

UDK 621.039.738

Nastanek in izločanje radioaktivnih nečistoč iz ozračja okoli nuklearnega reaktorja

DAMIR PEČORNIK

Uvod

Nuklearna fizika uči, da vsaka reakcija z nuklearnim gorivom (npr. U-235) povzroča v reaktorju nastanek več razpadnih produktov, ki so pretežno radioaktivni. Zaščitna obloga okoli gorilnih palic zadržuje sicer večji del teh radioaktivnih produktov, vendar del (okoli 1 %) razpadnih produktov vseeno prodre do primarnega hladilnega fluida (pri lahkovodnih reaktorjih je to voda) in od tod nazadnje skozi prepustna mesta v ozračje okoli reaktorja, natančneje v stavbo reaktorja. Drugi pomembni vir radioaktivnih nečistoč v zraku so plini in prah v bližini reaktorske posode, ki so pod vplivom neposrednega nevtronskega sevanja postali radioaktivni. Tako nastajajo iz neaktivnih delov ozračja, pod vplivom hitrih nevtronov, nevarni radioaktivni nuklidi npr.:

O-16 (n, p)	N-16 (β^- , γ)	N-14 (n, p)
O-17 (n, p)	N-16 (β^- , γ , n)	N-15 (n, γ)
O-18 (n)	O-19 (β^- , γ)	Ar-40 (n, γ)
O-18 (p, n)	F-18 (β^+)	
	C-14 (β^-) — trden	
	N-16 (β^- , γ)	
	Ar-41 (β^-)	
	K-41 — trden	

Znano je, da tudi pri teoretično popolnoma neprepustnem primarnem hladilnem sistemu zasledimo nastanek radioaktivnih nečistoč v stavbi reaktorja.

Pri hipotetičnih nesrečah, posebno pri analizah največje mogoče nesreče »NMN« — MCA — Maximal Credibel Accident), računamo z veliko večjo količino radioaktivnih nečistoč, ki uidejo iz reaktorja v stavbo. Navadno se računa z dvema odstotkoma maksimalne radioaktivne količine v nuklearnem gorivu.

Na splošno zasledimo v ozračju stavbe reaktorja dve različni vrsti radioaktivnih nečistoč, in sicer radioaktivni prah in radioaktivne pline. Iz varnostnih razlogov moramo kopičenje radioaktivnih nečistoč v stavbi reaktorja kakor tudi njihovo oddajanje v okolico preprečevati ali pa vsaj zmanjševati do dopustnih vrednosti. Pri tej nalogi ima celotni ventilacijski sistem z različnimi filtri zelo velik pomen. V tem članku je predvsem obravnavana problematika izločanja radioaktivnega joda in jodnih zmesi iz ozračja okoli reaktorja. Radioaktivni jod je zaradi nevarnega biološkega učinka (kopičenje v ščitni žlezi) eden najnevarnejših radioaktivnih nuklidov.

V skupino nevarnih plinov spadajo še plemeniti plini, predvsem Ar-41, Kr-93...91, Xe-131...140. Prisotnost drugih nuklidov v plinski obliki je zaradi premajhne koncentracije zanemarljiva. Žal lahko izločimo iz kontaminiranega ozračja brez večjih težav le radioaktivni jod, medtem ko preostalih radioaktivnih plinov ne moremo ali samo zelo težko in le deloma. Tehnologija izločanja radioaktivnega prahu iz kontaminiranega ozračja ne pomeni tehnično težavnih problemov.

Oblike radioaktivnega joda

Radioaktivni jod se pojavlja v ozračju okoli reaktorja v treh oblikah, in sicer

— kot hlapljivi elementarni jod ($^{125}\dots^{136}\text{J}_2$),

— kot produkt reakcije elementarnega joda z metanom ($\text{CH}_3^{131}\text{J}$),

— kot adhezijsko vezan s prahom.

Koncentracija anorganske spojine z vodikom ali pa organskih spojin s plini z večjo molekularno maso je zanemarljivo majhna. Jodovi filtri so zaradi omenjenega zgrajeni vedno kot kombinacija absolutnega filtra (proti prahu) in adsorpcijskega filtra (proti plinu). Učinek absolutnega filtra v nuklearnih elektrarnah ne sme biti manjši od 99,97 % pri preizkusnem prahu $\leq 0,3 \mu\text{m}$ (DOP — Test), kar je tehnično izvedljivo brez večjih težav; sam proces filtriranja v absolutnih filterih je iz literature že dalj časa znan. Načelo delovanja adsorpcijskega filtra je v veliki adsorpcijski moči nekaterih snovi z veliko specifično površino, npr. aktivnega oglja.

Za pravilno dimenzioniranje obeh delov jodovega filtra bi bilo seveda zanimivo vedeti, kateri del celotne količine radioaktivnega joda je v plinski, in kateri v trdi obliki. Na to vprašanje pa ne moremo zadovoljivo odgovoriti, ker so različna merjenja pokazala zelo različne rezultate. Tako npr. zasledimo jod v plinski obliki med 5 in 90 % celotne količine, kar je zopet močno odvisno od vlažnosti in čistoče ozračja. V relativno vlažnem in prašnem zraku zasledimo mnogo večji odstotek radioaktivnega joda, ki je vezan z vlažnimi delci prahu.

Pri varnostnih analizah lahkovodnih reaktorjev se navadno uporablja naslednja delovna hipoteza:

po NMN je v ozračju okoli reaktorja 2 % maksimalne mogoče količine radioaktivnega joda, in sicer:

85 % v obliki elementarnega joda J_2 ,

10 % kot metiljodid $\text{CH}_3^{131}\text{J}$,

5 % kot trdna zveza s prahom.

Impregnirano aktivno oglje kot adsorpcijski material

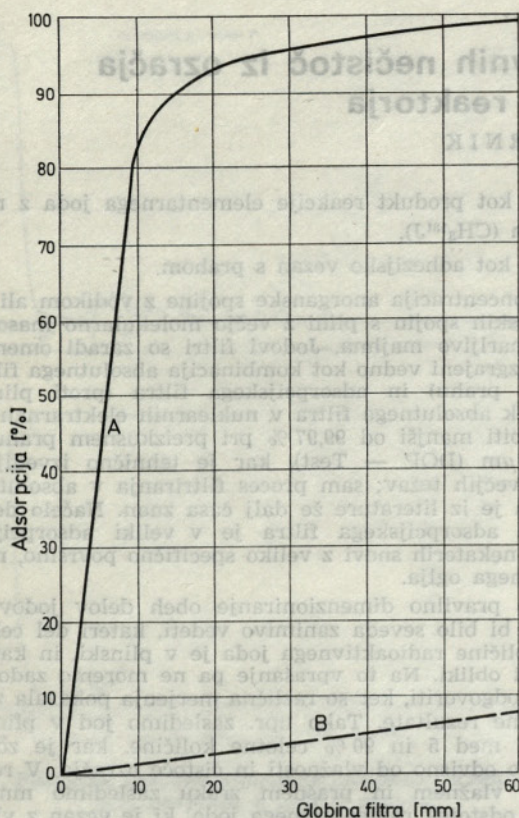
Aktivno oglje pomeni zaradi svoje velike specifične površine in znanih adsorpcijskih sposobnosti pri lahko hlapljivih plinih zelo učinkovito sredstvo pri izločanju radioaktivnega joda. Žal pa je adsorpcijska sposobnost filtra močno odvisna od relativne vlažnosti v ozračju, ker aktivno oglje zelo močno adsorbira vodne hlapce. Poleg tega je navadno aktivno oglje v rabi proti metiljodidu tudi pri sobnih temperaturah in običajnih relativnih vlažnostih razmeroma neučinkovito. Slika 1 prikazuje adsorpcijo elementarnega joda in metiljodida na površini navadnega aktivnega oglja kot funkcijo globine filtra. Razvidno je, da je pri sobnih temperaturah do 35 °C in relativni vlažnosti do 40 % aktivno oglje učinkovito le proti elementarnemu jodu. Kljub temu pa tudi vprašanje metiljodida ni nerešljivo. Dandanes poznamo že več vrst impregnacijskih postopkov, ki omogočajo izdelavo uporabnih filtrirnih materialov. Predvsem pa se je do sedaj obnesla impregnacija s kalijevim jodidom K^{127}J ali pa s trietil-diaminom.

Kemična reakcija pri obeh omenjenih impregnacijskih snoveh poteka takole:

— izmenjava izotopov pri kalijevem jodidu,

K^{127}J (impregnacija na oglju) + $\text{CH}_3^{131}\text{J}$ (plin) $\rightleftharpoons$

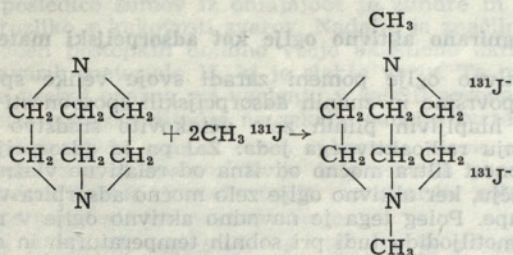
K^{131}J (impregnacija na oglju) + $\text{CH}_3^{127}\text{J}$ (plin)



Sl. 1. Adsorpcija elementarnega joda in metiljodida na aktivnem oglju

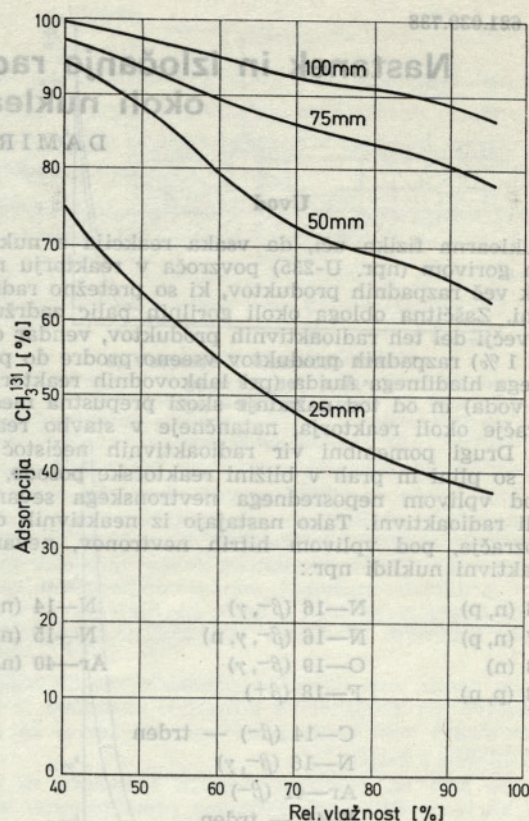
— elementarni jod
 --- metiljodid $\text{CH}_3^{131}\text{J}$

— nastanek kvartarnih amonijevih soli pri trietil-diaminu, ki se spajajo z aktivnim ogljem



Kljub impregnaciji pa je adsorpcija v filtru še vedno odvisna od globine filtra in relativne vlažnosti kontaminiranega zraka, ki ga vodimo skozi filter. Slika 2 prikazuje to odvisnost za določeni tip impregniranega aktivnega oglja (NORIT — CG II/15) in kaže, da lahko zasledujemo adsorpcijo pri različnih globinah filtra vse do približno 95-odstotne relativne vlažnosti; pri večji vlažnosti pa se sposobnost filtra slabša zelo naglo. Zaradi te neugodne lastnosti moramo adsorpcijsko snov pred vhomom v filter osušiti do $\leq 95\%$ vlage. To dosežemo s posebnim odvajalnikom kapljic in z grelnikom.

Medtem ko so filtri z impregniranim aktivnim ogljem pri sobni temperaturi in vlažnosti zelo učinkoviti proti vsem vrstam joda v plinski obliki in so več ali manj neobčutljivi proti absolutni koncentraciji ra-



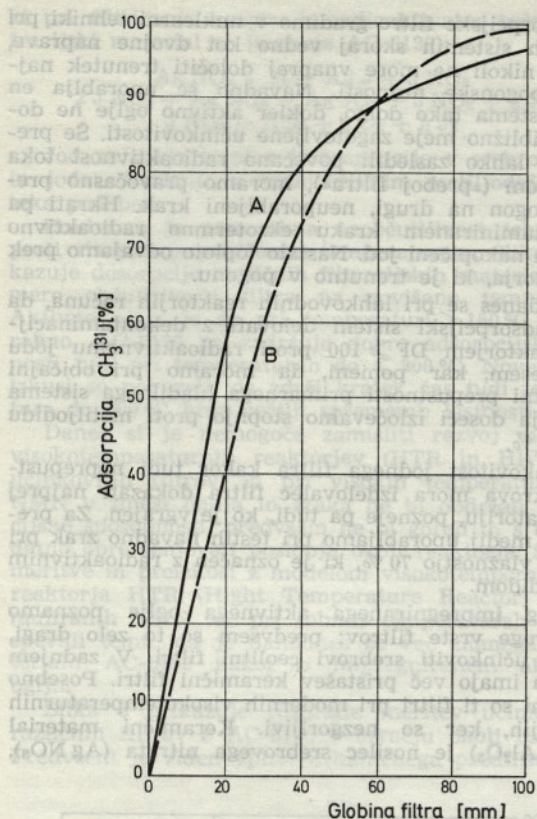
Sl. 2. Vpliv relativne vlažnosti zraka na adsorpcijo metiljodida

dioaktivnega joda v zraku (slika 3 prikazuje učinkovitost filtra pri majhni in za faktor $\approx 10^8$ večji koncentraciji filtriranega sredstva) pa je temperatura filtra zelo pomembna. Filtri z aktivnim ogljem so učinkoviti zgolj do temperature $\leq 120^\circ\text{C}$. Pri višjih temperaturah preseže desorpcija začetno adsorpcijo. To spoznanje je zelo pomembno pri filtrihi, ki so v poslopjih ali v zaprtih prostorih, kjer lahko temperatura zaradi zunanjih vplivov preseže omenjeno mejo. Tedaž pomenijo kontaminirani filtri nevarno žarišče radioaktivnega joda. Pri še višjih temperaturah (okoli $220 \dots 250^\circ\text{C}$) je že nevarnost samovžiga. Posledice požara v kontaminiranem filtru z aktivnim ogljem so lahko daljnosežne.

Učinkovitost filtra se manjša sorazmerno s časom. Vzrok za to ni morda v prehitri nasičenosti aktivnega oglja z radioaktivnim jodom in jedrnimi zmesmi; veliko hitreje namreč zasedejo druge neaktivne zmesi proste površine aktivnega oglja. Poleg tega reagira impregnacijsko sredstvo s plini v zraku; tudi temperaturne spremembe povzročajo določeno prekrystalizacijo same impregnacijske snovi. Vse to vpliva negativno na učinkovitost filtra. V splošnem govorimo o »staranju« filtra in merimo s tem vsoto vseh negativnih vplivov. Slika 4 prikazuje učinkovitost filtra v odvisnosti od časa pogona, globine sloja ter konstrukcije (vpliv mehničnega predfiltra).

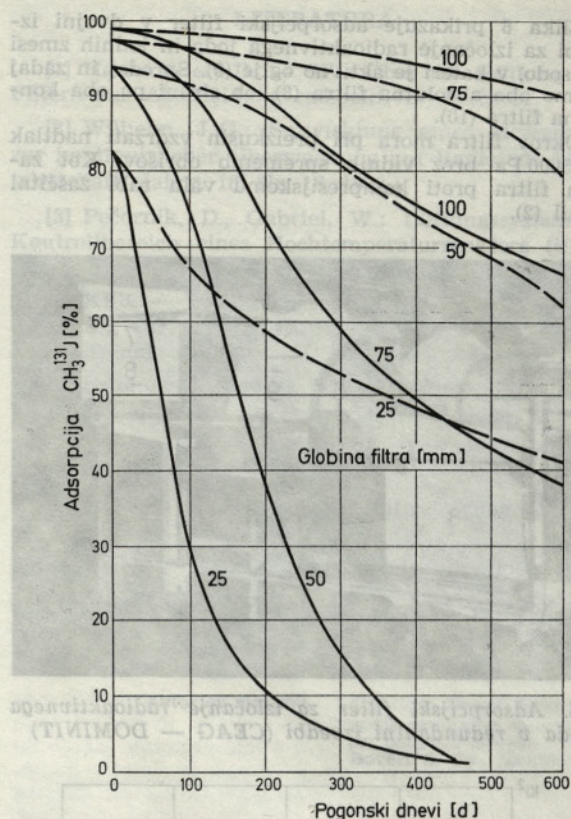
Konstrukcija

Na sliki 5 je (shematična) zgradba adsorpcijskega filtra: mehanski predfilter (7), absolutni filter (8), impregnirano aktivno oglje (9) in absolutni filter (8) kot pregraja za abrazijske delce oglja.



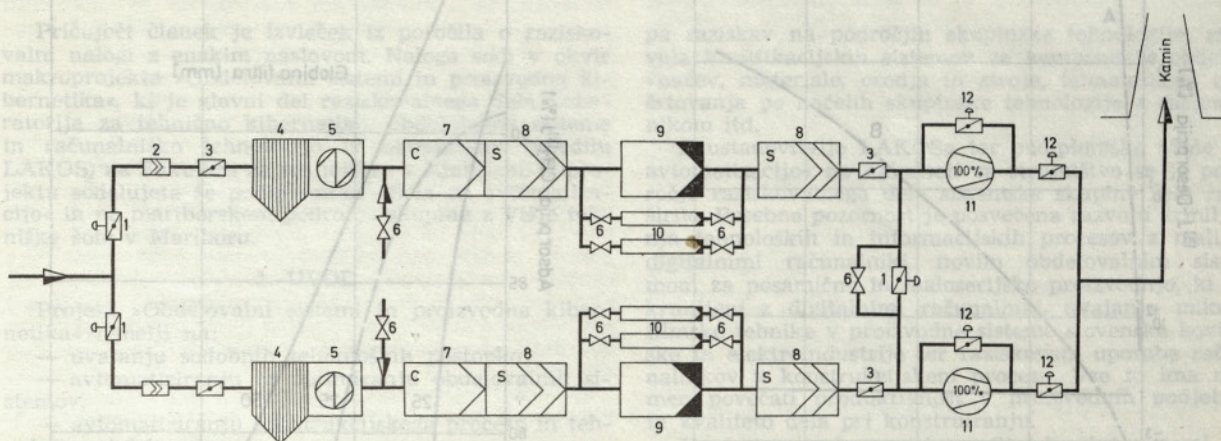
Sl. 3. Adsorpcija organskih spojin joda pri različnih koncentracijah filtrirnega sredstva

— $\approx 5 \cdot 10^3 \mu\text{g}/\text{m}^3$
 --- $\approx 10^{-6} \mu\text{g}/\text{m}^3$



Sl. 4. Vpliv pred filtra in globine adsorpcijskega sredstva na adsorpcijo metiljodida v odvisnosti od trajanja pogona

— brez pred filtra
 --- s pred filtrom



Sl. 5. Shematični prikaz adsorpcijskega filtra

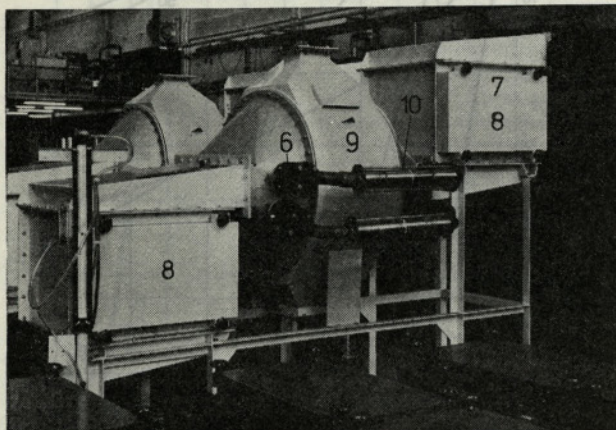
- | | | |
|-----------------------------|----------------------------------|--------------------------|
| 1 — zaporni ventil (pnevm.) | 5 — električni grelnik | 9 — adsorpcijski filter |
| 2 — zaščitni ventil | 6 — zaporni ventil | 10 — kontrolni filter |
| 3 — zaporni ventil | 7 — predfilter — razreda C | 11 — ventilator |
| 4 — odvajalnik kapljic | 8 — absolutni filter — razreda S | 12 — regulacijski ventil |

Učinkovitosti adsorpcijskega filtra ne moremo neposredno meriti. Temu se izognemo tako, da postavimo vzporedno z glavnim filtrom še en do dva kontrolna filtra (10), ki sta napolnjena z aktivnim ogljem iz iste »šarže« in sta v pogonu hkrati z glavnim filtrom. V vnaprej določenih časovnih intervalih mo-

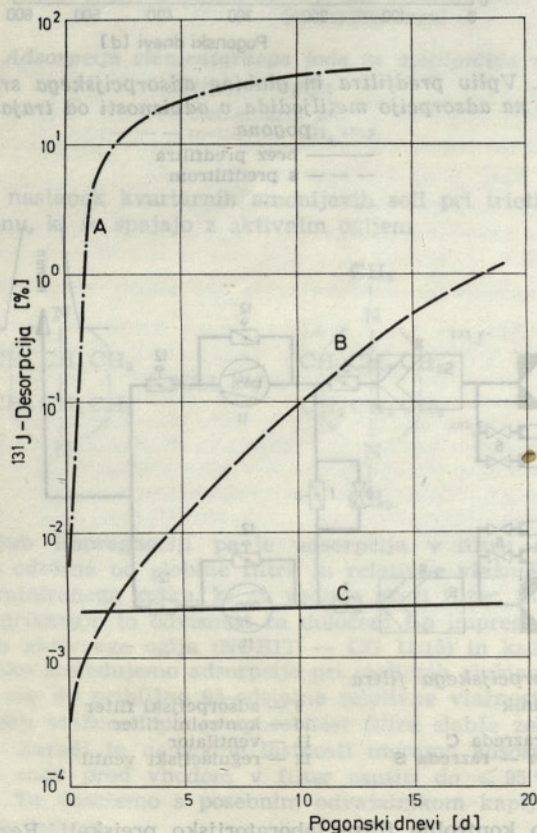
ramo kontrolne filtre laboratorijsko preiskati. Rezultati teh preizkusov dajo sliko stanja glavnega filtra. Pri presežku vnaprej določenih meja učinkovitosti se mora aktivno oglje zamenjati z novo adsorpcijsko snovjo.

Slika 6 prikazuje adsorpcijski filter v dvojni izvedbi za izločanje radioaktivnega joda in jednih zmesi s posodo, v kateri je aktivno oglje (9). Spredaj in zadaj vidimo oba absolutna filtra (8), ob strani pa oba kontrolna filtra (10).

Okrov filtra mora pri preizkusih vzdržati nadtlak do 5000 Pa brez vidnih sprememb obrisov. Kot zaščita filtra proti kompresijskemu valu rabi zaščitni ventil (2).



Sl. 6. Adsorpcijski filter za izločanje radioaktivnega joda v redundantni izvedbi (CEAG — DOMINIT)



Sl. 7. Desorpcija elementarnega joda pri različnih temperaturah filtra

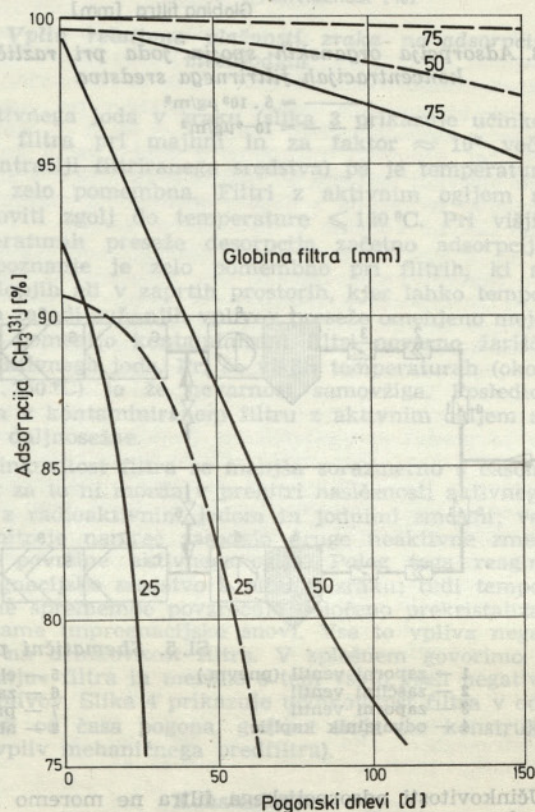
— — — — — aktivno oglje, 200 °C
 — — — — — aktivno oglje, 150 °C
 — — — — — AC-6120, 300 °C

Adsorpcijske filtre gradimo v nuklearni tehniki pri izpušnih sistemih skoraj vedno kot dvojne naprave, ker se nikoli ne more vnaprej določiti trenutke največje pogonske nujnosti. Navadno se uporablja en krak sistema tako dolgo, dokler aktivno oglje ne doseže približno meje zagotovljene učinkovitosti. Se preden bi lahko zasledili povečano radioaktivnost toka za filtrom (»preboj filtra«), moramo pravočasno prenesti pogon na drugi, neuporabljeni krak. Hkrati pa v kontaminiranem kraku eksotermno radioaktivno razpada nakopičeni jod. Nastalo toploto odvajamo prek ventilatorja, ki je trenutno v pogonu.

Dandanes se pri lahkodvodnih reaktorjih računa, da mora adsorpcijski sistem delovati z dekontaminacijskim faktorjem $DF \geq 100$ proti radioaktivnemu jodu in zmesem, kar pomeni, da moramo pri običajni 1-odstotni prepustnosti primarnega hladilnega sistema reaktorja doseči izločevalno stopnjo proti metiljodidu $IS \geq 99\%$.

Učinkovitost jodnega filtra kakor tudi neprepustnost okrova mora izdelovalec filtra dokazati najprej v laboratoriju, pozneje pa tudi, ko je vgrajen. Za preizkusni medij uporabljamo pri testih navadno zrak pri 35 °C z vlažnostjo 70 %, ki je označen z radioaktivnim metiljodidom.

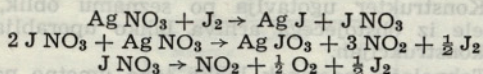
Poleg impregniranega aktivnega oglja poznamo tudi druge vrste filtrov; predvsem so to zelo dragi, vendar učinkoviti srebrovi ceolitični filtri. V zadnjem času pa imajo več pristašev keramični filtri. Posebno primerni so ti filtri pri modernih visokotemperaturnih reaktorjih, ker so nezgorljivi. Keramični material (SiO_2 , Al_2O_3) je nosilec srebrovega nitrata ($AgNO_3$),



Sl. 8. Vpliv pred filtra na staranje AC-6120 v ozračju reaktorja

— — — — — brez pred filtra
 — — — — — s pred filtrom

ki pri filtriranju reagira z radioaktivnim jodom (filtracijski material se imenuje AC-6120):



Jod se spaja torej z impregnacijo v srebrov jodid in jodat. Reakcija z radioaktivnim metiljodidom poteka podobno.

Predvsem je pomembna neobčutljivost teh filtrov proti visokim in povišanim temperaturam. Slika 7 prikazuje desorpcijo različnih filtracijskih materialov kot mero občutljivosti filtra na povišano temperaturo. Aktivno oglje je že pri temperaturi $\geq 150^\circ\text{C}$ neuporabno, AC-6120 pa zadržuje dobre adsorpcijske lastnosti tudi pri temperaturah do $\leq 300^\circ\text{C}$. Novejši preizkusi so pokazali, da zdrži kratek čas tudi temperature do 600°C brez večjih sprememb lastnosti.

Danes si je nemogoče zamisliti razvoj modernih visokotemperaturnih reaktorjev (HTR in HHT) brez učinkovitih filtrov, ki pri visokih temperaturah pri NMN v zmesi helija in zraka ne bi obdržali adsorpcijske sposobnosti, predvsem ne bi goreli in s tem dodatno obremenjevali poslopja okoli reaktorja. Številne meritve in preizkusi z modelom visokotemperaturnega reaktorja HTR (Hight Temperature Reactor) pri simuliranih NMN ter pri sobnih temperaturah so pripevali temu, da je dandanes že več znanega o materialu AC-6120 kakor o impregniranem aktivnem oglju.

Slika 8 prikazuje rezultate meritev učinkovitosti različnih filtrov z AC-6120 v ozračju okoli reaktorja. Predvsem je viden vpliv mehničnega pred filtra.

UDK 658.512.624.001.33:338.45

Uvajanje skupinske tehnologije in klasifikacijskih sistemov z mikrofilmom v kovinski in elektroindustriji Slovenije*

AVTORSKI KOLEKTIV

Pričujoči članek je izvleček iz poročila o raziskovalni nalogi z enakim naslovom. Naloga sodi v okvir makroprojekta »Obdelovalni sistemi in proizvodna kibernetika«, ki je glavni del raziskovalnega dela Laboratorija za tehnično kibernetiko, obdelovalne sisteme in računalniško tehnologijo (v nadaljnjem besedilu LAKOS) na Fakulteti za strojništvo v Ljubljani. V projektu sodelujeta še podiplomska »Šola za avtomatizacijo« in na mariborskem področju skupina z Višje tehniške šole v Mariboru.

1. UVOD

Projekt »Obdelovalni sistemi in proizvodna kibernetika« temelji na:

- uvajanju sodobnih tehnoloških postopkov,
- avtomatiziranju in optimiranju obdelovalnih sistemov,
- avtomatiziranju konstrukcijskega procesa in tehnološke obdelave,
- uvajanju skupinske tehnologije in sistemov orodij,
- smiselno zasnovanih informacijskih sistemih,
- klasificiranju komponent vseh vrst obdelovancev, materialov itd.,
- učinkovitem vodenju proizvodnje in odločanju po kibernetičkih načelih.

Pred petimi leti smo na Fakulteti za strojništvo oblikovali sistemsko tehnološko raziskovalno skupino, ki se je lotila raziskav na omenjenih področjih, najprej raziskav obdelovalnosti domačih materialov, nato

LITERATURA

- [1] Hasenclever, D. — SFI: Über die Prüfung von Filtern zur Abscheidung radioaktiver Aerosole.
- [2] Wilhelm, J.G.: Entwicklung eines Messgerätes zur kontinuierlicher Überwachung auf Radiojod. Atomwirtschaft, Jahrg. 18, Nr. 16, 1973.
- [3] Pečornik, D., Gabriel, W.: Lüftungssystem im Kontrollbereich eines Hochtemperaturreaktors (HTR), Reaktortagung Berlin 1974; Kerntechnik 1975.
- [4] KFK — 1365, 1565, 1818, 1859 — Jahresbericht Abteilung für Strahlenschutz und Sicherheit, Jodfilterprogramm.
- [5] Seminar on Jodine Filter Testing — Karlsruhe 1973.
- [6] SWKI — Klassifizierung, Testmethoden und Anwendung von Luftfiltern.
- [7] VDI — Strauss, H.-J.: Luftreinigung (Filtern, Waschen).
- [8] CEAG — DOMINIT AG — Informationen.
- [9] Federal Standard No. 209a.
- [10] Vorläufige Richtlinien zur Prüfung von Filtern zur Abscheidung von Schwebestoffen.

Avtorjev naslov: dipl. ing. Damir Pečornik
vodja projektne skupine
pri podjetju Brown,
Boveri & Co., Mannheim

pa raziskav na področjih skupinske tehnologije, razvoja klasifikacijskih sistemov za komponente obdelovancev, materiale, orodja in stroje, tehnološkega načrtovanja po načelih skupinske tehnologije z računalnikom itd.

Z ustanovitvijo LAKOSa ter podiplomske »Šole za avtomatizacijo« na Fakulteti za strojništvo se je področje raziskovalnega dela systemske skupine zelo razširilo. Posebna pozornost je posvečena razvoju krmiljenja tehnoloških in informacijskih procesov z malimi digitalnimi računalniki, novim obdelovalnim sistemom za posamično in maloserijsko proizvodnjo, ki so krmiljeni z digitalnimi računalniki, uvajanju mikrofilmske tehnike v proizvodne sisteme slovenske kovinske in elektroindustrije ter raziskavam uporabe računalnikov v konstrukcijskem procesu. Vse to ima namen povečati produktivnost v proizvodnih podjetjih in kvaliteto dela pri konstruiranju.

V okviru makroprojekta »Obdelovalni sistemi in proizvodna kibernetika« LAKOS uspešno uvaja začetne študije in raziskave o možnosti za organiziranje geometrične informacije kot prvega logičnega koraka pri gradnji informacijskega sistema za upravljanje proizvodnje.

V prvem delu sklepnega poročila je obravnavana povezava sodobnega informacijskega sistema z mikrofilmom in skupinsko tehnologijo kot osnova pri uvajanju modernih organizacijsko-tehničnih in tehnoloških novosti v kovinski in elektroindustriji SR Slovenije. V drugem delu poročila pa so podane posamezne tehnološke klasifikacije elementov z geometričnimi ka-

* Povzetek poročila o raziskovalni nalogi.