

PREGLED ISTRAŽIVANJA RADONA U PRETHODNIH 29 SIMPOZIJUMA DRUŠTVA ZA ZAŠTITU OD ZRAČENJA SRBIJE I CRNE GORE

**Igor ČELIKOVIĆ, Vesna ARSIĆ², Sofija FORKAPIĆ³,
Vladimir UDOVIČIĆ⁴ i Dragoslav NIKEZIĆ⁵**

¹„Vinča“ Institut za nuklearne nauke, Univerzitet u Beogradu

²Institut za medicinu rada Srbije „Dr Dragomir Karajović“, Beograd

³Departman za fiziku, PMF, Univerzitet u Novom Sadu

⁴Institut za fiziku u Beogradu, Univerzitet u Beogradu

⁵Prirodno-matematički fakultet, Univerzitet u Kragujevcu

Istorijski pregled istraživanja radona:

XVI vek: Paracelsus i Agricola – prvi zapis o velikoj smrtnosti usled plućnih bolesti u rudnicima srebra u Bohemiji

1879: bolest kod rudara identifikovana kao kancer

1900: Dorn, otkriće radona

1899: Owens i Rutherford: otkrice torona

1903: Debierne, otkriće aktinona



1901 Elster i Geitel: merili visoke koncentracije radona u pomenutim rudnicima
- merenje je vršeno ispitivanjem jonizacije u vazduhu

Istorijski pregled istraživanja radona:



1911, 1912 – Victor Hese, otkriće kosmičkog zračenja

Istorijski pregled istraživanja radona:

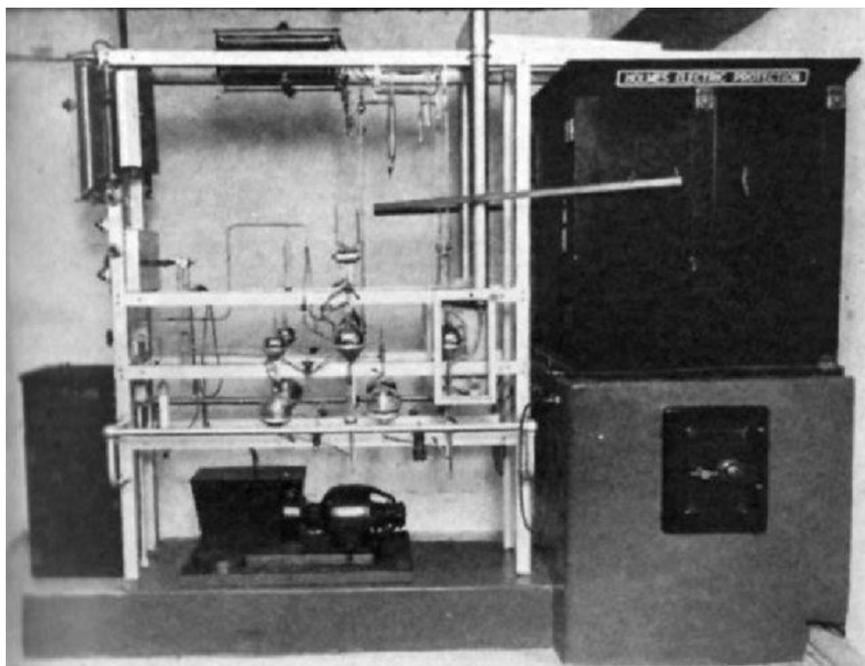
1932 : Pretpostavljeno je da je radon glavni izvor kancera pluća kod rudara (Pirchan, Sikl)

1940: Slično, Rajewsky pretpostavlja da je Rn glavni izvor kancera pluća

1951: Bale prvi iznosi sugestiju da uzrok kancera mogu biti radonovi kratkoživeći potomci

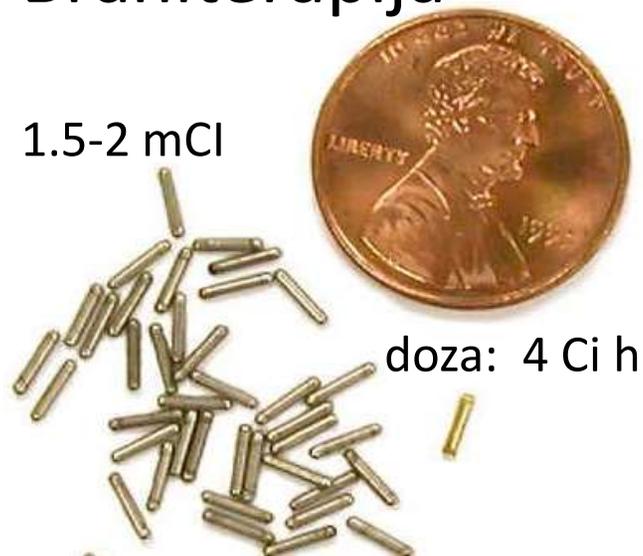
..... Brojne studije ispitivanja rudara u rudnicima urana

1988 IARC identifikuje radon kao ljudski kancerogen.



Brahiterapija

1.5-2 mCi



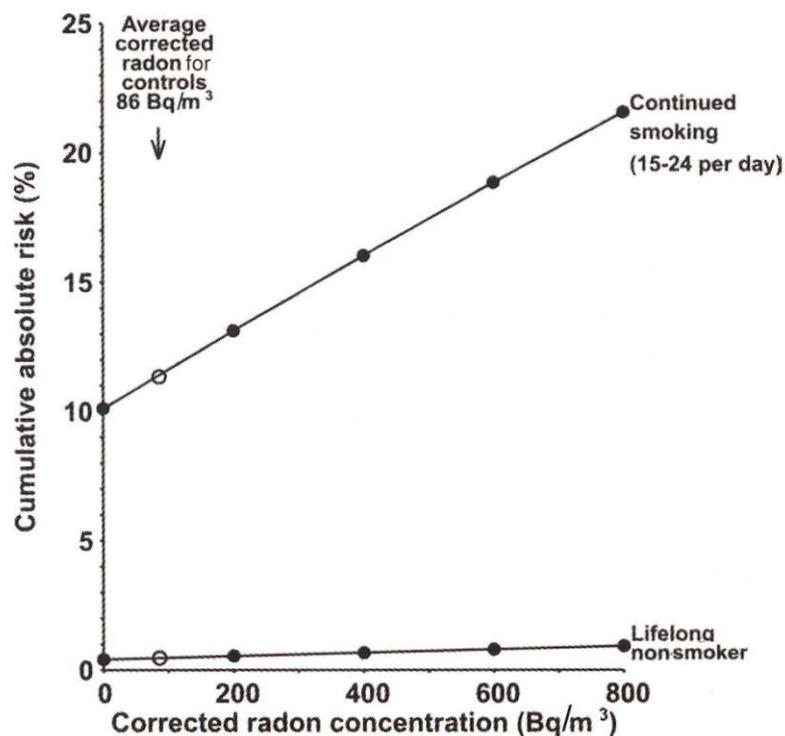
doza: 4 Ci h

Istorijski pregled istraživanja radona:

1956 Radon u zatvorenim prostorijama u Švedskoj rad nije naišao na dobar odziv u to vreme

1970-1980: brojni nacionalni programi merenja radona u zatvorenim prostorijama

2005: Epidemiološke studije u Evropi (Darby)



2009: 3- 14% svih kancera pluća potiču od radona (WHO)

2013: BSS EUROATOM

2 etape istraživanja radona prikazanih na DZZ

I etapa

63' | 65' | 67' | 69' | 70' | 72' | 73' | 75' | 77' | 79' | 81' | 83' | 85' | 87' | 89'

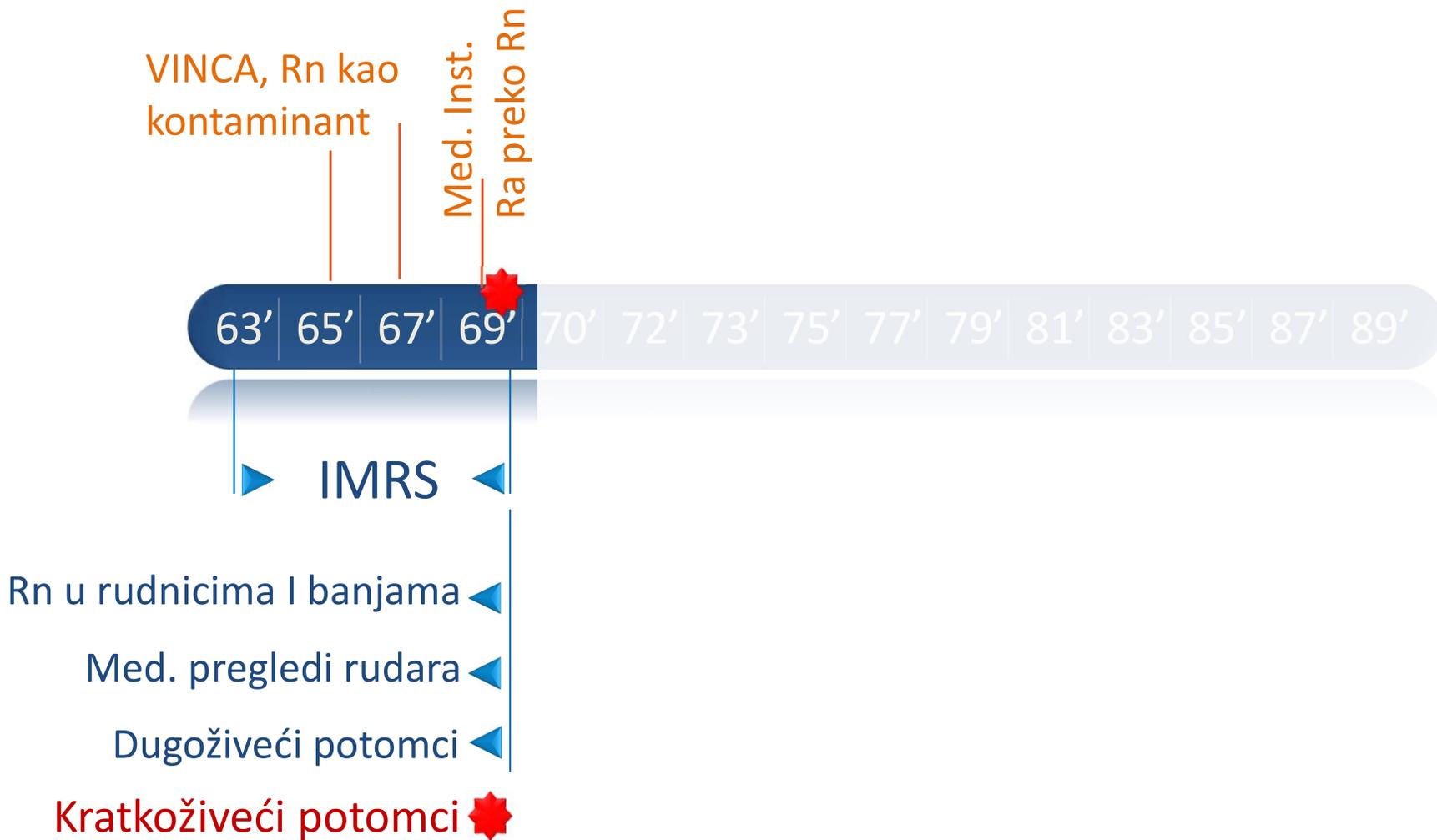
- Prati se svetski trend izučavanja nuklearne energije i proizvodnje nuklearnih sirovina
- **Dominantno ispitivanje različitih aspekata profesionalnog izlaganja radonu (rudari)**
- IMRS, IJS – najzastupljenije institucije

II etapa

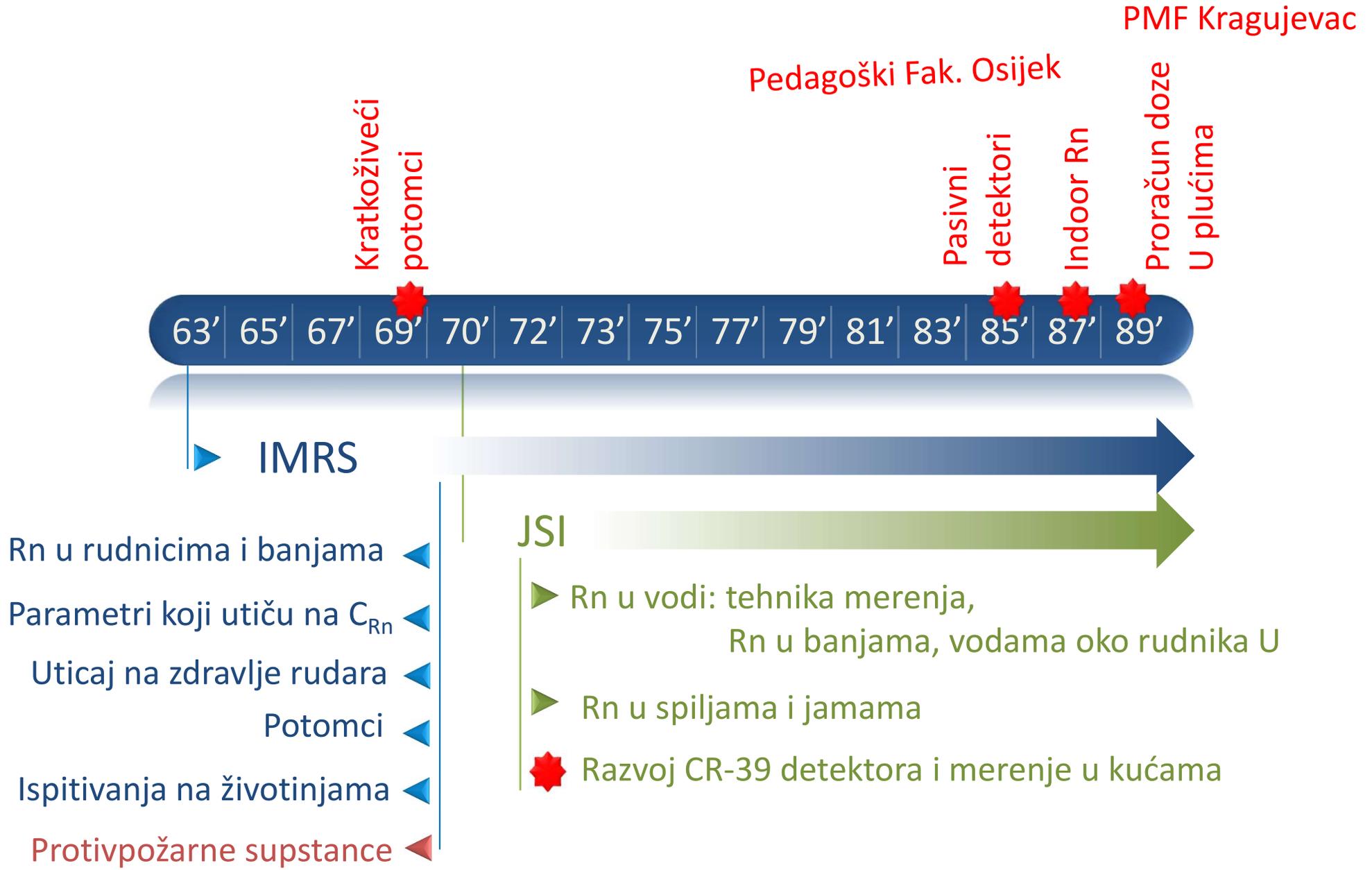
91' | 93' | 95' | 97' | 99' | 01' | 03' | 05' | 07' | 09' | 11' | 13' | 15' | 17'

- Prestanak nuklearnog programa, ICRP preporuke o indoor Rn,
- **Izlaganje stanovništva radonu**
- Uključen veći broj institucija

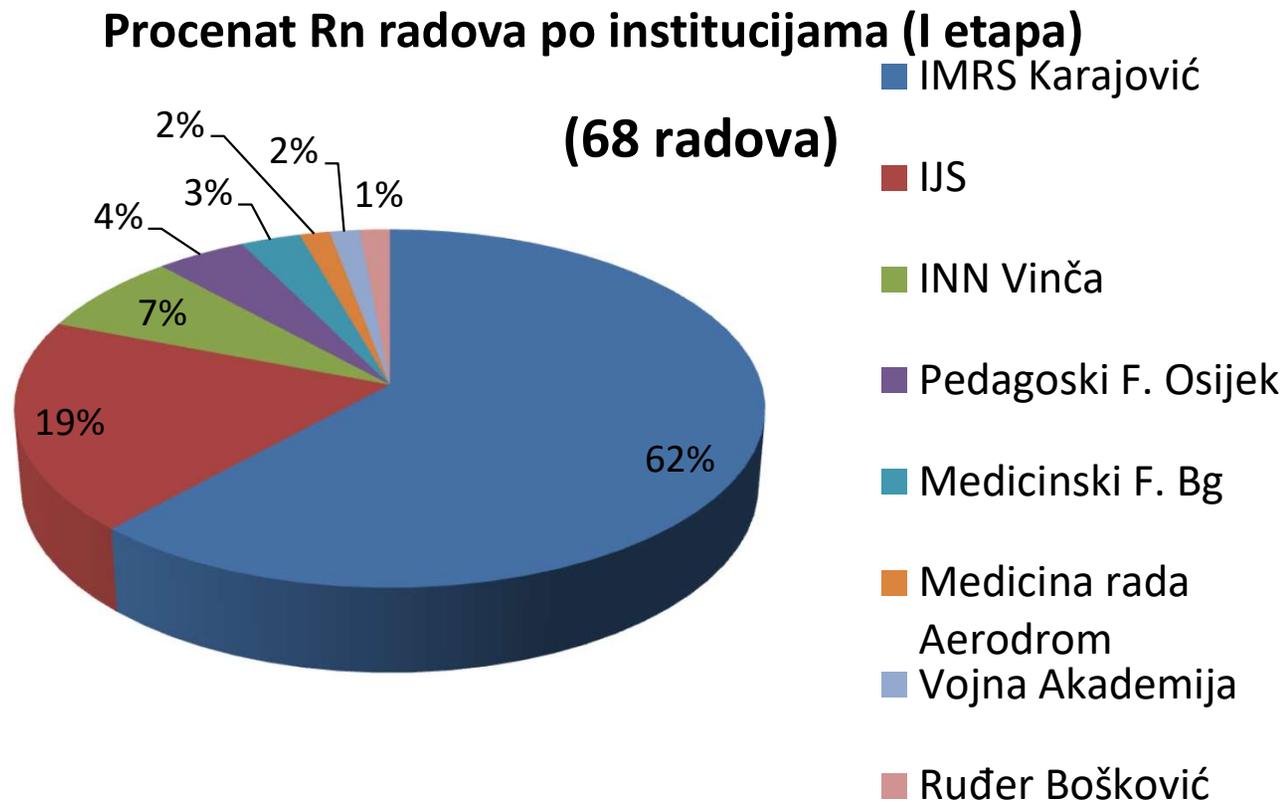
I etapa istraživanja radona: vremenska skala



I etapa istraživanja radona: vremenska skala



I etapa istraživanja radona: pregled institucija



- Rn u uranskim rudnicima
- Rn u metalničnim rudnicima
- Ostala profesionalna izlaganja radonu
- Biološka ispitivanja vezana za izlaganje radonu

Rn u uranskim i metaličnim rudnicima:

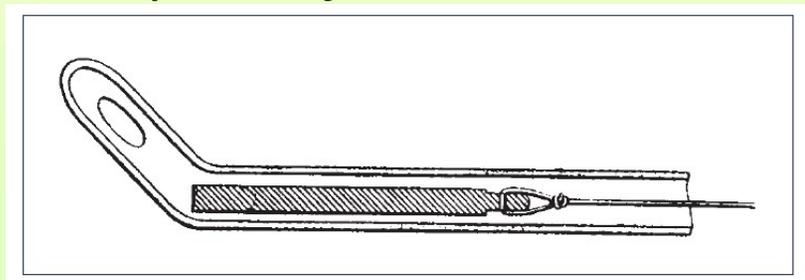
- Scintilaciona tehnika merenja
- Merenja u Kalni, Žirovskom vrhu (RUŽV), Zletovskoj reci...
 - od par desetaka kBq/m³ do nekoliko stotina kBq/m³
 - PROBLEM: loši uslovi rada, slaba ventilacija
- Ispitivanje Rn za svaki proizvodni proces: miniranje, bušenje...
- Ispitivan uticaj ventilacije:
 - Na nivo Rn u tunelima, potomke, ravnotežni faktor...
 - Utvrđeno da se Rn može držati u dozvoljenim granicama
 - Uvođenjem ventilacije u RUŽV: Rn ~ 10ak kBq/m³
- Ispitivan uticaj ventilacije na nivo potomaka i faktora ravnoteže
- U nemetalničnim rudnicima:
 - sedamdesetak Bq/m³ do par hiljada Bq/m³
 - max: 354 kBq/m³
 - sadržaj ²²⁶Ra u stenama i veoma slaba ventilacija

Rn u uranskim i metaličnim rudnicima:

- Radon u vodi u okolini RUŽV:
 - Povećane koncentracije u rekama u kojima su se ulivale vode iz rudnika
 - U udaljenijim vodama: niske koncentracije radona
- U cilju poboljšanja zaštite rudara, ispitivanje njihove izloženosti:
 - koncentraciji radona, radonovih potomaka,
 - CO, CO₂, broju i tipu čestica prašine u zavisnosti od različitih uslova ventilacije
- Posebno dizajnirani rudarski šlemovi sa ugrađenim ventilatorom i sistemom za ventilaciju:
 - Faktor smanjenja Rn potomaka: 10-100 puta

Etapa 1: ostala profesionalna izlaganja Rn:

- Pored izlaganja Rn u rudnicima, vršeno ispitivanje Rn u banjama:
 - U inhalatorijumima Topusko, Toplica: $\sim 1500 \text{ Bq/m}^3$
 - U inhalatorijumu Niška Banja: 1 MBq/m^3
- Rn meren i u radnim organizacijama gde se koristi ^{226}Ra u terapijske svrhe:
 - Prostorije za aplikacije, bunker...



- Ispitivanje radnika koji su radili sa radioaktivnim bojama na bazi radijuma:
 - Procena kontaminacije merenjem koncentracije izdahnutog radona

Etapa 1: Biološka ispitivanja uticaja Rn i potomaka

- Ispitivani biološki efekti usled štetnosti urana kod 765 rudara uranskih i 604 rudara neuranskih rudnika
- Procena radijacionog rizika za rudare u uranskim i neuranskim rudnicima
- Ispitivan „izdahnuti“ vazduh: za procenu telesnog depoa ^{226}Ra i inhaliran radon u inhalatorijumima
- Merenje koncentracije ^{210}Po i (^{210}Pb) kod lica izloženih radonu:
 - u urinu, kosi
- Eksperimenti na životinjama:
 - Dejstvo prašine rude urana, radona i potomaka na pluća pacova
 - Ispitivanje ekskrecije ^{210}Po posle izlaganja zečeva radonu

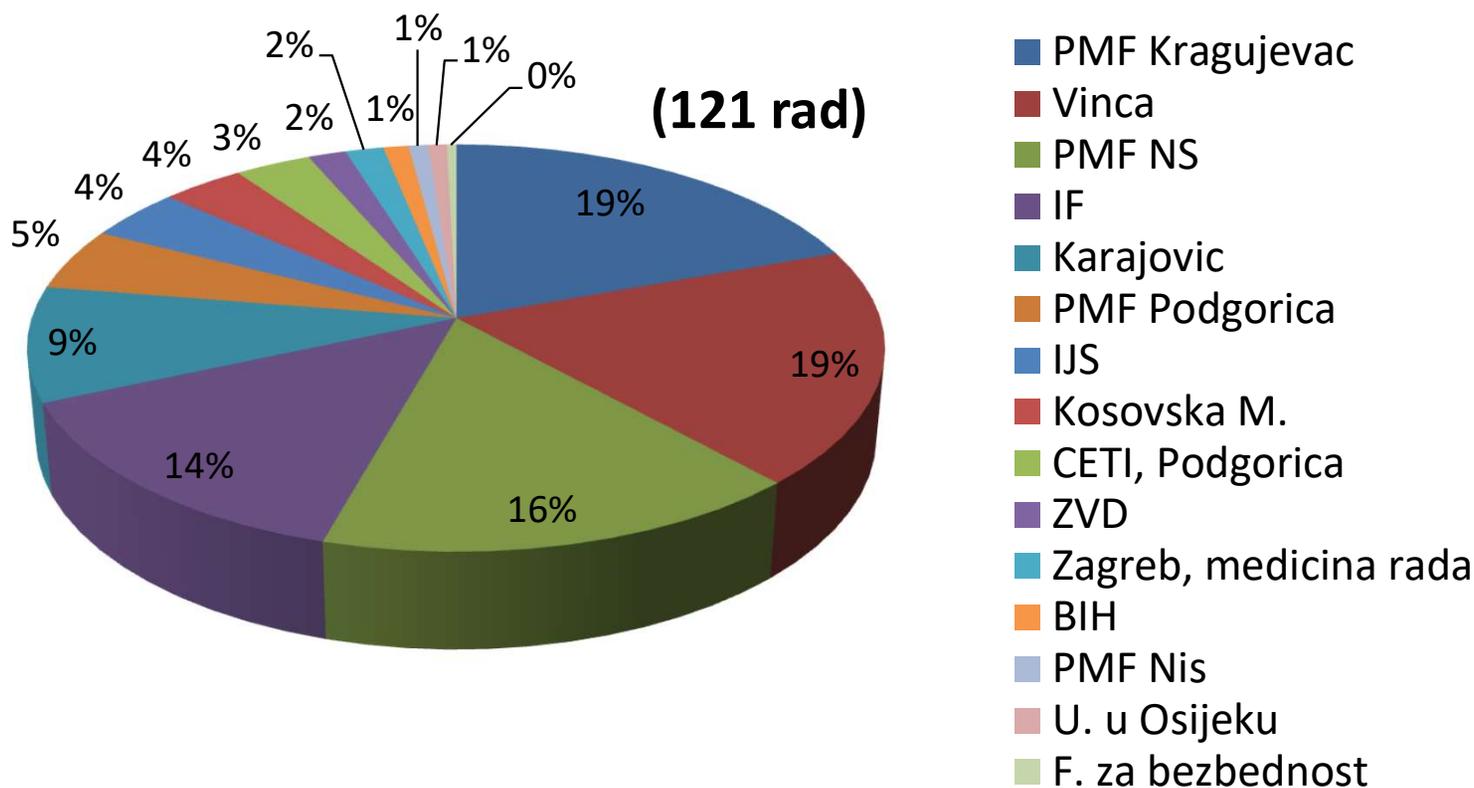
II etapa istraživanja radona: vremenska skala

91' | 93' | 95' | 97' | 99' | 01' | 03' | 05' | 07' | 09' | 11' | 13' | 15' | 17'

- Ispitivanje izlaganja stanovništva radonu
- Razvoj brojnih detektora
- Razvoj različitih metoda merenja R_n u vodi, vazduhu i zemnog gasu; ekshalacije radona
- Različita modelovanja i simulacije
 - Dozimetrijska modelovanja
 - Modelovanje i MC simulacija odziva detektora
- Uključen veći broj institucija,
- Međulaboratorijska saradnja...

II etapa istraživanja radona: pregled institucija

Procenat Rn radova po institucijama (II etapa)



	I etapa	II etapa
Br. simpozijuma	15	14
Br. radova	68	121
Br. institucija	3 (+5)	15

II etapa istraživanja radona: vremenska skala



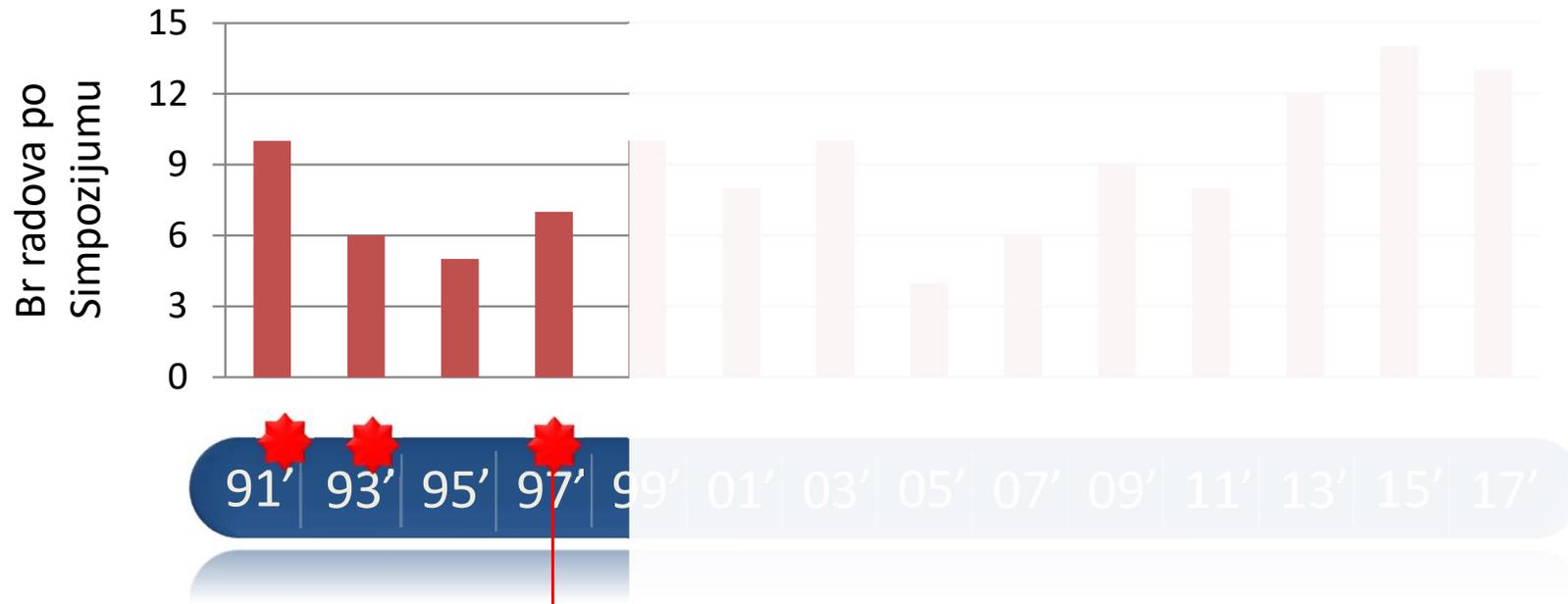
II etapa istraživanja radona: vremenska skala



Prvo spominjanje Monte-Carlo metode (PMF Kragujevac)
MC određivanje kalibracionog koeficijenta za CR-39

91': - Rn u vrtićima
- Prva sanacija objekta

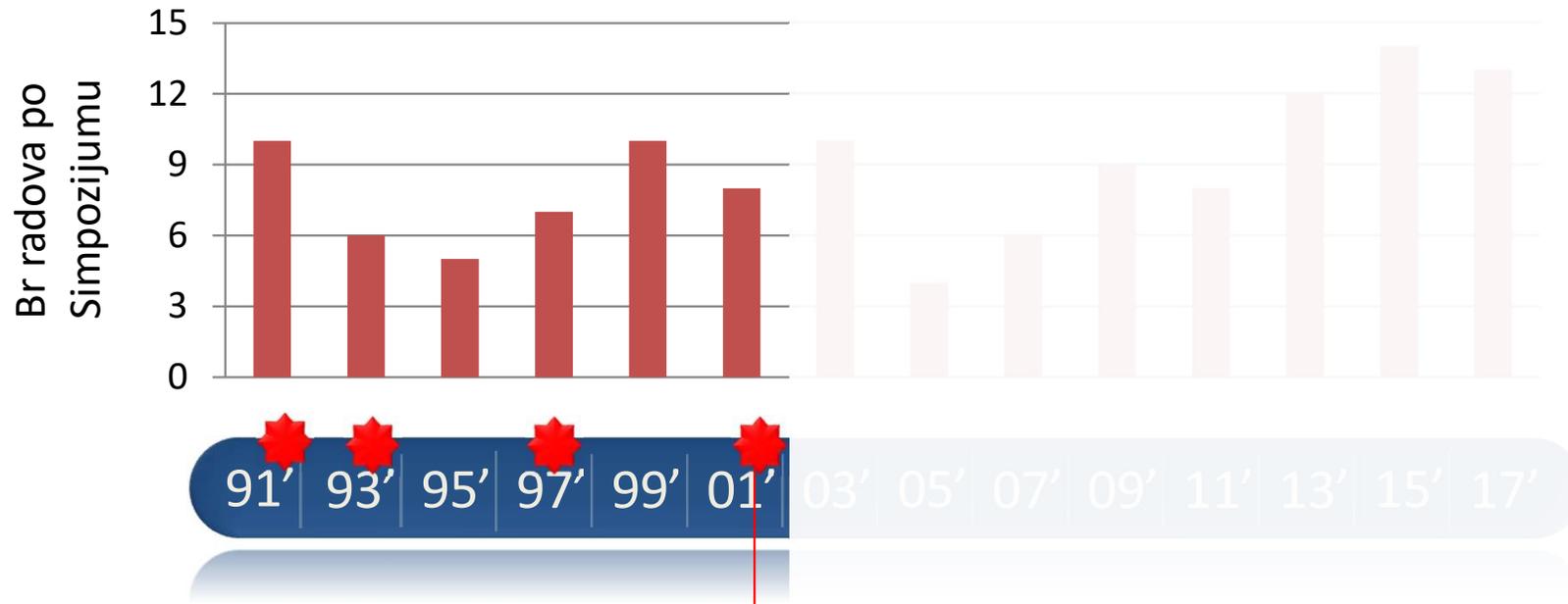
II etapa istraživanja radona: vremenska skala



- ▶ DZZ: Uvedena sekcija za radon
- ▶ Tehnika merenja potomaka trag detektorima (PMF Kragujevac)

91': - Rn u vrtićima
- Prva sanacija objekta
93': - Prva primena MC metode

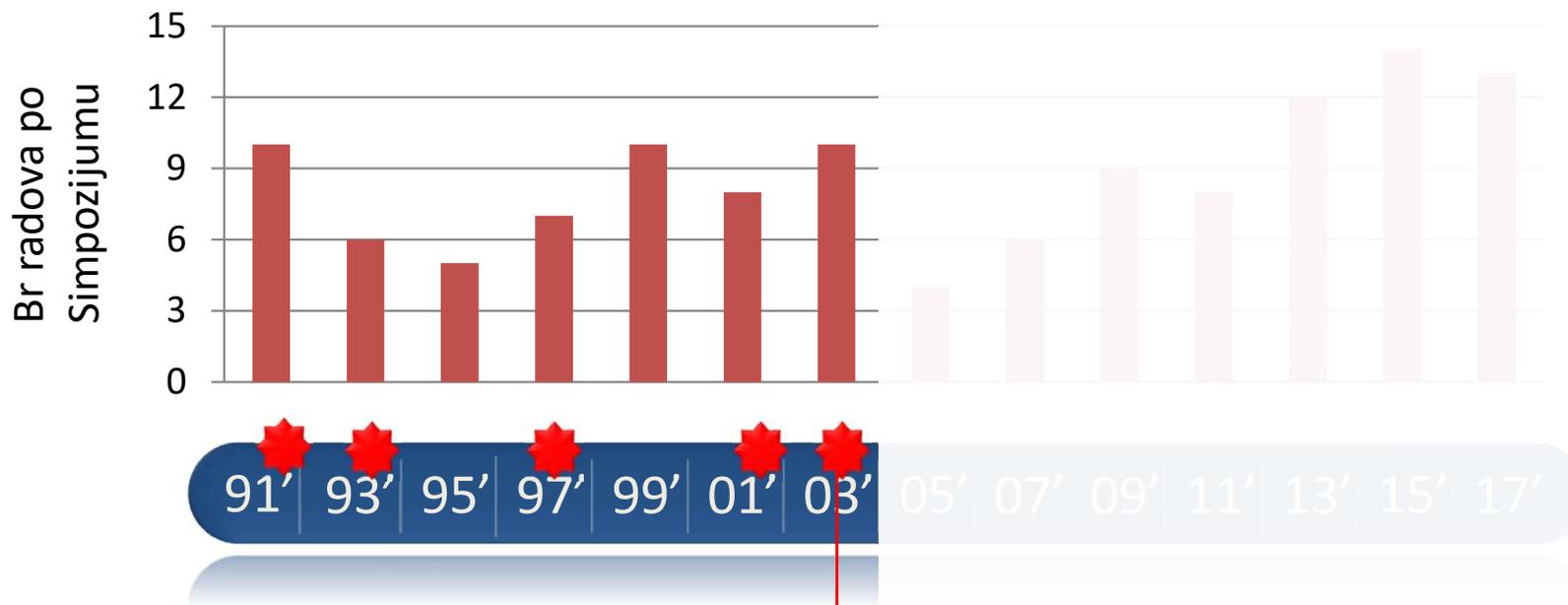
II etapa istraživanja radona: vremenska skala



Prvi rad o naučnim osnovama za sprovođenje Nacionalnog programa za radon (INN Vinča)

- 91': - Rn u vrtićima
 - Prva sanacija objekta
- 93': - Prva primena MC metode
- 97': - Sekcija za radon
- 97': - Merenje potomaka SSNTD

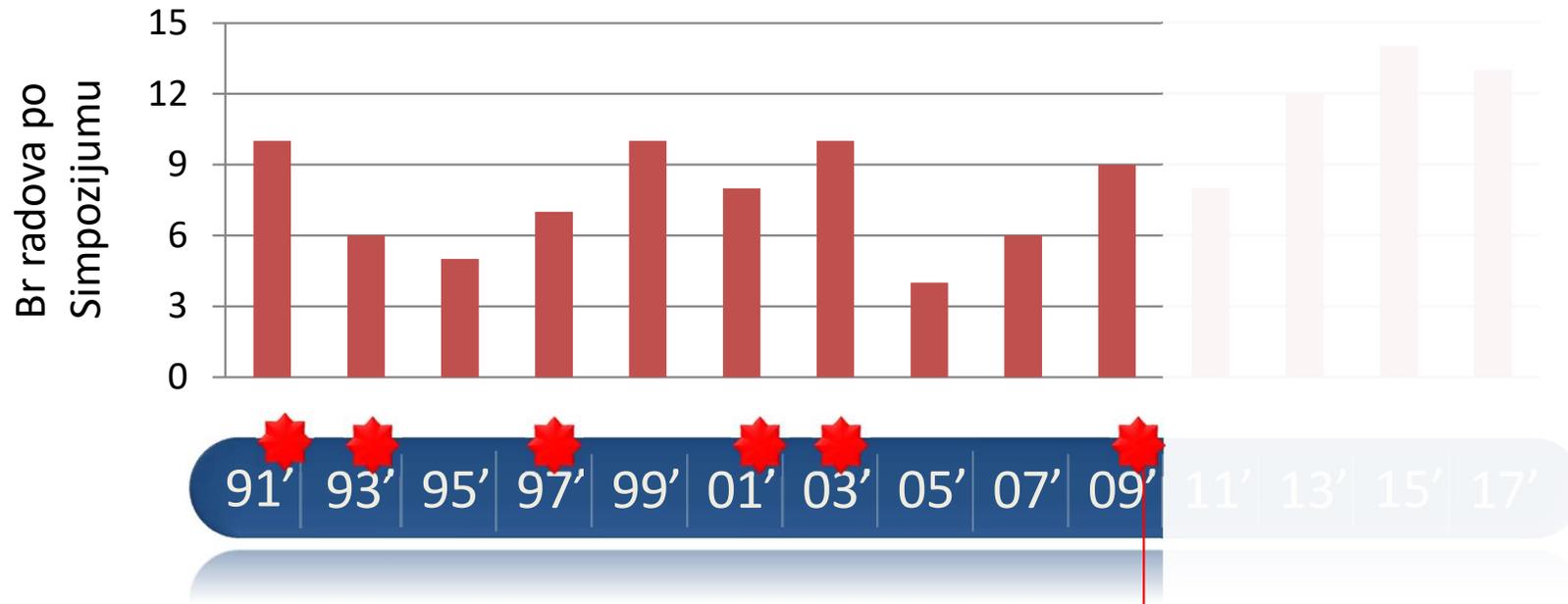
II etapa istraživanja radona: vremenska skala



- 91': - Rn u vrtićima
- Prva sanacija objekta
- 93': - Prva primena MC metode
- 97': - Sekcija za radon
- 97': - Merenje potomaka SSNTD
- 01': - Prvo spominjanje Nac. Prog. za Rn

- ▶ Prva Rn mapa Vojvodine (PMF Novi Sad) svih 45 opština, CR-39, 3 zimska meseca
- ▶ Niskofonska laboratorija (IF, Zemun)
Smanjenje Rn u podzemnoj laboratoriji
- ▶ Redukcija nivoa Rn u školi (PMF Podgorica, CETI)
- ▶ Prvo merenje torona (Vinča)

II etapa istraživanja radona: vremenska skala



Merenje faktora ravnoteže pomoću SSNTD
(PMF Kragujevac)

91': - Rn u vrtićima

- Prva sanacija objekta

93': - Prva primena MC metode

97': - Sekcija za radon

97': - Merenje potomaka SSNTD

01': - Prvo spominjanje Nac. Prog. za Rn

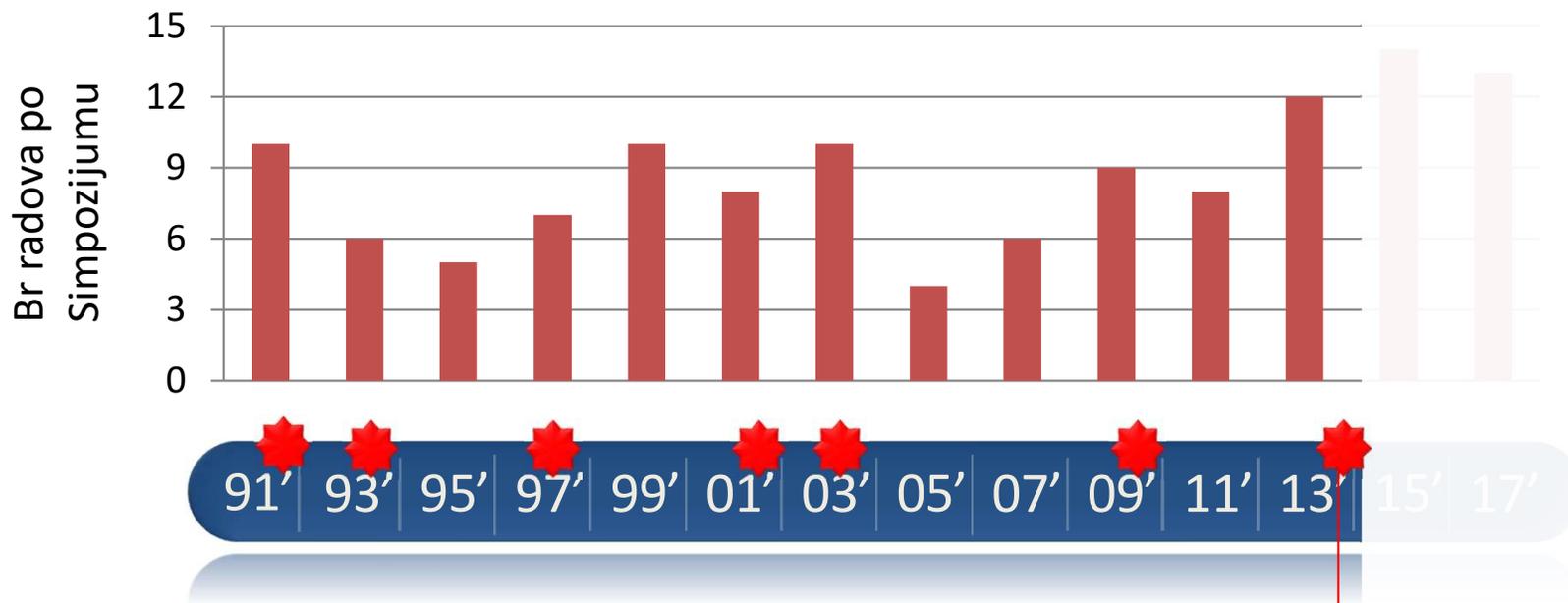
03': - Prva Rn mapa Vojvodine

- Redukcija Rn u niskofonskoj Lab

- Redukcija nivoa Rn u školi

- Prvo merenje Tn

II etapa istraživanja radona: vremenska skala



Nacionalni program za radon (regulativa i strategija)
(IF, Zemun)

91': - Rn u vrtićima

- Prva sanacija objekta

93': - Prva primena MC metode

97': - Sekcija za radon

97': - Merenje potomaka SSNTD

01': - Prvo spominjanje Nac. Prog. za Rn

03': - Prva Rn mapa Vojvodine

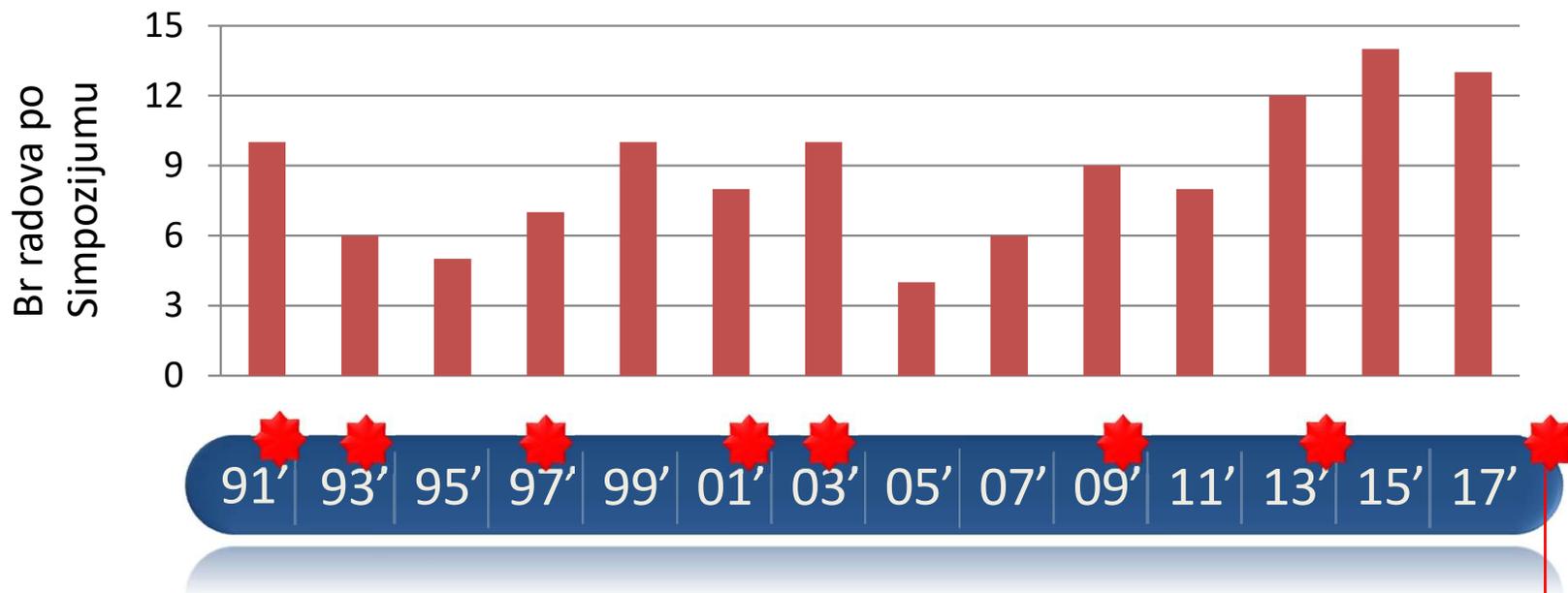
- Redukcija Rn u niskofonskoj Lab

- Redukcija nivoa Rn u školi

- Prvo merenje Tn

09': - Merenje faktora ravnoteže pomoću SSNTD

II etapa istraživanja radona: vremenska skala



Radon u zemnom gasu i GRP u Hrvatskoj
(Sveučilište u Osijeku)

Korišćenje MVA u predviđanju GRP
(PMF Novi Sad, IF Zemun)

91': - Rn u vrtićima

- Prva sanacija objekta

93': - Prva primena MC metode

97': - Sekcija za radon

97': - Merenje potomaka SSNTD

01': - Prvo spominjanje Nac. Prog. za Rn

03': - Prva Rn mapa Vojvodine

- Redukcija Rn u niskofonskoj Lab

- Redukcija nivoa Rn u školi

- Prvo merenje Tn

09': - Merenje faktora ravnoteže pomoću SSNTD

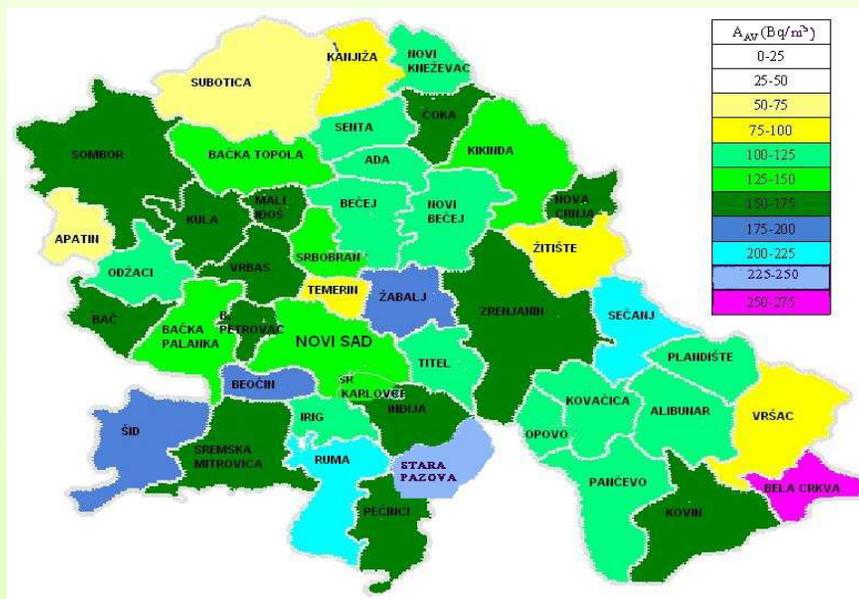
13': - Nacionalni program za radon

Izloženost radonu u zatvorenim prostorijama

- 1964: prva merenja Rn u Kalni u kućama rudara,
 - Izmerene koncentracije do 750 Bq/m^3
 - Ispod dozvoljenih granica u rudniku od 11.1 kBq/m^3
- 1987: **prvo spominjanje nuklearnih trag detektora**
 - **LR-115: podrum i balkon, (Pedagoški F., Osijek),**
 - CR-39: razvoj detektora i merenje u kućama (IJS, Ljub.)
- 1991:
 - radona u kućama koje su građene od pepela (IJS)
 - **Prva merenja Rn u vrtićima (IJS, Veterinarski F. Bg)**
- 1993:
 - ICRP preporuke o merenju Rn u kućama i radnim mestima
 - Intenzivira se ispitivanje Rn u kućama i vrtićima
- 2001:
 - **Rad o naučnim osnovama za sprovođenje nacionalnog programa za radon (Vinča)**

Izloženost radonu u zatvorenim prostorijama

- 2003 (XXII Simpozijum):
 - Prva radonska mapa Vojvodine (1000 CR-39, 3 meseca)



- Od 2003 (XXII Simpozijum)...
- Rn u školama, predškolskim ustanovama i stambenim objektima
- radovi obuhvataju regione Centralne Srbije, Kosova i Metohije, Crne Gore, Slovenije, i Bosne i Hercegovine

Izloženost radonu u zatvorenim prostorijama

- Od 2003 i instalacije ECE Laboratorije u Vinču:
 - Istraživanje torona
- XXVII Simpozijum:
 - dati okviri za sprovođenje radonskog nacionalnog plana
- XXVIII Simpozijum:
 - Prikazan dizajn prve nacionalne prospekcije radona u boravišnim prostorijama koju je sačinila radna grupa za radon

Sanacije objekata od visoke koncentracije radona

- **1991 (XVI) Prva sanacija objekta (ZVD)**
 - Kuća u Sloveniji: 3000 Bq/m³
 - Sanacija: izolacija podruma
 - Efekat: 25% snižena koncentracija
- 1995 (XVIII): Pregled građevinskih tehnika sanacija (PMF NS)
- **2003 (XXII): Sanacija škole (PMF Podgorica, CETI, Građevinski F. Podgorici)**
 - Identifikacija puteva ulaska radona
 - Tehničko rešenje za sanaciju, realizacija: Građevinski
 - Efekat: sa ~950 Bq/m³ na ~60 Bq/m³
- 2013 (XXVII) Opšti postupci smanjenja Rn u školama (IMRS)
- U Srbiji nije izvršena ni jedna sanacija objekta od visoke koncentracije radona, mada je skorije rađena pilot studija sa predlozima mere sanacije.

Metode merenja i simulacije radona u ž. sredini

- Rn u vodi: scintilacionom metodom (IMRS, IJS)
- Rn potomci: membranski filter + jonizaciona komora (IMRS)
- Kontinualno merenje Rn: jonizaciona komora (XI simp. - IJS)

- 1985 (XIII) Prvi trag detektori LR115 (Učiteljski F. Osijek)
- 1987 (XIV) CR – 39 (IJS)

- XVI - XXIX simpozijuma: razvoj različitih pasivnih metoda za merenje radona:
 - detektori sa različitim tipovima tra detektora, LR-115, CN-92, CR-39.
 - detektori sa kombinacijom aktivnog uglja i polikarbonata, detektori sa različitim tipovima trag detektora (PMF Krag.)

- 1991 (XVI) **ugljeni kanistri**, alfa spektrometri (IJS)

Metod merenja radona: ugljeni kanistri

- 1991 (XVI) **ugljeni kanistri**, alfa spektrometri (IJS)
- Ugljeni kanistri jedina pasivna metoda akreditovana po EPA metodu u 3 Laboratorije u Srbiji (IMRS, PMF NS, VINČA)
 - Merenja u vrtićima, školama, stambenim objektima
 - Laboratorijska interkomparacija
 - Brojna teoretska i eksperimentalna razmatranja parametara koji utiču na metod
 - simulacija adsorpcije na aktivnom uglju u f-ji temperature i varijacije koncentracije radona. (*dobro slaganje sa eksp. Može olakšati kalibraciju*) (PMF Kragujevac, 2 rada)
 - ispitivan uticaj kalibracionog faktora na rezultat koncentracije radona (VINČA)
 - opravdanost korišćenja EPA krivih za korekciju na relativnu vlažnost za ugljene kanistre (VINČA).

Metode merenja i simulacije radona u ž. sredini

- Značajan pravac istraživanja su brojna modelovanja detektora i simulacije procesa,
- Dominantan doprinos tima iz PMF Kragujevca
 - MC određivanje kalibracionog koeficijenta za CR-39
 - Tehnika merenja potomaka trag detektorima
 - Merenje faktora ravnoteže pomoću SSNTD
 - Simulacija adsorpcije na aktivnom uglju u f-ji temperature i varijacije koncentracije radona
 - Program za dozimetarski model respiratornog trakta
 - Simulacije prostorne raspodele R_n i T_n u prostoriji i komorama
 -

Metode merenja i simulacije radona u ž. sredini

- Dostupnost komercijalnih aktivnih uređaja dovodi do uvođenja novih i/ili ekspanzije postojećih metoda merenja
- Modeli ekshalacije iz građevinskog materijala (VINČA) :
 - Merenje difuzije i brzine ekshalacije (XXIV)
 - Gamaspektrometrijski metod (XXIX)
- Metode merenja radona u vodi
 - Koincidentnim metodom na spektrometru PRIPJAT 2M (PMF Podgorica) (XX)
 - 4 metode: 2 tečni scintilacioni, gama spektrometrijski i alfaspektrometerski (PMF NS)
 - Ispitivanje R_n u vodi (pijaćoj, fontanama, izvorskoj) (PMF NS, PMF KM)
- GRP:
 - Merenje radona i torona u zemljištu zamenjeno merenjem GRP
 - Radon u zemnom gasu i GRP u Hrvatskoj (Sveučilište u Osijeku) (XXIX)
 - Korišćenje MVA u predviđanju GRP (PMF Novi Sad, IF Zemun) (XXIX)
 - Ulazni parametri R_n i geohemijskih podaci o zemljištu
 - Izdvojene su dve metode bazirane na veštačkoj neuralnoj mreži,
 - zavisnost i značaj svakog parametra u predviđanju koncentracije radona

Metode merenja i simulacije radona u ž. sredini

- Kontinualno merenje radona (IF):
 - ispitivanje varijacije koncentracije radona, korelacija sa fonom gama zračenja i meteorološkim parametrima, (XXIV)
 - analizom vremenskih serija koncentracije primenom različitih metoda. (XXVII)
 - predviđanje zemljotresa (nagla promena koncentracije radona pre zemljotresa)

Kompleksnost analize:

- Vremenom se usložnjavala
- Prvi rezultati bez davanja standardne devijacije
- Deskriptivna statistika, testiranje raspodele...
- Multiregresiona i multivarijanta analiza (sa uključenim brojnim parametrima: karakteristike objekta, geološki i meteorološki parametri...)

Zaključak

- Istraživanje radona na Simpozijumima DZZ prati svetska
- Istraživanja se mogu podeliti u 2 etape:
 - I etapa: profesionalno istraživanje, prvenstveno u rudnicima urana, dominantno bavile 2 institucije: IMRS i IJS.
 - II etapa: izlaganje stanovništva,
 - brojne institucije
 - merenje radona u kućama i školskim i predškolskim ustanovama,
 - razvoj metoda merenja radona u vazduhu, vodi i zemljištu,
 - Modelovanja i simulacije: doza i odziva detektora
- Analize rezultata merenja: od vrlo trivijalnih do primene veoma naprednih alata.



HVALA NA PAŽNJI