



RADIOHEMIJA

Z. Dizdar

Daje se istorijat rada na radiohemiji u Institutu za nuklearne nauke „Boris Kidrič“ u Vinči od njegovog osnivanja do danas. Govori se o tehničkim, organizacionim i kadrovskim uslovima od kojih zavisi dalji uspešan razvoj ove oblasti.

Period od osnivanja Instituta, 1948. godine, do 1962. godine zaključno, već je obrađen prigodom petnaestogodišnjice Instituta. Taj prikaz dat je na X Savetovanju hemičara Srbije 1963. godine i iste godine objavljen u Glasniku hemijskog društva (1). On je obuhvatio aktivnost koja je rezultovala u 66 radova objavljenih u tom periodu.

U ovom pregledu biće, prema tome, obuhvaćen samo period od 1963. do 1968. godine zaključno i tek sa prethodnim pregledom on pruža uvid u celokupnu aktivnost Instituta na području radiohemije za proteklih dvadeset godina.

U periodu o kome je ovde reč, nastavljen je rad u svim onim oblastima u kojima je i do tada rađeno. To je razumljivo ako se ima u vidu da je investiciono opremanje laboratorija kao i formiranje kadra bilo do tog vremena uglavnom završeno. Time je, po tradiciji, a delom i po inerciji, bila određena i aktivnost laboratorija i pojedinaca u Institutu.

Ova aktivnost bila je usmerena na četiri osnovna cilja:

- a) proizvodnju i primenu radioaktivnih izotopa i obeleženih jedinjenja;
- b) razvoj novih goriva, u prvom redu goriva na bazi plutonijuma;
- c) regeneraciju ozračenog nuklearnog goriva, u prvom redu urana;
- d) hemijske probleme vezane za pogon i eksploataciju nuklearnih reaktora.

U toj aktivnosti bile su zastupljene sve vrste istraživanja: od usmerenih osnovnih do razvojnih, od hemije vrućeg atoma, preko razvoja separacionih i analitičkih postupaka, do razvoja metoda proizvodnje.

Istraživanja u oblasti hemije vrućeg atoma imala su za cilj izolovanje radionuklida u željenom hemijskom obliku, poboljšanje hemijske reaktivnosti izvesnih sistema u zavisnosti od stepena sredenosti njihove kristalne rešetke, kao i poboljšanje adsorpcionih i katalitičkih osobina nekih neorganskih oksida. U vezi s tim ispitivani su valentni oblici nekih radionuklida nastalih (n, gama)-reakcijom pod raznim uslovima. Ispitivan je ^{51}Cr dobiven ozračivanjem kalijum hromata odnosno trovalentnog hroma deponovanih na magnezijum oksidu (2, 3), zatim ^{131}I dobiven ozračivanjem nekih jedinjenja telura (4–6) kao i ^{32}P (7, 8). Ispitivani su i procesi uzamaka ^{51}Cr u smešama kalijum hromata i alkalnih halogenida kao i uticaj anjonskih vakancija na termalni aniling u dopingovanim kristalima hromata. Posebno je ispitivano dejstvo neutronskog ozračivanja na adsorpcionu sposobnost nekih neorganskih oksida. Izučavane su i hemijske transformacije izazvane (n, gama)-reakcijama kod šesterovalentnog telura (9).

U razvoju separacionih postupaka korišćena je naročito jonska izmena i ekstrakcija organskim rastvaračima. U jonskoj izmeni upotrebljavani su pored organskih jonoizmenjivača i izmenjivači neorganskog tipa, kao što su cirkonijum fosfat i pirofosfat, zatim silika gel impregniran cirkonijum pirofosfatom. U ekstrakciji je korišćen čitav niz organskih rastvarača čistih ili u obliku različitih smeša. Razvoj ovih postupaka nametale su potrebe prerade ozračenog urana, prečišćavanja plutonijuma, proizvodnje radioizotopa, kao i potrebe analitike.

Jonska izmena je korišćena u cilju razvoja postupaka za odvajanje plutonijuma od urana i fisionijskih produkata, pri čemu su korišćeni cirkonijum pirofosfat (10) i cirkonijum fosfat (11). Cirkonijum fosfat je korišćen i za razdvajanje nekih dvovalentnih i trovalentnih katjona (12), kao i za izdvajanje uranil jona na povišenim temperaturama (13). Za odvajanje urana od niza katjona korišćena su i molekulska sita (14, 15). U nekim slučajevima i dalje su upotrebljavani jonoizmenjivači organskog tipa: za odvajanje americijuma od plutonijuma (16) i uopšte za prečišćavanje plutonijuma (17).

U oblasti ekstrakcije organskim rastvaračima ispitivana je ekstrakcija nekih nuklida (uran, fisijni produkti i dr.) aminima u cilju nalaženja optimalnih uslova za njihovo međusobno razdvajanje (18, 19), kao i ekstrakcija tenoil-trifluoracetona uranila (20). Proučavana je i ekstrakcija Fe(III) i U(VI) smešama

tri-n-oktilamina i TTA (21), kao i ekstrakcija nekih aktinida i fisijonih produkata nitrometanom (22, 23) i drugih organskim rastvaračima (24).

Ispitivane su i druge metode separacije: hromatografija na hartiji za odvajanje raznih valentnih stanja joda (25), reverzno-fazna hromatografija za razdvajanje jona metala, pri čemu je kao organska faza korišćen di-n-butilfosfat (26), tri-oktilfosfat (27) i druga alkilfosforna jedinjenja (28), i elektroforeza, za razdvajanje raznih vrsta ^{32}P dobivenih pri neutronsom ozračivanju rastvora trifenil-fosfata u benzenu (29). Izučavan je i sinergizam u reverzno-faznoj hromatografiji americijuma i nekih retkih zemalja (30).

Rad na analitici radioaktivnog materijala služio je u prvom redu kontroli procesa prerade ozračenog nuklearnog goriva (31), kao i kontroli proizvedenih radioaktivnih izotopa (32—36) i većinom predstavljao korišćenje već poznatih postupaka. Originalan rad kretao se u dosta uskim okvirima. U cilju gravimetrijskog određivanja bizmuta pomoću 1-fenil tetrazol-5-tiola razrađena je metoda za prethodno odvajanje urana (37). Razrađena je i spektrofotometrijska metoda za određivanje urana u rastvorima TBP (38), kao i metoda za određivanje izotopskog sastava urana pomoću alfa spektrometrije (39) i masene spektrometrije (40). Ovde treba pomenuti i rad na hemiji aktinidnih elemenata, u prvom redu urana. Ispitivani su uslovi pod kojima nastaju razni kompleksi urana i određivane njihove konstante stabilnosti i druge karakteristike, što je od značaja za analitiku urana (41—43). U okviru kontrole radioaktivnih izotopa korišćenih u medicini ispitivano je ponašanje ^{131}I in vivo, određivanjem njegovog fiksiranja na štitnoj žlezdi pacova (44). U poslednje doba sve se više koristi i aktivaciona analiza (45—47). Rađeno je i na razvoju radio-metrijskih metoda (48, 49), kao i na instrumentaciji za radioaktivna merenja (50).

U poslednje doba radi se na razvoju plutonijumskog goriva keramičkog tipa (51, 52), naročito na sol-gel postupku koji omogućava dobijanje čestica definisane veličine i vrlo velike specifične težine. Ovaj rad bio je moguć zahvaljujući velikom iskustvu stečenom dugogodišnjim radom sa plutonijumom.

Jedna od veoma važnih aktivnosti koja spada u oblast primenjene radiohemije jeste oblast prerade ozračenog nuklearnog goriva. Na regeneraciji ozračenog urana radi se u Institutu već godinama. Podignuto je jedno opitno postrojenje za ispitivanje raznih shema prerade. Razvija se jedna varijanta Purex postupka (53—56) i radi na razvoju potrebnih uređaja (57—59).

Druga važna oblast primenjene radiohemije je razvoj postupaka za proizvodnju radioaktivnih izotopa. Uspešno bavljenje ovom delatnošću moguće je tek pri visokom stepenu ovladavanja teorijskim i praktičnim znanjima iz radiohemije, te sa svoje strane ukazuje na visoki nivo koji je u radiohemiji u Institutu postignut.

Radilo se na razvoju novih postupaka za dobijanje radioaktivnih izotopa, kao što su ^{131}I (60), ^{32}P (61, 62), ^{51}Cr (63, 64), koloidno zlato ^{198}Au (65, 66), ^{210}Po (67).

Mnogo je napora uloženo u ovladavanje proizvodnjom raznih zatvorenih radioaktivnih izvora za različite svrhe: radiografiju (68—70), teleterapiju (71), medicinsku aplikaciju, kao i u proizvodnju radioaktivnih standarda (72, 73).

Razvijani su i postupci za sintezu obeleženih jedinjenja, kao što je malation obeležen sa ^{35}S ili ^{32}P i dipterex obeležen sa ^{32}P (74), DL-cistin obeležen sa ^{35}S , anhidrid sirćetne kiseline (75) i 5-fluoruracil obeležen sa ^{14}C , ili jedinjenja obeležena sa ^{131}I . U poslednje doba aktivnost je usmerena na sintezu jedinjenja obeleženih tritijumom, kao i na biohemijske sinteze jedinjenja obeleženih sa ^{14}C .

Rađeno je i na projektovanju i konstrukciji specijalnih laboratorija (76, 77) i uređaja potrebnih u proizvodnji radioaktivnih izotopa (78, 79). Nažalost, mnogi napor na ovom području nije uopšte objavljen i time učinjen dostupnim stručnoj javnosti.

O proizvodnji radioaktivnih izotopa referisano je više puta (80—86), pa se tu mogu naći svi podaci od interesa za tu aktivnost.

U naslonu na proizvodnju razvijala se i primena radioaktivnih izotopa (87). Ona se kretala u nekoliko pravaca: ka primeni radioizotopa kao obeleživača u industrijskim procesima (88—90), u kontroli procesa korozije i habanja (91—94), u hidrološkim ispitivanjima (95—100), kao i u medicini (101). Suvišno je i reći da su se izotopi kao obeleživači koristili i u većini istraživanja koja su bila fundamentalnog karaktera a odnosila se na fizičku hemiju rastvora, rastopa, fenomena ekstrakcije itd.

Niz hemijskih problema koji su vezani za pogon nuklearnih reaktora, njihovo normalno funkcionisanje kao i akcidentalne uslove, takođe je obrađivan. Ovi problemi obično se obuhvataju zajedničkim nazivom „hemija reaktora“. Tu pre svega dolaze problemi prečišćavanja vode reaktorskog primarnog kola od produkata korozije i fisijonih produkata pod uslovima rada reaktora (visoka temperatura i pritisak) (102), problemi vezani za transport i manipulisanje fisijonim produktima, određivanje stepena izgaranja goriva (103) i slični problemi. Ovo je područje veoma važno, široko i zahtevaće ubuduće mnogo više angažovanja.

Radilo se i na problemima detekcije, merenja i tretiranja radioaktivnih gasova i aerosola (104), a naročito radioaktivnih efluenata (105—115). Posebnu studiju predstavlja dugogodišnji rad na kompleksnom izučavanju kretanja i ponašanja radioaktivnih nuklida u vodotoku Dunava, kao prirodnom recipijentu radioaktivnih efluenata Vinče (i ne samo Vinče) (116—117), kao i na praćenju radioaktivnosti padavina (118—121).

Na kraju treba pomenuti i rad na razvoju postupaka *d e k o n t a m i n a c i j e*, veoma važan bilo da se radi o reaktoru (122, 123), laboratorijskim prostorijama ili uređajima i materijalima koji se u njima koriste (124, 125).

Ovde je izložena delatnost koja je rezultovala u 125 publikacija. Ako se uzme u obzir da se radi o petogodišnjem periodu i da je za prvih petnaest godina rada objavljeno oko 70 radova, može se samo konstatovati da je naučna produkcija poslednjih godina znatno porasla. To je razumljivo, jer su ulaganja, pre svega u kadrove, dovela do jednog kvaliteta koji je danas sposoban da produkuje, i da produkuje sve više. Detaljnija analiza bi svakako pokazala da je i kvalitet tih radova iznad kvaliteta radova iz prvih godina rada, kada su se tek sticala prva iskustva.

Broju publikacija koji se penje na skoro 200 u celokupnom proteklom periodu, treba dodati oko 30.000 kirija proizvedenih radioizotopa, niz laboratorija i uređaja za radioaktivni rad projektovanih i izvedenih u samom Institutu, kao i mnogobrojan kadar iskusnih radiohemičara.

Da bi ova oblast dalje napredovala, biće potrebno u nastupajućem periodu izvršiti niz zahvata tehničkog, organizacionog i programskog karaktera:

a) ozbiljno razmotriti mogućnost podizanja snage reaktora RA ne samo zbog proizvodnje radioizotopa, već i zbog fundamentalnih i drugih istraživanja za koja njegovi fluksevi postaju nedovoljni;

b) u proizvodnji radioaktivnih izotopa i obeleženih jedinjenja nastaviti trend proširenja asortimana kao i osvajanja novih oblika za primenu izotopa i obeleženih jedinjenja (medicinski aplikatori, izvori zračenja za specijalne svrhe u industriji i dr.);

c) sanirati situaciju u oblasti sinteze C-14-obeleženih jedinjenja definitivnim definisanjem programa. Dilema pri ovome je da li treba ići na proizvodnju ili na čisto istraživački rad. Dosadašnje iskustvo pokazuje da je naše tržište preusko za proizvodnju koja bi bila ekonomski opravdana;

d) u aktivacionoj analizi ostvariti tešnju saradnju sa nuklearnim fizičarima, te se orijentisati na probleme od interesa za praksu;

e) intenzivirati istraživanja na području primene radioaktivnih izotopa kao obeleživača. U svetu je to veoma aktivna i perspektivna oblast istraživanja, koja kod nas, međutim, trpi od odsustva stabilnijih izvora finansiranja;

f) istraživanja u oblasti prerade ozračenih goriva kao i u oblasti razvoja perspektivnih nuklearnih goriva, u prvom redu goriva na bazi plutonijuma, predstavljaju istraživanja razvojnog karaktera koja su relativno skupa i moraju se dugoročno planirati. Svaka nesigurnost, a pogotovo izmene u planovima, odražavaju se veoma negativno i vezani su za velike troškove.

Program u oblasti radiohemije osim toga što ima određeni naučni značaj, vezan je i za postojeće ili potencijalne potrebe privrede:

a) kroz proizvodnju odnosno plasman radioizotopa i obeleženih jedinjenja. U ovome je došlo do izvesne stagnacije: već nekoliko godina broj domaćih korisnika naših izotopa kreće se oko sto. Očigledno je da bi bio potreban jedan snažan propagandni zahvat da se tržište pokrene.

Postoji čitav niz faktora na strani industrije koji ograničavaju širu primenu radioizotopa i koji su dobro poznati. I u samom Institutu postoje teškoće koje proističu iz činjenice da se ovim poslom bavi malobrojna grupa ljudi. Bilo bi potrebno znatno ojačati grupu i brojno i po kvalitetu, a za to su potrebna sredstva. Ova oblast je izgubila podršku društva pre nego što je ozbiljno stala na noge. To je u suprotnosti sa praksom koja vlada u svim drugim zemljama koje rade na nuklearnoj energiji i od velike je štete, jer se radi o jedinoj oblasti u okviru nuklearne energije gde ulaganja daju trenutnu i neposrednu korist;

b) kroz iskustvo stečeno na razvoju nekih postupaka na aktivnom nivou, koje se može primeniti i u standardnoj industrijskoj praksi (separacija ili prečišćavanje materijala ekstrakcijom organskim rastvaračima ili jonskom izmenom; prečišćavanje vode na visokim temperaturama i pritiscima; prečišćavanje otpadnih voda i sl.).

Abstract

TWENTY YEARS OF RADIOCHEMISTRY AT THE BORIS KIDRIČ INSTITUTE OF NUCLEAR SCIENCES AT VINČA, YUGOSLAVIA

Z. Dizdar

Boris Kidrič Institute of Nuclear Sciences, Vinča

The history of the work in the field of radiochemistry at the Boris Kidrič Institute of Nuclear Sciences, Vinča, Yugoslavia, is given. The technical, organization and staff conditions on which further successful development in this domain depends are discussed.

L I T E R A T U R A

- 1) Dizdar Z., Radiohemija u Institutu „Boris Kidrič“ u Vinči, Glasnik hem. društva Beograd (Bull. soc. chim. Beograd), **28**, 107 (1963).
- 2) Veljković S., S. Milenković, M. Ratković, The behaviour of recoil Cr-51 in chromates deposited on MgO, J. Inorg. Nucl. Chem., **27**, 266 (1965).
- 3) Veljković S., Milenković S., M. Ratković, Recoil precosses of ^{51}Cr in mixed inorganic systems, Chemical Effects of Nuclear Transformations, IAEA, Vienna, **2**, 267 (1965)
- 4) Stevović J., Lj. Jačimović, S. Veljković, The behaviour of radioiodine in TeO_2 , J. Inorg. Nucl. Chem., **27**, 29 (1965)
- 5) Jačimović Lj., J. Stevović, S. Veljković, Post-irradiation behaviour of ^{131}I in TeO_2 , Chemical Effects of Nuclear Transformations, IAEA, Vienna, **2**, 523 (1965)
- 6) Teofilovski Č., The behaviour of ^{131}I in polymetateelluric acid irradiated in the nuclear recator, Bull. Inst. Nucl. Sci. „Boris Kidrič“, **17**, 17 (1966)
- 7) Jovanović-Kovačević O., Hemijska identifikacija radioaktivnog fosfata nastalog (n, gama)-reakcijom, Doktorska teza, Tehnički fakultet Sveučilišta u Zagrebu, juli 1966
- 8) Jovanović-Kovačević O., Behaviour of ^{32}P in crystalline aromatic phosphates, Inorg. Nucl. Chem. Letters, **4**, 585 (1968)
- 9) Stevović J., R. Muxart, Transformations chimiques associées à la reaction (n,γ) sur l'acide tellurique, Radiochimica Acta, **9**, 76 (1968)
- 10) Cvjetičanin D., N. Milić, Separation of plutonium from uranium and fission products on zirconium pyrophosphate, Bull. Inst. Nucl. Sci. „Boris Kidrič“, **15**, 73 (1964)
- 11) Gal I., A. Ruvarac, The separation of plutonium from uranium and fission products on zirconium phosphate columns, J. Chromatog., **13**, 549 (1964)
- 12) Gal I., N. Perić, The separation of some bi- and tervalent cations on zirconium phosphate columns, Microchim. Acta, **2**, 251 (1965)
- 13) Vesely V., A. Ruvarac, L. Sedlakova, Sorption of uranyl ions on zirconium phosphates at elevated temperatures, J. Inorg. Nucl. Chem., **30**, 1101 (1968)
- 14) Šušić M., V. Radak, D. Veselinović, N. Petrović, The separation of uranium from some cations on a column with a 4A-type molecular sieve as an ion-exchanger, Bull. Inst. Nucl. Sci. „Boris Kidrič“, **15**, 1 (1964)
- 15) Šušić M., V. Radak, The possibility of using the molecular sieve 4A in decontamination of fission product aqueous solutions, Ibid., **17**, 243 (1966)
- 16) Cvjetičanin D., S. Ratković, Separation of americium from plutonium by anion exchange, Ibid., **16**, 223 (1965)
- 17) Cvjetičanin D., Očistka plutonija metodom anionog obmena, Simpoz. SEV Isled. v oblasti prerabotki oblučenog topliva, Karlovi Vari, 1968
- 18) Šušić M., The extraction of metal complexes with organic acids by means of amines; the extraction of uranium and titanium complexes, Bull. Inst. Nucl. Sci. „Boris Kidrič“, **14**, 27 (1963)
- 19) Šušić M., Z. Maksimović, Extraction of ^{95}Zr , ^{95}Nb from oxalic acid solutions by means of tri-iso-octyl amine, Ibid., **14**, 135 (1963)
- 20) Milić N., O. Petruhin, A. Zolotov, Ekstrakcija tenoiltrifluoracetona uranila, Ž. Neorgan. Him., **9**, 2664 (1964)
- 21) Nikolić R., I. Gal, The solvent extraction of Fe (III) and U (VI) with mixtures of tri-n-octylamine and thenoyl-trifluoracetone in benzene and nitrobenzene, Croat. Chem. Acta, **38**, 17 (1966)
- 22) Milić N., Solvent extraction of some actinides and fission products by nitromethane, Anal. Chim. Acta, **42**, 160 (1968)
- 23) Milić N., Ekstrakcija plutonijuma nitrometonom, Glasnik hem. društva Beograd (Bull. soc. chim. Beograd),
- 24) Nikolić R., Ekstrakcija nekih radionuklida iz vodenih rastvora ternernim organskim rastvaračima, IBK 305 (1965).
- 25) Obrenović-Paligorić I., J. Čvorić, The separation of iodide, iodate and periodate by means of paper chromatography, Bull. Inst. Nucl. Sci. „Boris Kidrič“, **14**, 95 (1963)
- 26) Cvjetičanin N., Chromatographic aeparation of rare earths on paper treated with di-n-butylphosphate, Ibid., **15**, 201 (1964)
- 27) Cvjetičanin N., J. Čvorić, I. Obrenović-Paligorić, Chromatographic separation of metal ions by means of paper treated with trioctyl phosphate, Ibid., **14**, 83 (1963)
- 28) Cvjetičanin N., Reverzno-fazna hromatografija jona metala pomoću alkilfosfornih jedinjenja, Doktorska teza, Prirodno-matematički fakultet Univerziteta u Beogradu, mart 1967
- 29) Jovanović-Kovačević O., Electrophoretic separation of phosphorus 32 species obtained by (n, γ) activation of triphenylphosphate solution in benzene, J. Chromatog., **32**, 368 (1968)
- 30) Cvjetičanin N., Synergism in the reversed-phase partition chromatography of americium, cerium and lanthanum, Ibid., **34**, 520 (1968)
- 31) Cvjetičanin N., I. Obrenović, D. Nemoda, Analitička kontrola pri preradi nuklearnog goriva, Tehnika, **18**, 1997 (1963)
- 32) Čvorić J., R. Drašković, D. Nemoda, B. Prokić, Hemijska i radiohemijska kontrola radioaktivnih izotopa koji se primenjuju u medicini, Ibid., **19**, 822 (1964)
- 33) Jovanović V., R. Drašković, Biološka kontrola nekih radioaktivnih izotopa za medicinske svrhe koji se proizvode u Institutu „Boris Kidrič“ Ibid., **19**, 1781 (1964)
- 34) Cvjetičanin N., Uperedna ispitivanja radiohemijske čistoće rozbengala iz Saclaya, Amershama i Abotta, Ibid., **20**, 2054 (1965)
- 35) Memedović T., D. Radosavljević, Z. Solarević, Tekuća merenja aktivnosti radioaktivnih izotopa pri njihovoj proizvodnji, Ibid., **11**, 242 (1966)

- 36) Jovanović V., M. Vujević, Kontrola sterilnosti J-131, *Ibid.*, **18**, 2005 (1963)
- 37) Stevančević D., The separation of bismuth from uranium by extraction and precipitation with 1-phenyl-tetrazole-5-thiol, *Bull. Inst. Nucl. Sci. „Boris Kidrič“*, **14**, 67 (1963)
- 38) Obrenović-Paligorić I., I. Gal, V. Vajgand, Spectrophotometric determination of uranium in organic solutions of tributyl phosphate, *Anal. Chim. Acta*, **40**, 534 (1968)
- 39) Cvjetičanin D., V. Bulović, K. Zmbov, Isotope analysis of uranium samples by alpha spectrometry, *Bull. Inst. Nucl. Sci. „Boris Kidrič“*, **16**, 233 (1965)
- 40) Zmbov K., Masenospektrometrijska izotopska analiza uranijuma, *Tehnika*, **18**, 810 (1963)
- 41) Muk A., The spectrophotometric investigation of the reaction of an uranyl ion with meconic and comenic acids, *Bull. Inst. Nucl. Sci. „Boris Kidrič“*, **14**, 105 (1963)
- 42) Stevančević D., V. Antonijević, Stability constants of metal complexes with 2-methyl-heptane-4, 6-dione and hexane-2, 4-dione, *Ibid.*, **15**, 183 (1964)
- 43) Stevančević D., V. Antonijević, Extraction of copper and uranium with 2-methyl-heptane-4, 6-dione and hexane-2, 4-dione, *Ibid.*, **16**, 11 (1965)
- 44) Jovanović V., Lj. Jačimović, Ispitivanje fiksacije ^{131}I domaće proizvodnje na štitnoj žlezdi pacova, *Arhiv za farmaciju*, **3**, 165 (1965)
- 45) Stevančević D., G. Hajduković, Extraction of copper and its determination by radioactivation analysis, *Bull. Inst. Nucl. Sci. „Boris Kidrič“*, **15**, 193 (1964)
- 46) Hajduković G., Određivanje bakra i zlata radioaktivacionom analizom, IBK 491 (1966)
- 47) Drašković R. J., R. S. Drašković, Production de l'or colloïdal radioactif à l'Institut des sciences nucléaires „Boris Kidrič“, Vinča — Yougoslavie, III. Determination de la pureté radioactive de l'or colloïdal ^{198}Au et des rapports des radioactivités $^{198}\text{Au}/^{199}\text{Au}$ en fonction des flux de neutrons, *Isotopenpraxis*,
- 48) Dobrilović Lj., Đ. Bek-Uzarov, V. Gradojević, D. Paligorić, Analiza čistih beta emitera tečnim scintilacionim brojačem, *Tehnika*, **19**, 1203 (1964)
- 49) Dobrilović Lj., Đ. Bek-Uzarov, D. Paligorić, Radiometric analysis of isotopes produced in the Boris Kidrič Institute at Vinča, XXXIV Intern. kongres industr. hemije, Beograd, sept. 1963.
- 50) Bulović V., F. Jovanović, 4π proporcionalni brojač sa protokom metana, *Tehnika*, **20**, 1845 (1965)
- 51) Milić N., P. Janičijević, R. Deletić, B. Živanović, D. Cvjetičanin, I. Stamenković, Keramičko nuklearno gorivo na bazi $\text{PuO}_2\text{-UO}_2$, IBK 395 (1965)
- 52) Cvjetičanin D., N. Milić, N. Cvjetičanin, S. Malčić, Production of $\text{PuO}_2\text{-UO}_2$ powders, IBK 636 (1968)
- 53) Gaudernack B., I. Gal, J. Falnes, E. Julsrud, A. Ruvarac, Preliminary study of a fuel reprocessing pilot plant, Proceedings of the Third United Nations International Conference on the Peaceful Uses of Atomic Energy, **10**, 242 (1965)
- 54) Tolić A., V. Pavasović, Pererabotka topliva jadernog reaktora na laboratornoj ustanovke, Simpoz. SEV Isled. v oblasti pererabotki oblučenog topliva, Karlovi Vari, 1968
- 55) Tolić A., A. Ruvarac, M. Stefanović, Đ. Petković, I. Paligorić, V. Bulović, Ispitivanje jednog ekstrakcionog procesa tipa Purex za prerađu isluženog goriva nuklearnog reaktora na laboratorijskom postrojenju, IBK 454 (1966)
- 56) Tolić A., Laboratorijsko postrojenje za prerađu ozračenog urana ekstrakcionom metodom, II. Ispitivanje jednog ekstrakcionog procesa tipa Purex. Koekstrakcioni deo, *Tehnika*, **22**, 135 (1967)
- 57) Stork B., A. Tolić, V. Pavasović, Isledovanie efektivnosti i nagruzki pulsacionih koloni, Simpoz. SEV Isled. v oblasti pererabotki oblučenog topliva, Karlovi Vari, 1968
- 58) Tolić A., A. Čermak, Ekstrapolacija miniaturnog smesitelja otstoinika, *Ibid.*
- 59) Gal I., A. Ruvarac, Đ. Petković, A. Tolić, J. Adamović, Laboratorijsko postrojenje za prerađu ozračenog urana ekstrakcionom metodom, I. Opis postrojenja, *Tehnika*, **22**, 131 (1967)
- 60) Teofilovski Č., Procédé d'obtention de l'iode 131 à partir de l'acide tellurique déshydraté, irradié dans une pile, *Chim. Ind. (Paris)*, **92**, 377 (1964)
- 61) Jovanović O., R. Nestorović, Proizvodnja ^{32}P iz P_2O_5 ozračenog neutronima, *Tehnika*, **19**, 623 (1964)
- 62) Jovanović-Kovačević O., P. Janičijević, Some new developments in the production of carrier-free ^{32}P , *Atompraxis*, **10**, 265 (1964)
- 63) Drašković R., Z. Maksimović, S. Kozomora, Production of ^{51}Cr of high specific activity, *Bull. Inst. Nucl. Sci. „Boris Kidrič“*, **14**, 143 (1963)
- 64) Kozomara S., S. Milenković, Z. Dizdar, Production of high specific activity chromium-51 by neutron irradiation of potassium chromate, *Ibid.*, **16**, 245 (1965)
- 65) Drašković R., J. Čvorić, S. Vukićević, R. Ilić, O novom postupku proizvodnje radiokoloidnog zlata Au-198 u Institutu „Boris Kidrič“ u Vinči, *Tehnika*, **20**, 228 (1965)
- 66) Drašković R. J., R. S. Drašković, Production de l'or colloïdal radioactif ^{198}Au à l'Institut des sciences nucléaires „B. Kidrič“, Vinča, II. Les colloïdes de l'or radioactif ^{198}Au à usage médical, *Isotopenpraxis*, **4**, 314 (1968)
- 67) Nemoda Đ., Dobijanje polonijuma 210 iz bizmuta ozračenog neutronima, *Tehnika*, **19**, 428 (1964)
- 68) Nemoda Đ., Proizvodnja radioaktivnih izvora Co 60, I. Izvori za gama radiografiju, *Ibid.*, **18**, 229 (1963)
- 69) Jelić N., V. Bulović, Lj. Birčanin, J. Vojnović, Izrada izvora ^{204}Tl za radiografske svrhe, *Ibid.*, **18**, 1617 (1963)
- 70) Nemoda Đ., Lj. Birčanin, Problemi i mogućnosti proizvodnje radiografskih izvora sa analizom dosadašnje proizvodnje u Institutu „Boris Kidrič“, Vinča, *Ibid.*, **20**, 1458 (1965)
- 71) Nemoda Đ., Proizvodnja radioaktivnih izvora Co 60, II. Teleterapeutski izvori, *Ibid.*, **18**, 1009 (1963)
- 72) Nemoda Đ., Neke metode pripremanja etalona radioaktivnih alfa i beta izvora urana, *Ibid.*, **18**, 429 (1963)

- 73) Jelić N., Izrada kontrolnih radiohemijskih izvora kobalta 60, Ibid., **19**, 819 (1964)
- 74) Jezdić V., M. Skakun, S. Konstantinović, Synthesis of malathion labelled with ^{35}S or ^{32}P and dipterex- ^{32}P , Bull. Inst. Nucl. Sci. „Boris Kidrič“, **17**, 29 (1966)
- 75) Jezdić V., N. Razumenić, Synthesis of bis (acetic-1- ^{14}C) anhydride, Ibid., **17**, 311 (1966)
- 76) Dizdar Z., Laboratorija za hemiju visoke aktivnosti Instituta „Boris Kidrič“ u Vinči, Nuklearna energija, **1**, No 1 7 (1964)
- 77) Bojović P., V. Čeranić, Plan, instalacije i oprema jedne radiohemijske laboratorije Instituta „Boris Kidrič“ u Vinči, Tehnika, **19**, 1967 (1964)
- 78) Stojanović B., A. Matijašić, Boks sa rukavicama za rad sa alfa i beta radioaktivnim materijalima, IBK 100 (1963)
- 79) Drašković R., S. Vukićević, Production de l'or radioactif à l'Institut des sciences nucleaires „B. Kidrič“, Vinča, I. La nouvelle enceinte destinée à la production de l'or colloidal radioactif ^{198}Au , Isotopenpraxis, **4**, 271 (1968)
- 80) Dizdar Z., Production of radioisotopes on the RA research reactor in Yugoslavia, IAEA Study Group Meeting on Research Reactor Utilization, Athens, Sept. 1963
- 81) Dizdar Z., Production des radioéléments en Yougoslavie, I Reunion de Producteurs de Radioéléments, Saclay, Avril 1964
- 82) Teofilovski Č., Z. Dizdar, Proizvodnja radioaktivnih izotopa u Institutu „Boris Kidrič“ u Vinči, Tehnika, **19**, 25 (1964)
- 83) Teofilovski Č., V. Jezdić, Développement de la production des radioisotopes et des composés marqués en Yougoslavie, II Reunion de Producteurs de Radioéléments, Vinča, Juin 1965
- 84) Teofilovski Č., Naši radioaktivni proizvodi za potrebe industrije, Tehnika, **20**, 644 (1965)
- 85) Drašković R., O razvoju proizvodnje radioaktivnih izotopa u Institutu „Boris Kidrič“ u Vinči, Ibid., **20**, 650 (1965)
- 86) Teofilovski Č., Z. Dizdar, Progres in Radioisotope Production at the Boris Kidrič Institute in the Period 1965—1966, III Meeting of Radioisotopes Producers, Madrid, juni 1967
- 87) Dizdar Z., Industrijska primena radioaktivnih izotopa u nas, Nuklearna energija, **4**, No 3, 20 (1967)
- 88) Filip A., Proučavanje kretanja i mešanja materijala u nekim tehnološkim procesima pomoću radioaktivnih obeleživača, Tehnika **18**, 2191 (1963)
- 89) Filip A., A. Kostić, Ž. Babić, Određivanje vremena potrebnog za homogenizaciju smeše primenom radioaktivnih obeleživača, Ibid., **19**, 1583 (1964)
- 90) Boreli F., B. Koželj, A. Čavić, Određivanje nivoa i kosine površine usipa visoke peći u Zenici, Ibid., **20**, 1645 (1965)
- 91) Filip A., Anwendung der radioaktiven Markierungstechnik bei Verschleissuntersuchungen der Kolbenringe und Zylinder in einer Dieselmotor, Mat. Prof., **7**, 123 (1965)
- 92) Filip A., A. Kostić, Ispitivanje uticaja uslova rada dizel motora na habanje klipnog prstena tehnikom radioaktivnih obeleživača, Tehnika, **18**, 1413 (1963)
- 93) Pirš J., A. Filip, A. Kostić, Ispitivanje habanja klipnih prstenova različitih struktura metodom radioaktivnih obeleživača, Ibid., **20**, 1453 (1965)
- 94) Babić Ž., A. Filip, Ispitivanje korozionog dejstva ulja i uljnih aditiva na sivo liveno gvožđe tehnikom radioaktivnih obeleživača, Ibid., **19**, 1778 (1964)
- 95) Filip A., V. Vukmirović, Determination de la vitesse de filtration d'eau souterraine par la methode de dilution au moyen de traceurs radioactifs, Extrait de la publication de l'A. I. H. S., IXe Annee, No 2, p. 19 (1964)
- 96) Todorović P., Ž. Todorović, Contribution to the tracer kinetic theory, Ibid., XIe Annee, No 1, 111 (1966)
- 96a) Radosavljević Ž., Lj. Dobrilović, S. Gojković, D. Paligorić, Ispitivanje podzemne hidrološke veze između ponora kod sela Jegunovce i izvora Rašće, Materijali III Jugoslovenskog simpozijuma o primeni radioaktivnih izotopa i zračenja u industriji, Hercegnovi, maj 1965
- 96b) Radosavljević Ž., S. Gojković, Lj. Dobrilović, Ispitivanje hidrološke mreže Timavo-Notranjska reka, Ibid.
- 97) Vukmirović V., A. Filip, P. Todorović, R. Vukotić, Radioactive tracers in studying bed load movements, Trans. Inst. Jaroslav Černi, No 30, 31 (1964)
- 98) Vukmirović V., A. Filip, Investigation of underground water by means of radioactive tracers, Ibid., No 32, 47 (1965)
- 99) Vukmirović V., A. Filip, Proučavanje podzemnih voda pomoću radioaktivnih obeleživača, Tehnika,
- 100) Todorović Ž., A. Filip, Complex compounds as tracers in hydrology, IBK 433 (1966)
- 100a) Gojković S., Ž. Radosavljević, Primena radioaktivnih izotopa kod ispitivanja nekih hidrogeoloških problema na terenu Skoplja, IBK 36 (1964)
- 101) Merkaš Z., V. Vujnić, Đ. Nemoda, Primer primene radioaktivnog izotopa kobalta 60 u medicini — interkavitarna terapija carcinom portionis vaginalis uteri sa radioaktivnim kobaltom 60, Tehnika, **20**, 1256 (1965)
- 102) Tolić A., A. Ruvarac, Prečišćavanje vode neorganskim izmenjivačima na povišenim pritiscima i temperaturama, I. Opis laboratorijskog uređaja i preliminarni eksperimenti, IBK 452 (1966)
- 103) Paligorić I., V. Bulović, Z. Maksimović, Hemijske metode za određivanje stepena izgaranja keramičkog gorivnog elementa, IBK 610 (1967)
- 104) Ninković M., Z. Matić-Vukmirović, M. Hadžišehović, Elementi detekcije tricijuma u vazduhu kod teškovođenih nuklearnih reaktora, IBK 528 (1967)
- 105) Marković M., Uslovi neophodni za izbor lokacije za dugoročno uskladištenje radioaktivnih otpadaka, IBK 98 (1963)
- 106) Ruvarac A., Ispitivanja magnetitov dlja oistki radioaktivnih vodnih rastvorov, vznikajuših v procesah pererabotki jadernogo topliva, Simpoz. SEV Isled. v oblasti pererabotki oblučenogo topliva, Karlovi Vari, 1968
- 107) Bojović P., S. Drobnik, D. Popara, Postupak sa radioaktivnim efluentima u Institutu „Boris Kidrič“,

- 108) Gaćinović O., R. Božović, M. Ristić, P. Bojović, Uklanjanje ^{89}Sr i ^{137}Cs iz efluenata koprecipitacijom sa hidroksidima kalcijuma i gvožđa, IBK 85 (1964)
- 109) Švabić A., Ž. Vuković, P. Bojović, Uklanjanje ^{89}Sr i ^{137}Cs iz efluenata sa znatnim sadržajem kalcijuma jonskom izmenom na sintetskim smolama, IBK 86 (1964)
- 110) Švabić A., P. Bojović, Postrojenje za dekontaminaciju radioaktivnih efluenata u Institutu „Boris Kidrič“ u Vinči, IBK 346 (1965)
- 111) Tasovac T., R. Radosavljević, M. Zarić, Ponašanje Co^{60} pri ispuštanju efluenata u potok Mlaku, IBK 554 (1967)
- 112) Tasovac T., Studija problema otpadnih radioaktivnih materijala nastalih na teritoriji SFRJ, IBK 557 (1967)
- 113) Janković-Gaćinović O., Ž. Vuković, Povlačenje radioaktivnog stroncijuma brzom precipitacijom SrCO_3 i CaCO_3 , IBK 501 (1966)
- 114) Vuković Ž., O. Janković-Gaćinović, Ispitivanje stanja ^{60}Co u efluentima nastalim dekontaminacijom delova primarnog sistema reaktora RA kompleksirajućim i oksidacionim sredstvima, IBK 502 (1966)
- 115) Gaćinović O., Ž. Vuković, Dekontaminacija radioaktivnih efluenata. Ispitivanje metode za dekontaminaciju efluenata nastalih u procesu proizvodnje ^{131}I , IBK 361 (1965)
- 116) Radosavljević R., T. Tasovac, V. Vujović, M. Kovačević, D. Đorđević, Rezultati merenja ukupne α i β radioaktivnosti dunavske vode u periodu od 1962 do 1965 godine, IBK 553 (1967)
- 117) Tasovac T., R. Radosavljević, A. Filip, V. Vukmirović, R. Vukotić, Studija kretanja radioaktivnih nuklida pri upuštanju radioaktivnih efluenata u Dunav, II., IBK 556 (1967)
- 118) Radosavljević R., M. Kovačević, D. Đorđević, V. Vujović, Kretanje radioaktivnosti koja potiče od K^{40} u padavinama i vodama na teritoriji Vinče, Tehnika, **20**, 1053 (1965)
- 119) Radosavljević R., Rezultati merenja totalne beta aktivnosti padavina, slobodno nataložene prašine, vode za piće, dunavske vode, zemlje i rastinja u reonu Vinče, IBK 91 (1964)
- 120) Radosavljević R., M. Kovačević, V. Vujović, D. Đorđević, Analitička metoda i uputstvo za rad za određivanje beta radioaktivnosti u padavinama, IBK 396 (1965)
- 121) Kovačević M., Merenje ukupne beta radioaktivnosti padavina i voda, IBK 431 (1966)
- 122) Maksimović Z., P. Nasonov, R. Nikolić, M. Marinković, Lj. Jelić, Dezaktivacija težeovodnog trakta reaktora RA, Bull. Inst. Nucl. Sci. „Boris Kidrič“, **16**, 251 (1965)
- 123) Matijašić A., A. Mance, Lj. Jelić, M. Zarić, Mogućnost dekontaminacije materijala ugrađenog u primarno rashladno kolo reaktora RA; korozija nerđajućeg čelika u rastvorima za dekontaminaciju, IBK 368 (1965)
- 124) Matijašić A., Dekontaminacija žive kontaminirane fisijom produktima, IBK 101 (1963)
- 125) Matijašić A., Prikaz nekih akcidenata kontaminacije i njihova likvidacija, IBK 99 (1964)