

Društvo za zaštitu od zračenja  
Srbije i Crne Gore

# RADIOAKTIVNI OTPAD I DEKONTAMINACIJA:

RETROSPEKTIVA RADOVA PREZENTOVANIH NA  
SIMPOZIJUMIMA DRUŠTVA ZA ZAŠTITU OD  
ZRAČENJA U PERIODU 1963.-2017. GODINE

*Ivana SMIČIKLAS*

*Mihajlo JOVIĆ*

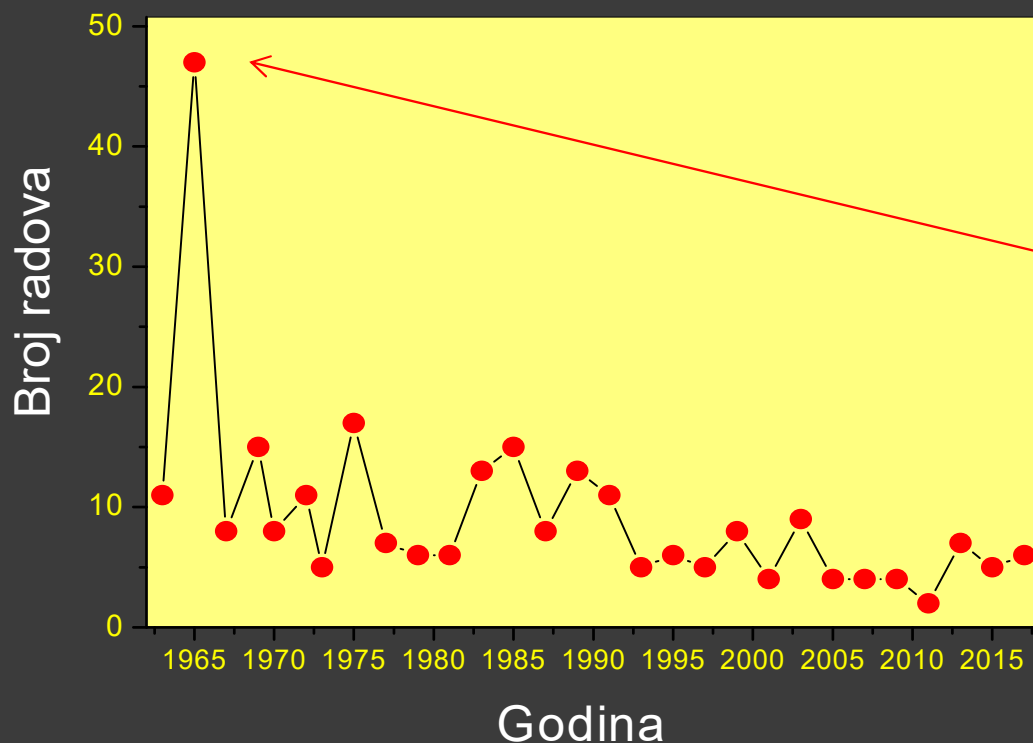
*Marija ŠLJIVIĆ-IVANOVIĆ*

*Slavko DIMOVIĆ*



**VINČA**  
INSTITUT ZA NUKLEARNE NAUKE

## Radioaktivni otpad i dekontaminacija stalne teme na Simpozijumima DZZ



Ukupan broj radova: 270  
Prosečan broj radova : 8\*

\*izuzimajući II Simpozijum održan  
1965. godine u Mostaru.

Centralna tema tog skupa bila je  
“Problemi radiološke  
dekontaminacije”

Svih 47 radova bilo posvećeno  
problemima radiološke  
dekontaminacije

Broj radova na Simpozijumima DZZ  
u periodu 1963.-2017. godina

# Teme u okviru Sekcije

1

- Dekontaminacija

2

- Remedijacija kontaminiranih terena

3

- Karakterizacija i tretman tečnog RAO

4

- Karakterizacija i tretman čvrstog RAO

5

- Sakupljanje, transport, skladištenje RAO

6

- Dekomisija reaktora

➤ Retrospektiva radova saopštenih u vremenskoj skali od 54 godine

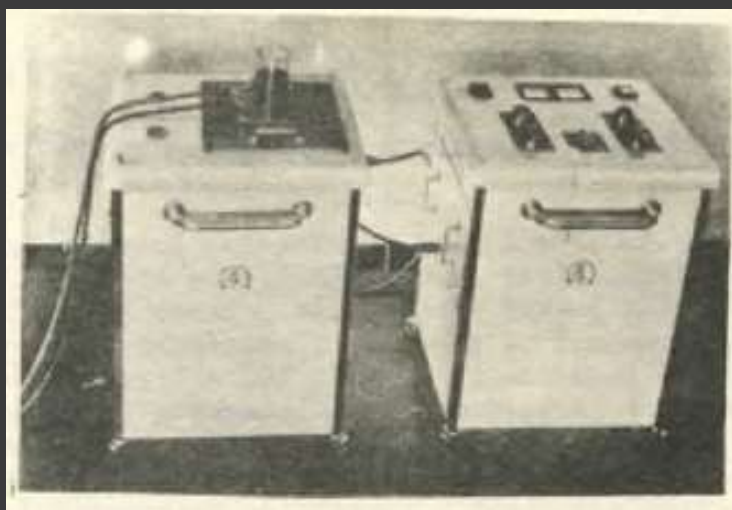
➤ Aktualne teme, problemi, metodologija rada i zaključci proistekli iz naučnih istraživanja i praktičnog rada

# 1965. "Problemi radiološke dekontaminacije"



- Opšta i organizaciona pitanja
- Spoljna i interna dekontaminacija čoveka
- Dekontaminaciju vode i hrane
- Dekontaminacija objekata i materijala

Dekontaminacija površina peskarenjem i glačanjem, usisivač opremljen filterom za zadržavanje kontaminiranih čestica



Prva ispitivanja mogućnosti ultrazvučne dekontaminacije u Vinči

Preporuke skupa:

Organizaciji i sprovođenju radiološke zaštite u miru i ratu pristupiti planski, u pogledu donošenja zakonskih propisa i uputstava, osposobljavanja stručnog kadra, nabavke pouzdane instrumentacije i bržeg korišćenja naučnih dostignuća u praksi

Rezultat skupa

Usvojena Rezolucija sa kojom je trebalo upoznati najodgovornije državne organe

# 1967. III JUGOSLOVENSKI SIMPOZIJUM O RADIOLOŠKOJ ZAŠTITI MERENJA I INSTRUMENTACIJA U ZAŠTITI OD JONIZUJUĆEG ZRAČENJA

- ✓ Za kontrolu i merenje površinske kontaminacije korišćeni su GM, proporcionalni i scintilacioni brojači. Počelo je uvođenje poluprovodničkih elemenata koji su omogućili veću pouzdanost instrumentacije, uz manje dimenzije i potrošnju.
- ✓ Predstavljen je prenosni instrument za merenje površinske kontaminacije KOMO-T, koji je indikovao kontaminaciju alfa i beta/gama emiterima i imao vizuelnu i akustičku kontrolu broja impulsa.
- ✓ Predstavljena je prva pokretna radiološka laboratorija, izrađena u Institutu u Vinči. Bila je opremljena uređajima za merenje primljenih doza za lica, radijacionih polja gama zračenja, za merenje kontaminacije ljudi, odeće, terena, površina, radioaktivnosti uzoraka vode, hrane i vazduha, a takođe i kompletima za medicinsku intervenciju i humanu dekontaminaciju.



Uređaj za merenje površinske kontaminacije KOMO-T (A) i pokretna radiološka laboratorija Instituta u Vinči (B). Zbornik, Banja Luka, 1967.

# Dekontaminacija

- 1969 - Efikasnost dekontaminacije metalnih površina i sprega u **rastvorima za dekontaminaciju**, kao i odeće postupcima **hemijskog čišćenja i mašinskog pranja**
- 1970 - **Primena morske vode** u dekontaminaciji, dekontaminacija motornih vozila u vanrednim uslovima (mlaziranje), **primena lake pene** na bazi proteina, u dekontaminaciji površina
- 1975 - **Primena visoko-ekspanzivne pene** u dekontaminaciji sintetičkih podova i vazduha. Diskutovani su problemi i praktična iskustva vezana za određivanje performansi visokoefikasnih aerosolnih filtera
- 1983 – Razmatrani su **mehanizmi dejstva tenzida** i mogućnost **brze filtracija** radioaktivnog koloidnog materijala
- 1985 - **Dekontaminaciji hrane** sa akcentom na postupcima koji se mogu izvesti u domaćinstvu i ne redukuju konzumne vrednosti namirnice



# Dekontaminacija

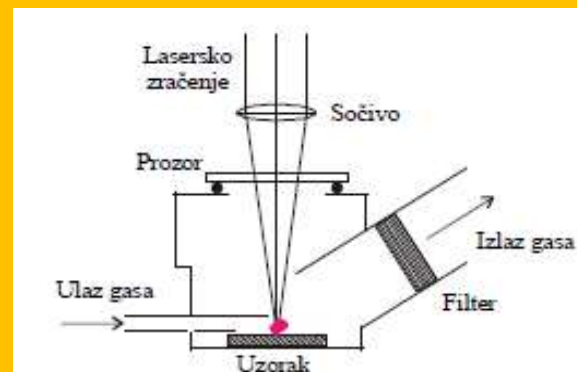
1987 - **Ultrazvučna dekontaminacija** opreme

1991 - Složeno međudelovanje različitih vrsta tenzida u sistemima za dekontaminaciju, metod **elektrohemijske dekontaminacije** u nuklearnim postrojenjima.

1997 – Postupci **dekontaminacije fosfo-gipsa** i prvi put razmatrana primena **laserskog zračenja za dekontaminaciju površina metala**.

2007 - Procena i poređenje efikasnosti dekontaminacije alkidnih i epoksi-poliuretanskih sistema premaza.

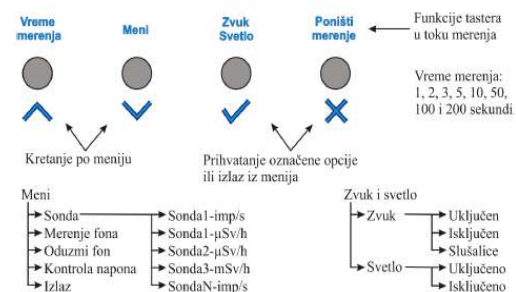
2015 - **Prenosni digitalni merač radioaktivnog zračenja DMRZ-M15**, za merenje jačine ambijentalne ekvivalentne doze gama zračenja  $H^*(10)$ , kao i za detekciju radioaktivnih izvora i kontaminacije.



Slika 4. Eksperimentalna aparatura za lasersku dekontaminaciju putem ablacije



Slika 2. Izgled merača DMRZ-M15



Slika 3. Dijagram menija i opcija

# Remedijacija kontaminiranih terena

Problemi dekontaminacije i remedijacije terena postali su aktuelni nakon bombardovanja Savezne Republike Jugoslavije od strane NATO saveza, municijom sa osiromašenim uranijumom. 1999. god.

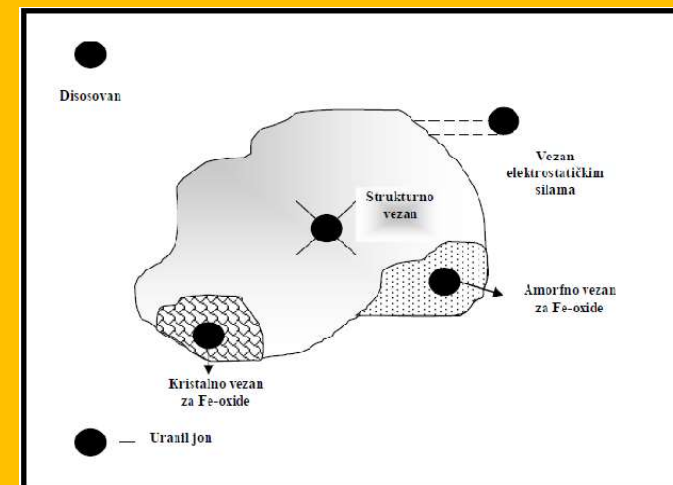
2001 i 2003 - saopštena su dozimetrijska iskustva, sistematizovani su tipovi lokacija i publikovani rezultati **dekontaminacije terena na području rta Arza, Boka Kotorska**.

Projekat je realizovao Centar za ekotoksikološka ispitivanja. Svih 486 kontaminiranih lokacija je dekontaminirano do nivoa koji je niži od dvostruke maksimalne vrednosti lokalnog prirodnog fona i područje je proglašeno podesnim za neograničeni javni pristup.

2005 - ispitivana **sorpcija i distribucija urana na zemljištu lokaliteta Bratosele**.

2013- predstavljeni rezultati laboratorijskih ispitivanja efekata apatita dodatog u zemljište **na hemijsku in situ stabilizaciju radionuklida**

2015 - optimizovan je sastava rastvora **za hemijsku ekstrakciju** radionuklida iz kontaminiranog zemljišta



# Karakterizacija i tretman tečnog RAO

1969 - Prečišćavanja vode **flokulacijom i taloženjem** ferifosfatnih flokula u LAMELLA aparatima

1970 - Prva šarža u toku probnog pogona tretirana u eksperimentalnom postrojenju bila je smeša fisionih produkata

1972 - **Šema model postrojenja za uklanjanje  $^{60}\text{Co}$  i  $^{137}\text{Cs}$** , planirano za obradu efluenta tipa VR-1. S obzirom na složeni hemijski sastav ovog efluenta, tretman je obuhvatao više faza

1985 - **Postupak predkoncentrisanja lantanida** primenom aluminijum-hidroksida

1987 - Mogućnosti tretmana nisko i srednje radioaktivnih efluenta iz nuklearne elektrane (NE) "Krško" **kombinovanim metodama**

1989 - **Denitriranje** suspenzije visoko radioaktivnog otpada primenom mravlje kiseline

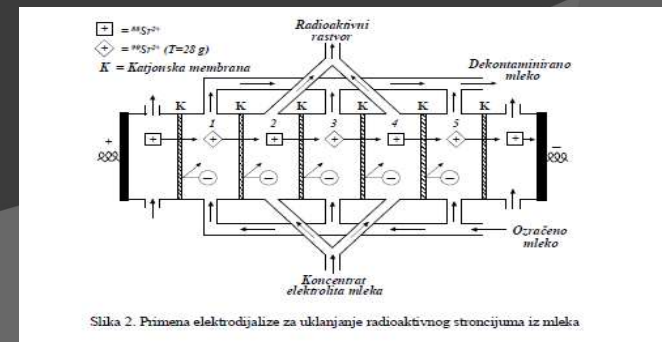
1997 - Proces **dvostepene pertraksije**. Ramski membranski moduli sa transverzalno postavljenim šupljim vlaknima. Istovremena dekontaminacija rastvora i međusobna separacija jona.

1999- Primena **membranskih procesa** za efikasno koncentrisanje i/ili separaciju radionuklida iz tečne faze.

Slika 1: Kriterijumi za izbor metode obrade tečnih otpadaka

Metoda	Kriterijumi za metodu
Filtracija	1. Ako su prisutne suspendovane materije i ako je ukupna radioaktivnost manja od $3 \cdot 10^5 \text{ Bq/cm}^3$ . 2. Pre-ionske izmene.
Flokulacija	1. Ako je ukupna $\beta, \gamma$ aktivnost manja od $6 \cdot 10^4 \text{ Bq/cm}^3$ . 2. Ako je pH manja od 6. 3. Ako je aktivnost $^{90}\text{Sr}$ manja od $600 \text{ Bq/cm}^3$ .
ionska izmena-katjonski izmenjivači	1. Ako je sadržaj čvrstih materija manji od 1000 mg/l. 2. Ako je ukupna aktivnost manja od $12,5 \cdot 10^5 \text{ Bq/cm}^3$ . 3. Ako je pH < 7,5.
Katjonsko-anjonski izmenjivači	1. Reaktorske otpadne vode. 2. Ako je sadržaj čvrstih materija manji od 100 mg/l i pH < 7,5.
Upravljanje	Tečni otpaci koji se ne mogu tretirati drugim metodama izuzev otpadaka koji sadrže amonij nitrat.

Započinje praksa izvođenja eksperimenata primenom stabilnih izotopa



Prirodni  
materijali

- Zeoliti
- Glina
- Ifuzorijska zemlja
- Lignit
- Sepiolit

Sintetički  
materijali

- Zeoliti
- $BaSO_4$
- Fosfati
- Apatiti
- Jonoizmenjivačke smole
- Aktivni ugalj

Otpadni  
materijali

- Životinjske kosti
- Industrijski mulj
- Leteći pepeo
- Gradjevinski otpad
- Ljuštura školjki

1969-2017 izložen je niz radova o fundamentalnim i praktičnim aspektima separaciji radionuklida iz vodene sredine primenom selektivnih čvrstih matrica – sorbenata



Ciljevi:

Dekontaminacija vode

Tretman tečnog radioaktivnog otpada

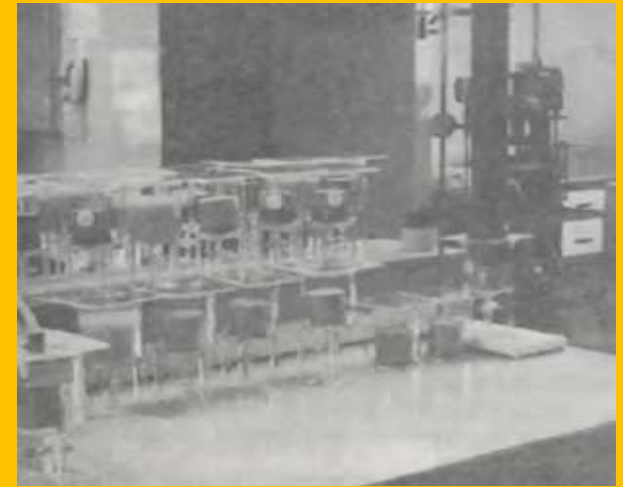
Selekcija pogodnih lokacija za izgradnju trajnog odlagališta RAO

Selekcija materijala za remedijaciju zemljišta i ispunu barijera oko odlagališta

Razvoj analitičkih postupaka

# Karakterizacija i tretman čvrstog RAO

- 1981 - Prvi put se pored **cementa** uvodi u praksu **bitumen** kao medijum za solidifikaciju RAO. Bitumen pokazuje prednosti kao što su fizička, hemijska i radiolitička stabilnost uz niže operative cene bitumenizacije i transporta
- 1983 - Novi metod **solidifikacije jonoizmenjivača plastičnim materijalima** koji polimerizuju na sobnoj temperaturi, kao i rezultati prve kampanje **vitifikacije** radioaktivnog otpada u Francuskoj.
- 1983 i 1985 - Aktuelna tema je **sastav matriksa za imobilizaciju RAO**, a praćena je **izlučljivost**  $^{137}\text{Cs}$  iz perlit-cementa i vermikulit-cementa.
- 1989 - **Modelovanje fizičko-hemijskih parametara maltera za imobilizaciju RAO i betona za izradu kontejnera** u tehnologiji odlaganja RAO
- 1991 - Prvi put su primenjena **lizimetrijska ispitivanja solidifikovanih RAO formi** kao nov pristup u definisanju ponašanja RAO materijala niskog i srednjeg nivoa aktivnosti, imobilisanih u izabranim cementnim matriksima. Imitiraju se realni uslovi, a akcenat je stavljen na pojavu mogućih akcidentalnih uslova na području odlagališta.

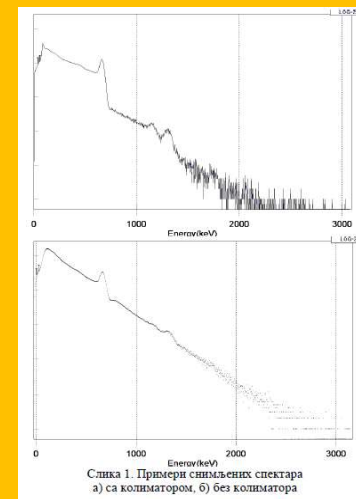
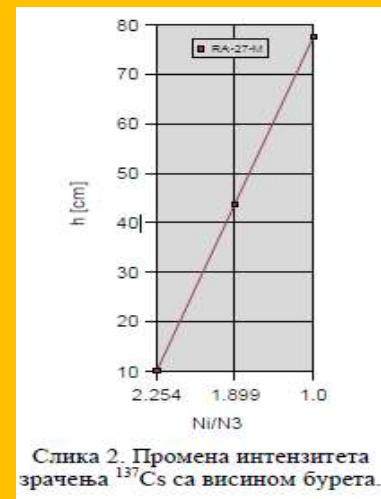


# Karakterizacija i tretman čvrstog RAO

2005 - *in situ* karakterizacija otpada. Kao rezultat potrebe za nedestruktivnom karakterizacijom otpada u nestandardnim pakovanjima, bez prethodnog iznošenja iz skladišta, primenjena su spektrometrijska merenja gama zračenja iz istorijskog otpada nastalog solidifikovanjem reaktorskog tečnog otpada. Merenja su izvedena pomoću NaI(Tl) detektora, sa višekanalnim analizatorom InSpector 2000 i programskim paketom Genie 2000.

2007- *modeli za određivanje efektivnih koeficijenata difuzivnosti radionuklida*, od značaja u analizi migracije radionuklida iz cementog matriksa.

2017 – Prikazani rezultati *uklanjanja, kondicioniranja i skladištenja iskorišćenih radioaktivnih izvora u Crnoj Gori*, sprovedenih kroz projekte IAEA i EU.



Слика 2. Вадње радиоактивног извора из гомобрана

# Dekomisija reaktora

1985 - Problem dekomisije nuklearnih elektrana prvi put je akcentovan. Do tog trenutka je u celom svetu izvršena dekomisija oko 60 nuklearnih objekata, ali ni jedne komercijalne NE. Procenjivalo se da će do kraja 20 veka preko 100 NE prestati sa radom, što govori o aktuelnosti i razmerama problema.

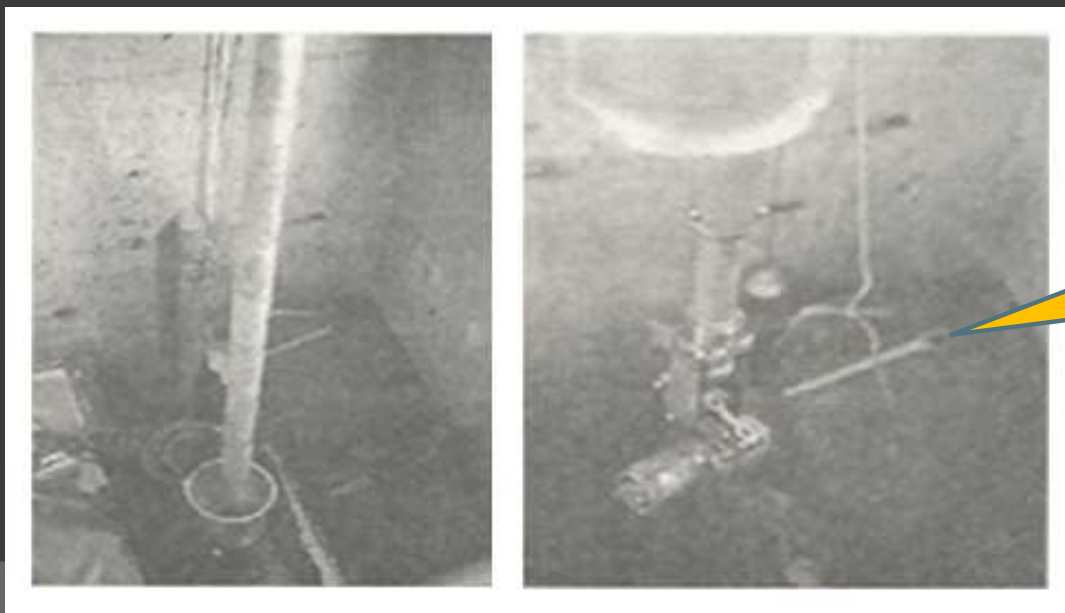
## 1997- ZBRINJAVANJE ISLUŽENOG GORIVA REAKTORA "RA" u VINČI

RA snage 6,5 MW, pušten u pogon 1959. god., a zaustavljen 1984. god.

Elaborat "Podloge i kriterijumi za utvrđivanje daljeg statusa istraživačkog reaktora RA". Isluženo nuklearno gorivo bilo je smešteno je u bazenu za privremeno odlaganje, u suterenu zgrade reaktora, stanje u ovom bazenu ocenjeno kao rizično .

Misija IAEA u Institutu "Vinča" - eksperti iz Rusije razrađuju plan aktivnosti.

Procenjeno je da je za sanaciju bazena sa isluženim gorivom reaktora RA potrebno oko 300 do 500 hiljada US \$.



Povećana radioaktivnost vode u bazenu pripisana je curenju "izgubljenog" gorivnog elementa, koji je u toku 1996. god. lociran i izvađen sa dna bazena

# Dekomisija reaktora

Odluka Vlade RS iz 2002. god.,  
trajno zaustavljen reaktor RA

Zaključak Vlade RS iz 2004. god.:  
✓ vraćanje isluženog nuklearnog  
goriva u zemlju porekla  
✓ dekomisija postrojenja  
primenom strategije neodložne  
demontaže

## Simpozijum 2003. god.

Prikazani su detalji plana radiološke karakterizacije za potrebe dekomisije RA;

Metode proračuna za određivanje neutronske indukovane aktivnosti u komponentama i sistemima reaktora RA;

Razmatrana je mogućnost korišćenja automatizovane nedestruktivne analize nuklearnog otpada pomoću emisije kompjuterizovane tomografije (ECT);

Analizirane su opcije dekomisije RA i predloženo je odlaganje dekomisije za period od 30 god. i usvajanje programa pripremnih radova.

## Simpozijum 2007. god.

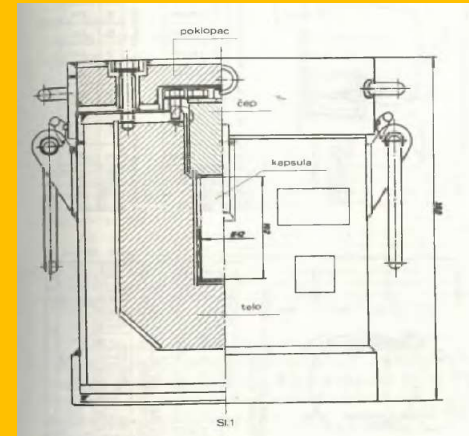
Usvojeni su odgovarajući propisi za rad u objektu reaktora RA, formirani su timovi za realizaciju projekata uklanjanja isluženog goriva i dekomisiju reaktora RA i definisane aktivnosti i rokovi izvršenja za period 2004-2015.

Pripreme za prepakivanje i transport isluženog goriva reaktora u Rusiju i za otpočinjanje dekomisije reaktora RA odvijale su se u okviru Programa VIND.

# Sakupljanje, transport i odlaganje RAO

1972- Rezultati ocene i provere **zaštitnih svojstava kontejnera B-2**, za transport radioaktivnih materijala (Odeljenje za reaktorske materijale Instituta u Vinči).

1975 – Prvi put na Simpozijumu izneti podaci o stanju i količinama čvrstog RAO u privremenom skladištu u institutu u Vinči. Od 1963. god., vođena je evidencija o količinama i poreklu čvrstog RAO koji je skladišten u novoizgrađenom hangaru.



1978 - Predlog konstrukcije i tehnički podaci o **armirano-betonskim kontejnerima** za pakovanje radioaktivnog materijala.

1979- Zaključeno je da **problem deponovanja RAO iz NE treba rešavati kroz jedinstveni program na nivou Jugoslavije**. Sistematizovana su postojeća rešenja odlaganja RAO: u more, u napuštene rudnike soli i u veštačka odlagališta. Navedeni su sigurnosni kriterijumi koje skladište treba da zadovolji i koji su od NE "Krško" upućeni Saveznom komitetu za zdravstvo.

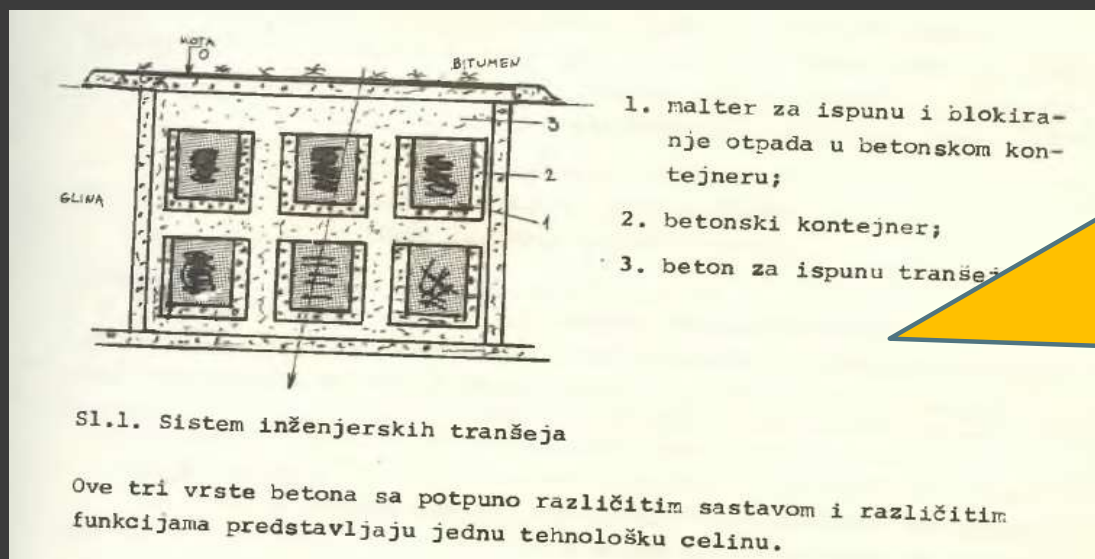
1979 - **Izbor tehnologija obrade tečnog i čvrstog RAO u institutu u Vinči**. Predviđen je faktor smanjenja zapremine 3-4, pakovanje voluminoznog otpada i metalnih predmeta u metalnu burad, a zatim betoniranje.

1981 – Instituti "Ruder Bošković" iz Zagreba i "Jožef Stefan" iz Ljubljane **predstavili strategiju sakupljanja, privremenog i trajnog odlaganja radioaktivnog otpada iz nuklearnih postrojenja**.

# Sakupljanje, transport i odlaganje RAO

U Jugoslaviji je bila predviđena izgradnja serije od najmanje šest nuklearnih elektrana do 2000 god., te je problem obrade i odlaganja RAO svih vrsta, uključujući visoko-aktivni, bio značajan.

1983 - Mogućnost primene domaćih materijala za izradu betonskih kontejnera u tehnologiji solidifikacije RAO, kao i za izradu maltera za odlaganje i ispunu betonskih tranšeja.



U tom trenutku, oko 3000 m<sup>3</sup> tečnog i čvrstog otpada niskog i srednjeg nivoa aktivnosti se nalazilo na skladištenju u Institutu u Vinči.

## Površinsko odlaganje

Istraživački rad je bio usmeren na razvoj solidifikacije cementnim postupkom, razvoj postupka za dobijanje betonskih kontejnera i recepture za betone za ispunu tranšeja.

Cilj rada je bio da pokaže u kojoj meri ovakav koncept, zasnovan na tri barijere, zadovoljava sigurnosne kriterijume i uslove trajnog smeštaja u našoj zemlji sa stanovišta geoloških, klimatskih i drugih specifičnosti.

# Sakupljanje, transport i odlaganje RAO

1993 - Započeta akcija rešavanja problema trajnog odlaganja RAO dogovorom republika je prekinuta. Postojala je velika potreba da se aktuelizuje se **problem izgradnje skladišta za trajno odlaganje** u okviru koga bi se našla odgovarajuća rešenja za sve vrste isluženih izvora

1995 - **Progres u demontaži i skladištenju radioaktivnih gromobrana**

Rektorski program WIMSD4, primenjen je za **proračun parametara kritičnosti odlagališta ozračenog goriva**.

Konfiguracija isluženog goriva smeštenog u bazenu za odlaganje goriva Reaktora RA ispunjava zahteve u pogledu sigurnosti na nuklearnu kritičnost.

1999 - **Kondicioniranje i privremeno stokiranje radijumskih RAO materijala**. Sigurnost ovakvih paketa RAO mora biti obezbeđena u periodu od 40 godina, nakon čega sledi ponovno kondicioniranje izvora.

2007 - predstavljeno je **ново uputstvo o sakupljanju, označavanju i čuvanju RAO materijala u Centru NTI**

Elektronska baza podataka "*Radioactive Waste Management Registry*" dobijena od IAEA.

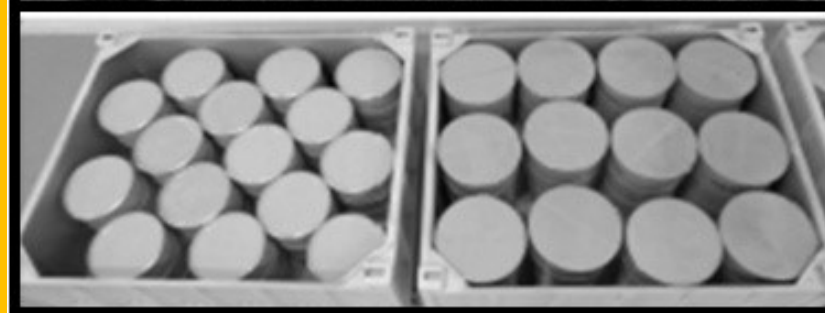
1989 - Zakon o moratorijumu na gradnju nuklearnih elektrana u Jugoslaviji do kraja XX veka

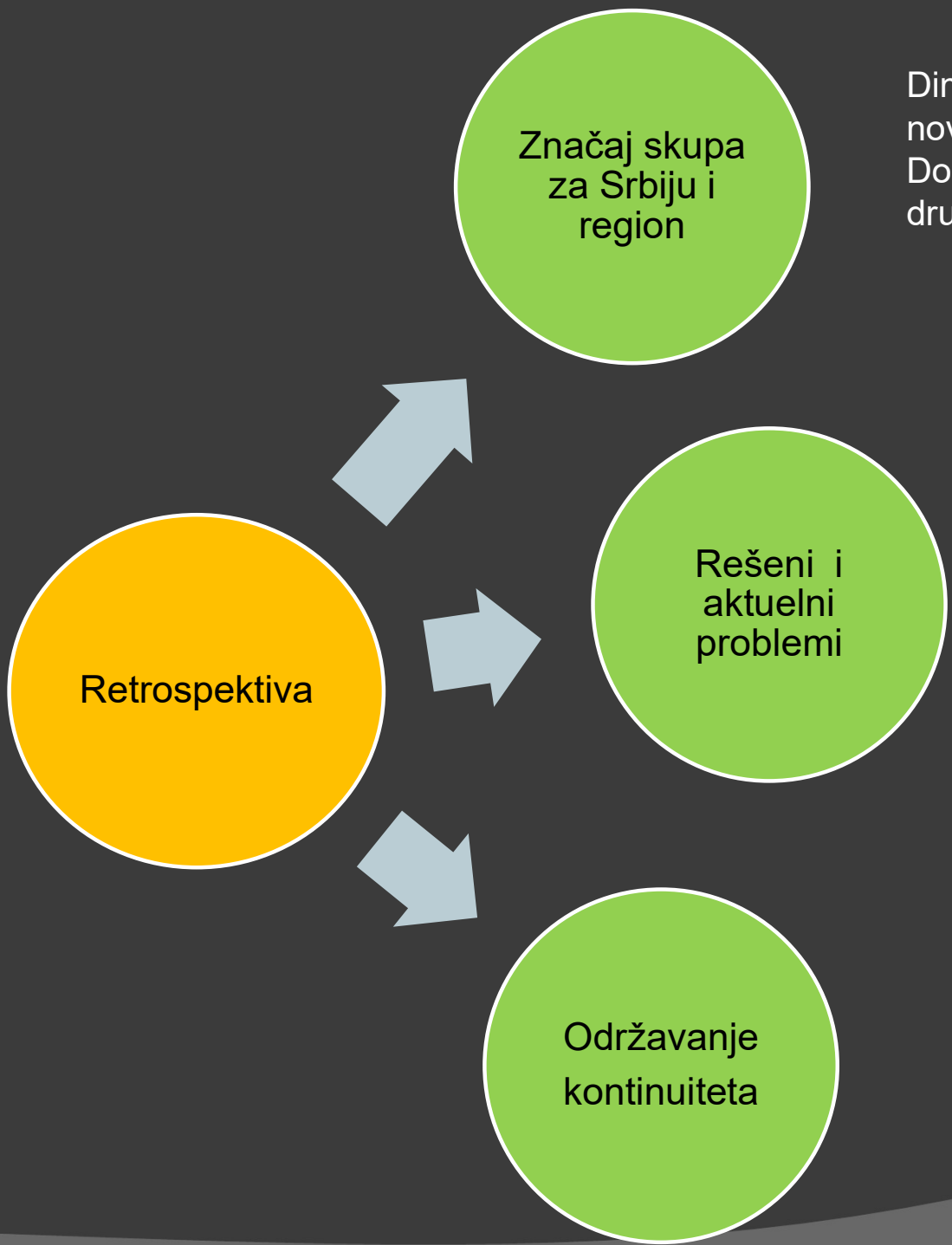
2013 - predstavljeni **novi objekti za skladištenje RAO u Republici Srbiji.**

U Vinči su izgrađeni novi objekti za skladištenje čvrstog radioaktivnog otpada, (H3) i za bezbedno skladištenje jakih izvora zračenja (BS).

Operator novih objekata za skladištenje je Javno preduzeće „Nuklearni objekti Srbije“, koje je Licencu za probni rad objekata dobilo 2011.god., a 2012, god. i dozvolu za korišćenje objekata, tj. pun pogon.

Puštanjem u rad ovih objekata je skladištenje radioaktivnog otpada i izvora zračenja u Republici Srbiji, a ujedno i upravljanje radioaktivnim otpadom u celini, unapređeno i stavljeno na viši sigurnosi i bezbednosni nivo.



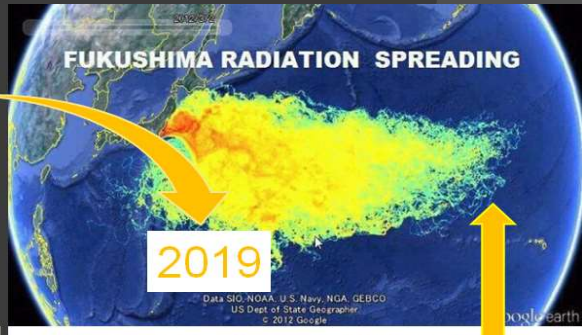
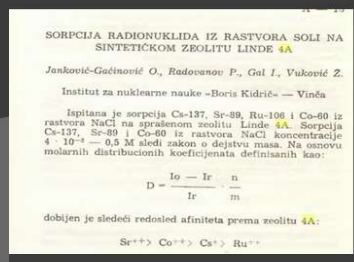


Dimpozijumi DZZ - centralno mesto predstavljanja novih dostignuća i razmene iskustava  
 Donošenja smernica i preporuka o upravljanju RAO i drugim važnim pitanjima

- Tretman i kondicioniranje istorijskog tečnog i čvrstog RAO,
- dekomisija reaktora RA
- trajno odlaganje RAO

### Uticaj

1969



NOVI MATERIJALI ZA SEPARACIJU RADIOAKTIVNOG STRONCIJUMA IZ MORSKE VODE

Ivana COHA<sup>1</sup>, Ivana SMIČIKLAS<sup>2</sup>, Željko GRAHEK<sup>1</sup>, Marija ŠLJIVIĆ-IVANOVIĆ<sup>2</sup> i Mihajlo JOVIĆ<sup>2</sup>

1) Institut Ruđer Bošković, Bijenička cesta 54, 10000 Zagreb, Hrvatska, [ivana.coha@irb.hr](mailto:ivana.coha@irb.hr), [zgrahek@irb.hr](mailto:zgrahek@irb.hr)

2) Univerzitet u Beogradu, Institut za nuklearne nauke Vinča, Mike Petrovića Alasa 12-14, 11351 Beograd, Srbija, [ivanaf@vi.bg.ac.rs](mailto:ivanaf@vi.bg.ac.rs), [marijasljivic@vin.bg.ac.rs](mailto:marijasljivic@vin.bg.ac.rs), [mjovic@vin.bg.ac.rs](mailto:mjovic@vin.bg.ac.rs)