

gama-zračenja već i elektrona i neutrona u širokom rasponu doza. Na vrhuncu uspješnoga znanstvenoistraživačkoga i inventivnog rada, I. Dvornik 1985. odlazi u mirovinu. Iza sebe ostavlja uspješan *LRKD* s osam znanstvenih radnika i potrebnim tehničkim osobljem te profitabilnu proizvodnju dozimetara.

Dr. Igora Dvornika njegovi suradnici doživljavaju kao velikog vizionara, izumitelja i nepokolebljivog optimista punog samopouzdanja, a istodobno skromnog čovjeka, punog ljudske topline, razumijevanja i tolerancije te uvijek spremnog pomoći. Optimizam i entuzijazam prenosio je na svoju okolinu i tako stvarao vrlo poticajno i ugodno radno ozračje. Bio je velik zaljubljenik u znanstvenoistraživački rad i pun ideja kako rezultate znanstvenih istraživanja iskoristiti

u praksi. Zbog čvrstog stajališta da znanstveni radnici trebaju nastojati rezultate svojih istraživanja primjenjivati u praksi, imao je teškoće s *fundamentalcima* u *IRB*-u i šire. Bio je velik borac za istinu i pravdu te prava moralna vertikala u sredini koja nije bila imuna na samoisticanje, zavist, koristoljublje i karijerizam. Objavio je oko stotinu znanstvenih i stručnih radova. Iako su njegovi izumi i danas priznati i koriste se kao norme u vrhu svjetske dozimetrije, on ne uživa odgovarajući društveni status u svojoj zemlji zbog manjkavih kriterija vrednovanja. Tu se velikim dijelom krije odgovor na danas goruće pitanje zašto naša zemlja ima tako slabu proizvodnju i tako mali broj vlastitih proizvoda.

Suradnici I. Dvornika i danas ga od milja nazivaju *šefom*, i to će za njih doživotno ostati,

jer se u rukovođenju koristio ljudskim, prijateljskim, pa i očinskim savjetom.

Čestitajući I. Dvorniku 85. rođendan, želimo mu zahvaliti na osnivanju *LRKD*-a, na njegovu pionirskom znanstvenoistraživačkom radu na području dozimetrije i radijacijske kemije u nas. Na osposobljavanju znanstvenoga i stručnoga kadra, na izgradnji i opremanju velikih laboratorijskih prostora u *IRB*-u, izgradnji poluindustrijskog izvora zračenja, na izumima u dozimetriji na korist svoje zemlje i njezine afirmacije u svijetu te na nastojanju da se naša zemlja razvija na vlastitoj pameti. Povrh svega zahvaljujemo mu na humanosti, poštenju, pravедnosti, razumijevanju i toleranciji te brizi i pomoći koju nam je pružao. Želimo mu mnogo zdravlja te sretan i dug život.

Franjo RANOGAJEC

Kako je *Laboratorij za radijacijsku kemiju i dozimetriju* odgovarao izazovima svoga vremena

Uz 50. obljetnicu Laboratorija i 45. obljetnicu istraživanja polimera u *LRKD*-u

Priradio: Dušan Ražem, voditelj LRKD-a

Počeci rada *Laboratorija*

Prijedlog dr. sc. Igora Dvornika za osnivanje *Laboratorija za radijacionu kemiju* datiran je srpnja 1958. godine i to se uzima kao datum osnivanja, s time što se naziv 1974. promijenio u *Laboratorij za radijacijsku kemiju i dozimetriju (LRKD)*. I. Dvornik je odmah ispravno uočio perspektivnost radijacijsko-kemijskih istraživanja koja su nudila nova otkrića i mogućnosti primjene novoga nekonvencionalnog izvora energije za iniciranje kemijskih promjena. Također je ispravno uočio da bi tadašnja radiobiološka i druga istraživanja na *Institutu Ruđer Bošković* mogla profitirati od uspostavljanja snažnoga izotopnog izvora ionizirajućeg zračenja i kompetentne dozimetrije zračenja. Tako su se prvih godina glavne aktivnosti *Laboratorija* usredotočile na projektiranje i izgradnju jakih izvora gama-zračenja i istraživanja sustava koji bi mogli poslužiti za dozimetriju zračenja te na istraživanja djelovanja zračenja na polimerne materijale.

Prvi izvor gama-zračenja bio je radioaktivni kobalt-60 u olovnome transportnom kontejneru, dakle izvor zatvorenog tipa. Zbog malog volumena i niske brzine doze uskoro se stvorila potreba da se izgradi uređaj za ozračivanje većega kapaciteta. Zato se

prilikom izgradnje ciklotrona pristupilo i izgradnji panoramskog uređaja za ozračivanje u podzemnom bunkeru s komorom 4 m · 5 m. Boraveći u *Institutu Karpova* u Moskvi, I. Dvornik preuzeo je konstrukciju njihova izvora zračenja kao cilindričnoga kaveza s 24 šipke ⁶⁰Co raspoređene kao izvodnice valjka. Već 1965. instalirana je aktivnost od 7 500 Ci, a radioaktivni kobalt bio je proizveden na reaktoru u Vinči. Međutim, zahvaljujući dalekovidnom planiranju, zaštita od zračenja bila je projektirana za aktivnost do 150 000 Ci, pa se sljedećim rekonstrukcijama mogla dosegnuti razina poluindustrijskog izvora zračenja.

Osnovna pretpostavka za kvantitativno poznavanje svih, kemijskih i bioloških učinaka zračenja, jest poznavanje doze zračenja koja proizvodi promatrani učinak. Zato se dozimetriji od početka posvećivala osobita pozornost. Uz već samorazumljivu potrebu da se dozimetrijski karakteriziraju postojeća polja zračenja u *Laboratoriju*, javila se i potreba da se mjere relativno male, ali biološki relevantne doze, koje bi u slučaju nuklearne nesreće ili nuklearnog napada moglo primiti stanovništvo ili oružane snage. Potkraj pedesetih godina mnoge su zemlje razvijale dozimetrijske sustave za osobnu akcidentalnu dozimetriju koji su se zasnivali na

lančanoj reakciji nastajanja klorovodične kiseline (HCl) iz ozračenih kloriranih organskih spojeva. Predloženi sustavi uglavnom su se odlikovali razmjerno velikom osjetljivošću, ali slabom ponovljivošću, pa su bili prije indikatori ozračenja nego dozimetri.

Tijekom boravka u *Institutu Karpova* u Moskvi I. Dvornik počeo je eksperimentirati otopinama klorbenzena, u kojima nakon zračenja nastaje HCl. To je postalo temelj za osmišljavanje dviju obitelji kapljevitihi kemijskih dozimetrijskih sustava na osnovi klorbenzena.

Radijacijska dozimetrija

Eksperimentirajući u sredinama različite polarosti i s različitim indikatorima pH, I. Dvornik i suradnici pronašli su smjesu otapala u kojoj je bazno-kiseli prijelaz linearan i razmjeran dozi zračenja. Taj dozimetar postao je osnova osobnoga kemijskog akcidentalnog dozimetrijskog sustava. Sustav je postao osobito aktualan nakon sovjetske invazije na Čehoslovačku 1968., kad se nije isključivala ni taktička uporaba nuklearnog oružja manje snage. Stoga je jugoslavensko rukovodstvo iznjedrilo novu obrambenu doktrinu općenarodne obrane i društvene samozaštite. Dozimetrijski sustav, koji su

činili dozimetar i odgovarajući čitač za vizualno očitavanje, savršeno se uklapao u te koncepcije. Niska cijena, jednostavna uporaba i nezavisnost čitača od izvora energije omogućavali su funkcioniranje dozimetrije po manjim skupinama, što je značilo da i osobe bez posebnog obrazovanja mogu doći do realne procjene radiološke opasnosti i kvalificirano donositi važne odluke.

Sustav je prihvaćen kao sredstvo u vojnim postrojbama, i u *IRB*-u je 1970. organizirana njegova masovna proizvodnja. Usporedno s proizvodnjom provedena su istraživanja kako bi se karakterizirao odziv sustava na neutronska zračenja. To je, naime, druga najvažnija komponenta polja zračenja koje se javlja kao posljedica primjene nuklearnog oružja, osobito neutronske bombe, ili kao posljedica nesreće nuklearnog reaktora. Svi kemijski dozimetri zbrajaju podatak o apsorbiranoj dozi, a odziv našega kemijskog dozimetra jednak je i ekvivalentan tkivu za istu fizičku dozu, bilo da ona potječe od neutrona ili od gama-zraka. To je jedini akcidentalni dozimetrijski sustav koji ima to svojstvo. Poslije je razvijen i optoelektronički čitač, za koji je interes pokazala hrvatska vojska.

U nastojanju da se stalno usavršava osnovni proizvod, osobni kemijski dozimetar, da se pronalaze nove situacije za njegovu primjenu, da se odgovori izazovima svestrane zaštite od zračenja te da se načela zaštite od zračenja približe korisnicima na svim područjima primjena zračenja, osjetila se potreba da se kompetencije *Laboratorija* prošire i na područje zaštite od zračenja. Ta su nastojanja dovela do uvođenja bitno osjetljivije termoluminescentne dozimetrijske metode, a poslije do uvođenja ionizacijskih komora i, u konačnici, do ustanovljavanja *Sekundarnoga standardnog dozimetrijskog laboratorija*.

Černobilska nesreća upozorila je na potrebu da se nadzire prirodni fon zračenja u okolišu. *LRKD* je bio spreman odgovoriti i tom izazovu zahvaljujući već dobro usvojenoj metodi termoluminescentne dozimetrije. U dogovoru s *Hidrometeorološkim zavodom* postavljeni su TL dozimetri na brojnim motriteljskim postajama diljem Hrvatske. Međutim, potpuno je izostalo zanimanje (i financiranje) svih čimbenika od kojih se ono moglo opravdano očekivati, pa je program prekinut. Uskoro se zanimanje termoluminescentne dozimetrije usredotočilo na dozimetriju prostora, profesionalno izloženog osoblja i pacijenata u medicinskim primjenama zračenja, bilo za dijagnostičke ili terapijske svrhe. Uspostavljena je suradnja s nekoliko proizvođača termoluminescentnih dozimetara, a njihovi dozimetri karakterizirani su s obzirom na vrstu i energiju zračenja.

Drugi dozimetar namijenjen dozimetriji visokih doza bio je otopina klorbenzena u etanolu u kojemu koncentracija nastalog HCl linearno raste s dozom. Uvrštenjem u

priručnik iz dozimetrije visokih doza 1970. započinje njegov samostalni život. Jednostavnost pripreme, dostupnost komponentata, neosjetljivost na nečistoće, nezavisnost odziva od doze, brzine doze i energije zračenja te stabilnost prije i poslije zračenja učinili su taj dozimetar trećim najraširenijim rutinskim dozimetrom u radijacijskoj tehnologiji, koji se danas rabi u 50-ak zemalja. Možda najveći doprinos njegovoj popularnosti dali su mađarski kolege, inventivno primijenivši kao metodu očitavanja mjerenje vodljivosti pri visokim frekvencijama električnog polja, u koje samo treba uložiti ampulu s dozimetarskom otopinom, a da je ne treba otvarati. Etanol-klorbenzenski dozimetrijski sustav prihvaćen je kao norma *American Society for Testing and Materials (ASTM)* 1993. godine. Od 1998. je to zajednička norma *ASTM*-a i *International Standards Organization (ISO)*. Opisan je u svim knjigama iz dozimetrije visokih doza te je 2008. uvršten i u *International Commission on Radiological Units and Measurements (ICRU) Report 80: Dosimetry Systems for Use in Radiation Processing*.

Radijacijska kemija

Nastojanja da se razumije mehanizam odziva etanol-klorbenzenskog dozimetra koji bi protumačio njegova odlična dozimetrijska svojstva, dovela su do razmatranja reaktivnosti klorbenzena u ozračenim otopinama. Nijedna od tada poznatih reaktivnih čestica u radiolizi otopina nije mogla pružiti zadovoljavajuće tumačenje za visok prinos HCl, pa je I. Dvornik pretpostavio, prema analogiji s pojavama u plinskoj fazi, da je riječ o rezonantnom procesu disocijativnog zahvata nadtermalnog elektrona. Elektron koji bi imao tako visok sadržaj energije ne bi mogao biti solvatiran, a reakcija bi morala biti vrlo brza.

Istraživači na području radijacijske kemije nisu bili spremni prihvatiti tu pretpostavku. Radijacijska kemija kasnih 60-ih nije raspolagala uređajima za pulsnu radiolizu s tako kratkim vremenom razlučivanja koje bi omogućilo uvid u reakcije nadtermalnih elektrona. Upravo su bila u tijeku istraživanja kinetike reakcija solvatiranih elektrona na mikrosekundnoj vremenskoj skali. U Hamillovu modelu radiolize vode iz 1968. prvi je put pretpostavljena uloga i elektrona prije solvatacije, koji su nazvani *suhi*. Za razliku od solvatiranih elektrona, koji posjeduju karakterističan apsorpcijski spektar u vidljivom području, suhi su elektroni nevidljivi. Eksperimentalna potvrda da doista dolazi do reakcija elektrona prije solvatacije morala je stoga nužno biti neizravna.

Jedna vrsta neizravne potvrde dobivena je 1970. kad je na *Sveučilištu u Torontu* ostvarena prva pulsna radioliza s vremenskim razlučivanjem reda veličine pikosekunda. Vidjelo se da su prinosi solvatiranih elektrona u prisutnosti nekih akceptora elektrona

niži od prinosa u čistim otopalima, a razlika se mogla pripisati elektronima koji su reagirali s akceptorom prije negoli su postali solvatirani. *Sveučilište u Torontu* dugo je bilo jedino koje je imalo pulsnu radiolizu s tim vremenskim razlučivanjem, a ukupan broj takvih uređaja do danas nije prešao broj prstiju jedne ruke. Razumljivo je da se *LRKD* nije mogao natjecati s tom metodom.

Naš pristup bila je analiza iona klorida kao stabilnih produkata radiolize otopina klorbenzena. Ioni klorida nastaju u vrlo brzom procesu disocijativnog zahvata nadtermalnog elektrona, stabiliziraju se solvatacijom i tako čuvaju informaciju o vrlo ranim događajima u kojima sudjeluju elektroni. Prinos suhog elektrona izmjeren na pikosekundnoj vremenskoj skali bio je blizak prinosu klorida izmjerenom u *LRKD*-u. U skladu s Hamillovim modelom radiolize vode, prekursor klorida nije reagirao s hidronijum ionom. Budući da je klorbenzen umjereno reaktivan sa solvatiranim elektronom, lako smo mogli naći spojeve koji bi kao sekundarni akceptori u konkurenciji s klorbenzenom uklonili većinu solvatiranih elektrona. Konkurencija za prinos klorida koju smo opažali u prisutnosti takvih sekundarnih akceptora morala je biti konkurencija za nadtermalne elektrone. Naši pokusi bili su konzistentni s pretpostavkom da u ozračenim otopinama klorbenzena samo manji dio radijacijsko-kemijskog prinosa klorida potječe od reakcija solvatiranih elektrona, a da glavnina potječe od zahvata nadtermalnog elektrona. Preliminarni rezultati objavljeni 1970. bili su, uz rezultate pikosekundne pulsne radiolize, prva potvrda postojanja suhih elektrona.

Kasnija istraživanja radijacijsko-kemijskih učinaka zračenja na namirnice dovela su do materijala u kojima su ti učinci osobito izraženi. To su komponente namirnica koje sadržavaju lipide. Zračenje u prisutnosti kisika u lipidima proizvodi peroksidaciju mehanizmom lančanih reakcija slobodnih radikala. S vremenom su se ta istraživanja odmaknula od namirnica i posvetila sve aktualnijim osnovnim pitanjima kinetike i mehanizama reakcija slobodnih radikala. Za potrebe tih istraživanja razrađena je osobito uspješna i često citirana vlastita varijanta analitike lipidnih hidroperoksida. Primjenom laserske fotolize prvi je put izmjerena konstanta brzine drugoga, brzog stupnja reakcije oksidacije iona željeza (II) alkosil radikalom. Konstruiran je poseban uređaj za periodičko ozračivanje gama-zrakama, s pomoću kojega je izmjerena oksidabilnost u homolognom nizu nezasićenih masnih kiselina u čistom stanju bez prisutnosti inicijatora i dobiven je uvid u mehanizam djelovanja alfa tokoferola (vitamina E) kao antioksidansa. Srodna istraživanja nastavljaju se primjenom radijacijsko-kemijskih metoda za proučavanje korelacije između peroksidacije lipida i cis-trans izomerizacije nezasićenih masnih kiselina.

Radijacijska kemija polimera

Istraživanja na području fizičko-kemijskih učinaka ionizirajućeg zračenja na polimere počela su u LRKD-u 1963. Radijacijsko umreživanje i radijacijsko cijepjenje bili su sve prisutniji u znanstvenoj literaturi, što je pratio i velik optimizam glede očekivanih industrijskih primjena. Radijacijska modifikacija, naime, nudila je poboljšana ili potpuno nova svojstva polimernih materijala. U to vrijeme dovršavala se izgradnja petrokemijskih postrojenja *Organsko kemijske industrije (OKI)*, Zagreb, a već otprije radila je tvornica smola *Chromos* i tvornica PVC-a *Jugovinil*; govorilo se o petrokemijskoj orijentaciji hrvatskoga gospodarstva. Potaknuto time, započela su istraživanja utjecaja zračenja na PVC u suradnji sa stručnjacima *Jugovinila*.

Iz literature se saznalo da u susjednoj Mađarskoj, u Budimpešti, djeluje *Institut industrije plastike*, u kojem se intenzivno istražuje modifikiranje polimera ionizirajućim zračenjem. Nakon hladnog rata olakšana je suradnja s istočnim blokom, pa su već 1964. godine, u sklopu suradnje između dviju akademija znanosti, *IRB* posjetila trojica za ovo područje najvažnijih znanstvenika iz *Instituta* u Budimpešti. Oni su održali predavanja na *IRB*-u i dogovorena je buduća suradnja. Kao rezultat te suradnje, 1967. godine F. Ranogajec obranio je jedan od prvih magistarskih radova na području polimera u Hrvatskoj. Dio rezultata dugogodišnjih istraživanja na području radijacijskog cijepjenja prikazan je u radu *Kinetic and structural factors in graft polymerization of styrene on polyolefins* objavljen u ovom broju *POLIMERA*.

Usavršavanje na području polimerne kemije F. Ranogajec nastavio je u *Institutu kemijske fizike* u Moskvi, čiji je direktor tada bio nobelovac N. V. Semenov. Rezultat je bila njegova disertacija, koja je ocijenjena i nagrađena kao najbolji znanstveni rad u tom institutu 1972. Sadržaj disertacije kratko je prikazan u uvodu rada *Effect of polarity of reaction medium and external electric field on zwitter-ion polymerization* koji će biti objavljen u jednom od idućih brojeva *POLIMERA*.

U međuvremenu, u Zagrebu se nastavljao rad na radijacijskom cijepjenju, a istraživanja su poslije proširena na područje kalorimetrijskog praćenja polimerizacije i cijepjenja do visokih konverzija. Specijalni model *Calvetova* mikrokalorimetra, prilagođen za upotrebu u polju zračenja, dobiven je u sklopu projekta tehničke pomoći od *Međunarodne agencije za atomsku energiju (IAEA)*. Kalorimetrijskim istraživanjem reakcija homopolimerizacije, polimerizacije cijepljenjem te kopolimerizacije do visokih konverzija dobiveni su originalni kinetički rezultati koji su bitno pridonijeli razumijevanju mehanizama tih reakcija. Najvažniji rezultati prikazani su u radu *Calorimetric investigation of high conversion homopolymerization, graft polymerization and*

copolymerization reactions u ovom broju *POLIMERA*.

Istraživanja radijacijskog umreživanja zatim su se usredotočila na nezasićene poliesterske smole, koje su se sve više promjenjivale, a proizvodio ih je *Chromos*. Instrumentalna osnova za ta istraživanja, osigurana projektom s *IAEA*, bio je univerzalni relaksacijski spektrometar, koji je omogućavao kombiniranu toplinsku, termomehaničku, dielektričnu i depolarizacijsku analizu. Prvi se put dielektričnom spektroskopijom izravno i kontinuirano mogla pratiti reakcija umreživanja nezasićenih poliesterskih smola. Prvi su put dielektrični prijelazi ovako složenog sustava uspješno opisani Gany-Monnerievom autokorelacijskom funkcijom. Pokazana je pojava heterogenosti u sustavu kod djelomično umreženih smola te njezin porast s porastom stupnja umreženja. Toplinski potaknutom polarizacijom i depolarizacijom otkriven je strukturni prijelaz kapljevinakapljevina u temperaturnom području iznad staklišta. Razvijena metoda određivanja električne provodnosti tijekom reakcije umreživanja omogućila je praćenje reakcije neposredno u polju zračenja te otkriće novog prijelaza kapljevinakapljevina na još višoj temperaturi iznad staklišta i prvog prijelaza, pa ih razlikujemo kao donji i gornji strukturni prijelaz kapljevinakapljevina. Priroda tih prijelaza dokazana je s pomoću spektroskopije u bliskom infracrvenom području. Donji prijelaz posljedica je raskida međumolekulnih vodikovih veza, a gornji posljedica raskida unutar-molekulnih vodikovih veza. Najvažniji rezultati istraživanja radijacijskog umreživanja nezasićenih poliesterskih smola bit će prikazani u jednom od idućih brojeva *POLIMERA*.

Na području istraživanja polimera *LRKD* je surađivao s domaćim i inozemnim znanstvenoistraživačkim institucijama. Od domaćih posebno ističemo *Institut INE* te *Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije*. Od inozemnih je najvažnija suradnja s *IAEA*, u sklopu koje je realizirano nekoliko istraživačkih projekata te projekata već spominjane tehničke pomoći za opremu i usavršavanja. Važne su bile i bilateralne suradnje s institucijama iz Mađarske, SAD-a i Slovenije. Suradnja sa Slovenijom bit će prikazana u jednom od idućih brojeva *POLIMERA*.

Poseban napor ulagan je u suradnju s industrijom, i to prije svega *Jugovinilom* i *INA-OKI*-jem. Rezultati ostvareni s te dvije tvrtke ostali su samo na akademskoj razini i sastoje se u tome da su stručnjaci iz tih industrija izradili i obranili doktorske disertacije. Konkretni rezultati u rješavanju proizvodnih problema ostvareni su u suradnji s tvornicom *Sipro* iz Umaga. Dio rezultata suradnje s industrijom prikazan je u radu *Improvement of polymer properties by radiation grafting and crosslinking* u ovom broju *POLIMERA*.

LRKD i dalje ostaje otvoren za suradnju s gospodarstvom i nudi ekspertizu u sklopu svoga istraživačkog iskustva.

Prikaz aktualnih istraživanja polimera u *LRKD*-u bit će dan u jednom od sljedećih brojeva *POLIMERA*.

Radijacijska tehnologija

Prihod od proizvodnje osobnoga kemijskog dozimetrijskog sustava trebalo je pametno uložiti u modernizaciju *Laboratorija*, a najbolji izbor koji se nametao bila je nabava elektronskog akceleratora kao alternativnog izvora zračenja i izvora zračenja za pulsnu radiolizu. Prihodi, iako dobri, ipak nisu dostajali za samostalnu nabavu akceleratora. Logično je bilo da se to pokuša ostvariti uz pomoć zainteresiranoga gospodarstva. Do tada se gospodarstvu već imalo što ponuditi na području radijacijske tehnologije. S jedne strane, neke ideje iz pedesetih pokazale su se abortivnima, ali neke su primjene uspješno zaživjele: radijacijska modifikacija polimera i radijacijska sterilizacija medicinskog pribora za jednokratnu uporabu tvorile su osnovu nove, komercijalne radijacijske tehnologije.

Upravo je tada ponovno postala aktualna i primjena zračenja za poboljšanje higijenske ispravnosti namirnica i produljenje njihove trajnosti. Zdručeni odbor stručnjaka triju organizacija: *IAEA*, *WHO* i *FAO*, objavio je 1980. zaključke višegodišnjih istraživanja prema kojima se namirnice mogu zračiti do 10 kGy, a da ne predstavljaju nikakav problem s radiološkoga, mikrobiološkoga, toksikološkoga ili nutricionističkog stajališta. Zemljama članicama preporučeno je da prihvate tu novu tehnologiju od koje bi svi mogli imati koristi: siromašnijim zemljama moglo bi biti zanimljivo smanjivanje gubitaka hrane, razvijenijim zemljama povećavanje dostupnosti pojedinih namirnica, a svi bi mogli biti na dobitku poboljšanjem zdravstvene ispravnosti i posljedičnim smanjenjem alimentarnih bolesti.

Očekujući dobar odziv prehrambene industrije, nije se štedjelo truda na popularizaciji ozračivanja namirnica. U suradnji s *Odjelom za mikrobiologiju prehrane Zavoda za zaštitu zdravlja Hrvatske* (danas *Državni zavod za javno zdravstvo*) otvorena su istraživanja suhoga čajnog i začinskog bilja, kojima tadašnja literatura nije obilovala, a imala su podlogu u domaćoj proizvodnji. Detaljno je istražena incidencija mikrobioloških kontaminanata te njihova osjetljivost na zračenje. Istodobno se pokazalo da su radijacijsko-kemijske promjene u tim materijalima minimalne. Time se donekle anticipiralo i regulativu Europske unije, koja i danas dopušta ozračivanje isključivo suhoga čajnog i začinskog bilja.

Očekivalo se da domaća industrija prihvati radijacijske tehnologije primjenjive na njihove odgovarajuće proizvode. Zamislilo se izgradnju prvoga višenamjenskoga uređaja

za industrijsko ozračivanje ubrzanim elektronima, ali koji bi se mogao koristiti i za znanstvenoistraživački rad. To je trebao biti uređaj komplementaran, a ne konkurentan prvom industrijskom uređaju za ozračivanje gama-zrakama koji je 1978. bio podignut u *Institutu "Boris Kidrič"* u Vinči. Osobito se očekivao odziv industrije medicinskih potrepština za jednokratnu uporabu, kojoj bi se pružila usluga radijacijske sterilizacije. Očekivao se odziv industrije električnih kabela zbog mogućnosti radijacijskog umreživanja polimerne izolacije, farmaceutske industrije, koja je mogla dobiti radijacijsku sterilizaciju i pasterizaciju sirovina, ambalaže i gotovih proizvoda te prehrambene industrije za radijacijsku pasterizaciju i dekontaminaciju. Tadašnji kapaciteti u tim industrijskim granama u zapadnom dijelu države jamčili su dostatnu iskorištenost uređaja. Zaključilo se da bi za višenamjenski rad najpogodniji bio linearni akcelerator elektrona. Vlastitim sredstvima podignuta je hala za smještaj akceleratora.

Da bi se osigurao uspješan transfer tehnologije, moralo se pozabaviti i odgovarajućom zakonskom regulativom. Za pridobivanje povjerenja industrije i potrošača osobito je bilo važno donošenje odgovarajućih propisa na području namirnica i predmeta opće uporabe, koji bi bili u skladu s najboljim svjetskim iskustvima. Zahvaljujući, među ostalim, aktivnom sudjelovanju *LRKD-a*, prvi pravilnik koji je regulirao ovo područje donesen je 1984. Iste se godine *Laboratorij* priključio novoosnovanoj *Međunarodnoj savjetodavnoj skupini za ozračivanje namirnica (ICGFI)*, koja je započela svoje 22-godišnje djelovanje pod kišobranom *IAEA*, *FAO* i *WHO*. U tom je razdoblju *ICGFI* bio jedinstveno žarište koje je omogućavalo globalnu razmjenu informacija o razvoju postupaka ozračivanja namirnica, pružalo pomoć pojedinim zemljama članicama, razvijalo i objavljivalo stručne podloge za razvoj tog područja, radilo na uklanjanju barijera međunarodne prihvaćenosti i razmjene ozračenih namirnica, davalo inicijative za razne akcije te organiziralo skupove i edukaciju.

U svem optimizmu nije se računalo s tehnološkom inercijom industrija, niti s naraslim ekonomskim teškoćama. Kad se uvidjelo da vrijeme nije zrelo za ulazak radijacijskih postupaka na velika vrata, odlučilo se za postupniji pristup. Rekonstruiran je panoramski uređaj za ozračivanje gama-zrakama (slika 1), počelo se educirati korisnike o mogućnostima radijacijskih postupaka pružajući im usluge ozračivanja u poluindustrijskome mjerilu. U sklopu projekta tehničke suradnje s *IAEA*, dobiveno je prvih 50 000 Ci kobalta-60 i otpočelo se s uslugama ozračivanja 1983. godine. Potrebe su postupno rasle, pa je uz pomoć istog izvora dopunjavan radioaktivni kobalt u još dva navrata, 1990. i 2000. godine, s po oko 100 000 Ci. Opseg usluga danas se donekle

stabilizirao na razini od oko 10 000 kGym³ raznih proizvoda godišnje. Tu se ubraja medicinska plastika, farmaceutske sirovine, ambalaža i proizvodi, suho čajno i začinsko bilje, kozmetičke sirovine i proizvodi i sl. Posebno treba spomenuti aktivnosti koje se u javnosti lako percipiraju kao važne, a to su radijacijska sterilizacija sanitetskog materijala tijekom Domovinskog rata te radijacijska dezinfestacija i dekontaminacija u službi konzervacije predmeta kulturne i umjetničke baštine. Istraživanjima kemijskih, mikrobioloških, pa i ekonomskih i povijesnih vidova radijacijske tehnologije stvarale su se znanstveno-tehnološke, kadrovske i ekonomske osnove za transfer radijacijskih postupaka.

Prilika da se dođe do linearnog akceleratora elektrona stvorila se kad se saznalo

za rashodovani, ali još funkcionalan akcelerator elektrona *Bundesforschungsanstalt für Ernährung* iz Karlsruhea. Konfiguracija tog akceleratora s dva izlaza za snop, jedan usmjeren prema dolje kroz sustav za otklanjanje snopa i drugi usmjeren ravno naprijed, omogućava da se akcelerator rabi i za pružanje usluga ozračivanja i za pulsnu radiolizu. Akcelerator je prenesen u već sagrađenu halu, a za njegovu rekonstrukciju dobivena je pomoć putem još jednog projekta tehničke suradnje s *IAEA*. Njegovo puštanje u probni rad može se očekivati uskoro, a time i novi uzlet naših već afirmiranih djelatnosti: radijacijske kemije, dozimetrije, radijacijske kemije polimera i radijacijske tehnologije.

Slika 2 prikazuje suradnike *LRKD-a* s dr. I. Dvornikom.



SLIKA 1 - Panoramski uređaj za ozračivanje gama-zrakama



SLIKA 2 - Suradnici *LRKD-a* s dr. I. Dvornikom (2006.)