř radiologické dozimetrie ČSAV, Praha

Abstrakt:

V práci jsou studovány některé polymerní folie jako detektory stop částic alfa v pevné fázi. Stanovovala se účinnost detekce a její závislost na energii částic alfa; hodnotila se kvalita povrchu a přirozené pozadí folií. U tří vybraných druhů se sledovala kinetika leptání a jsou vypočteny charakteristické konstanty pro zvolené folie a způsoby leptání.

Jsou diskutovány možnosti aplikace folií jako detektorů stop a vliv zvolené folie a způsobu chemického leptání na použitelnost v jaderných vědách, zejména pak v dozimetrii rychlých neutronů a spektrometrii částic alfa.

## STUDIES OF SOME POLYMER FOILS AS AN SOLID STATE TRACK DETECTORS

F. Spurný, Laboratory for Radiological Dosimetry,  
Czechoslovak Academy of Sciences, Prague

### Abstract:

A series of experiments was performed to study the effect of etchant, etchant temperature on alpha particle track development in several plastic. Registration efficiency, influence of energy on it, surface quality and natural background were studied. Kinetic of etching was analyzed for the Triafol TN (Bayer, Leverkusen), cellulose acetobutyrate (VCHZ Synthesis, CSSR) and Makrofol E (Bayer, Leverkusen). Triafol TN was etched by 10 N NaOH at 60°C, cellulose acetobutyrate by "solution B" at 70°C, Makrofol E by the solution of 15 g KOH and 40 g C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH in 45 g H<sub>2</sub>O at 70°C. Characteristic etching parameters, i.e. ratio of track to bulk etching rate, bulk etching rate, critical angle etc. are given.

Application of studied foils and theirs methods of etching in fast neutron dosimetry are discussed.

## 1. Úvod:

Nečávnno bylo zjištěno, že vhodným chemickým zpracováním lze dosáhnout pozorovatelnosti stop těžkých nabitých částic v neuterých izolátorech i při pozorování optickým mikroskopem. Tento objev vedl k nové kategorii detektorů ionizujícího záření, t.zv. detektorům stop v pevné fázi (anglicky "solid state track detectors"). Brzy se ukázalo, že jejich vlastnosti jsou výhodné k řešení celé řady otázek základního výzkumu i pro různé aplikace (viz /1/,/2/,/3/). Velkým přínosem pro jejich rozvoj bylo zjištění, že jako detektorů stop lze použít polymerních folií. Tyto folie mají oproti anorganickým látkám (slída, minerály, skla) některé výhody. Z hlediska praktického jsou to lepší mechanické vlastnosti a snadná dostupnost, jejich detekční vlastnosti jsou reprodukovatelnější a jsou také citlivější, tj. lze v nich detekovat nabitě částice o nižších hodnotách brzdné schopnosti. V řadě z nich lze detekovat částice alfa, jsou publikovány práce, dokazující možnost registrace dokonce i protonů/4/.

Jednou z možností aplikace detektorů stop v pevné fázi je jejich použití v dozimetrii rychlých neutronů. V současné době se k tomu nejčastěji využívá detekce stop štěpných trosek vnikajících do detektorů v důsledku interakcí neutronů v přiloženém štěpitelném materiálu. Tato metoda je nyní již uváděna do rutinní praxe osobní dozimetrie neutronů /5-8/. Interakcemi rychlých neutronů s atomy, tvořícími polymerní materiály, dochází však ke vzniku registrovatelných těžkých nabitých částic také. Pružný rozptyl vede k odraženým jádrům C, O a N; na těchto nuklidech dochází také k reakcím typu  $(n, \alpha)$ . Je tedy obecně možno detekovat rychlé neutrony i pomocí polymerních folií bez přiložených štěpitelných

materiálů /9-12/. K rozboru použitelnosti folie je třeba znát její chování jako detektoru stop v pevné fázi. Pro srovnání vlastností je pak vhodné studovat toto chování za definovaných podmínek a při ozařování částicemi, které účinkem rychlých neutronů ve foliích mohou vznikat.

Folie některých polymerních materiálů jsou běžně komerčně dostupné - používají se totiž jako podložky citlivých vrstev ve filmovém průmyslu a při výrobě magnetofonových pásek, slouží také jako izolační materiály v elektronickém průmyslu. Nejběžněji dostupnými jsou, podle chemického složení, deriváty celulozy, polykarbonáty a polyestery. Jsou dodávány pod řadou komerčních názvů, v široké paletě tloušťek. Z hlediska jejich užití je důležité to, že se i při téže chemické podstatě mohou lišit technologií výroby a tím i některými vlastnostmi, důležitými v jejich použití jako detektorů stop v pevné fázi. Z toho vyplývá nutnost prostudovat tyto vlastnosti pro každý konkrétní výrobek.

Z těchto důvodů jsme studovali vlastnosti v ČSSR dostupných polymerních folií jako detektorů stop částic alfa. Byla studována účinnost detekce, přirozené pozadí folií, kvalita jejich povrchu a kinetika chemického leptání. Byly hledány optimální podmínky pro použití v dozimetrii rychlých neutronů. Tato práce je přehledem tanto získaných experimentálních zkušeností.

## I. Experimentální část:

### Použité polymerní folie:

Folie, jejichž vlastnostem jako detektorů stop byla věnována pozornost, jsou uvedeny v tabulce 1.

### Metodika ozařování:

Folie byly ozařovány etalonovým zářičem  $^{241}\text{Am}$  (Amersham) o celkové emisi  $1,28 \cdot 10^5$  částic alfa do prostorového úhlu  $2\pi$ . Kontrolními měřeními pomocí jaderných emulzí bylo potvrzeno, že ve zdroji nedochází k samoabsorpci; emitované částice alfa lze tedy považovat za monoenergetické, se střední energií 5,47 MeV /3/. Autoradiografií pomocí samotných detektorů stop bylo potvrzeno, že na aktivní ploše je radionuklid rozmístěn homogenně. Energie částic alfa byla měněna filtrací vzduchem pomocí různě vysokých kolimátorů. Kolimátory byly z plexiskla a jejich vnitřní průměr byl menší než průměr aktivní plochy zářiče. Malý vnitřní průměr zaručoval úzký obor energií dopadajících částic, přičemž geometrie ozařování dovolila ozařovat až do 4,4 MeV prakticky kolmým svazkem.

Vzorky folií byly vždy rozměrů nejméně 1,4 x 1,4 cm, takže na téže vzorku byla tedy i neozářená plocha umožňující vyhodnocení pozadí. Folie vyráběné firmou Bayer mají podle vnějšího vzhledu rozdílné povrchy, lesklý a matný. Nedávno bylo zjištěno, že jejich chování se liší. Byly proto ozařovány vždy z lesklé strany, podle údajů v literatuře u Triafolu TN citlivější /13/.

### Metodika chemického leptání

Folie byly leptány ve vodných roztocích alkalických hydroxidů. Použitými chemikáliemi byly NaOH, KOH a  $\text{KMnO}_4$  čistoty p.a., destilovaná voda a 96% čistý etylalkohol. Roztoky, užívané k leptání budou uvedeny dále. Vzorky folií byly zpravidla ozářeny částicemi alfa o 6 středních energiích (0,8; 1,5; 2,2; 3,2; 4,4; a 5,2 MeV) a leptány společně v uspořádání uvedeném na obrázku 1. Leptání bylo prováděno za stálého míchání ve skleněných duplikátorech (viz obr.2), teplota temperační i leptací lázně byla termostatem udržována konstantní s přesností  $\pm 0,1^\circ\text{C}$ .

Po leptání roztoky alkalických leuhů byly vzorky promyty destilovanou vodou, 1% roztokem kyseliny octové, znovu destilovanou vodou a sušeny. V případě leptání roztokem  $\text{KMnO}_4$  byly folie nejprve v 20% HCl zbaveny vyloučeného  $\text{MnO}_2$ , teprve pak zpracovány výše uvedeným způsobem.

Ke stanovení rychlosti odleptávání polymerních materiálů byly folie před i po leptání jednak váženy na semimikroanalytických vahách, jednak byly měřeny jejich tloušťky pomocí optimetru Zeiss. Výsledky obou způsobů byly srovnatelné.

### Metodika vyhodnocování:

Ozářené a vyleptané folie byly vyhodnocovány pomocí obvyklých optických mikroskopů. Stanovení hustoty stop bylo prováděno dvěma způsoby. V prvním se používala tzv. Bürkerova komůrka, rutinně sloužící k vyhodnocování krevního obrazu. Podle použitého zvětšení byly s její pomocí počítány stopy na plochách od 0,01 do 1  $\text{mm}^2$ . V některých případech se ke stanovení hustoty stop používalo okulárových

mřížek. Jejich rozměry byly pro užité zvětšení kalibrovány pomocí objektivového mikrometru Zeiss (1 dělení =  $10\ \mu\text{m}$ ). Zvětšení bylo voleno podle hustoty stop a jejich velikosti, minimální a maximální hodnoty byly 75x a 630x, pracovalo se bez imersního oleje. Pozadí bylo vyhodnocováno za stejných podmínek, jeho hodnoty nepřesahovaly 1% hustoty stop a byly od nich odečteny.

Průměry stop byly měřeny jednak obvyklými optickými mikroskopy, jednak pomocí mikroskopu Koristka (viz obr.3). V obou případech byla okulárová měřítka kalitrována objektivovým mikrometrem Zeiss. V prvním případě se volilo celkové zvětšení 720x, přesnost odečtu průměru byla  $\pm 0,5\ \mu\text{m}$ . Na mikroskopu Koristka se pracovalo při celkovém zvětšení 1300x, s imersním olejem. Přesnost měření byla ovlivněna přesností odečtu hranic a správnosti zaostření, byla  $\pm 0,1\ \mu\text{m}$ .

#### . Vysledky:

##### Leptací podmínky:

Optimální podmínky leptání polymerních materiálů jako detektorů stop těžkých nabitých částic v pevné fázi byly nedávno diskutovány Bentonem /14/. Ten uvádí, že pro deriváty celulozy i polykarbonáty se nejčastěji užívá roztoků alkalických louhů, jako nejlepší je uváděn NaOH. Studovali jsme vhodnost leptání roztoky NaOH o různých koncentracích a za různých teplot, podmínky jsme přitom volili tak, aby leptání nebylo neúměrně časově náročné. Dobrých výsledků jsme v našich podmínkách dosáhli s roztoky uvedenými v tabulce 2.

Podle některých literárních údajů /9/ je pro leptání polykarbonátů vhodný 30% roztok KOH při  $60^{\circ}\text{C}$ . Podle našich zkušeností je



však daleko lépe leptat pomocí lázně doporučené Somogyim /15/; tj. roztokem 15 g KOH a 40 g C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH v 45 g H<sub>2</sub>O při 70°C (dále roztok "S").

Leptání acetobutyrátu celulozy (CAB VCHZ) roztokem samotného louha sodného dávalo sice případ od případu dobré výsledky, jejich reprodukovatelnost, zejména z hlediska kinetiky leptání, nebyla nejlepší. Studovali jsme proto také možnost použití Somogyiho tzv. roztoku "B". Podle originálního doporučení je to roztok 20 g NaOH, 16 g KOH a 4,5 g KMnO<sub>4</sub> v 90 g H<sub>2</sub>O. Za použití předpisu doporučeného autory /16/ se nám nepodařilo všechny KMnO<sub>4</sub> rozpustit, rozpouštěli jsme proto jednotlivé látky každou zvlášť, pro každé leptání jsme připravovali čerstvý roztok.

Účinnost detekce částic alfa:

Vzorky folií uvedených v tabulce 1 byly ozářeny částicemi alfa o energii 1,5 MeV a leptány za vhodných podmínek. Pro každou z nich byla stanovena hustota stop částic alfa, proměřeno bylo vždy nejméně 100 polí o ploše 0,25 mm<sup>2</sup> na nejméně 3 vzorcích. Vyhodnocování bylo prováděno vždy pro takové časy leptání, kdy průměr stop byl větší než 5 μm a stopy byly přitom ještě dobře rozeznatelné. Pro vysoké časy dochází totiž zejména pro nízké energie k pře leptání a stopy lze těžko rozlišit (viz dále). Nebyl pozorován žádný vliv doby leptání (v uvedeném rozmezí) na hustoty stop, jednotlivé vzorky folií se od sebe nelišily. Hustoty stop byly srovnány s měřením pomocí plastického scintilátoru<sup>§</sup>, získané účinnosti detekce jsou uvedeny v tabulce 2. Odsud je zřejmé, že ve všech případech se účinnosti detekce pohybují kolem 1,00.

§ Za tato měření jsme zavázáni pracovníkům LRD ČSAV M. Králíkovi a K. Štukheilovi. Měření byla prováděna pro energii částic alfa 4,4 MeV, k přepočtu pro energii 1,5 MeV bylo užito geometrického faktoru, užívaného při absolutním měření aktivity beta oxénkovými trubicemi/17/.

Současné s měřením hustoty stop bylo provedeno kvalitativní zhodnocení jejich rozeznatelnosti a kvality povrchu (přítomnost prachu, škrábanců, vměstků apod.). Ze vzorků folií, které jsme měli k dispozici, nejvýraznější stopy a nejlepší kvalita povrchu měly CAB VCHZ, Triafol TN a Makrofol E. Kinetika leptání a další vlastnosti byly proto studovány důkladně zejména u těchto folií.

Nejprve byla studována závislost účinnosti detekce na energii částic alfa. Bylo zjištěno, že pro kolmo dopadající částice nezávisí účinnost detekce na energii minimálně v rozmezí mezi 0,8 a 4,4 MeV, je stále blízko 1,00 (viz obr. 4). Vzhledem k tomu, že pro různé energie se někdy i značně liší doby nutné k vyleptání stop na velikost potřebnou k vyhodnocování za zvolených podmínek (viz výše), je ze závislosti na obr. 4 a také z rozmezí hodnot leptacích časů uvedených v tabulce 2 zřejmé, že za daných podmínek nedochází k fadingu latentních stop.

### Kinetika leptání

Kinetikou leptání se rozumí závislost velikosti a tvaru stopy na podmínkách a době leptání a na druhu a energii těžké nabitě částice. Nejlépe lze získat informace o charakteristice leptání studiem závislosti průměru stop kolmo dopadajících částic na tloušťce vrstvy odleptané z povrchu detektoru,  $h$  /18/. V našem případě tedy v případě ozařování částicemi alfa s energiemi 0,8 až 4,4 MeV.

Ke zviditelnění stop je především nutno, aby rychlost leptání ve stopě  $v_t$  byla vyšší, než rychlost odleptávání nenarušeného povrchu  $v_p$ , tj. aby jejich poměr  $\underline{v}$  byl větší než 1,00. Jestliže obě rychlosti jsou v průběhu leptání stopy konstantní, stopa se odleptává

z povrchu (tj. již na povrchu folie  $\underline{v} > 1,00$ ) a leptání je isotropní, platí pro průměr stopy kolmo dopadající nabitě částice  $\underline{d}$  /20/,  
20/:

$$\underline{d} = 2 \cdot \underline{h} \sqrt{\frac{\underline{v} - 1}{\underline{v} + 1}}, \quad (1)$$

kde  $\underline{h} = \underline{v}_b \cdot t$ , kde  $t$  je doba leptání.

Vztah (1) přitom platí pro  $\underline{h} \leq R_0 + R_0 \cdot \underline{v}^{-1}$ , jestliže  $R_0$  je dosah nabitě částice v materiálu /20/. V případě, že  $\underline{h} > R_0 + R_0 \cdot \underline{v}^{-1}$ , platí /20/:

$$\underline{d} = 2 \sqrt{R_0 \frac{\underline{v} - 1}{\underline{v}} \left( 2\underline{h} - R_0 \frac{\underline{v} + 1}{\underline{v}} \right)}. \quad (2)$$

S ohledem na eliminaci případných změn rychlosti  $\underline{v}_b$  je přitom správnější analyzovat při studiu kinetiky leptání závislosti průměru stop na tloušťce odleptané vrstvy, nikoliv na době leptání.

Námi získané závislosti pro leptání tří druhů folií jsou uvedeny na obr. 5-7. Analyzou křivek pro energii 2,2 MeV na základě vztahů (1) a (2) a pomocí hodnot  $R_0$  vypočtených dříve (21) byly zjištěny hodnoty poměru  $\underline{v}$  uvedené v tabulce 3<sup>x</sup>, v téže tabulce jsou uvedeny i střední hodnoty  $\underline{v}_b$ .

Jak je zřejmé ze vztahů (1) a (2), charakterizují hodnoty  $\underline{v}$  a  $\underline{v}_b$  jednak velikost stop, jednak časovou náročnost leptání. Průměr stopy je totiž, za jinak stejných podmínek, tím větší, čím větší je  $\underline{v}$ , rozdíl se přitom s rostoucím  $\underline{v}$  snižují /20/. Hodnoty  $\underline{v}$  tak

-----  
<sup>x</sup>Je známo, že  $\underline{v}_t$  a tedy i  $\underline{v}$  se mění s brzdou schopností částice, nejsou tedy v průběhu leptání stopy konstantní /1,2/. Hodnoty  $\underline{v}$  uvedené v tabulce jsou tedy středními hodnotami pro energii částic alfa 2,2 MeV. Teoretická analýza vlivu změny  $\underline{v}_t$  v průběhu leptání byla uveřejněna nedávno /20/.

charakterizují možnosti odlišení těžkých nabitých částic a jejich spektrometrie; čím jsou vyšší, tím obtížnější bude odlišení různých kolmo dopadajících nabitých částic podle průměru stopy /5-8, 23/. Možnosti spektrometrie jsou dokumentovány také mikrofotografiemi na obrázcích 8-10. V naší práci se spektrometrické vlastnosti folií při užitých způsobech leptání nestudovaly, v literatuře se uvádí, že lze dosáhnout rozlišovací schopnosti až 0,2 MeV /16/.

V praxi rozhodují o vhodnosti použití konkrétní folie a způsobu leptání také experimentální hlediska. Jedním z nich je velikost rychlosti  $v_b$ . Čím je  $v_b$  vyšší, tím je leptání méně časově náročné. V našem případě je např. pro vyleptání stop částic alfa o energii 2,2 MeV na průměr 10  $\mu\text{m}$  třeba v případě uvedeného leptání Triafolu TN 3,5 hodiny, u CAB VCHZ a Makrofolu E kolem 35 minut.

Velký význam má také vliv podmínek leptání a volby folie na dobu trvání rozlišitelnosti stopy v průběhu pokračujícího leptání. Z tohoto hlediska se námi studované případy markantně liší. Zatímco v případě leptání Triafolu TN samotným louhem jsou stopy částic alfa o energii 0,8 a 1,5 MeV dobře rozlišitelné jen pro  $h$  do 5  $\mu\text{m}$ , tj. pro průměry stop  $< 10 \mu\text{m}$  (viz obr. 8), stopy těchto částic alfa jsou v CAB VCHZ a Makrofolu E dobře pozorovatelné ještě při  $h \sim 20 \mu\text{m}$  (viz obr. 9 a 10). Leptání Triafolu TN uvedeným způsobem tedy bude výhodné pro spektrometrické studie, případně pro odlišení částic alfa s energiemi většími či menšími než 2-3 MeV. Studovaná leptání CAB VCHZ a Makrofolu E dovolují spektrometrii částic alfa samozřejmě také (viz obr. 9 a 10). Budou ale výhodná zejména tam, kde je třeba leptat krátkou dobu a kde je důležité, aby hustota stop byla při konstantním ozařování co nejvyšší. Oba tyto požadavky jsou významné při použití v dozimetrii neutronů.

Zatím diskutované závislosti se týkaly kolmo dopadajících částic. Interakcemi neutronů vznikající těžké nabitě částice vylétají, relativně k povrchu folie, v nejrůznějších úhlech. Přitom je známo, že v detektorech stop nelze registrovat nabitě částice, úhel jejichž dráhy relativně k povrchu je nižší, než tzv. úhel kritický  $\vartheta_c$ . Za předpokladů uvedených dříve pro tento úhel platí /1,2/:

$$\vartheta_c = \arcsin \frac{1}{\underline{v}} \quad , \quad (3)$$

hodnoty  $\vartheta_c$  pro tři studované případy jsou uvedeny také v tabulce 3. Velikost kritického úhlu je přitom také mírou účinnosti detekce nabitých částic. Nebereme-li totiž v úvahu experimentální omezení, je pro geometrii ozařování  $2\pi$  účinnost detekce  $\eta_{th}$  dána vztahem /18,22/:

$$\eta_{th} = 1 - \sin \vartheta_c = 1 - \frac{1}{\underline{v}} \quad . \quad (4)$$

Hodnoty  $\eta_{th}$  jsou také uvedeny v tabulce 3. Podle nich by nejcitlivějším detektorem za uvedených podmínek byl Triafol TN.

Jak však bylo uvedeno, vztah (4) nebere v úvahu experimentální omezení účinnosti detekce. Pro experimentálně dosažitelnou účinnost detekce v geometrii  $2\pi$  totiž platí /18/:

$$\eta_{exp} = 1 - \left( \frac{1}{\underline{v}} + \frac{z_{min}}{R} \right) \quad , \quad (5)$$

kde  $z_{min}$  je nejmenší rozlišitelný rozměr při zvoleném zvětšení a  $R$  je nejvýše rovno dosahu částic, pro které již na povrchu  $\underline{v} > 1,0$ , v našem případě tedy kolem  $10 \mu m$ .

Ze vztahu (5) vyplývá, že  $\eta_{exp}$  bude při zvoleném zvětšení tím menší, čím menší bude rozměr stop. Budou proto preferovány ty způsoby zpracování, při kterých stopy dosahují větších rozměrů. Jak

vyplývá ze závislosti na obr. 5-7, je Triafol TN při uvedeném způsobu leptání z tohoto hlediska v nevýhodě. To je také ukázáno v tabulce 4. Tam jsou uvedeny hodnoty  $\eta_{\text{exp}}$  získané při ozařování s kolimátorem výšky 0,18 mm, tj. v geometrii blízké  $2\pi$ . Je vidět, že jsou při všech studovaných způsobech srovnatelné. Teoretické hodnoty  $\eta_{\text{th}}$  jsou přitom v této geometrii /22/ 0,84; 0,64; a 0,52: pro Triafol TN; CAB VCHZ; a Makrofol E.

Pro dozimetrii mají ty způsoby leptání, kdy  $v_b$  je relativně vysoké a  $\underline{V}$  poměrně nízké, ještě jednu výhodu, vyplývající z hlediska optického vyhodnocování. Malé hodnoty  $\underline{V}$  a vysoké tloušťky odleptané vrstvy  $h$  vedou totiž k tomu, že stopy mají téměř nezávisle na úhlech mezi dráhou částice a povrchem detektoru, kruhový tvar. To napomáhá reprodukovatelnosti subjektivní metody vyhodnocování, skutečnost je dokumentována na mikrofotografiích na obrázcích 11-13. Jsou tam uvedeny výsledky pro částice  $\alpha$  získané při zmíněné geometrii ozařování blízké  $2\pi$ . Je odsud patrný zmíněný rozdíl mezi tvarem stop při uvedených způsobech leptání.

Z uvedených skutečností se tedy pro dozimetrii neutronů jeví nejvhodnějším použitím takových metod zpracování polymerních folií jako detektorů stop v pevné fázi, při kterých hodnoty  $\underline{v}_b$  jsou relativně vysoké; pro naše případy tedy leptání CAB VCHZ roztokem "B" a Makrofolu E roztokem "S".

Tabulka č.1 :

Přehled studovaných polymerních folií

Typ folie	Komerční název	Výrobce	Tloušťka mm
acetobutyrate celulozy		VCHZ Semtín	0,18
triacetát celulozy 1*		dtto	0,13
triacetát celulozy 2		dtto	0,13
triacetát celulozy		Bexford (UK)	0,19
triacetát celulozy	Triafol TN	Bayer (NSR)	0,03;0,1;0,2
triacetát celulozy	Triafol TX	Bayer (NSR)	0,20
acetobutyrate celulozy	Triafol EN	dtto	0,20
polykarbonát	Makrofol E	dtto	0,20
polykarbonát Makrofol	Makrofol N	dtto	0,20

\* Jedná se o výrobek téže firmy, prvý z nich je starší, byl podvrstven již pro liš fotografického materiálu. Triacetát č.2 byl výrobek z roku 1972, nepodvrstvený.

Tabulka 2 :

Účinnost detekce částic alfa o energii 1,5 MeV v různých polymerních foliích

Druh folie	Podmínky leptání	Účinnost detekce
acetobutyryát celulozy (CAB VCHZ)	8N NaOH, 60°C, 2-4 hod	0,98 ± 0,05
	6N NaOH, 50°C, 4-8 hod	0,95 ± 0,04
	roztok "B", 70°C, 1-2,5 hod	1,04 ± 0,03
triacetát celulozy 1	10N NaOH, 70°C, 2-4 hod	1,04 ± 0,04
triacetát celulozy 2	8N NaOH, 60°C, 3-4 hod	1,00 ± 0,04
	roztok "B", 60°C, 1-2 hod	0,93 ± 0,04
Triafol TN, 0,03 mm	10N NaOH, 60°C, 2-3,5 hod	1,03 ± 0,05
Triafol TN, 0,1 mm	10N NaOH, 60°C, 2,5-4 hod	0,99 ± 0,05
	6N NaOH, 50°C, 6-8 hod	0,95 ± 0,04
Triafol TX	10N NaOH, 60°C, 3-4 hod	1,05 ± 0,07
Triafol BN	10N NaOH, 70°C, 3-4 hod	1,03 ± 0,06
Makrofol E	roztok "S", 70°C, 0,5-2,5 hod	0,99 ± 0,04



Tabulka 3 :

Charakteristické konstanty diskutovaných způsobů zpracování  
detektorů stop založených na polymerních foliích

Polymerní folie	Podmínky leptání	$v_b$ $\mu\text{m.hod}^{-1}$	$\underline{v}$	$\vartheta_c$	$\eta_{th}$
Triafol TN	10N NaOH, 60°C	2,0	5,0	11°33'	0,80
CAB VCHZ	roztok"B", 70°C	14,1	2,5	23°35'	0,60
Makrofol E	roztok"S", 70°C	18,1	1,9	31°44'	0,47

Tabulka 4 :

Účinnost detekce částic alfa pro kolimátor o výšce 0,18 mm

Folie	Podmínky leptání	$\underline{h}$ , $\mu\text{m}$	$\eta_{exp}$
Triafol TN	10N NaOH, 60°C	7,8 - 10,4	0,54
CAB VCHZ	roztok"B", 70°C	13,6 - 27,8	0,54
Makrofol E	roztok"S", 70°C	20,5 - 33,7	0,51

## Legenda k obrázkům

Obr. 1 : Uspořádání užívané k současnému leptání 6 vzorků folií

Obr. 2 : Leptací nádoby s termostatem

Obr. 3 : Mikroskop Koristka

Obr. 4 : Závislost účinnosti detekce na energii částic alfa pro různé folie a způsoby leptání:

■ - Triafol TN, 0,03 mm, leptáno 10 N NaOH při 60°C

□ - Triafol TN, 0,10 mm, leptáno 10 N NaOH při 60°C

● - CAB VCHZ, leptáno roztokem 8 N NaOH při 60°C

○ - CAB VCHZ, leptáno roztokem "B" při 70°C

▲ - Makrofol E, leptáno roztokem "S" při 70°C

Obr. 5 : Závislost průměru stop na tloušťce vrstvy odleptané 10 N NaOH při 60°C z jednoho povrchu Triafolu TN, 0,10 mm:

○ - křivka 1;  $\bar{E}_\alpha = 0,8$  MeV

△ - křivka 2;  $\bar{E}_\alpha = 1,5$  MeV

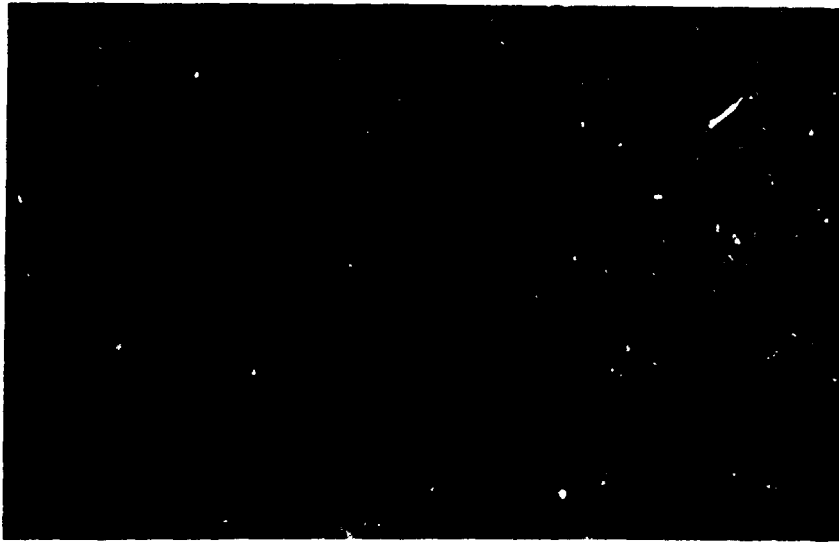
■ - křivka 3;  $\bar{E}_\alpha = 2,2$  MeV

● - křivka 4;  $\bar{E}_\alpha = 3,2$  MeV

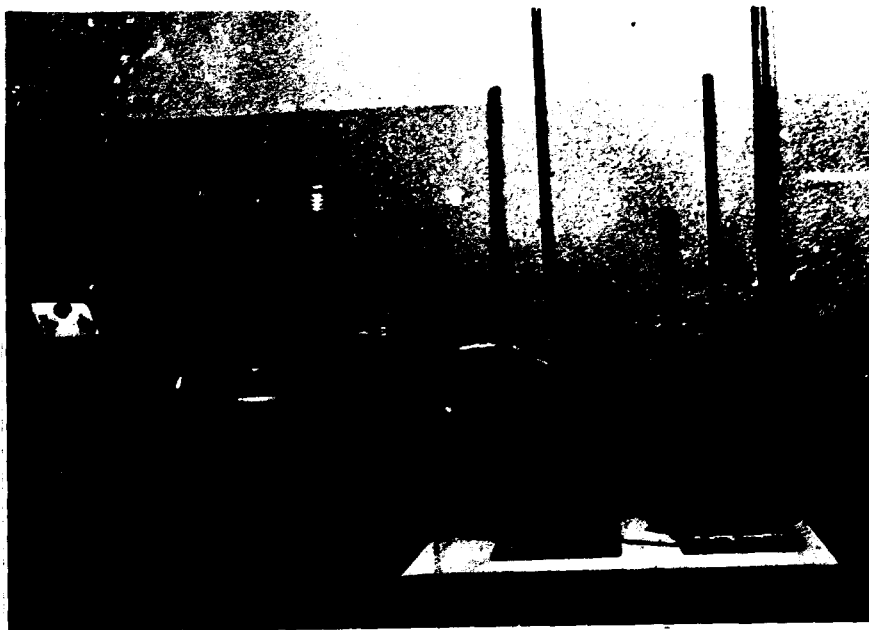
▲ - křivka 5;  $\bar{E}_\alpha = 4,4$  MeV

Obr. 6 : Závislost průměru stop na tloušťce vrstvy odleptané roztokem "B" při 70°C z jednoho povrchu CAB VCHZ, popis stejný jako u obr. 5.

- Obr. 7 : Závislost průměru stop na tloušťce odleptané roztokem "S" při 70°C z jednoho povrchu Makrofolu E, popis stejný jako u obr. 5.
- Obr. 8 : Mikrofotografie stop částic alfa o energiích 1,5 MeV (1), 3,2 MeV (2) a 4,4 MeV (3) v Triafolu TN, 0,10 mm; leptáno 10 N NaOH při 60°C,  $h \sim 8 \mu\text{m}$ .
- Obr. 9 : Mikrofotografie stop částic alfa o energiích 1,5 MeV (1), 3,2 MeV (2) a 4,4 MeV (3) v CAB VCHZ; leptáno roztokem "B" při 70°C,  $h \sim 20 \mu\text{m}$ .
- Obr. 10 : Mikrofotografie stop částic alfa o energiích 1,5 MeV (1), 3,2 MeV (2) a 4,4 MeV (3) v Makrofolu E; leptáno roztokem "S" při 70°C,  $h \sim 18 \mu\text{m}$ .
- Obr. 11 : Mikrofotografie stop částic alfa  $^{241}\text{Am}$  v Triafolu TN, 0,10 mm, po ozařování s kolimátorem výšky 0,18 mm; leptáno 10 N NaOH při 60°C,  $h \sim 10 \mu\text{m}$ .
- Obr. 12 : Mikrofotografie stop částic alfa  $^{241}\text{Am}$  v CAB VCHZ po ozařování s kolimátorem výšky 0,18 mm; leptáno roztokem "B" při 70°C,  $h \sim 40 \mu\text{m}$ .
- Obr. 13 : Mikrofotografie stop částic alfa  $^{241}\text{Am}$  v Makrofolu E po ozařování s kolimátorem výšky 0,18 mm; leptáno roztokem "S" při 70°C,  $h \sim 38 \mu\text{m}$ .



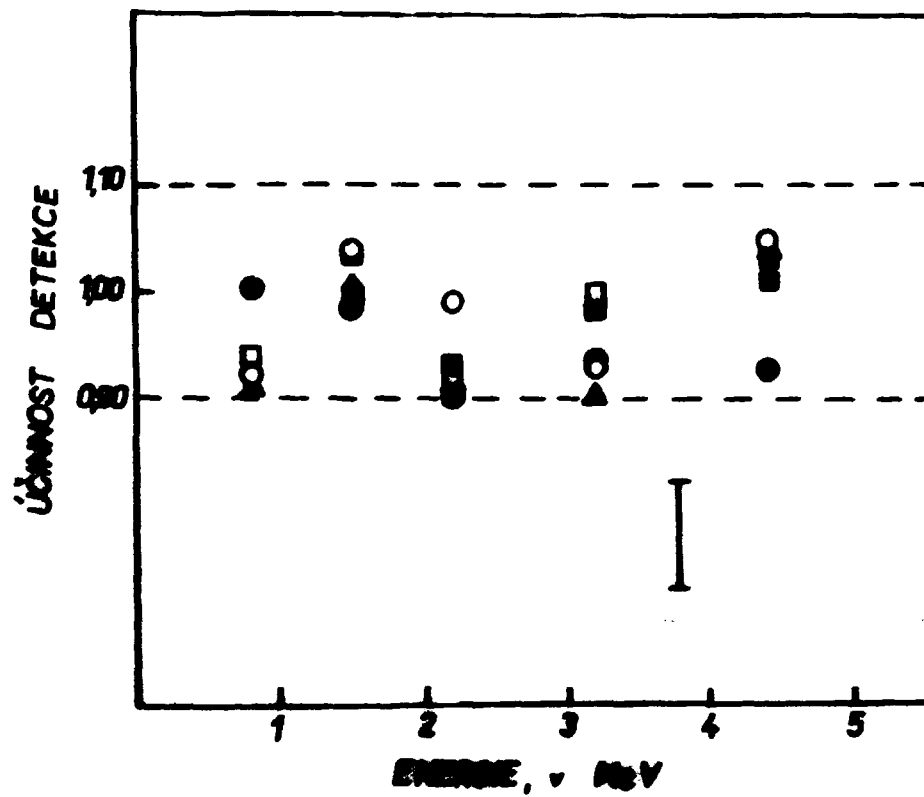
Obr. 1



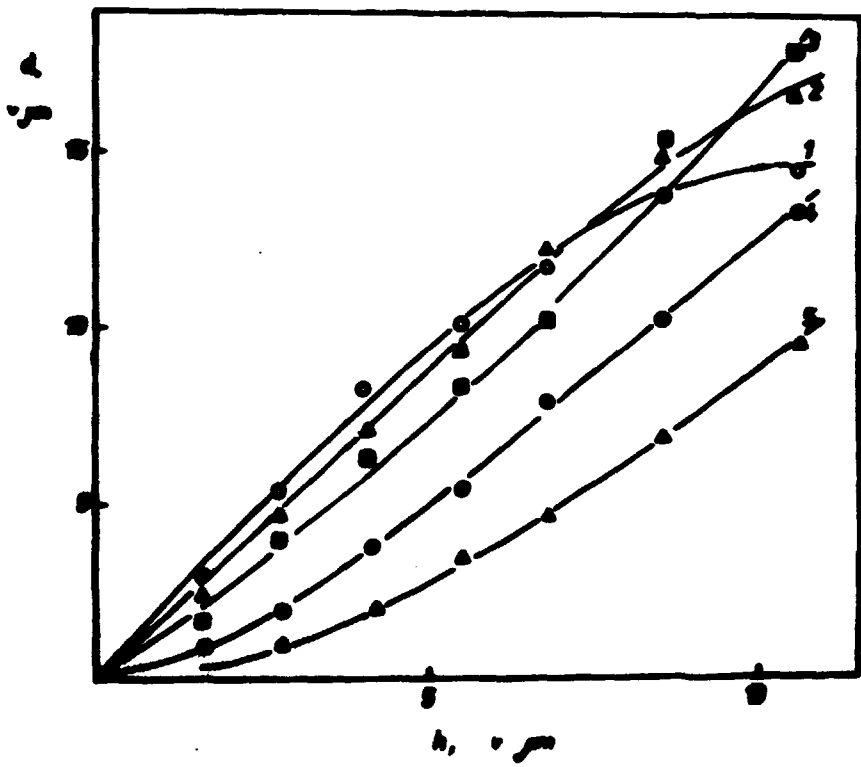
Obr. 2



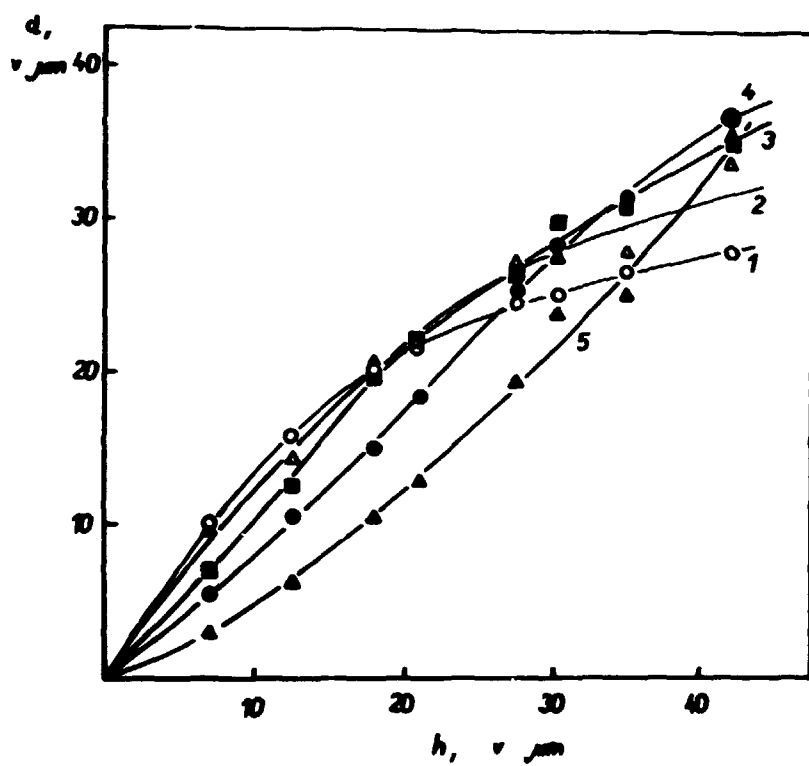
*Obr. 3*



Obr. 4

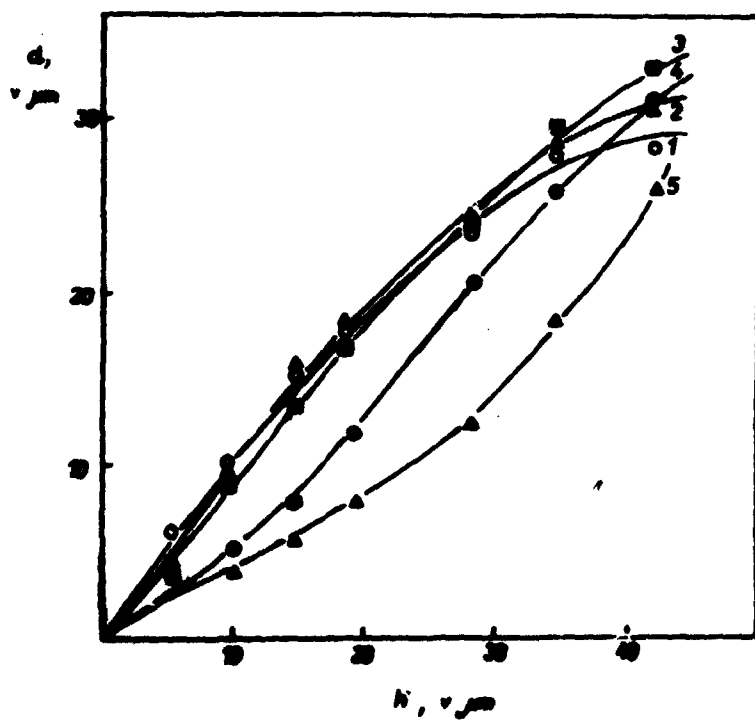


Obr. 5

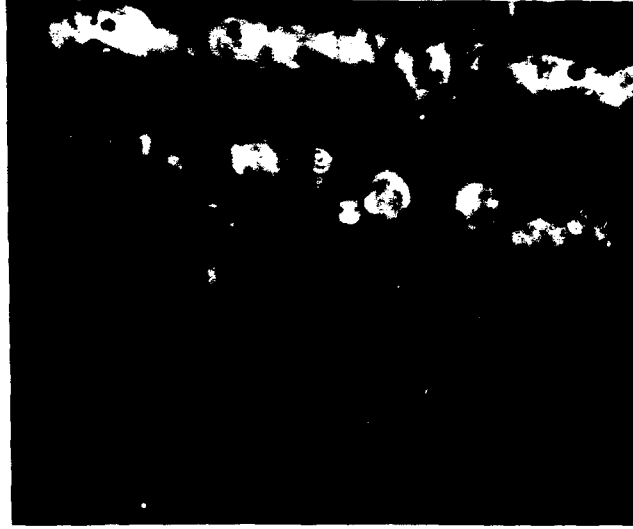


Obr. 6





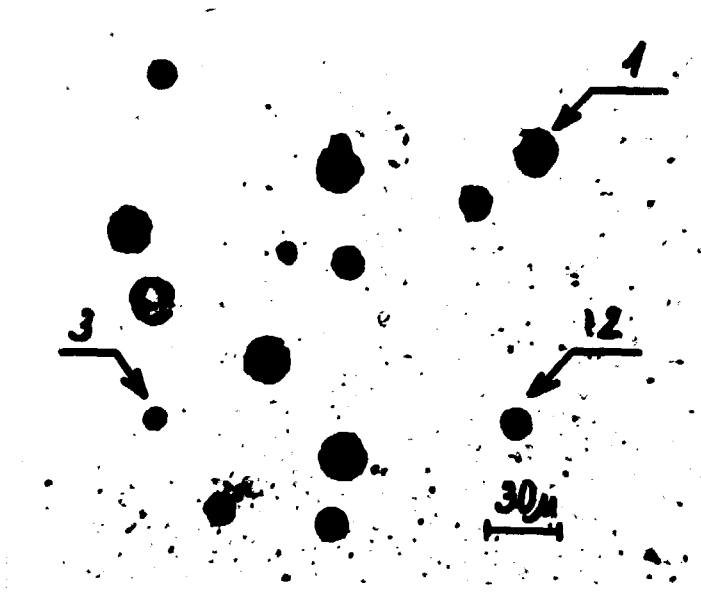
Obr. 7



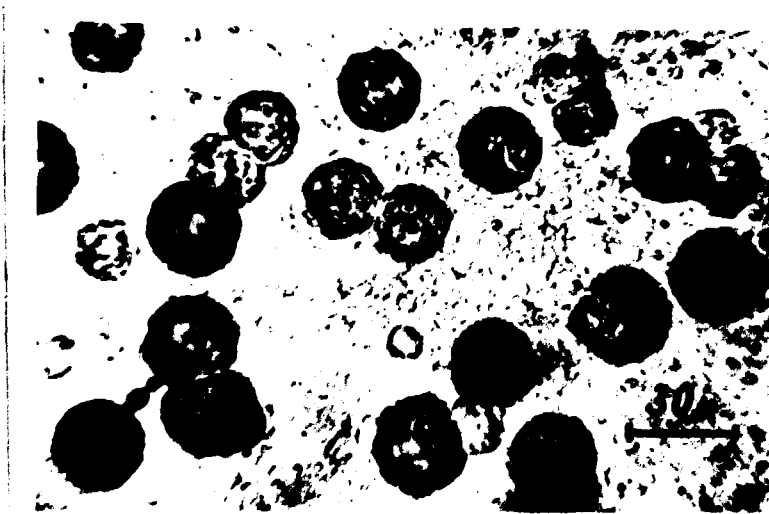
*Obr. 8*



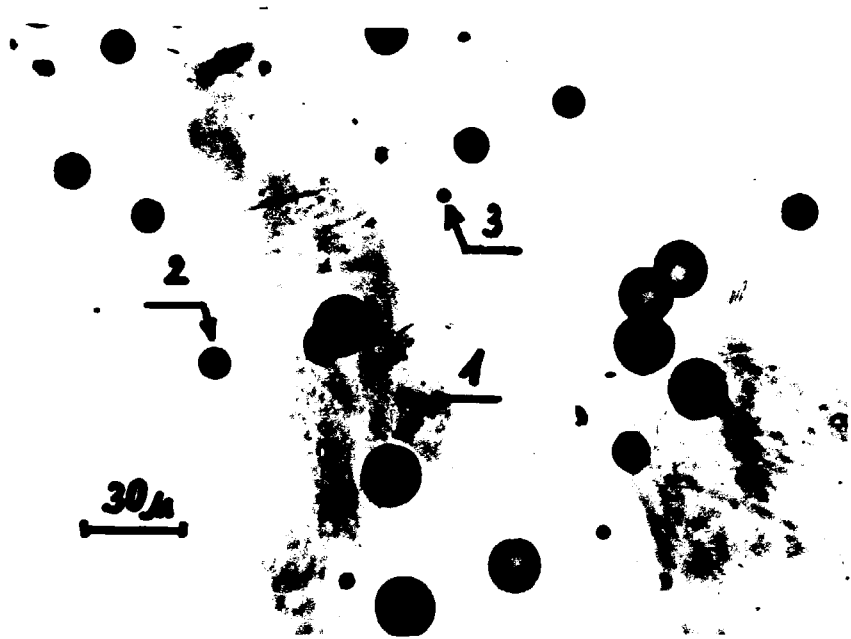
*Obr. 11*



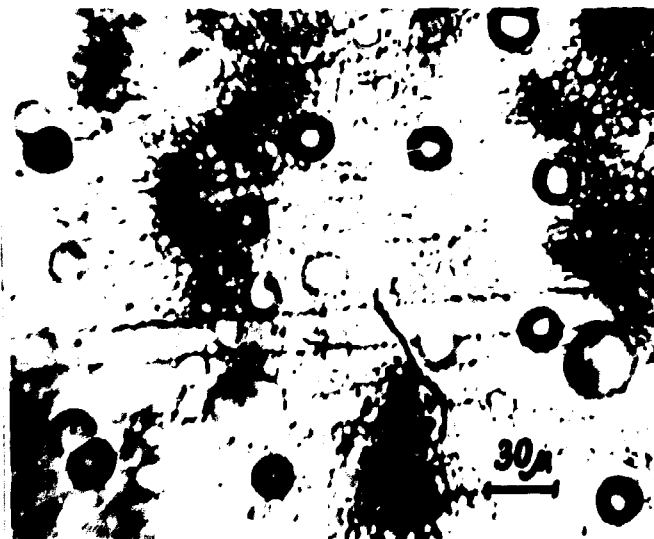
Obr. 9



Obr. 12



Obr.10



Obr.13

Literatura :

1. Fleischer R.L., Price P.B., Walker R.M.:  
Ann.Rev.Nucl.Sci. 15, 1 (1965)
2. Blanc D.: Radioprotection 5, 37, 115, 201 (1970)
3. Novotný J.: Kandidátská disertační práce FJFI ČVUT, Praha 1970
4. Várnagy M., Czikai J., Szegedi S., Nagy S.:  
Nucl.Instr.Meth. 89, 27 (1970)
5. Unruh C.M., Baumgartner W.V., Kocher L.F., Brackenbush L.W., En  
Endress G.W.R.: "Neutron Monitoring", IAEA, Vienna 1967, s.433
6. Widell C.O.: "Neutron Monitoring", IAEA, Vienna 1967, s.417
7. Burger G., Grünauer F., Paretzke H.: "Advances in Physical and  
Biological Radiation Detectors", IAEA, Vienna  
1971, s.349
8. Pretre S.B.: Symposium IAEA on Neutron Monitoring for Radiation  
Protection, Vídeň 1972, ref. SM-167/14
9. Becker K.: Health Physics 16, 13 (1969)
10. Piesch E.: "Advances in Physical and Biological Radiation  
Detectors", IAEA, Vienna 1971, s.399
11. Jozefowicz K.: Symposium IAEA on Neutron Monitoring for  
Radiation Protection, Vídeň 1972, ref. SM-167/36
12. Tynons B.J., Tuyn J.W.", Baerli J.: Symposium IAEA on Neutron  
Monitoring for Radiation Protection, Vídeň 1972,  
ref. SM-167/20
13. Blanford G.E., Jr., Fain J., Monnin M., Montret M., Touzery C.:  
referát na 8. mezinárodní konferenci o jaderné  
fotografii a detektorech stop v pevné fázi,  
Bukurešť, červenec 1972

14. Benton E.V.: Proc. 7<sup>e</sup> Coll International de photographie corpusculaire et des detecteurs visuels solides, Barcelona 1970, s.127
15. Somogyi G., Gulyas J.: Radioisotopy 13, 549 (1972)
16. Somogyi G., Schlenk B., Várnagy M., Meskó L., Valek A.: Nucl. Instr. Meth. 63, 189 (1968)
17. Aglincev K.K.: "Dosimetrie ionisačního záření", SNTL Praha 1961, s.203
18. Somogyi G., Várnagy M., Medweczky L.: Rad. Effects 5, 111 (1970)
19. Tuyn J.W.N.: KR-134, Kjeller Report, Norway (1969)
20. Somogyi G., Szalay A.S.: Atomki Közl. 14, 113 (1972)
21. Spurný F.: referát na 8.mezinárodní konferenci o jaderné fotografii a detektorech stop v pevné fázi, Bukurešť, červenec 1972
22. Khan H.A., Durrani S.A.: Nucl. Instr.Meth. 98, 229 (1972)
23. Sborník referátů přednesených na 8.mezinárodní konferenci o jaderné fotografii a detektorech stop v pevné fázi, Bukurešť, červenec 1972