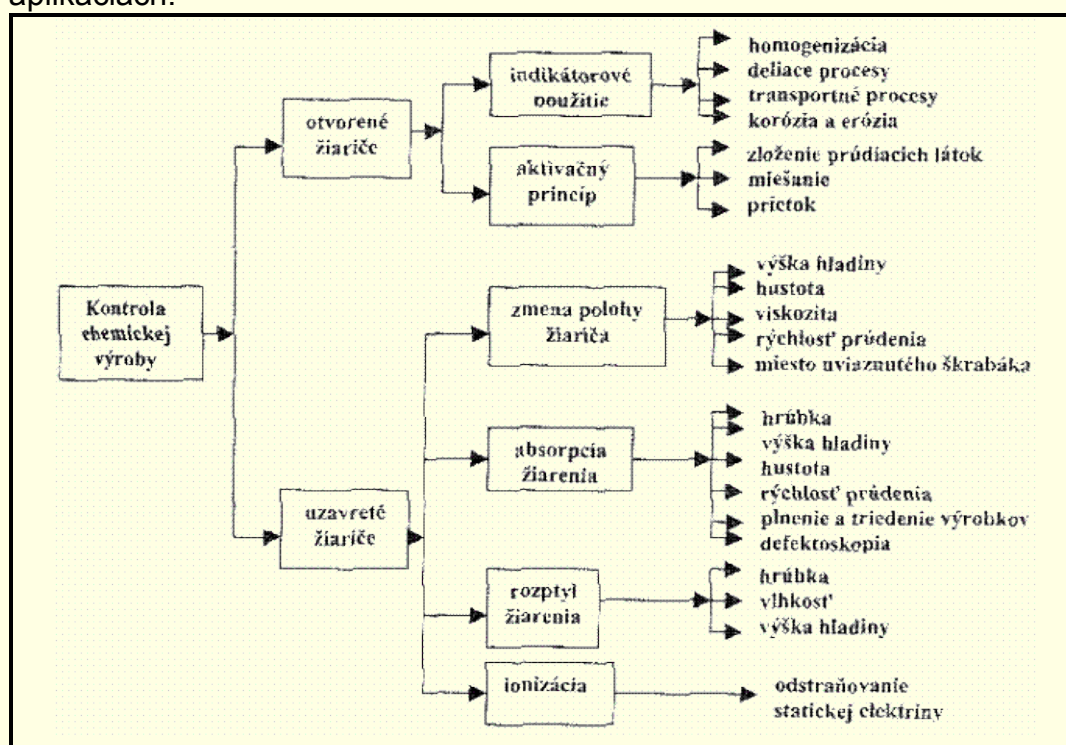


# **RÁDIONUKLIDY V KONTROLE CHEMICKEJ VÝROBY A V INÝCH PRIEMYSELNÝCH APLIKÁCIÁCH**

## **UČEBNÉ CIELE**

Poznať možnosti použitia otvorených a uzavretých žiaričov v priemysle na štúdium a meranie homogenizácie látok, deliacích a transportných procesov, rýchlosti prúdenia, korózie a erózie, na určenie poškodeného miesta na potrubí, na využitie aktivačného princípu, na meranie výšky hladiny kvapaliny, hustoty roztokov, hrúbky materiálov, na kontrolu plnenia obalov, na odstránenie statickej elektriny a v iných aplikáciách.



Obr. 1-0.

Ilustrácia možnosti použitia rádionuklidov a jadrového žiarenia na kontrolu priemyselnej výroby

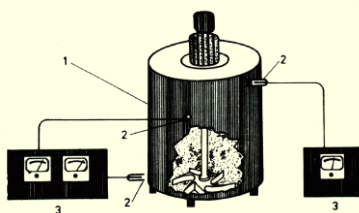
## **KLÚČOVÉ SLOVÁ**

rádionuklidy, chemická výroba, homogenizácia, deliace procesy, transportné procesy, žiariče, aktivácia, aktivačný princíp, absorpcia, rozptyl, ionizácia, korózia, erózia, viskozita, hustota, hrúbka, defektoskopia, vlhkosť, výška hladiny, rýchlosť prúdenia, scintilačný detektor, aktivačná analýza, bezdotykové meranie, statická elektrina.

## RÁDIONUKLIDY V KONTROLE CHEMICKEJ VÝROBY A V KONTROLE INÝCH PRIEMYSELNÝCH VÝROB

Spotreba výrobkov chemického priemyslu sa ustavične zvyšuje. Vyžaduje sa nielen dostačujúce množstvo produktov, ale aj kvalita. Aby sa vyhovelo zvyšujúcim sa požiadavkám, vznikli obrovské priemyslové podniky, konštruujú sa čoraz novšie a zložitejšie stroje, vyvíjajú sa nové výrobné postupy.

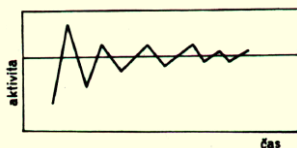
Dôležitým pomocníkom v modernej technike sú rádioaktívne nuklidy, ktoré umožňujú tie najpresnejšie merania a môžu samočinne kontrolovať a riadiť výrobné procesy. Nové postupy, pri ktorých používame rádionuklidy, zvyšujú výťažnosť, zlepšujú kvalitu a znižujú výrobné náklady. Rádionuklidy a zdroje jadrového žiarenia sa môžu pri týchto aplikáciách použiť v podobe otvorených alebo uzavretých žiaričov



Obr. 1a.

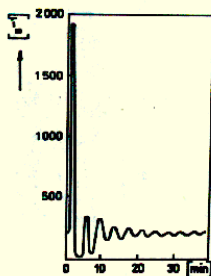
Rádioindikátorová kontrola procesu homogenizácie

- 1 – miešací tank,
- 2 – detektor,
- 3 – indikačný prístroj



Obr. 1b.

Závislosť zmeny aktivity od času pre vzorky odobraté z rovnakého miesta



Obr. 1c.

Ako konkrétny príklad rádioindikátorového sledovania priebehu homogenizácie je uvedená zmena aktivity počas miešania ortuťi v elektrolytickej vani. Ako indikátor sa použil rádionuklid  $^{203}\text{Hg}$ . Priebeh homogenizácie 1200 kg ortuťi v elektrolytickej vani – závislosť zmeny aktivity od času.

### Využitie otvorených žiaričov

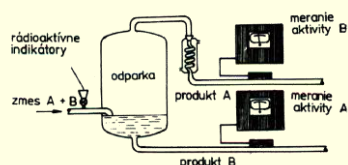
V priemyselných technológiách možno na kontrolu niektorých parametrov a veličín používať aj otvorené žiariče. Ide spravidla o ich indikátorové použitie.

## Homogenizácia

Pri indikátorovom skúmaní homogenizácie sa jedna zo zložiek zmesi označí vhodným rádioaktívnym indikátorom a potom sa počas miešania meria rádioaktivita diskontinuálne (meranie vzoriek odobratých v rôznych časových intervaloch), alebo kontinuálne, t.j. pomocou detektorov umiestnených priamo v miešacom zariadení alebo mimo neho. Grafická závislosť rádioaktivity od času ukáže okamih, od ktorého je ďalšie predlžovanie miešania málo efektívne. Stupeň homogenizácie dosiahnutý v tomto okamihu je charakteristický pre daný typ zmesi a miešacie zariadenie. Indikátorovou metódou možno výrazne zrýchliť, zjednodušiť a spresniť kontrolu procesu **homogenizácie** (►Obr.1.).

## Deliace procesy

Rádioaktívne nuklidy vo funkcii indikátorov umožňujú sledovať a kontrolovať väčšinu **separačných procesov** (►Obr.2.) v chemickom priemysle, ako sú napr. zrážanie, kryštalizácia, extrakcia, destilácia, filtrácia a iné. Princíp indikátorového sledovania deliaceho procesu spočíva v tom, že k skúmanej zmesi látok A + B sa pridávajú ich rádioaktívne indikátory. Účinnosť deliaceho procesu sa kontinuálne sleduje meraním rádioaktivity indikátora zložky A v produkte B a indikátora zložky B v produkte A.



Obr.2.

Schéma indikátorového sledovania separačného procesu

K skúmanej zmesi látok A + B sa pridávajú ich rádioaktívne indikátory. Účinnosť deliaceho procesu sa kontinuálne sleduje meraním rádioaktivity indikátora zložky A v produkte B a indikátora zložky B v produkte A.

Na vysvetlenie postupu pri týchto výskumoch uvedieme konkrétny príklad z oblasti výroby čistých chemikálií. Napríklad pri výrobe síranu manganatého sa na čerstvo zrážanom hydroxide manganatom veľmi ľahko strhávajú zinkové nečistoty. Pri pokusoch boli nečistoty označené  $^{65}\text{Zn}$  a merala sa aktivita výsledného produktu. Skúmali sa pritom rozličné metódy na zníženie množstva strhávaného zinku. Najnižšie hodnoty rádioaktivity vo výsledných produktoch ukazovali na najoptimálnejšiu čistiacu metódu. Veľmi dôležité sú výskumy zamerané na určenie optimálnych parametrov extrakcie a najmä nesprávne dávkovanie rozpúšťadiel. Rádioindikátorovou metódou sa skúma účinnosť oddelenia rozpúšťadiel od rozpustných látok a aj oddeľovanie zmesí kvapalín destiláciou.

## Meranie rýchlosti prúdenia tekutiny

Rozličnými indikátorovými metódami môžeme merať rýchlosť prúdenia kvapalín resp. plynov v potrubí.

Pri jednej z nich sa do potrubia v určitej vzdialenosti od seba umiestnia dva detektory na meranie rádioaktivity. Pred prvý detektor sa vstrekuje určité množstvo rádioaktívneho indikátora a zistí sa časový interval, v ktorom obidva meracie prístroje

ukázu maximálnu aktivitu. Prietoková rýchlosť sa vypočíta pomocou časového intervalu, ktorý rádioaktívna látka potrebuje na prechod úsekom medzi obidvoma detektormi.

Druhá metóda, pri ktorej využívame princíp izotopového zriedenia, je osobitne vhodná na meranie veľkých prietokových množstiev. Do meraného prúdu kvapaliny alebo plynu sa primieša malý prúd rádioaktívnej látky známej hmotnostnej aktivity ( $a_1$ ). Na mieste, kde sa už dôkladne premiešala rádioaktívna látka s meranou látkou, zmeriame hmotnostnú aktivitu zmesi  $a_2$ . Ak poznáme rýchlosť pridávania rádioaktívnej látky  $v_1$ , prierezy potrubia v mieste vstreknutia rádioaktívnej látky  $S_1$ , a v mieste merania rádioaktivity  $S_2$ , potom hľadanú rýchlosť prúdenia  $v_2$  môžeme vypočítať na základe stupňa zriedenia rádioaktívnej látky podľa vzťahu

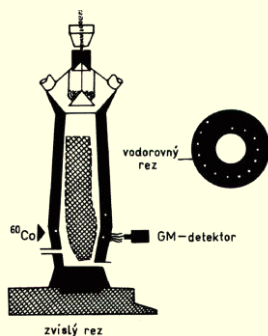
$$a_1 S_1 v_1 = a_2 S_2 v_2$$

V obidvoch uvedených metódach sa používajú rádionuklidy ako otvorené žiariče.

### Korózia a erózia

Skúmanie korózie a erózie, ako aj protikorozívnych prostriedkov v priemyslových podmienkach, a z toho vyplývajúce konkrétne opatrenia, umožňujú zabrániť veľkým národohospodárskym škodám. Ukážeme to na praktickom príklade.

V priemysle sa často používajú ohňovzdorné alebo kyselinovzdorné výstelky zo silikátových materiálov na ochranu a izoláciu zariadení od ničivého pôsobenia vysokých teplôt, agresívnych prostredí a na zmenšenie tepelných strát. Stav výstieliek treba kontrolovať. Pri kontinuálnych procesoch často používaných v metalurgii a v chemickom priemysle sa proces preruší, zariadenia sa čiastočne vyprázdnia a kontroluje sa stav výstelky. Táto metóda je však veľmi nákladná. Pre nás je nevyhnutné vedieť, kedy treba proces prerušiť (napr. kedy treba nechať pec vyhasnúť) a urobiť novú výstelku. Keď nevystihneme tento okamih, môže dôjsť k vážnym nehodám a ak vyradíme pec z prevádzky veľmi skoro, vznikajú zasa zbytočné straty.



Obr.3.  
Kontrola výstelky.  
Rádioindikátorová kontrola výstelky vysokej pece

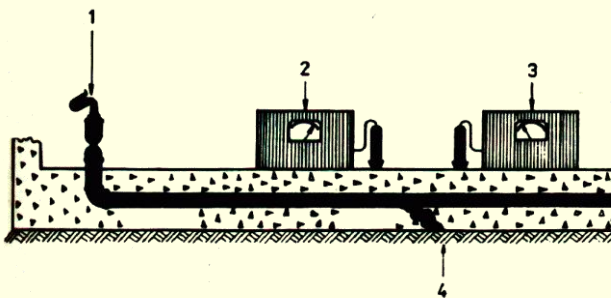
Rádioindikátorová metóda umožňuje uskutočniť spoľahlivú a rýchlu **kontrolu výstelky** (►Obr.3.) bez prerušenia výrobného procesu (obr.19.10). Pri týchto kontrolách sa najčastejšie ako indikátor používa  $^{60}\text{Co}$ . Do jednotlivých vrstiev výstelky sa osadia na rôznych miestach malé ampulky rádiokobaltu. Vyberajú sa kritické miesta, kde sa výstelka najrýchlejšie znehodnocuje. Takto možno detektormi zistiť zvonku, či je rádiokobalt ešte na svojom mieste a teda či je príslušná vrstva výstelky doposiaľ neporušená. Ak sa už na týchto miestach nezaregistruje žiarenie, značí to, že určité vrstvy výstelky sú vypálené. Stupeň opotrebenia pece možno určiť aj sledovaním rádioaktivity kovu. Keď sa totiž stena opotrebuje až k miestu, kde je ampulka, táto sa poruší a rádionuklid sa dostane do taveniny.

Rádioaktívnymi indikátormi sa kontroluje aj nepriepustnosť lokálnych ochranných vrstiev, napr. použitím  $^{60}\text{Co}$  a  $^{64}\text{Cu}$  sa kontrolovala nepriepustnosť ochrannej lakovej vrstvy, ktorou sa chránili oceľové predmety pred koróziou.

## Transportné procesy

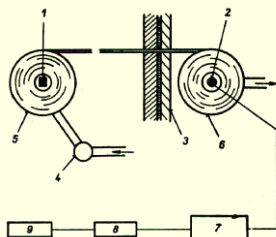
Dôležitým chemicko-inžinierskym problémom je určenie stredného času, počas ktorého prechádza kvapalina cez nádrž, napr. cez reaktor, v ktorom prebieha určitá chemická reakcia. Rentabilita výroby veľmi závisí od tohto času. Ak je veľmi krátky, výťažok reakcie je nízky. Ak je veľmi dlhý, nevyužije sa výrobná kapacita zariadenia. Rádioaktívne indikátory umožňujú vyriešiť aj takéto problémy. Najprv určíme prietok kvapaliny cez zariadenie, resp. objem komory (využitím princípu izotopovej zriedovacej metódy) a potom vhodným matematickým spracovaním aj stredný čas pretekania kvapaliny zariadením.

Rádioindikátorovou metódou môžeme kontrolovať nielen **potrubie** (►Obr.4.) na povrchu, ale aj potrubie uložené v zemi alebo pod vodou. Potrubím sa pretlačí kvapalina označená rádionuklidom emitujúcim  $\gamma$ -žiarenie. Prenosnými detektormi meriame rádioaktivitu nad potrubím. Za poškodeným miestom, kde rádioaktívna kvapalina uniká, detekčné zariadenie nezaregistruje rádioaktivitu.



Obr.4.  
Kontrola potrubia.  
Rádionuklidové určenie  
poškodeného miesta na potrubí  
1 – prídavok  $^{131}\text{I}$ ,  
2 – pozitívny údaj,  
3 – bez zmeny,  
4 – poškodené miesto

Môže sa postupovať aj tak, že potrubím sa pretlačí rádioaktívna kvapalina. Na netesných miestach kvapalina unikajúca z potrubia vsakuje do zeme. Po pretlačení rádioaktívnej kvapaliny sa potrubie prepláchne, aby sa z neho odstránili zvyšky rádioaktívnej kvapaliny. Stlačeným vzduchom sa potrubím po celej dĺžke pretlačí valec, v ktorom je umiestnený merací prístroj so zapisovačom, ktorý zaznamená miesta s väčšou aktivitou. Z rýchlosti, akou sa valec s meracím zariadením v potrubí pohyboval a z času sa potom presne určí, kde sa tieto miesta nachádzajú, a kde je teda potrubie netesné.



Obr.5a.  
Zariadenie na kontinuálnu aktivačnú analýzu prúdiacich roztokov  
1 – neutrónový zdroj,  
2 – scintilačný detektor,  
3 – tienenie,  
4 – prietokomer,  
5 – ožarovacia komora,  
6 – meracia komora,  
7 – zdroj vysokého napätia a zosilňovač,  
8 – integrátor,  
9 – zapisovač

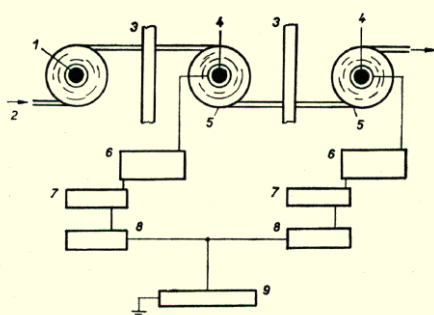
### Obr.5a.

Kontinuálna aktivačná analýza. Na obr. je schéma kontinuálneho kontrolného systému, ktorý sa skladá z dvoch polyetylénových trubíc zvinutých do kotúča. V strede jedného polyetylénového kotúča je (Ra-Be) zdroj rýchlych neutrónov (aktivačná komora). Druhý polyetylénový kotúč má v prostriedku scintilačný detektor (detekčná komora). Signál zo scintilačného detektora spracúva dvestokanálový amplitúdový analyzátor. Týmto zariadením sa stanovil napr. obsah striebra a selénu v prietoku vodných roztokov.

## Kontinuálna kontrola zloženia prúdiacich látok

Aktivačný princíp možno použiť na kontinuálnu kontrolu chemického procesu tam, kde kontrolované látky aktiváciou poskytujú krátkožijúce rádionuklidy s dobou polpremeny menšou než 1 min.

Kontinuálnu aktivačnú analýzu možno použiť všade tam, kde sa vyžaduje nepretržité stanovovanie určitého prvku a jeho jadrové charakteristiky sú vhodné na takéto použitie. Ide napr. o kontinuálne stanovovanie obsahu rôznych kovov v rudách, prímiesí v uhlí alebo rôznych nežiadúcich prvkov v rope. Môže sa použiť aj v mnohých odboroch chemického priemyslu, pri kontrole výrobkov farmaceutického priemyslu a v metalurgii.



Obr.5b.

Meranie prietokovej rýchlosti využitím kontinuálnej aktivácie

- 1 – neutrónový zdroj,
- 2 – aktivačná komora,
- 3 – tienenie,
- 4 – detektor,
- 5 – meracia komora,
- 6 – zdroj vysokého napätia a zosilňovač,
- 7 – logaritmickej integrátor,
- 8 – sumujúci zosilňovač,
- 9 – zapisovač

Použitím aktivačnej techniky sa riešila kontrola **procesu miešania** (►Obr.5.) dvoch látok. Produkt miešania sa aktivoval a meralo sa  $\gamma$ -spektrum. Získané  $\gamma$ -spektrum sa podrobilo analýze a výsledok sa viedol do analógového počítača, ktorý tento signál porovnával s programovým signálom a pomocou regulačných ventilov riadil miešanie zmesi.

Na princípe kontinuálnej aktivácie pracuje aj aktivačný **prietokomer** (►Obr.5.). Meraný roztok prechádza aktivačnou komorou a potom dvoma detekčnými komorami. Objem spojenia medzi prvou a druhou detekčnou komorou je presne známy. Z rozdielu aktivít nameraných v prvej a druhej detekčnej komore a zo známej doby polpremeny možno zistiť prietokovú rýchlosť.

## Využitie uzavretých žiaričov

Rádionuklidové kontrolné metódy na princípe použitia uzavretých žiaričov pracujú zväčša bez priameho dotyku s kontrolovaným objektom. Môžu sa preto použiť v chemicky agresívnych, výbušných, alebo toxických prostrediach, v podmienkach extrémnych teplôt a tlakov. Pri použití rádionuklidov vysielajúcich  $\gamma$ -



žiarenie nie sú prekážkou ani hrubšie kovové steny priemyslových zariadení a aparátúr (potrubí, nádrží, kotlov a pod.). Rádionuklidové kontrolné a meracie zariadenia charakterizuje malá zotrvačnosť, vysoká citlivosť a dobrá stabilita.

Aplikácia rádionuklidov vo forme uzavretých žiaričov pri kontrole výroby sa zakladá na štyroch princípoch. Sú to:

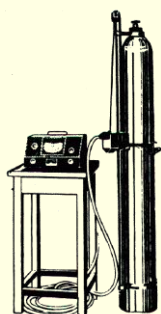
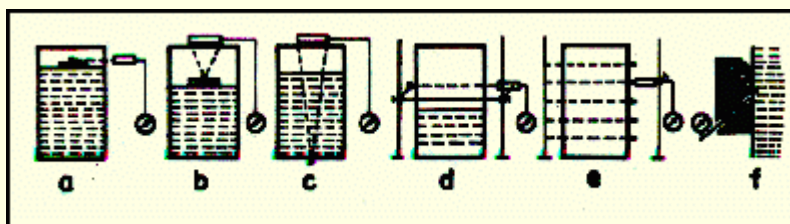
1. **Zmena polohy žiariča.** Vplyvom zmeny kontrolovanej veličiny sa tu mení alebo vzdialenosť medzi zdrojom a detektorom alebo efektívna šírka zväzku žiarenia. Takto možno merať vzdialenosť, posuny, hladiny a iné geometrické parametre.
2. **Absorpcia žiarenia.** Absorpcia rádioaktívneho žiarenia v skúmanom materiáli závisí od jeho rozličných fyzikálnych, mechanických a látkových parametrov. Táto skutočnosť sa široko využíva pri chemickej kontrole a regulácii (napr. meranie hrúbky, hustoty, výšky hladiny, rýchlosti prúdenia, atď.).
3. **Rozptyl žiarenia.** Jav spätného rozptylu  $\beta$ -žiarenia a  $\gamma$ -žiarenia sa môže výhodne využiť pri kontrole predovšetkým hrúbky. Podobne sa môže využiť aj spomaľovanie a rozptyl neutrónov na kontinuálnu kontrolu vlhkosti a merania hladiny.
4. **Radiačná ionizácia plynov.** Ionizačné účinky rádioaktívneho žiarenia sa uplatnili v chemickom priemysle pri odstraňovaní statickej elektriny, pri meraní hustoty a tlaku plynov a pri meraní rýchlosti prúdenia plynov.

**Obr.6a. Rôzne princípy rádionuklidovej kontroly úrovne hladiny kvapalín a tuhých látok.**

Žiarič umiestnime do plaváka na hladine kvapaliny vnútri nádrže a detegujeme jeho žiarenie na vonkajšej strane nádrže - a, b. So zmenou výšky hladiny kvapaliny sa mení vzdialenosť medzi zdrojom žiarenia a detektorom, a tým aj intenzita detegovaného žiarenia.

Zdroj žiarenia sa môže umiestniť pod dno nádrže a detektor nad hladinu. Absorpcia žiarenia bude potom závisieť od výšky stĺpca kvapaliny - c. Zdroj žiarenia možno umiestniť na jednej strane nádrže a detektor na druhej strane približne v rovnakej výške, prípadne s možnosťou spoločného posunu vo vertikálnom smere - d. Pomocou niekoľkých žiaričov umiestnených nad sebou alebo jedným žiaričom v tvare tyče možno potom merať výšku hladín vo veľkom rozsahu - e.

Výšku hladín možno merať aj pomocou spätného rozptylu rádioaktívneho žiarenia. Na jednej strane nádrže sa umiestni žiarič aj detektor a vhodným tienením sa zabráni primárnemu zväzku vstupovať do detektora f. Len čo kvapalina v nádrži vystúpi do potrebnej výšky, začne odrážať žiarenie vychádzajúce zo žiariča do detektora.

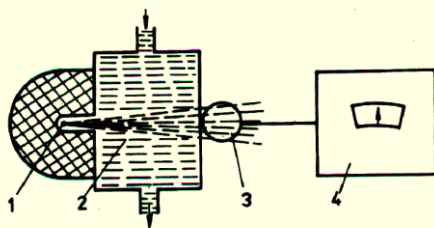


**Obr.6b.**  
Zariadenie na meranie hladiny tekutého chlóru v tlakovej nádobe

## Meranie výšky hladiny

Pri rozličných výrobných postupoch treba často merať výšku **hladiny kvapaliny** (►Obr.6.) alebo tuhých látok v oceľových nádržiach, bazénoch, vodojemoch a pod. Je to obťažné najmä pri kvapalinách, ktorých pary sú jedovaté. Pri použití mechanického indikátora výšky hladín týchto kvapalín (plavákové merače výšky hladín) by mohlo nedokonalé tesnenie znamenať veľké nebezpečenstvo. Meranie pomocou rádionuklidov je pomerne jednoduché a možno pri ňom použiť rôzne princípy.

Vo väčšine prípadov sa pri týchto metódach meria ionizačný prúd, ktorý v meracom prístroji zapríčiňuje vznik alebo zníženie meraného napätia. Toto napätie alebo iba rozdiel meraného a kompenzačného napätia sa zosilnia a ovláda sa nimi potom ukazovateľ meracieho prístroja alebo servomotor, ktorý pôsobí na prvky príslušného regulačného zariadenia. Tak možno napr. rôzne opísané bezdotykové merače výšky hladiny využiť na reguláciu prítoku a odtoku kvapalín z reakčných nádob, nástreku a refluxu kolón, na dávkovanie extrakčných činidiel a pod.



Obr.7.

Absorpčná metóda merania hustoty.

- 1 – zdroj žiarenia,
- 2 – meraná kvapalina,
- 3 – detektor,
- 4 merací prístroj

## Meranie hustoty

Meranie hustoty prúdiacej kvapaliny (ropy, rozličných olejov, atď.) sa zakladá na absorpcii rádioaktívneho žiarenia meraným prostredím. Pri rovnakej hrúbke vrstvy látky absorpcia žiarenia je úmerná jej **hustote** (►Obr.7). Pri zmene hustoty meranej kvapaliny sa zmení aj intenzita elektrického prúdu v obvode meracích prístrojov, ktoré nám zmenu ukážu. Hustotu možno určiť aj na základe spätného rozptylu  $\gamma$ -žiarenia. Žiarič i detektor sa umiestnia v tesnej blízkosti na stene potrubia alebo nádrže s meranou kvapalinou a priamy vstup  $\gamma$ -žiarenia zo zdroja do detektora zamedzí vrstva olova. Intenzita spätne rozptýleného žiarenia je úmerná hustote meranej kvapaliny.

## Meranie hrúbky

Všade tam, kde sa vyrábajú valcované predmety, fólie z plastov, rozličné povlaky, plechy, atď., sú ťažkosti pri kontrole ich hrúbky. Všetky tieto výrobky musia mať určitú hrúbku, ktorá sa síce môže líšiť so zreteľom na cieľ použitia, no pri danom druhu výrobku musí byť rovnaká.

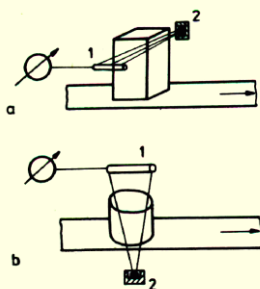


Udržiavať stálu hrúbku valcovaných látok bolo vždy ťažké, lebo valcovacie stroje zapríčiňujú odchýlky niekoľko desiatín milimetra. Po zistení odchýlky priamym meraním bolo treba stroj zastaviť a správne nastaviť. Až rádionuklidy umožnili uskutočniť tieto merania bez prerušenia prevádzky s presnosťou na tisícinu milimetra.

Pri kontrole **hrúbky materiálu** (►Obr.8.) sa postupuje tak, že na jednej strane sledovaného materiálu sa umiestni zdroj žiarenia a na druhej strane detektor žiarenia spojený s meracím prístrojom. Údaj meracieho prístroja závisí od hrúbky skúmaného materiálu (čím hrubší je predmet, tým väčšia je absorpcia žiarenia). Signál z meracieho prístroja možno použiť aj na automatickú reguláciu práce stroja, ktorý tento materiál obrába. Keď je napríklad hrúbka materiálu menšia ako sa predpisuje, signál uvedie do činnosti špeciálnu páku, ktorá ihneď oddiali valce stroja a hrúbka valcovaného materiálu sa zväčší. Rovnako možno hrúbku valcovaného materiálu aj zmenšovať.

Na meranie hrúbky možno využiť aj spätný rozptyl  $\beta$ -žiarenia. Táto metóda sa používa na meranie hrúbky tenkých filmov ktoré možno merať len z jednej strany. Výsledky meraní sú tým presnejšie, čím väčší je rozdiel protónového čísla látky a podložky.

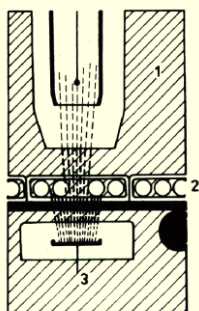
Meraním absorpcie a spätného rozptylu žiarenia - podobne ako pri hrúbke - možno stanovovať aj vlhkosť, napúšťanie materiálu nejakou látkou a pod.



Obr.9a.

**Kontrola plnenia obalov**

- 1 – detektor,
- 2 – zdroj žiarenia



Obr.9b.

**Kontrola plnenia škatúl ampulkami**

meraním absorpcie  $\gamma$ -žiarenia –v danom prípade na detektor dopadá väčšia intenzita žiarenia, pretože v škatuli chýba jedna ampulka

- 1 – detektor,
- 2 – škatule s ampulkami,
- 3 – zdroj žiarenia

Presnosť bezdotykového merania hrúbky závisí predovšetkým od presnosti a spoľahlivosti používaných meracích prístrojov a od vhodnej voľby žiariča podľa druhu prežarovaného materiálu. Zväčša sa používajú ionizačné komory v kompenzačnom zapojení, kde kompenzačné napätie z pomocného stabilizovaného zdroja nastavíme na takú hodnotu, ktorá práve vyrovná potenciálový spád vzniknutý na komore ionizačným prúdom, ak je žiarenie zoslabené vyžadovanou hrúbkou materiálu. Prípadný rozdiel obidvoch napätí sa zosilňuje a privádza na indikačný prístroj,

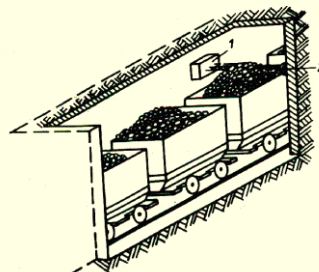
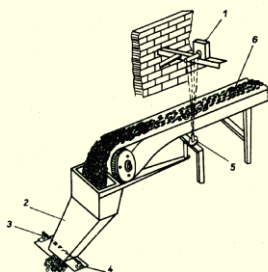
ktorého stupnica môže byť priamo očiachovaná na odchýlky hrúbky od normy. Kompenzačné napätie môže byť vytvorené aj pomocou druhej rovnakej ionizačnej komory, do ktorej žiarenie vstupuje pri rovnakých geometrických podmienkach cez štandardný absorbér s danou hrúbkou. Na meranie absorpcie  $\gamma$ -žiarenia sa väčšinou používajú scintilačné detektory.

Pri voľbe zdroja žiarenia sa uplatňujú dve protichodné tendencie. Ak použijeme zdroj s malou energiou vysielaného žiarenia, sú rozdiely absorpcie v málo odlišných absorbujúcich vrstvách síce väčšie, ale súčasne sa väčšia časť žiarenia ešte pred vstupom do detektora absorbuje, takže treba použiť veľmi silné zdroje. Ak naopak použijeme zdroje s veľkou energiou, meranie bude málo presné, lebo sa ťažko zisťujú príliš malé odchýlky v jeho absorpcii. Pri výbere žiariča musíme preto vychádzať predovšetkým z hodnôt hrúbky meraného materiálu, jeho hustoty a veľkosti pravdepodobných hodnôt odchýlok jeho hrúbky.

## Kontrola plnenia obalov

S vývojom baliacej techniky úzko súvisí aj zavádzanie automatických dávkovacích a baliacich strojov. Aj pri týchto strojoch sa stane, že pre poruchu niektoré škatule, fľaše a ampulky zostávajú prázdne alebo len čiastočne naplnené. Uzavreté žiariče môžeme výhodne použiť aj na kontrolu kontinuálnych **plniacich a baliacich** (►Obr.9.) procesov. Kontrolné zariadenie môže byť usporiadané tak, že na jednej strane dopravného pásu sa nachádza zdroj žiarenia a na druhej strane detektor, alebo zdroj žiarenia je pod dopravným pásom, kým detektor nad kontrolovaným materiálom. Kontrolované materiály prechádzajú medzi zdrojom a detektorom. Metóda je založená na zníženej absorpcii žiarenia pri nedostatočnom naplnení nádoby, tuby, vrecúška atď., pri nesprávnom počte ampuliek v obale, atď.

$\gamma$ -reléy - relé je jednoduché zariadenie, ktoré tvorí detektor (alebo detektory) rádioaktívneho žiarenia, elektronická časť a relé. Po úprave impulzov v elektronickej časti sa zapne vstavané relé a zariadenie svetelnou alebo akustickou signalizáciou ohlasuje napr. prekročenie vopred určenej výšky hladiny. Zariadenie signalizuje iba dva stavy: áno - nie. Prvý stav (áno) je signalizovaný vtedy, keď intenzita žiarenia v mieste detektora prekročí určitú nastavenú hodnotu. Druhý stav (nie) je signalizovaný vtedy, ak intenzita žiarenia klesne pod určitú hodnotu.



### Obr.10a.

Kontrola prepravy materiálu na dopravnom páse

- 1, 3 – detektory,
- 4, 5 – zdroje žiarenia,
- 6 – dopravovaný materiál,
- 1, 5 – kontrola prítomnosti materiálu,
- 3 a 4 – signalizácia upchatia na prepravnej stanici

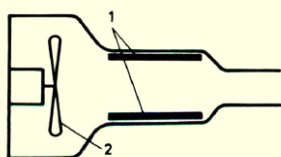
### Obr.10b.

Počítanie plných vozíkov pomocou  $\gamma$ -relé

- 1 – detektor,
- 2 – zdroj žiarenia;

žiarenie absorbujú len plné vozíky,  
poloprázdne vozíky žiarenie neabsorbujú

**$\gamma$ -relé** (►Obr.10), používame tam, kde sa pohybom sledovanej látky (napr. kvapaliny) alebo predmetu (napr. konzervová škatuľa, pivová fľaša, debna) poruší alebo zoslabí úzky zväzok  $\gamma$ -žiarenia. Uplatňuje sa v nespočetných aplikáciách v chemickom priemysle.



### Obr.10c.

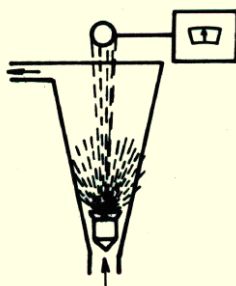
Odstraňovanie statickej elektriny

- 1 – rádioaktívna látka,
- 2 - ventilátor

## Odstraňovanie statickej elektriny použitím rádionuklidov

V niektorých odvetviach chemického priemyslu sa stretávame s problémom, ako odstraňovať elektrostatické náboje. Najčastejšie je to v prípadoch, keď sa pri výrobe rýchlo pohybujú látky s dobrými izolačnými vlastnosťami (napr. pri výrobe a spracovaní papiera, syntetických a chemických vlákien, ako je nylon, silon, acetátový hodváb, a iné) a keď pritom dochádza k treniu o iný druh nevodivého materiálu. Trením vznikajú veľmi silné elektrostatické náboje, ktoré pri určitých podmienkach môžu ľahko zapríčiniť požiar alebo výbuch. Okrem toho sú závažnou prekážkou plynulej výroby, lebo predmety, na ktorých sa nachádzajú elektrostatické náboje, sa navzájom veľmi silno odpudzujú alebo priťahujú. Dnes sa na odstraňovanie elektrostatických nábojov používajú rádioaktívne nuklidy. Rádioaktívne žiarenie vysielané rádionuklidmi ionizuje vzduch - robí ho vodivým, čo umožňuje odvádzať elektrostatické náboje.

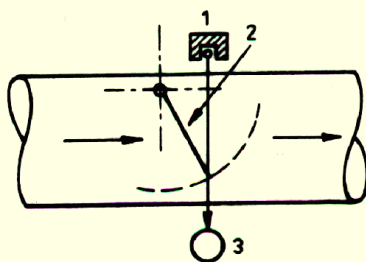
Metodicky sú známe dva spôsoby: **priame ožarovanie** nabitej látky, alebo **presávanie radiačne ionizovaného** vzduchu v mieste vzniku náboja. V prvom prípade sa používa buď  $\alpha$ -žiaric ( $^{210}\text{Po}$ ) ktorý sa vo veľmi tenkej vrstve naniesie na kovový pás, alebo  $\beta$ -žiaric ( $^{35}\text{S}$ ,  $^{85}\text{Kr}$ ,  $^{204}\text{Tl}$ ), žiarenie ktorého má väčšiu prenikavosť. Druhá metóda sa zakladá na **presávaní vzduchu** (►Obr.10b), ktorý sa po ionizácii fúka na elektricky nabitý materiál.



Obr. 11a.

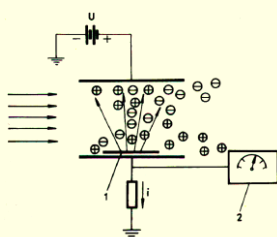
Schéma rádionuklidového rotametru :

- 1 – zdroj žiarenia,
- 2 – sklopná clona,
- 3 - detektor



Obr. 11b.

Meranie rýchlosti prúdenia metódou sklopanej clony



Obr.11c.

Meranie rýchlosti prúdenia plynov ionizačnou metódou

- 1 – zdroj  $\alpha$ -žiarenia,
- 2 – merací prístroj

## Meranie rýchlosti prúdenia tekutiny v potrubí

V plavákových meračoch **rýchlosti prúdenia** (rotametroch) (►Obr.11.) je teliesko v sklenej rúrke prúdom plynu alebo kvapaliny vnesené do určitej výšky v závislosti od rýchlosti prúdenia. Podľa výšky, ktorú teliesko dosiahne sa odčíta na stupnici rýchlosť prúdenia. Ak používame plavák s uzavretým zdrojom rádioaktívneho žiarenia a meriame aktivitu vhodným detekčným zariadením, môžeme metódu použiť aj pri zafarbenom alebo zakalenom reakčnom médiu, keď je plavák ťažko postrehnuteľný alebo neviditeľný. Čím bude rýchlosť prúdenia väčšia, tým bližšie prenikne plavák k detektoru, ktorý zaznamená tým väčšiu intenzitu žiarenia.

Ďalšou možnosťou merania rýchlosti prúdenia je využitie absorpcie žiarenia. V potrubí je umiestnená sklopná clona, ktorej poloha sa mení v závislosti od rýchlosti prúdenia látky. Pod potrubím a nad potrubím je umiestnený zdroj a detektor žiarenia. Clona tvorí absorpčné médium. Čím bude rýchlosť prúdenia väčšia, tým bude výchylka clony väčšia a tým menšia intenzita žiarenia sa zaregistruje detektorom.

Rýchlosť prúdenia plynov sa môže merať aj na základe ionizačných účinkov rádioaktívneho žiarenia. Cez ionizačnú komoru obsahujúcu zdroj  $\alpha$ -žiarenia prúdi meraný plyn. Ak je plyn nepohyblivý, najväčšia časť iónov sa zúčastňuje na tvorbe ionizačného prúdu komory a iba veľmi malá časť iónov sa dostáva mimo priestor komory. Pri prúdení plynu sa časť iónov dostáva mimo priestor, preto sa pri zvyšovaní rýchlosti plynu ionizačný prúd znižuje.

## KONTROLNÉ OTÁZKY

1. Na aké účely sa používajú otvorené žiariče v priemyselných technológiách?
2. Ako sa študuje homogenizácia indikátorovou metódou?
3. Uveďte podstatu indikátorového štúdia deliacich metód?
4. Ako sa meria rýchlosť prúdenia indikátorovou metódou?
5. Ako sa študuje korózia a erózia pomocou otvorených žiaričov?
6. Uveďte princíp rádioindikátorového určenia poškodeného miesta na potrubí?
7. Ako sa využíva aktivačný princíp na kontinuálnu kontrolu zloženia prúdiacich látok?
8. Na aké účely sa využívajú uzavreté žiariče v priemyselných technológiách?
9. Na akých princípoch sa zakladá meranie výšky hladín kvapalín v nádržiach?
10. Ako sa meria hustota roztokov uzavretými žiaričmi?
11. Ako sa meria a reguluje hrúbka materiálu bezdotykovým spôsobom?
12. Na akom princípe pracujú automatické dávkovacie a baliace stroje (kontrola plnenia obalov)?
13. Čo je  $\gamma$ -relé a na čo sa používa?
14. Ako sa odstraňuje statická elektrina pomocou uzavretých žiaričov?
15. Ako sa meria rýchlosť prúdenia tekutiny?

## SÚHRN

**homogenizácia** - pri indikátorovom skúmaní homogenizácie sa jedna zo zložiek zmesi označí vhodným rádioaktívnym indikátorom a potom sa počas miešania meria rádioaktivita diskontinuálne alebo kontinuálne

**separačné procesy** - rádionuklidy vo funkcii indikátorov umožňujú sledovať a kontrolovať väčšinu separačných procesov v chemickom priemysle, ako sú napr. zrážanie, kryštalizácia, extrakcia, destilácia, filtrácia a iné

**meranie rýchlosti** - rozličnými indikátorovými metódami môžeme merať rýchlosť prúdenia kvapalín resp. plynov v potrubí

**korózia** - rozrušovanie materiálov (kovov, stavebnín) chemickým účinkom prostredia (atmosferické a priemyselné plyny, voda, roztoky, elektrolyty a pod.)

**erózia** - rozrušovanie a odnášanie pôdy činnosťou vetra, vody a ľadovcov, ako i premiestňovanie uvoľnených častíc pôdy na iné miesta, kde sa ukladajú vo forme nánosov, náplavu a náveja. Skúmanie korózie a erózie, ako aj protikorozívnych prostriedkov v priemyselných podmienkach je možné rádioindikátorovou metódou

**transportné procesy** - rádioindikátorovou metódou môžeme kontrolovať nielen potrubie na povrchu, ale aj potrubie uložené v zemi alebo pod vodou

**kontinuálna kontrola chemického procesu** - aktivačný princíp možno použiť na kontinuálnu kontrolu chemického procesu tam, kde kontrolované látky aktiváciou poskytujú krátkožijúce rádionuklidy s dobou polpremeny menšou než 1 min.

**meranie výšky hladiny** – využitie rádionuklidového indikátora na báze uzavretého žiariča na bezdotykové meranie výšky hladiny

**meranie hustoty** - meranie hustoty prúdiacej kvapaliny (ropy, olejov, atď.) sa zakladá na absorpcii rádioaktívneho žiarenia meraným prostredím

**meranie hrúbky materiálu** - pri kontrole hrúbky materiálu sa postupuje tak, že na jednej strane sledovaného materiálu sa umiestni zdroj žiarenia a na druhej strane detektor žiarenia spojený s meracím prístrojom. Údaj meracieho prístroja závisí od hrúbky skúmaného materiálu

**automatické dávkovače** - uzavreté žiariče môžeme výhodne použiť aj na kontrolu kontinuálnych plniacich a baliacich procesov

**$\gamma$  - relé** - používame tam, kde sa pohybom sledovanej látky (napr. kvapaliny) alebo predmetu poruší alebo zoslabí úzky zväzok  $\gamma$ -žiarenia

**odstraňovanie statickej elektriny** - rádioaktívne žiarenie vysielané rádionuklidmi ionizuje vzduch - robí ho vodivým, čo umožňuje odvádzať elektrostatické náboje z elektrostaticky nabitých predmetov

**rotametre** - plavákové merače rýchlosti prúdenia. Používame plavák s uzavretým zdrojom rádioaktívneho žiarenia a meriame aktivitu vhodným detekčným zariadením. Čím bude rýchlosť prúdenia väčšia, tým bližšie prenikne plavák k detektoru, ktorý zaznamená tým väčšiu intenzitu žiarenia.



Návrat z acrobat readera - (zatvorením okna)

---



