

RADIAČNÉ TECHNOLOGIE

Radiačnochemické a radiačnobiologické efekty vysokoenergetického žiarenia sa čoraz viac uplatňujú v rôznych oblastiach vedy a techniky, od kozmického výskumu, cez reaktorovú techniku až po ich konkrétnu aplikáciu v priemysle, poľnohospodárstve a medicíne. V praxi už aplikované alebo využiteľné radiačné procesy patria do oblasti radiačných technológií. História radiačných technológií začína v 50. rokoch. Technologické uplatnenie ionizujúceho žiarenia sa vyvíjalo ako oneskorený následok poznatkov základného výskumu radiačnej chémie i radiačnej biológie.

Pojmom **radiačná technológia** označujeme akýkoľvek proces v prevádzkovom alebo aj menšom praktickom rozsahu, pri ktorom aspoň v niektorom jeho štádiu sa využívajú účinky ionizujúceho žiarenia. Ionizujúce žiarenie môže byť využité jednak na iniciáciu alebo riadenie procesu (typicky chemické reakcie), pri ktorom vzniká surovina, ako aj na dodatočnú úpravu hotového výrobku. Sústava, ktorá sa zúčastňuje radiačného procesu, môže mať ľubovoľný charakter - od jednoduchšej chemickej zlúčeniny cez výrobok z plastu až k biologicky aktívnej sústave, akou sú živé organizmy.

Do radiačných technológií nepatrí oblasť terapeutického a diagnostického využitia účinkov ionizujúceho žiarenia v humánnej a veterinárnej medicíne. V zahraničnej literatúre sa namiesto pojmu **radiačná technológia** (radiation technology) vžil výraz **radiation processing**.

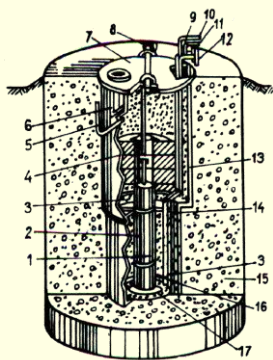
VYUŽITIE RADIAČNOCHEMICKÝCH EFEKTOV VYSOKOENERGETICKÉHO ŽIARENIA

V anorganickej chémii a technológii je pomerne málo takých procesov, ktoré možno vhodne ovplyvniť vysokoenergetickým žiarením. Napriek tomu sa veľká pozornosť venuje radiačnej výrobe kyseliny dusičnej, priamej syntéze amoniaku, hydrazínu, oxidácii oxidu siričitého, a pod. Sú to endotermické reakcie, energeticky veľmi náročné. Pri radiačných procesoch tohto typu sa perspektívne ráta s využitím jadrových reaktorov ako radiačných zdrojov.

Radiačnochemické syntézy

V oblasti organickej technológie sa mnohé radiačnochemické syntézy uskutočnili už v poloprevádzkovom alebo technologickom rozsahu. Z nich dôležité sú radiačná halogenácia, radiačné sulfochlórovanie, radiačná oxidácia a radiačná telomerizácia.

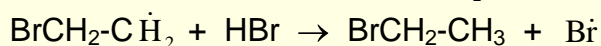
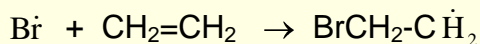
Jednou z prvých radiačnochemických výrob bola príprava hexachlóracyklohexánu. Hexachlóracyklohexán sa vyrába fotochemickou metódou, chlórovaním benzénu iniciovaným ultrafialovým svetlom. Táto metóda je však kapacitne obmedzená malou prenikavosťou ultrafialového svetla. Použitím γ -žiarenia sa tento nedostatok odstráni. Radiačné chlórovanie benzénu prebieha veľmi rýchlo s výťažkom asi 15 až 17 %, na rozdiel od fotochemického výťažku 10 až 12 %.



Obr. 1. Radiačnochemický reaktor na získanie etylbromidu v zariadení firmy Dow Chemical.

- 1 – zdroj žiarenia,
- 2 – obal zdroja žiarenia z niklu,
- 3 – olovené zátky, 4 – oceľová platňa,
- 5, 6, 9, 10 – komunikácie na prefukovanie dusíka,
- 7 – vrchná platňa zariadenia,
- 8 – oceľová tyč s visiacimi zámkami,
- 11, 12 – potrubie na prívod a odvod reagentu,
- 13 – tyč na zdvihnutie žiariča do transportného kontajnera,
- 14 – reaktor z niklu objemu 150 l,
- 15 – betónová ochrana,
- 16 – komunikácia na prívod reagentu,
- 17 – miešanie plynom

Ďalšou dôležitou radiačnou syntézou je kontinuálna výroba **etyl bromidu** (► Obr. 1.) z bromovodíka a etylénu podľa reakčnej schémy



Používa sa pritom radiačný zdroj ^{60}Co aktivity 900 TBq, ktorého γ -žiarenie pôsobí na reakčnú zmes asi 2 min pri teplote $\sim 0^\circ\text{C}$. Bromovodík a etylén sa privádzajú do reaktora v stechiometrickom pomere a produkt sa kontinuálne odvádza z reakčného prostredia.

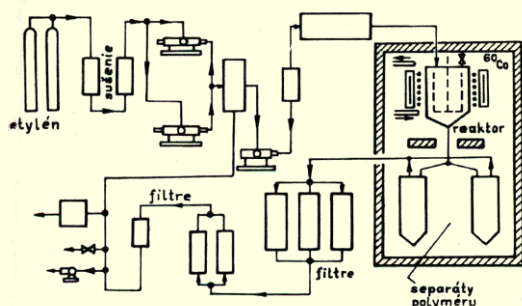
Z radiačnochemických syntéz uskutočnených v technologickom rozsahu môžeme ďalej uviesť sulfochlórovanie parafínov a oxidáciu uhľovodíkov, v poloprevádzkovom rozsahu sa uskutočňuje chlórovanie uhľovodíkov, brómovanie xylénu, sulfoxidácia uhľovodíkov, telomerizácia etylénu, krakovanie uhľovodíkov a iné.

Radiačná polymerizácia

Pri radiačnej polymerizácii relatívne nízkej hodnote absorbovanej energie, ktorá iniciuje začiatočnú etapu reťazovej reakcie, zodpovedá vysoký stupeň látkovej premeny.

Ako príklad uvádzame schému technologického zariadenia na radiačnú **polymerizáciu etylénu** (► Obr. 2.). Ako zdroj γ -žiarenia sa používa ^{60}Co s aktivitou 10^2 TBq. Radiačne vyrobený polyetylén má veľmi priaznivé elektrické a mechanické vlastnosti a aj pozoruhodnú chemickú stabilitu.

Hoci laboratórne sa skúmali všetky látky schopné polymerizovať, neobjavila sa vo svete doteraz radiačná technológia prípravy polyméru vo veľkom rozsahu. Dôvody sú predovšetkým ekonomické, spojené so súčasnou cenou zdrojov žiarenia, a technicko-hygienické, spojené s nízkym absorpčným využitím a vysokým zdravotným rizikom používaného γ -žiarenia, ktorého tienenie vyžaduje vysoké osobitné náklady v porovnaní s klasickou polymerizáciou. Jedinou aplikáciou je radiačná polymerizácia a kopolymerizácia akrylamidu na výrobu extrémne čistých izolátorov a biomedicínskych pomôcok firmou Neutron Products Inc. v USA.

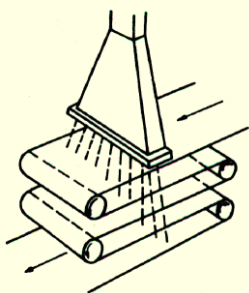


Obr.2.

Schéma technologického zariadenia na radiačnú polymerizáciu etylénu

Radiačná úprava vlastností plastov

Vhodnou dávkou žiarenia možno na základe zosieťovania premeniť termoplastickú látku na netaviteľnú látku, znižovať rozpustnosť, resp. schopnosť plastov napučiavať a meniť ich vzhľad, mechanické vlastnosti, elektrickú vodivosť a pod. Na základe radiačného odbúravania môžeme pri niektorých plastoch uvoľniť ožiarením plyny, ktoré sú v nich najprv jemne rozptýlené, ale pri zahriatí sa tvorením bubliniek spájajú. Tak možno vyrobiť hubovitý plast.



Obr.3.

Schéma technologického ožarovania polyetylénovej fólie vejárom elektrónov urýchlených v urýchľovači

Technicky dôležité a dobre preskúmané je pôsobenie žiarenia na zmeny mechanických a optických vlastností polyetylénu. Polyetylénová fólia, používaná v baliacej technike, je pre štruktúrne príčiny mliečne zakalená. Ožiarením sa zákal stráca a fólia sa stáva priehľadnou, čo je priaznivá vlastnosť baliaceho materiálu. Súčasne získava zaujímavú vlastnosť - tvarovú pamäť. Polyetylénová fólia sa ožiarením zosieťuje a po napnutí za studena zachová napnuté rozmery, ale po zohriatí na vyše 100 °C nadobúda tvar, ktorý mala pri ožiarení. Ožiarením modifikovaný polyetylén je vlastne nový druh plastu a uplatňuje sa v baliacej technike a v elektronickom priemysle ako izolačný materiál. Na ožiarenie **polyetylénových fólií** (► Obr.3.) sa používajú prevažne urýchľovače elektrónov.

Vysokoenergetickým žiarením možno zosieťovať aj kaučuk, ktorý sa tým vulkanizuje, ba aj silikóny. Podobne možno účinkom žiarenia odbúravať bočné reťazce a rozštiepiť hlavný reťazec v polymetylmakryláte. Pri tejto reakcii sú hlavnými produktami odbúravania kyselina uhličitá, oxid uhoľnatý a vodík, ktoré sa pri zahrievaní zhľukujú do bubliniek a zapríčiňujú napučovanie základnej látky a jej premenu na hubovitú látku.

Najzaujímavejším a súčasne najslubnejším použitím žiarenia v chémii plastov je možnosť kombinovať viaceré polyméry. Ide najmä o očkovací spôsob kombinácie polymérov, keď sa jeden druh polyméru naočkuje, naštepí na iný polymér. Táto technika sa rozšírila už aj na kombinovanie prírodných látok (celulózy,

dreva, a pod.) so syntetickými polymérmi. Význam týchto postupov je takmer nedociteľný pre textilný priemysel, ale uplatnia sa aj v elektrotechnickom priemysle.

V rámci *Cyklotrónového centra SR* sa plánuje využitie elektrónového urýchľovača na sieťovanie vybraných termoplastov, pri ktorom sa zvýši ich tepelná stabilita, na vytvorenie schopnosti termoplastov zmršťovať sa pri ich zahrievaní a na zlepšovanie ich mechanických vlastností (odolnosť proti studenému toku, odolnosť proti opotrebeniu, atď.). Medzi rôzne druhy aplikácií patrí aj zlepšenie izolácie vodičov a káblov, mechanických vlastností rúr a potrubí, baliacich fólií, lisovaných plastových súčiastok, niektorých biomateriálov, penových fólií a vystužených stavebných materiálov. Pri tejto úprave sa rovnaké vlastnosti výrobku dosahujú pri menšej hrúbke steny. Ďalej ide o ošetrovanie elektrónovým zväzkom a opravovanie vláknom spevnených zmesí pre kozmické, letecké, námorné a spotrebiteľské aplikácie.

Medzi oblasti výskumu patrí živicová chémia, vývoj lepidiel vyrobených elektrónovým zväzkom, úprava drevnej buničiny elektrónovým zväzkom pri výrobe viskózy (medziprodukt pri výrobe širokého spektra výrobkov vrátane viskózového hodvábu), atď. Veľmi zaujímavé projekty sú pri použití elektrónového zväzku v oblasti biomateriálov. Ide o vývoj mnohých komerčne využiteľných výrobkov. Hydrogélové vinuté dressingy (natierania, poťahovanie, šlichtovanie, apretovanie) boli prvou komerčnou aplikáciou v tejto oblasti. V budúcnosti budú medzi ďalšie aplikácie patriť: mikrogély a nanogély, používané ako nosiče liekov (vrátane časového uvoľňovacieho systému podávania liekov), funkčné polyméry získané štepením vinylových monomérov, dokonca meniace navíhavosť, sieťované syntetické polyméry a biologicky dôležité makromolekuly.

Z ďalších aplikácií plánovaných v rámci *Cyklotrónového centra SR* môžeme uviesť:

- zosieťovanie polytetrafluoretylénových molekúl elektrónovým zväzkom v roztavenom stave, ktoré bolo už úspešne vyvinuté a technológia sa teraz komercializuje,
- výroba vlákna zo silikónkarbidovej zlúčeniny použitím procesu ožiarenia ošetrovaného predkeramického polyméru. Zlúčenina má dostatočné napätie a odolnosť voči lámavosti, a pritom bola vyrobená použitím zjednodušeného, komerčne realizovateľného impregnačného procesu,
- nové skupiny amidooxímov obsahujúce absorbenty, vyvinuté použitím radiačného štepenia polyetylénových vlákien. Dajú sa tak účinne získavať vzácne kovy, ako je vanádium a urán, obsiahnuté v morskej vode. Technológia sa dá rozšíriť na vyvinutie filtrov, ktoré by absorbovali kovy škodlivé pre životné prostredie, ako napr. kadmium.
- úprava elektrónovým zväzkom sa používa na recyklovanie plastov a elastomérov.

Záchrana a ochrana umeleckých pamiatok

Jedným z najzávažnejších problémov pri ochrane umeleckých pamiatok z dreva, textilu a papiera je ich ochrana pred hmyzom a jeho larvami a vo vlhkom prostredí navyše pred parazitujúcimi hubami a plesňami.

Všetky druhy drevokazného hmyzu môžeme zničiť ožiarením pamiatok γ -žiarením z kobaltového (^{60}Co) zdroja. Je však potrebné plastiky, sošky narušené časom a škodcami spevniť. Na spevňovanie sa využíva polymerizačný účinok vysokoenergetického žiarenia. Radiačná polymerizácia monoméru zapracovaného vo forme riedkeho monoméru do dreva alebo pieskovca má niekoľko predností oproti doteraz používaným metódam:

1. Ošetrovaný predmet možno impregnovat' pri izbovej teplote vhodným riedkym alebo zriedeným monomérom bez nebezpečenstva predčasnej polymerizácie, ktorá často nastáva pri použití chemického iniciátora, tak dlho, kým impregnácia nebude dôkladná.
2. Pri radiačnej polymerizácii nevzniká nežiaduce zvýšenie teploty, ktorou by sa ošetrovaný predmet mohol poškodiť, ako je to pri použití chemických iniciátorov. Radiačnú polymerizáciu možno viesť a kontrolovať voľbou vhodného dávkového príkonu a celkovej dávky.
3. V jedinom procese pri ožiarení predmetu, ktorého cieľom je radiačná polymerizácia, dôjde aj k úplnej likvidácii všetkých drevokazných škodcov. Ak sa súčasne pridajú do monoméru insekticídne a fungicídne prípravky, ochranný účinok môže byť dlhotrvajúci.

VYUŽITIE RADIAČNOBIOLOGICKÝCH EFEKTOV VYSOKOENERGETICKÉHO ŽIARENIA

Radiačné ošetrovanie potravín

Vysokoenergetické žiarenie narúša životné deje mikroorganizmov v potravinách, brzdí ich normálnu látkovú výmenu a rozmnožovanie a niektoré mikroorganizmy čiastočne alebo úplne usmrcuje.

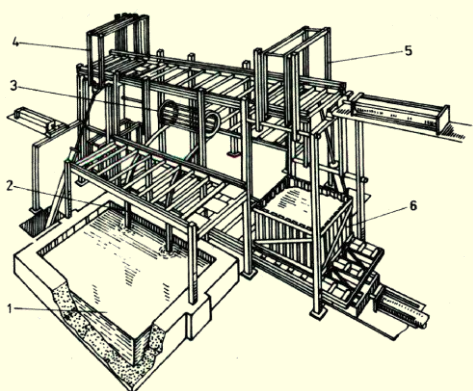
Z hľadiska praktického využitia žiarenia je rozhodujúce, či ide o **pasterizovanie** (krátkotrvajúce uschovávanie potravín) alebo **sterilizovanie** (dlhotrvajúce konzervovanie) potravín. Pri pasterizovaní sú požiadavky na vyvolané radiačné efekty miernejšie.

Niektoré vedľajšie chemické reakcie, ktoré zapríčiňujú vznik nežiaducich farebných, čuchových a chuťových zmien, sa môžu čiastočne potlačiť použitím osobitnej ožarovacej techniky. Môže sa ožarovať pri nízkych teplotách, prípadne sa môžu do ožarovacej sústavy pridať vycytávače voľných radikálov. Voľné radikály patria v ožiarенých látkach popri iónoch a vzbudených molekulách k veľmi reaktívnym medziproduktom radiačného pôsobenia.

Iný spôsob je kombinácia ožarovania a tepelného spracovania (termoradiačný postup), pričom sa celková dávka žiarenia môže znížiť. Prvým predbežným ožiarенím potravín asi tretinovou dávkou sterilizačnej hodnoty sa môže v niektorých prípadoch skrátiť čas termickej sterilizácie až na štvrtinu.

Termoradiačný postup využíva spojený účinok nízkych dávok žiarenia a tepla. Aby sa docielil tento účinok, stačí zohriať potraviny na relatívne nízku teplotu. Odstránia sa tým problémy s tlakovými nádobami i obmedzenia, ktoré z toho vyplývajú pre kvalitu potravín. Takto možno spracúvať aj také potraviny, ktoré by nebolo možné sterilizovať teplom; sterilizácia sa dokončujeva ožiarенím nižšou

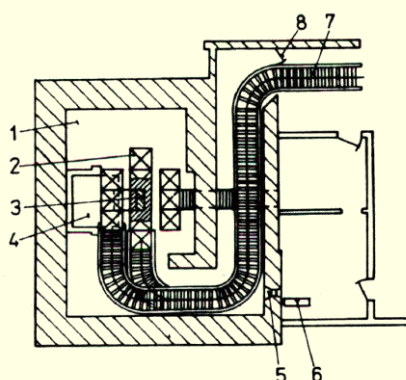
dávkou, než ktorú by bolo potrebné použiť bez súčasného pôsobenia tepla. Rovnako možno potraviny konzervovať termoradiačne v obaloch, ktoré by tepelnú sterilizáciu nevydržali. Počas ožarovania sa teplota v potravinách zvyšuje len veľmi málo. Táto metóda sa preto pokladá za "studený proces", pri ktorom vznikajú v potravinách iba minimálne zmeny vzhľadu, vône, chuti i farby. Na tanieri konzument nerozozná radiačne konzervované jedlo od jedla čerstvo pripraveného.



Obr.4a.

Zariadenie na ožarovanie zemiakov:

- 1- vodný bazén, hlboký 5,5 m,
- 2 – koľajnice na premiestňovanie žiaričov,
- 3 – žiariče ^{60}Co v ožarovacej polohe,
- 4 – dopravník,
- 5 – zdvíhadlo,
- 6 - zásobník



Obr.4b.

Zariadenie na ožarovanie zemiakov – pohľad zhora

- 1 – ožarovacia komora,
- 2 – zdvíhací mechanizmus žiaričov,
- 3 – žiariče ^{60}Co ,
- 4 – vodný bazén,
- 5 – pozorovací priezor,
- 6 – ovládací pult,
- 7 – vstup dopravníka,
- 8 – dvere labyrintu

Radiačná retardácia zemiakov, cibule a iných poľnohospodárskych produktov

Pracovníkom potravinárskeho priemyslu a verejného stravovania robí problémy klíčenie zemiakov pri ich dlhšom skladovaní. Hoci robia všetky možné opatrenia a dodržiavajú všetky potrebné podmienky, predsa po určitom čase zemiaky začínajú klíčiť. Pri uskladňovaní strácajú zemiaky klíčením a premenami s ním spojenými až 20 % hmotnosti. Pritom sa veľmi zníži aj ich výživná hodnota. Na zamedzenie klíčivosti stačia pomerne malé radiačné dávky. Keď **ožiarime zemiaky** (►Obr.4.) γ -žiarením, možno bez zhoršenia ich výživnej hodnoty zabrániť klíčeniu do 18 mesiacov, čo prakticky vyrieši problém skladovania tejto dôležitej potraviny bez zvyčajných veľkých strát.

Klíčenie zemiakov uskladňovaných pri nízkych teplotách možno úspešne spomaľovať aj chemicky. Takto ošetrované zemiaky však po premiestnení do skladu s vyššou teplotou začnú pre dosiaľ neznáme príčiny klíčiť rýchlejšie ako neošetrované zemiaky. Preto je ožiarenie najvhodnejším riešením. Podobne ako pri zemiakoch, klíčenie možno obmedziť aj pri iných plodinách, napr. pri mrkve, cibuli a pod. Takto možno predĺžiť aj skladovateľnosť ovocia.

Veľkou prekážkou pri komerčnom uplatnení ožarovania potravín je obava spojená so slovom **žiarenie**. Treba vychovávať spotrebiteľov, aby sa rozptýlili ich neoprávnené obavy z ožiarených potravín, a informovať verejnosť o možných ekonomických výhodách ožarovania potravín pri súčasnom zlepšovaní ich kvality. Výsledky výskumov ukazujú, že biologická hodnota potravín ožiarených pri optimálnych podmienkach je väčšia alebo aspoň rovnaká ako hodnota potravín spracovaných bežnými spôsobmi konzervovania. Ani argumentácia, že pri sterilizácii žiarením vzniká akútna toxická látka alebo karcinogénna substancia nie je opodstatnená. Dodnes nebola objavená nijaká toxická látka a dlhotrvajúce kŕmne pokusy na zvieratách, ako aj na dobrovoľníkoch, ukázali, že tieto obavy sú zbytočné. Radiačne sa konzervujú zemiaky, cibuľa, pšenica, jahody, špargľa, kakaové bôby, huby, krevety, korenie, hydina, sušené ovocie, koncentráty zo sušených potravín, atď.

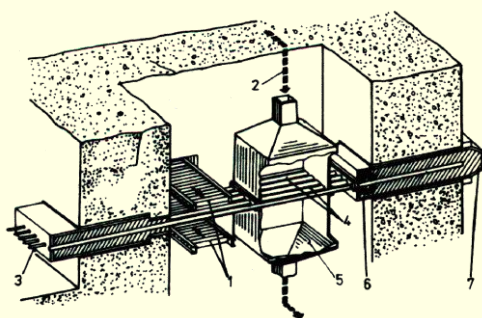
Radiačná dezinfekcia obilia a iných poľnohospodárskych produktov

V súčasnom období sa veľká pozornosť venuje problému, ako zamedziť škodám, ktoré na niektorých druhoch potravín zapríčiňuje hmyz. Výskumom sa zistilo, že vysokoenergetické žiarenie v príslušných dávkach škodcov pohlavne sterilizuje alebo úplne ničí.

Radiačná dezinfekcia je veľmi účinným spôsobom v boji proti hmyzu, ktorý sa vyskytuje v obilí, sušenom ovocí, múke, búrskech orechoch, vlašských orieškoch a zemiakoch. Pri zemiakoch sa súčasne vyriešia dva problémy: zníži sa zamorenie hmyzom a zabráni sa klíčeniu. Zistilo sa, že radiačnou dezinfekciou uvedených produktov sa nezhoršia ich technologické vlastnosti. Osobitná pozornosť sa musí venovať radiačnej dezinfekcii čerstvého ovocia a zeleniny, aby pri medzinárodnom obchode s ovocím nevzniklo nebezpečenstvo, že importujúca krajina bude zamorená nebezpečnými druhmi hmyzu, ktoré sa na ovocí vyskytujú.

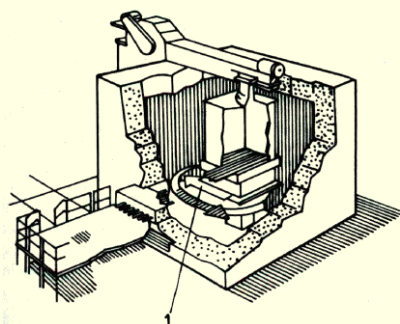
Dobré výsledky sa dosiahli pri sterilizácii a **konzervácii obilia** (►Obr.5.), ktoré je určené na uskladňovanie. γ -žiarenie zabíja nielen larvy, ale aj vajíčka. Také účinky nemal doteraz ani jeden zo známych chemických prípravkov. Pri preprave obilia z vagónov do skladísk sa vylučuje možnosť prípadného prenesenia škodcov do skladísk.

Na účely radiačného ošetrovania potravín sa používajú aj pojazdné **ožarovacie zariadenia** (►Obr.6.). Na obrázkoch v hypertexte sú dva typy mobilných ožarovacích zariadení na odhmyzovanie obilia, z ktorých je zrejma ich konštrukcia.



Obr.5a. Zariadenie na ožarovanie obilia γ žiaričom ^{60}Co

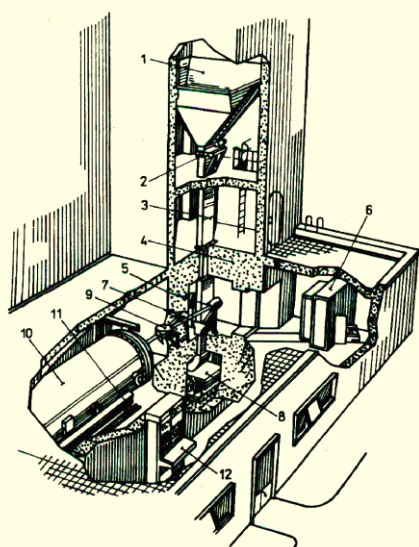
- 1 – transportný systém na obilie v obale,
- 2 – voľné sypanie obilia,
- 3 – systém na premiestňovanie tyčovitých žiaričov ^{60}Co ,
- 4 – žiariče ^{60}Co ,
- 5 ožarovací priestor (1,2 x1,2 m) na voľne sypané obilie,
- 6 – otočný posúvač,
- 7 – tienenie žiariča



Obr.5b.

Celkový pohľad

- 1 – smer posunu dopravníka



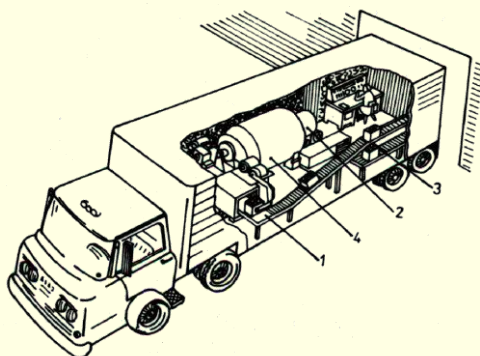
Obr.5c.

Zariadenie na ožarovanie obilia elektrónmi energie

3 MeV ,urýchlenými v urýchľovači Dynamitron

- 1 – zásobník obilia,
- 2 – posúvač,
- 3 – usmernená dráha obilia,
- 4 – tienenie,
- 5 – výchylkové magnetky,
- 6 – dvere,
- 7 – vedenie prúdu elektrónov,
- 8 – zásobník obilia,
- 9 – rozdeľovač toku elektrónov,
- 10 – Dynamitron,
- 11 – koľajnicové zdvíhadlo,
- 12 – ovládací pult

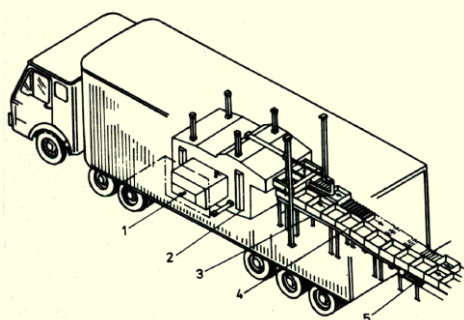
Vesmírne lode určené na pristátie na iných kozmických telesách sa tiež sterilizujú γ -žiarením. Podľa medzinárodne prijatých pravidiel sa totiž vyžaduje taká kompletná sterilizácia vypúšťaného systému, ktorá by vylúčila kontamináciu s pravdepodobnosťou 10^{-3} . Tepelná sterilizácia, ktorá by zabezpečila takúto sterilitu, by mohla súčasne ohroziť spoľahlivosť niektorých častí systému. Sterilizácia plynom alebo chemickými látkami je účinná na povrchu, ale je menej účinná pri likvidácii mikroorganizmov ukrytých vnútri pevných častí.



Obr.6a.

Mobilné ožarovacie zariadenie so zdrojom ^{60}Co firmy Atomic Energy of Canada Ltd.

- 1 – vstup ožarovovaných látok v transportnej kletke do ožarovacieho labyrintu,
- 2 – mechanizmus a zásobník zdroja,
- 3 – výstup ožarovovaných objektov,
- 4 – hlavné tienenie



Obr.6b.

Mobilné ožarovacie zariadenie (California, USA) so zdrojom ^{60}Co

- 1 – tyč na posun zdroja,
- 2 – ožarovacia komora,
- 3 – valčekový dopravník,
- 4 – transportné kletky (15x46x45 cm),
- 5 – pásový dopravník

Radiačná sterilizácia v medicíne a vo farmácii

Schopnosť žiarenia zabíjať rôzne mikroorganizmy vyvolávajúce nepriaznivé javy, ako napr. infekciu rán, sa môže výhodne využiť pri sterilizácii zdravotníckych materiálov. V súčasnosti je radiačná sterilizácia jednou z najrozšírenejších a vo svetovom rozsahu najčastejšie používaných metód radiačnej techniky. Je to preto, lebo radiačná sterilizácia zdravotníckych potrieb je technicky najmenej náročná.

Sterilizačné ožarovanie sa robí kontinuálne, zvyčajne na bežiacom páse, pričom určujúcim faktorom integrálnej dávky (20 – 50 kGy) je rýchlosť posuvu pása. Obväzový materiál, chirurgické nite (cat-gut), textilné aj kaučukové rukavice, katétre, injekčné striekačky, injekčné ihly, chirurgické nástroje a iné sa dnes sterilizujú v autoklávoch. Sterilizačným prostriedkom je para pod tlakom. Taká sterilizácia je drahá a predmety, ktoré majú byť potom predávané a distribuované, musia byť v špeciálnych obaloch, ktoré prepúšťajú paru. Sterilizácia γ -žiarením alebo elektrónovým žiarením môže prebiehať v ľubovoľných obaloch. Je aj lacnejšia a má ešte aj tú výhodu, že neprebíha pri zvýšenej teplote a možno ju použiť aj pri látkach, ktoré sa teplom ničia.

V súčasnej praxi sa používajú technológie radiačnej sterilizácie najmä pre tieto medicínske výrobky a materiály: lekárske výrobky prichádzajúce do styku s krvou a lymfatickou tekutinou; injekčné striekačky určené na jedno použitie; injekčné ihly na jedno použitie; výrobky používané pri odbere krvi, pri prelievaní krvi a infúziách roztokov; zariadenia na filtráciu krvi a jej preparátov; výrobky určené na skladovanie krvi (krvné vaky), preparátov z nej a iné.

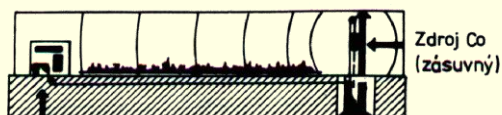
Výhodou radiačnej sterilizácie je, že predmety a materiály sa ožarujú zabalené a sterilné sa dostávajú priamo na miesto ich použitia. Sterilizácia žiarením je výhodná pri liečivách, ktoré nemožno sterilizovať teplom, a ktoré sa preto musia vyrábať v aseptických podmienkach, čo je drahé a ťažké. Radiačná sterilizácia je

výhodná najmä pri antibiotikách, vitamínoch, enzýmoch, hormónoch, krvnej plazme, atď. Radiačne sa môže sterilizovať hotový výrobok, preto nehrozí nebezpečenstvo reinfikovania pri balení alebo ampulkovaní. Radiačný proces však nesmie znižovať účinnosť liečiva ani zapríčiniť v ňom premeny s toxickými následkami. Robia sa pokusy aj so sterilizáciou živočíšnych tkanív a kostí.

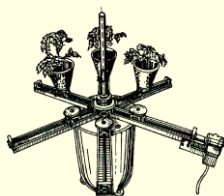
Sterilizácia medicínskych výrobkov sa plánuje v *Cyklotrónovom centre SR* použitím elektrónového urýchľovača. O sterilizáciu týchto výrobkov prejavil záujem rezort MO SR, ktorý dnes na tieto účely prevažne využíva ožarovacie zariadenie vo Veverskej Bitýške v ČR a tiež rezort MZ SR, pre ktorý tento ekonomický spôsob sterilizácie môže znamenať značné úspory financií.

Radiačná technika v šľachtiteľskej genetike

V protiklade k zvyčajnému bionegatívnemu pôsobeniu vysokoenergetického žiarenia v rastlinnej ríši sa v malom počte prípadov pozorovalo, že po ožarení vznikajú aj druhy s rozličnými výhodami, čo môžeme označiť ako biopozitívne účinky žiarenia. Dávky, ktoré vyvolávajú také javy, sú menšie než dávky poškodzujúce uvedené druhy.



Obr.7a.
Ožarovanie rastlín



Obr.7b.
Jednoduché laboratórne ožarovacie zariadenie s vysúvateľným zdrojom γ -žiarenia (^{60}Co) na ožarovanie rastlín

Vysokoenergetické žiarenie zapríčiňuje zmeny v štruktúre nukleoproteidov, bielkovín, výmenu nukleových kyselín, polysacharidov, narúša látkovú výmenu, takže ich výsledkom je vznik rôznych vlastností odlišných od pôvodných. Tieto jedince - *mutanty* - majú rozkolísanú dedičnosť, a preto niektoré z nich sú dobrým materiálom na ďalšie cieľavedomé šľachtiteľské práce. Tak možno vypestovať rastliny, ktoré majú vyššie úrody, skrátený čas dozrievania, zvýšenú odolnosť ako voči nepriaznivému podnebiu (pestovanie obilia v horskom a studenom prostredí), tak aj voči rozličným chorobám.

Pri **radiačnom šľachtení** sa používajú dva základné postupy. Pri prvom sa **ožarujú rastliny** (► Obr.7.) počas ich rastu, najmä keď začnú rozkvitať. Pri druhom sa ožarujú semená, ktoré sa potom zasejú. Rastliny sa zvyčajne vysádzajú do koncentrických kruhov, v strede ktorých sa umiestni zdroj žiarenia - najčastejšie ^{60}Co . Dávka žiarenia je na obvode kruhu konštantná a so zväčšujúcou sa vzdialenosťou od zdroja sa zmenšuje. Takto možno ľahko pozorovať vplyv žiarenia na rast rastlín. Ožarovaním rastlín na poli počas vegetácie sa urýchľuje rast a vývoj mnohých poľnohospodárskych plodín, ako napr. cukrovej repy, pohánky, tabaku, kukurice,

zemiakov, atď. Ožarovanie rastlín sa môže prejavíť aj na ďalšom potomstve veľkými zmenami. Ide predovšetkým o morfológické (tvarové) zmeny, ktoré závisia od citlivosti rastliny na žiarenie.

Ožarovaním ovocných stromov sa vypestovali druhy s kratším časom dozrievania, ktoré okrem toho zmenili tvar a farbu svojich plodov. Prekvapujúce možnosti sú pri pestovaní kvetín, pri ktorých menej záleží na užitých hodnotách než na farebných efektoch a na čo najbizarnejších tvaroch.

Malé dávky žiarenia podporujú rýchlosť klíčenia semien, zakoreňovanie, rýchlosť rastu korenkov, atď. Napríklad semená raži, ovsa, hrachu, reďkovky, uhoriek, kapusty, cukrovej repy, atď. skôr a lepšie klíčia, intenzívnejšie sa rozvíjajú, skôr dozrievajú a dávajú vyššie úrody. V Japonsku vypestovali napr. radiačným šľachtením veľmi odolný druh ryže Rei Mei, ktorý má najvyššie úrody v krajine.

Vypestovanie nových a zošľachtených druhov je veľkým úspechom radiačného šľachtenia. Bez zreteľa na relatívne veľký počet prác, ktoré dokazujú, že vysokoenergetické žiarenie môže mať za následok zvýšenie úrodnosti a zrýchlenie dozrievania rastlín, metóda ožarovania semien sa v poľnohospodárskej praxi širšie neuplatnila. Je to zapríčinené najmä tým, že výsledky dokazujúce zvýšenú úrodnosť nie sú stabilné. Efekt stimulácie nie je vždy reprodukovateľný pri rozdielnych podmienkach a v rôznych obdobiach. Výborné výsledky dosiahnuté v laboratórnych podmienkach sa neopakujú vždy v poľných podmienkach. Úlohou šľachtiteľov teda ešte stále je nájsť príčinu tejto nestability.

Radiačná technika vo vodnom hospodárstve

Všeobecne možno radiačnochemické a bionegatívne pôsobenie žiarenia na vodné roztoky použiť tak na úpravu surovej vody na vodu pitnú, ako aj na čistenie priemyslových a poľnohospodárskych odpadových vôd radiačným rozkladom škodlivých chemických látok a likvidáciou škodlivých organizmov. Tento spôsob však nikdy nebude môcť z technických a najmä ekonomických dôvodov nahradiť tradičné vodohospodárske technológie.

Uplatnenie vysokoenergetického žiarenia vo vodnom hospodárstve treba hľadať v obmedzenej miere v prípadoch, kedy iná vhodná metóda neexistuje, alebo žiarenie sa použije ako doplnková metóda. Do úvahy dnes pripadajú dva procesy, a to tzv. odokrovanie starnúcich studní pitnej vody a hygienizácia kalov z biologických čistiarní odpadových vôd.

Starnutie studne je zložitý proces, ktorého výsledkom je zníženie jej výdatnosti, prípadne jej znehodnotenie ako zdroja pitnej vody. Zanášanie pórov studničných sietí koloidnými hydrátovanými oxidmi železa a mangánu, v podstatnej miere vytváranými metabolickou činnosťou studničných mikroorganizmov, sa nazýva **zaokrovanie**. γ -žiarenie z uzavretých žiaričov ^{60}Co umiestnených priamo v studni účinne potlačuje koncentráciu týchto mikroorganizmov, okrem toho odstraňuje nepríjemný zápach a zafarbenie vody vyvolané plesňami, zeminou, humínovými kyselinami a pod. a má aj čiastočný dezinfekčný účinok proti baktériám, bakteriofágom, salmonelám, prvokom, atď.

Spracovanie stále väčšieho množstva odpadových vôd všetkého druhu prináša stále väčší ekologický problém likvidácie obrovských objemov čistiarenských kalov. Podľa pôvodu predstavujú pre živú prírodu i človeka nebezpečenstvo v dôsledku obsahu ťažkých kovov, toxických chemických látok všetkého druhu a patogénnych organizmov. Pozornosť sa sústreďuje na tekuté, zahustené alebo

vysušené kaly z biologických čistiarní odpadových vôd, najmä z prevádzok spracúvajúcich organické, prípadne živočíšne či rastlinné odpady. Cieľom je pritom **hygienizácia kalov** podstatným znížením koncentrácie jednobunkových alebo organizovanejších patogénnych organizmov v rôznych štádiách ich ontogenetického vývoja.

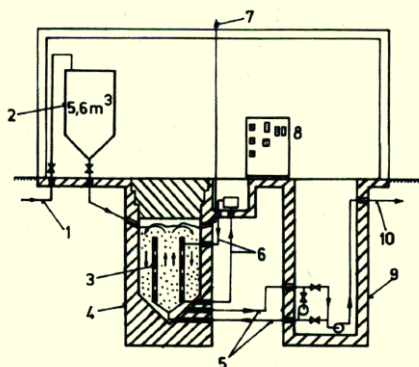
V technologickom procese hygienizácie sa využívajú synergické účinky žiarenia, tepla, zvyšku vody a vzduchu, prípadne iných oxidačných činidiel. Ako zdroj γ -žiarenia možno v objemovej technológii použiť ^{60}Co , pre kontinuálnu hygienizáciu tenších prúdiacich vrstiev tekutých kalov sú vhodné urýchľovače elektrónov. Prvé poloprevádzkové až prevádzkové skúsenosti sa získali od roku 1973 v Nemecku v závode na **úpravu odpadov** (►Obr.8.) v Geiselbullachu pri Mníchove. Ožarovacie zariadenie obsahuje zdroj ^{60}Co s aktivitou asi 4 PBq, ktoré umožňuje spracovať 30 až 150 m³ kalov denne. V ožarovacej stanici na Deer Island pri Bostone v USA, ktorá pracuje od roku 1976, na dezinfekciu čistiarenských kalov sa používa urýchľovač elektrónov. Denná kapacita stanice je 380 m³.

Hygienizované kaly možno použiť ako humusotvornú prísadu do pôd, ďalej ako prísadu do krmiva, pokiaľ neobsahujú chemické látky toxické pre chované teplokrvné živočíchy alebo ryby.

Radiačná technológia vo vzduchotechnike

Opatrenia, ktoré sa doteraz používali na prevenciu znečisťovania ovzdušia produktmi spaľovania uhlia a nafty v tepelných elektrárňach a priemyslových kúreniskách, sa zakladali na tom, že sa z dymových plynov odlučoval popolček a prípadne i oxidy síry. Zistilo sa, že v budúcnosti bude potrebné odstraňovať ako škodliviny aj oxidy dusíka. Perspektívne sú preto techniky, ktoré by umožnili z dymových plynov zachytávať oxidy síry a dusíka súčasne. A tu nachádzajú uplatnenie aj radiačné technológie.

Jednou z radiačných technológií, na ktorej sa v pracuje v Japonsku, je proces EBARA, pri ktorom sa spaľné produkty síry a dusíka v dymových plynoch radiačne oxidujú a viažu chemickou reakciou s amoniakom. Pri tomto procese sa do dymových plynov po ich ochladení vstrekuje príslušné množstvo amoniaku a plynná zmes sa ožaruje zväzkom elektrónov z urýchľovača. Síra a dusík prechádzajú v ionizovaných plynách do formy síranových a dusičnanových aniónov, ktoré s amoniakom reagujú na síran a dusičnan amónny. Tieto zlúčeniny možno po separácii použiť ako hnojivo.



Obr.8.

Schéma ožarovacej stanice v Geiselbullachu

- 1 - prívod kalu,
- 2 - zásobník,
- 3 - ^{60}Co zdroj,
- 4 - ožarovací bunker,
- 5 - cirkulačný okruh kalu,
- 6 - cirkulačný okruh chladiacej vody,
- 7 - odvetrávanie ožarovacieho bunkru,
- 8 - ovládací panel,
- 9 - šachta s čerpadlami a ventilmi,
- 10 - výpust ožarovaného kalu

KONTROLNÉ OTÁZKY

1. Čo sú radiačné technológie ?
2. Čo je podstata radiačnochemických syntéz?
3. Ako sa pripravuje hexachlórcyklohexán radiačnou cestou ?
4. Ako sa radiačne vyrába etylbromid ?
5. Ako sa realizuje radiačná polymerizácia etylénu ?
6. Ako sa robí radiačná úprava vlastnosti plastov ?
7. Načo sa využívajú radiačnobiologické efekty vysokoenergetického žiarenia ?
8. Ako sa predlžuje skladovateľnosť poľnohospodárskych produktov ?
9. Ako sa realizuje radiačná dezinfekcia obilia ?
10. Čo sa sterilizuje radiačnou cestou ?
11. Načo sa využívajú biopozitívne účinky žiarenia ?
12. Ako sa uplatňuje radiačná technika vo vodnom hospodárstve ?
13. Ako sa uplatňuje radiačná technika vo vzduchotechnike ?

SÚHRN

radiačnochemická syntéza - chemické reakcie vyvolané vysokoenergetickým žiarením; sú spojené so zmenou zloženia a štruktúry alebo len so zmenou štruktúry chemických látok

radiačná polymerizácia - radiačné iniciovanie polymerizačných reakcií. Väčšina z nich má radikálový charakter.

kopolymér - polymér obsahujúci dve alebo viac štruktúrnych jednotiek rôzneho druhu

termoplast - lineárny alebo rozvetvený polymér, ktorý možno viacnásobne roztaviť a ochladením uviesť späť do tuhého stavu, na rozdiel od termosetu

voľné radikály - aktívne častice podmieňujúce rozvoj chemickej reakcie. Majú jeden alebo viac nespárených valenčných elektrónov a vyznačujú sa veľkou reaktivitou

enzýmy - biokatalyzátory chemických reakcií prebiehajúcich v živom organizme. Všetky doteraz izolované a skúmané enzýmy sú bielkoviny. Katalytická účinnosť enzýmov je veľmi veľká.

radiačná iniciácia - spôsob iniciovania chemických reakcií vysokoenergetickým žiarením

radiačná sterilizácia - využívanie bionegatívnych efektov vysokoenergetického žiarenia na sterilizáciu látok živočíšneho alebo rastlinného pôvodu, prípadne na sterilizáciu zdravotnícko-lekárského materiálu a potrieb

dezinfekcia - odhmyzenie, ničenie škodlivého hmyzu fyzikálnymi alebo chemickými prostriedkami

kancerogén - jed vyvolávajúci rakovinové ochorenie bunky

radiačná modifikácia - súborné označenie pre radiačné efekty v ožiarených látkach makromolekulového typu: odbúravanie, sieťovanie, očkovanie a pod.

radiačné očkovanie - kombinovanie a modifikácia makromolekulových látok prostredníctvom očkovacej polymerizácie jedného monoméru na iný typ polyméru radiačnou iniciáciou očkovacej reakcie

radiačnochemická technológia - výrobné využitie radiačnochemických reakcií. Väčšina súčasných technologických radiačnochemických postupov má charakter syntézy, polymerizácie, očkovacej polymerizácie, modifikovania látok (najmä makromolekúl), konzervovania a sterilizácie, a pod.



Návrat z acrobat readera -  (zatvorením okna)
