



The EMPIR initiative is co-funded by the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme and the EMPIR Participating States



# IZVORI NESIGURNOSTI PRI KLASIFIKACIJI RADONSKIH ZONA

Igor ČELIKOVIĆ, Gordana PANTELIĆ, Miloš ŽIVANOVIĆ, Ivana VUKANAC, Jelena KRNETA NIKOLIĆ

„Vinča“ Institut za nuklearne nauke, Univerzitet u Beogradu

XXX simpozijum DZZSCG, Divčibare, 2-4 Oktobar, 2019

# Uvod: Radonske prioritetne oblasti

---

## EU BSS - Council Directive 2013/59/Euratom

- član 45 – radon na radnim mestima
- član 74 – radon u zatvorenim prostorijama
- **član 103 – akcioni plan za radon**
- Aneks XVIII: uputstvo za sprovođenje Rn akcionog plana

## RPA- Radonske prioritetne oblasti (Radon priority areas)

- oblasti u kojima se očekuje da koncentracija radona u značajnom broju objekata prevaziđa relevantni nacionalni referentni nivo
- oblasti u kojima je potrebno sa prioritetom sprovoditi aktivnosti prevencije kao i remedijacije objekata sa visokom koncentracijom radona

# Greška pogrešne klasifikacije

- Razgraničenje RPA obavezujuće za sve članice
- Nejasna definicija RPA unutar BSS
  - Vrlo osetljivo pitanje
  - Ostavljeno drzavama da definisu RPA
    - GR, ES, FI, DE:  $\text{prob}(C>300)>10\%$
    - BE, LU:  $\text{prob}(C>300)<1\%$ ; 1-5%;  $>5\%$
    - UK  $\text{prob}(C>200)>1\%$
    - CZ, NO: cela zemlja

- Obavezuje merenje na radnim i javnim mestima
- Saniranje objekata
- Utiče na stakeholder-e

## Cilj:

- Odrediti izvore nesigurnosti pri klasifikaciji Rn zona

# Greška pogrešne klasifikacije

- **Greška „I vrste“:**

- prepostavlja se da određena regija pripada RPA, dok ona ustvari ne pripada RPA.

- **Greška „II vrste“:**

- određena regija se klasificuje kao regija nižeg „radonskog prioriteta“ dok ona pripada višoj klasi

## Greška „II vrste“ bi trebalo biti što je moguće niža

- **4 vrste izvora greške klasifikacije**

- Nesigurnost pojedinačnog merenja:
  - direktnog merenja radona u zatvorenim prostorijama
  - Korišćenjem proksi varijabli (npr.  $^{226}\text{Ra}$  u zemlji, GRP...)
- Nesigurnost prostorne raspodele radona na osnovu koje se određuje nivo „prioriteta“ neke oblasti
- Nesigurnost modela kojim se direktno izmerene ili procenjene koncentracije radona ekstrapoliraju na ceo region

# Koncentracija radona u zatvorenim prostorijama

$$\frac{\partial C}{\partial t} = u_s + \frac{e_B S_B}{V} - (\lambda + \lambda_V)C + \lambda_V C_{van}$$

$$C(t) = \frac{u_s + \frac{e_B S_B}{V} + \lambda_V C_{van}}{(\lambda + \lambda_V)} \left(1 - e^{-(\lambda + \lambda_V)t}\right)$$

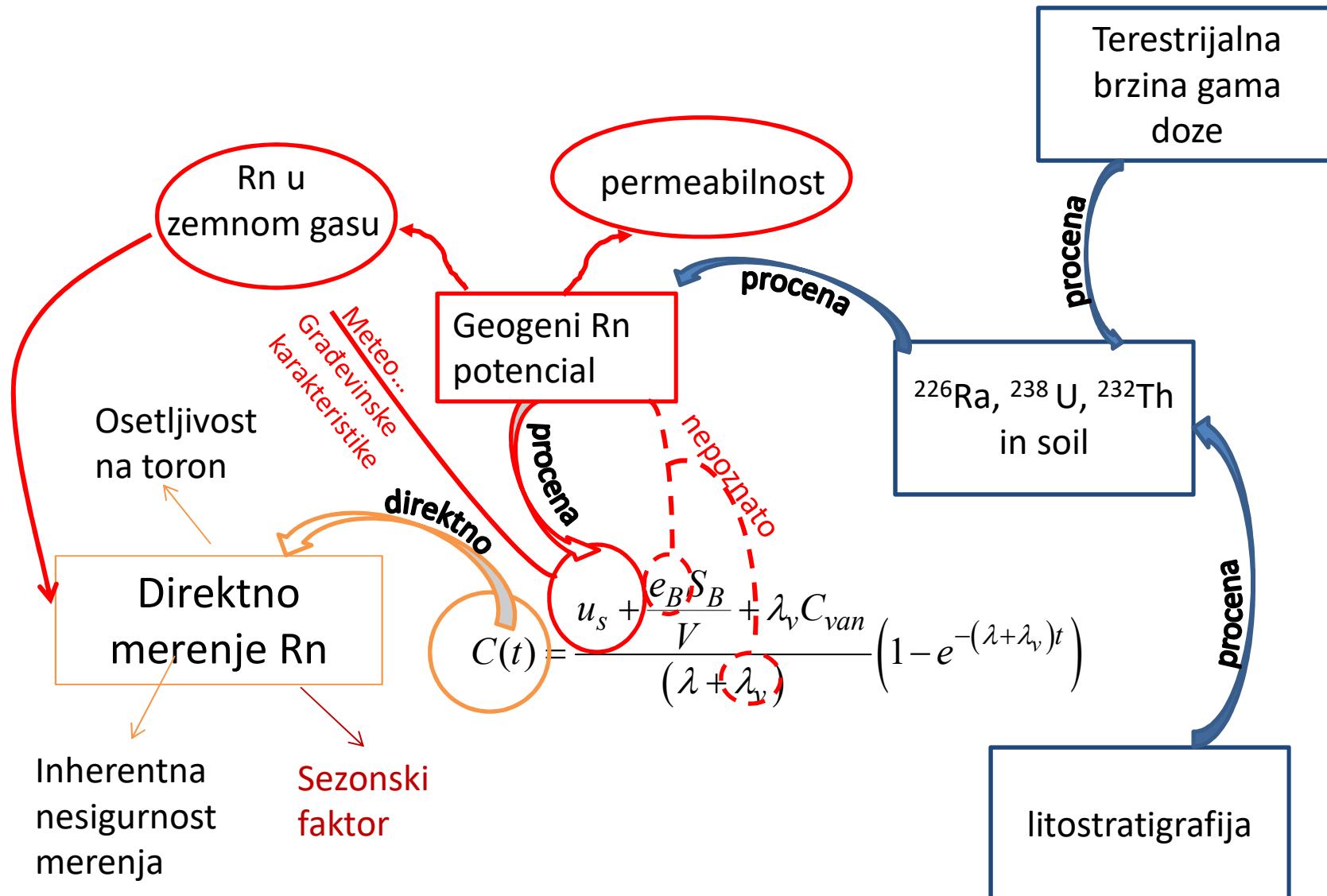
Gr. mat

zemlja

outdoor

Što se indirektnije meri ili procenjuje koncentracija radona u zatvorenoj prostoriji to će biti veća nesigurnost koncentracije radona, (nesigurnost klasifikacije RPA)

# Nesigurnost pojedinačnog merenja



# *Merna nesigurnost radonskih detektora*

---

- Aktivni uređaji: ~ 10% (WHO, Rn handbook, 2009)
- Ugljeni kanistri:
  - 10-35% (WHO, Rn handbook, 2009)
  - 25-35% (Zhukowsky et al., 2010.)
  - typical 10-35%, goes up to 70% (Zivanovic, 2016)
- SSNTD:
  - 10-25% (WHO)
  - up to 30-40% (Zhukowsky et al., 2010.)
  - Svojstveni izvori grešaka SSNTD:
    - Greška kalibracije,
    - Poisson-ova greška...

# *Merna nesigurnost: osetljivost na toron*

---

- Kfk(Germany,1981): 0.78
- RadTrak(USA,1991): 0.68
- NRPB/SSI: 0.05
- Radopot: 0.59 and 0.05 (diskriminativni Rn/Tn)

# Merna nesigurnost: Sezonske varijacije

- Dnevne i sezonske varijacije
- Merenje mora biti dovoljno dugo da se usrednje promene

## Case study: Nacionalni program merenja radona:

Sezonski faktor (godina/grejna sezona(6 meseci))  $\approx 0.83$

st. dev.  $\approx 0.32$

opseg: 0.52 - 1.4

**Pojedinačna varijacija: 60%**

## Case study: Niška Banja

Sezonski faktor (godina/leto(3 meseca))  $\approx 2.7$

st. dev.  $\approx 1.2$

opseg: 1.1 - 6.0

**Pojedinačna varijacija : 2.3 puta**

- pozeljno merenje preko cele godine
- „regionalni“ sezonski faktori
- Kuće za koje se primenjuje da pripadaju istoj distribuciji

# *Merna nesigurnost: Višegodišnje varijacije*

- Objedinjena analiza (Darby):
  - 0.084 relativni rizik
  - 0.16 (korigovan na višegodipnju varijaciju)

**Case study:** 5 godina, Italija (Bochicchio,2009)

opseg varijacije radona: 3- 42%

**Srednja varijacija: 14%**

**Case study:** 10 godina, 98 objekata (Steck,2009)

Tipičan opseg varijacije: 24- 27%

**Varijacija za pojedinačnu kuću: 3 - 110%**

## **Smanjenje varijacije**

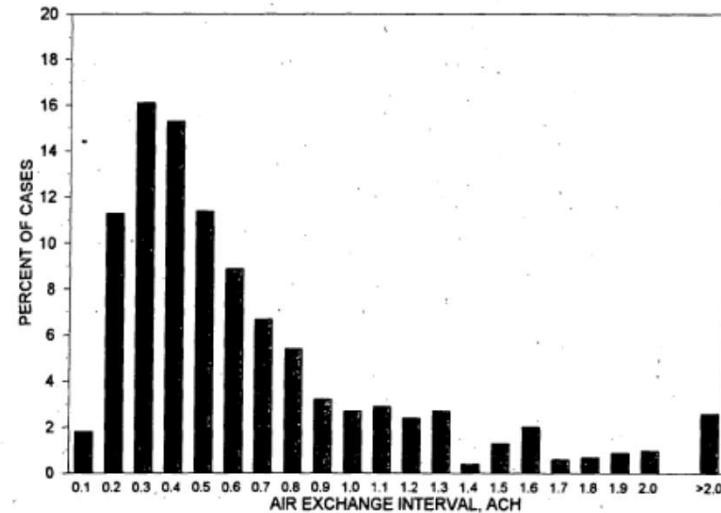
identifikovati objekte podložne velikoj varijaciji radona:

- Renovirane kuće
- Kuće koje se nalaze na ekstremnim klimatskim uslovima

# Merna nesigurnost: Faktor ventilacije

- Varijacija:  $0.2 - 2 \text{ h}^{-1}$
- GM:  $0.63 \text{ h}^{-1}$ .
- Sa forsiranom ventilacijom:  $>10 \text{ h}^{-1}$

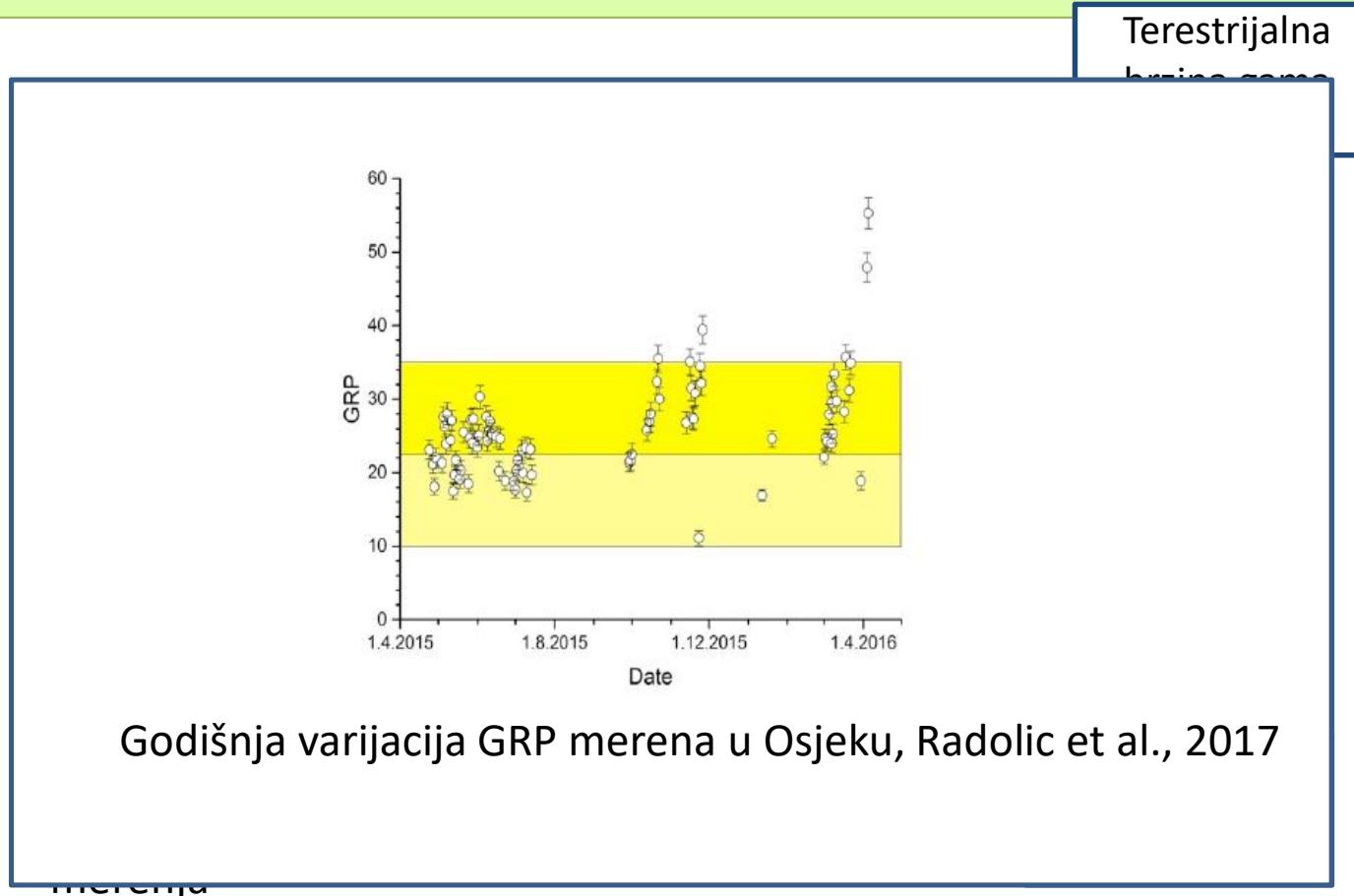
$$C(t) \propto \frac{1}{\lambda_v}$$



Posebno aktuelo u vreme povećanja energetske efikasnosti domova

## Procena koncentracije radona: Proksi varijable

- U norveškim preporukama: proksi varijable se ne mogu koristiti za procenu da li je potrebno vršiti saniranje objekta od visoke koncentracije radona



## *Procena koncentracije radona: Proksi varijable*

- Vrlo je teško ustanoviti vezu između GRP i srednje godišnje koncentracije radona

- vrsta objekta (ruralni, urbani, kuća, stan...), starost, spratnost, postojanje podruma
- kvalitet objekata (različit za različite regije, zavisnost od bogatstva regija)
- građevinski materijal, zaptivenost vrata/prozora (ventilacija)
- klimatski uslovi, životne navike (ventilacija)
- .....

- Vezu između GRP i koncentracije  $^{226}\text{Ra}$  u zemlji: dodatni izvor nesigurnosti procene:

- faktor emanacije
- poroznost
- količine vode u zemljištu

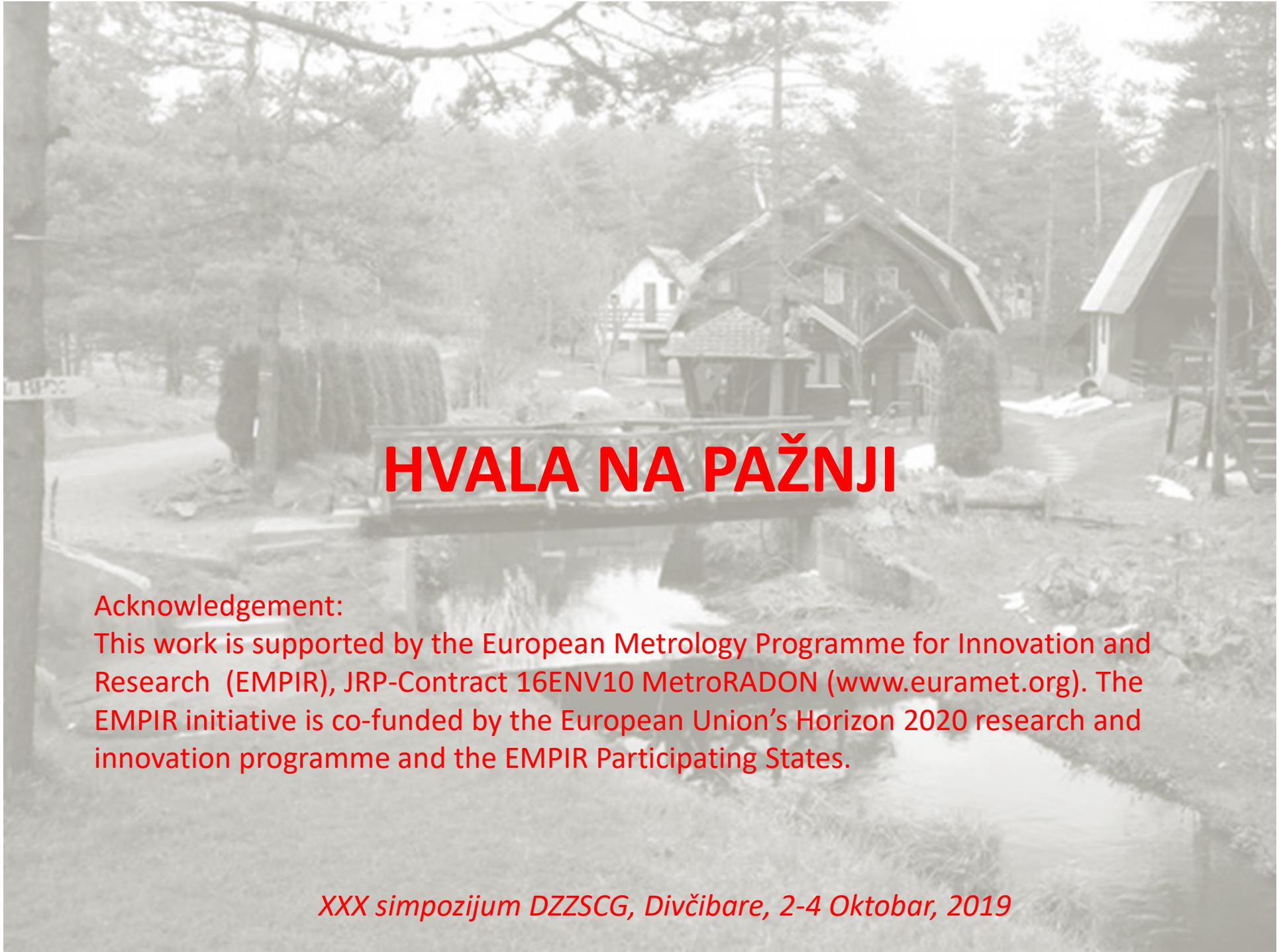
# Nesigurnost klasifikacije u nekom regionu

## Dodatni faktori koji utiču na nesigurnost klasifikacije

- definicija regiona (kvadratna ćelija određenih dimenzija npr 10 km X 10 km, geološki region, administrativni...);
- prava prostorna varijabilnost koncentracije radona;
- dizajn merne kampanje u regionu:
  - broj mernih tačaka,
  - reprezentativnost (vrsta uzorkovanja, varijabilnost tipova objekata, njihov kvalitet i korišćeni materijal);
- geološki podaci:
  - neodređenost geoloških mapa,
  - greška „pikselizacije“ odnosno problem rezolucije;
- statističke neodređenosti:
  - gustina mernih tačaka,
  - tipa pomoćnih promenljivih,
  - modela ekstrapolacije...

# Smanjenje nesigurnosti pri klasifikaciji radonske zone

- koeficijent varijacije koncentracije radona opada sa korenom broja merenih lokacija (Friedmann, 2017)
- opada sa „fiksiranjem“ parametra koji utiču na disperziju koncentracije radona (Yarmoshenko, 2014)
  - fiksiranje geoloških faktora: GSD smanjuje za 1.3
  - geologija + građ. Materijal: GSD smanjuje za 1.7
  - geologija + materijal + životne navike: GSD 1.9



# HVALA NA PAŽNJI

## Acknowledgement:

This work is supported by the European Metrology Programme for Innovation and Research (EMPIR), JRP-Contract 16ENV10 MetroRADON ([www.euramet.org](http://www.euramet.org)). The EMPIR initiative is co-funded by the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme and the EMPIR Participating States.