



# Spracovanie vysýtených rádioaktívnych sorbentov z prevádzky a vyrad'ovania jadrových zariadení

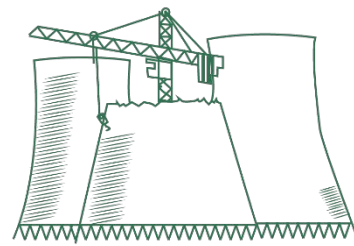
*Róbert Horúcka*

*Manažér medzinárodných projektov*

*Eva Viglašová, Michal Galamboš*

*Univerzita Komenského v Bratislave, Prírodovedecká fakulta,*

*Katedra jadrovej chémie*



- **Iónomeničové živice/sorbenty** sú materiály (napr. vo forme guľôčok), ktoré z tekutín „vyťahujú“ neželané látky a pomocou **výmeny iónov** pomáhajú tieto tekutiny čistiť a upravovať ich vlastnosti. *(zjednodušene)*
- V domácnosti sa používajú najmä pri **úprave tvrdej vody**.
- Živica/sorbent zachytí ióny **vápnika ( $\text{Ca}^{2+}$ )** a **horčíka ( $\text{Mg}^{2+}$ )** a **vymení ich za ióny sodíka ( $\text{Na}^+$ )**.
- Výsledkom je mäkká voda, vhodnejšia na používanie.
- Po **vysýtení živice** prebieha **regenerácia sorbentu** pomocou **solného roztoku**. Pri nej sa na živicu znovu naviažu ióny  $\text{Na}^+$  a odstránia sa zlúčeniny vápnika a horčíka (napr.  **$\text{CaCl}_2$**  a  **$\text{MgCl}_2$** ).
- **Sorbenty v jadrovom priemysle**, zachytávajú z rádioaktívnej vody alebo roztokov **rádioaktívne látky**.
- Typicky sa jedná o rádioaktívne ióny  **$\text{Cs}^+$** ,  **$\text{Sr}^{2+}$** .
- Viazaním RN sa sorbent **stáva nositeľom rádioaktivity**.
- Po **niekoľkonásobnej regenerácii** vzniká **rádioaktívny odpad**, ktorý treba **vhodnými metódami spracovať** a tak **zabrániť šíreniu RN**.
- **Vyčistená voda môže byť po splnení limitov vypustená do ŽP**.



- štátna spoločnosť, 100% vlastník - Ministerstvo hospodárstva SR
- kancelárie a zariadenia v 3 lokalitách
- cca 800 zamestnancov



**BRATISLAVA**

## JASLOVSKÉ BOHUNICE

**JAVYS** JE A1 (1 blok vo vyraďovaní)  
 JE V1 (2 bloky vo vyraďovaní)  
 JZ TSÚ RAO  
 MSVP, IS RAO  
 Výrobňa VBK a JCC

### SLOVENSKÉ ELEKTRÁRNE

JE V2 (2 bloky v prevádzke)

## MOCHOVCE

**JAVYS** FS KRAO  
 RÚ RAO, Sklad IRAO a RMNP

### SLOVENSKÉ ELEKTRÁRNE

EMO 1,2 (2 bloky v prevádzke)  
 EMO 3,4 (1 blok v prevádzke + 1 vo výstavbe)

- **Celkové výnosy:**



- **Vyrad'ovanie JE A1** (ťažkovodný reaktor KS-150)
- **Vyrad'ovanie JE V1** (2 bloky, reaktor VVER 440)
- **Transport, spracovanie a úprava RAO**
- **Nakladanie a skladovanie VJP**
- **Nakladanie s IRAO a RMNP**
- **Úlohy v rámci prípravy NJZ, AMR, HÚ**
- **Komerčné aktivity**



JE A1



JE V1



IS RAO



TSÚ RAO



FS KRAO



MSVP



RÚ RAO

[1]



# Medzisklad VJP – mokrá a suchá časť



**Spoločnosť JAVYS, a.s. je zodpovedná za nakladanie s VJP zo slovenských JE a jeho bezpečné skladovanie.**

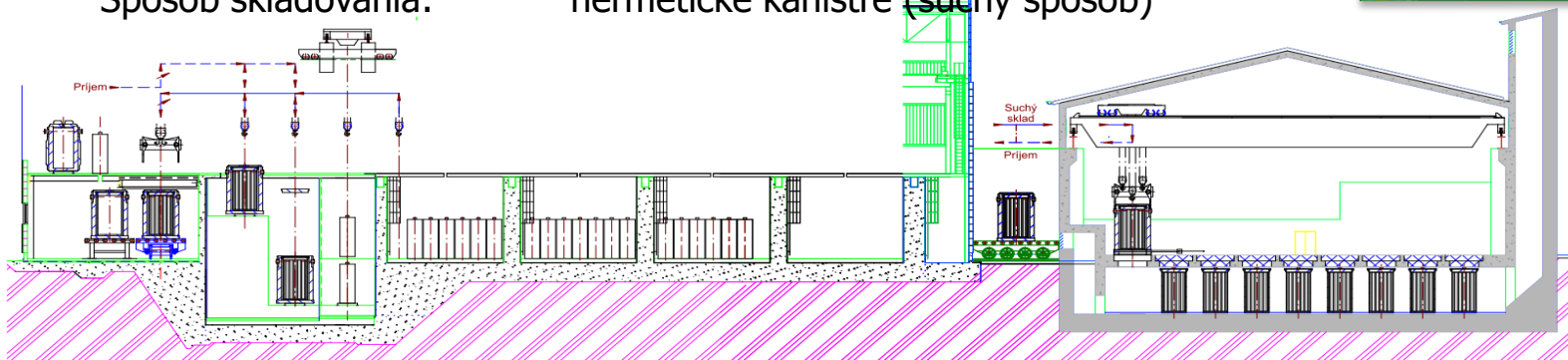
## **Mokrá časť MSVP v prevádzke: 1987**

Kapacita: 14 112 ks palivových kaziet  
Teplota vody: max. 50 °C

Počet bazénov: 3 prevádzkové + 1 rezervný  
Spôsob skladovania: zásobníky KZ-48, T-12, T-13

## **Suchá časť MSVP v prevádzke: 2023**

Kapacita: 10 100 (+ 8 500) ks palivových kaziet  
Spôsob skladovania: hermetické kanistre (suchý spôsob)





# Technológie na spracovanie a úpravu RAO

## 1. Bohunické spracovateľské centrum RAO

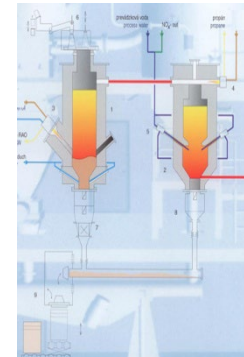
**Účel:** spracovanie RAO pochádzajúcich z **prevádzky** a **vyrad'ovania** jadrových elektrární

**Technológie:** triedenie, spaľovanie, vysokotlaké lisovanie, koncentrácia, cementácia

**Finálny produkt:** zaplnený VBK (1,7x1,7x1,7 m)

**Ďalšie zariadenia na spracovanie RAO v spoločnosti JAVYS:**

2. Bitúmenačné linky
3. Nová spaľovňa RAO PS 45 v obj. 809
4. Čistiaca stanica nízko aktívnych odpadových vôd
5. Zariadenie na fragmentáciu a dekontamináciu kovových RAO
6. Spracovanie použitých vzduchotechnických filtrov a elektrických káblov
7. Zariadenie na pretavbu kovových RAO
8. Zariadenie na finálne spracovanie kvapalných RAO  
FS KRAO Mochovce



## 1. Historické kaly a sorbenty z JE V1

### a) Projekt C7-B: Spracovanie historických odpadov z JE V1

2012 – 2015

- zo 715 m<sup>3</sup> sorbentov a kalov s obsahom 427 t sušiny
- vzniklo 5417 ks 200-dm<sup>3</sup> sudov
- Spracovanie vykonala dodávateľsky firma AMEC
- Odpady sa fixovali podľa zvolenej receptúry do geopolymérovej matrice SIAL
- Výsledný produkt – 200 dm<sup>3</sup> sudy sa vkladali do VBK
- sledovanie LaP: pevnosť v tlaku, vylúhovateľnosť, aktivita, dávkový príkon atď.

### b) Project C7-C: Rekonštrukcia zariadenia BSC TSÚ RAO

- Úprava technologických zariadení pre spracovanie kalov a sorbentov (úprava spaľovne a šikmého zmiešavača cementácie)
- Spracovanie spaľovaním
- Pridávanie do cementovej zálievky VBK (sorbenty, kvapalné dekontaminačné roztoky, práca kvapalina zo spaľovne)
- Fixácia kalov a použitých živíc do cementovej matrice podľa zvolenej receptúry
- sledovanie LaP: pevnosť v tlaku, vylúhovateľnosť, aktivita, dávkový príkon atď.



## 2. Sorbenty z JE V2

- Spracovanie v BSC TSÚ RAO v J. Bohuniciach
- spracovanie spaľovaním (PS06 a nová PS 45)
- Pridávanie do cementovej zálievky VBK (sorbenty, kvapalnú dekontaminačnú roztoku, práca kvapalina zo spaľovne)
- Fixácia použitých živíc do cementovej matrice podľa zvolenej receptúry
- sledovanie LaP: pevnosť v tlaku, vylúhovateľnosť, aktivita, dávkový príkon, atď.

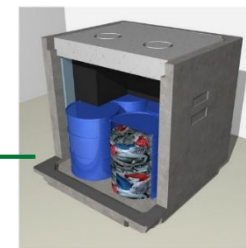
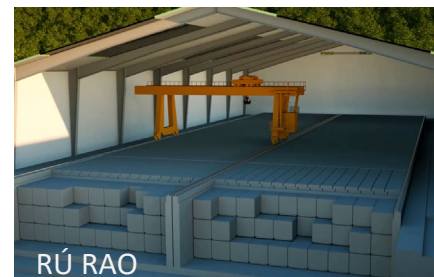
## 3. Sorbenty z JE EMO 1,2,3

- Spracovanie v FS KRAO v Mochovciach
- Spracovanie pomocou diskontinuálnej bitumenačnej linky
- Posledné spracovanie v r. 2019, spracovaných 8.942 kg živíc (22,5 m<sup>3</sup>) = 154 ks BP v 200 dm<sup>3</sup>, vložené do VBK
- Fixácia použitých živíc do cementovej matrice podľa zvolenej receptúry
- sledovanie LaP: pevnosť v tlaku, vylúhovateľnosť, aktivita, dávkový príkon, atď.



2015 – 2024 z SE, a.s.:

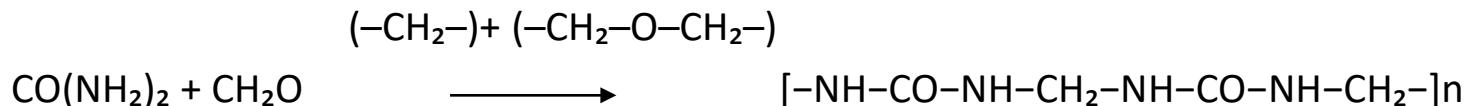
- JE V2, EMO 1,2,3
- Sorbenty 235 m<sup>3</sup>



# Príklad spracovania sorbentov vo svete

Technológia	Princíp	Výsledná forma odpadu	Typické výhody	Hlavné obmedzenia	Príklady použitia
<b>Cementácia</b>	Zpracovanie živíc do cementovej matrice	Monolit v sude/kontajneri	Jednoduchá, lacná, dobré tienenie	Zvýšenie objemu ( $\approx 2-3\times$ ), horšia retencia Cs/Sr	Francúzsko, Japonsko, Indonézia [ <a href="http://hitachi-hgne.co.jp">hitachi-hgne.co.jp</a> ], [ <a href="http://inis.iaea.org">inis.iaea.org</a> ]
<b>Bitumenácia</b>	Zpracovanie do horúceho bitúmenu	Bitúmenový blok	Lepšie lúhovanie než cement, menší objem	Horľavosť, rádiolytické plyny	Švajčiarsko, Francúzsko (historicky), Belgicko [ <a href="http://www-pub.iaea.org">www-pub.iaea.org</a> ]
<b>Fixácia Urea-Formaldehyd</b>	Zmiešanie s Urea-Formaldehydovou živicom	Termosetová polymérna matrica	<b>Pevný monolit, ktorý viaže RN fyzikálne aj chemicky pri nízkych teplotách</b>	<b>Horšia dlhodobá stabilita /organická matrica = rádiolýza = uvoľňovanie plynov Chemická a biologická degradácia v čase = horšia dlhodobá stabilita v úložiskových podmienkach Obsah formaldehydu</b>	<b>USA, Európa v 70.-90.rokoch/ Taliansko</b>
<b>FBSR / THOR®</b>	Parná reformácia v fluidnom lôžku	Suchý minerálny granulát	Veľká objemová redukcia ( $6-10\times$ ), stabilná matrica	Vyššie investičné náklady	USA (Erwin), Švédsko (Studsvik) [ <a href="http://powermag.com">powermag.com</a> ], [ <a href="http://inis.iaea.org">inis.iaea.org</a> ]
<b>inDRUM®</b>	Termické spracovanie priamo v sude	Malé množstvo inertného zvyšku	Min. manipulácia, až $\sim 90\%$ redukcia	Novšia technológia, dostupnosť	Švédsko (Studsvik) [ <a href="http://studsvik.com">studsvik.com</a> ], [ <a href="http://ans.org">ans.org</a> ]
<b>Spaľovanie</b>	Oxidácia organickej zložky	Popol $\rightarrow$ ďalšia stabilizácia	Rýchla redukcia objemu	Emisie, volatilita Cs	Japonsko (JAEA) [ <a href="http://iaea.go.jp">iaea.go.jp</a> ]
<b>Plazmové tavenie</b>	Vysokoteplotné tavenie	Sklo/troska	Silná imobilizácia radionuklidov	Energetická náročnosť	Japonsko (Tokai) [ <a href="http://ispc-conference.org">ispc-conference.org</a> ]
<b>Pokročilé oxidácie (Fenton, SCWO)</b>	Chemická/alebo superkritická oxidácia	Zvyšok $\rightarrow$ cement/sklo	Veľmi účinná degradácia organiky	Najmä výskum/pilot	Japonsko, Čína (R&D)

- **UF živica vzniká polykondenzáciou:**



močovina + formaldehyd vytvára metylénové a metylén-éterové mostíky, ktoré tvoria zosieťovaný polymér UF

- **Ureaformaldehyd** za bežných podmienok **nepodporuje horenie** (považovaný za materiál s dobrou odolnosťou voči horeniu).
- Keďže ide o **termoset** (reaktoplast), pri vystavení vysokým teplotám sa netaví, **dochádza k jeho zuhoľnateniu**.
- **Teplotný rozklad: nad 300 °C** – fragmentácia polymérnych reťazcov.
- **Samožhásavosť:** pre vysoký obsah N pôsobí ako **retardér horenia = dokáže sám vyhasnúť**.
- **Emisia plynov** – uvoľňovanie nebezpečných látok pri tepelnom rozklade (formaldehyd, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, NH<sub>3</sub>)
- **Ureaformaldehydová (UF) živica je horľavá** (organický polymér), **ale nie veľmi ľahko zápalná**.

## 4. Sorbenty z JE Caorso

### Linka na predúpravu fixovaných RAO

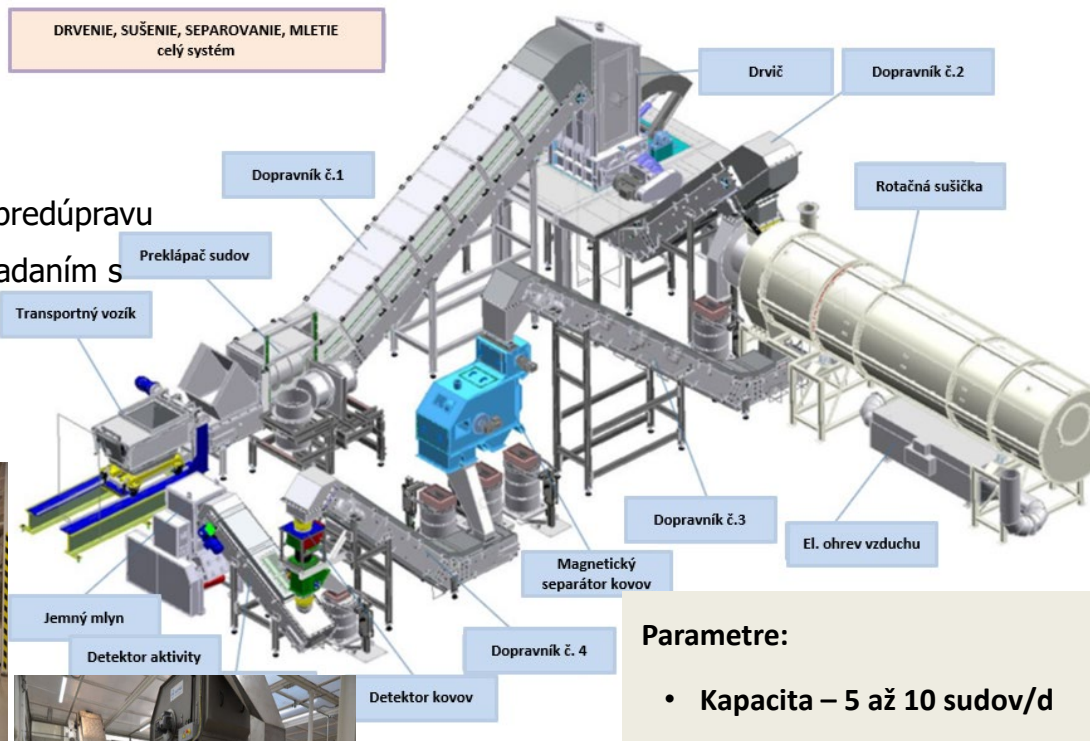
➤ Predmetom projektu bolo doplnenie zariadení na predúpravu fixovaných RAO v objekte 44/20 pred ďalším nakladaním s týmito RAO spaľovaním.

➤ Predúprava fixovaných RAO zahŕňa:

- Drvenie RAO
- Sušenie RAO
- Triedenie RAO
- Homogenizácia RAO



➤ Výsledný produkt je vhodný na spaľovanie



### Parametre:

- Kapacita – 5 až 10 sudov/d
- Objem sušičky – 7 m<sup>3</sup>
- Výkon homogenizačnej linky - 3,6-6 t/hod.
- Kontajmentové prevedenie

## 4. Sorbenty z JE Caorso (Taliansko)

- Spracovanie novou spaľovnou PS 45 a BSC TSÚ RAO
- vzniknutý popol a popolček sa vypustil do 200 dm<sup>3</sup> sudov
- Sudy s popolom a popolčekom sa spracovali VT – lisovaním
- Výlisky vložené do CC 440 a imobilizované neaktívnou cementovou maticou podľa špeciálnej receptúry
- sledovanie LaP: pevnosť v tlaku, vylúhovateľnosť, aktivita, dávkový príkon, atď.



**2015 – 2023**

➤ **Z celkovo 6 000 ks sudov bolo**

- Sorbentov 794.3 t

- Kalov 53.7 t

➤ **Vyprodukovaných 100 ks finálnych CC-440**

➤ **Aktivita v dovezenom RAO = Aktivite vo finálnom produkte**



**Vláknobetónové kontajnery** sú určené na **ukladanie nízko aktívnych RAO**, vznikajúcich pri **prevádzke a vyradovaní** jadrových elektrární, vo **výskumných ústavoch, laboratóriách a zdravotníckych zariadeniach SR**.

**AOS = JCC (JAVYS Concrete Container)** –  
- **komerčný produkt** v licenčnom procese

**VBK je balená forma vhodná na:**

- dočasné skladovanie
- konečné uloženie

## Parametre:

**Rozmery:**

1,7 x 1,7 x 1,7 m

**Váha:**

cca 4 200 kg (prázdny)  
max. 15 000 kg (plný)

**Vnútorň objem:**

2,9 m<sup>3</sup>

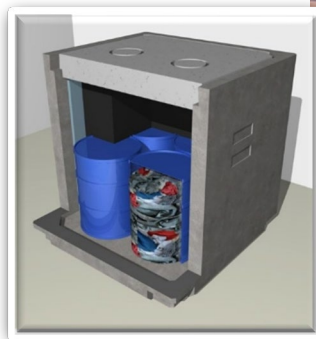
**Výrobná kapacita:**

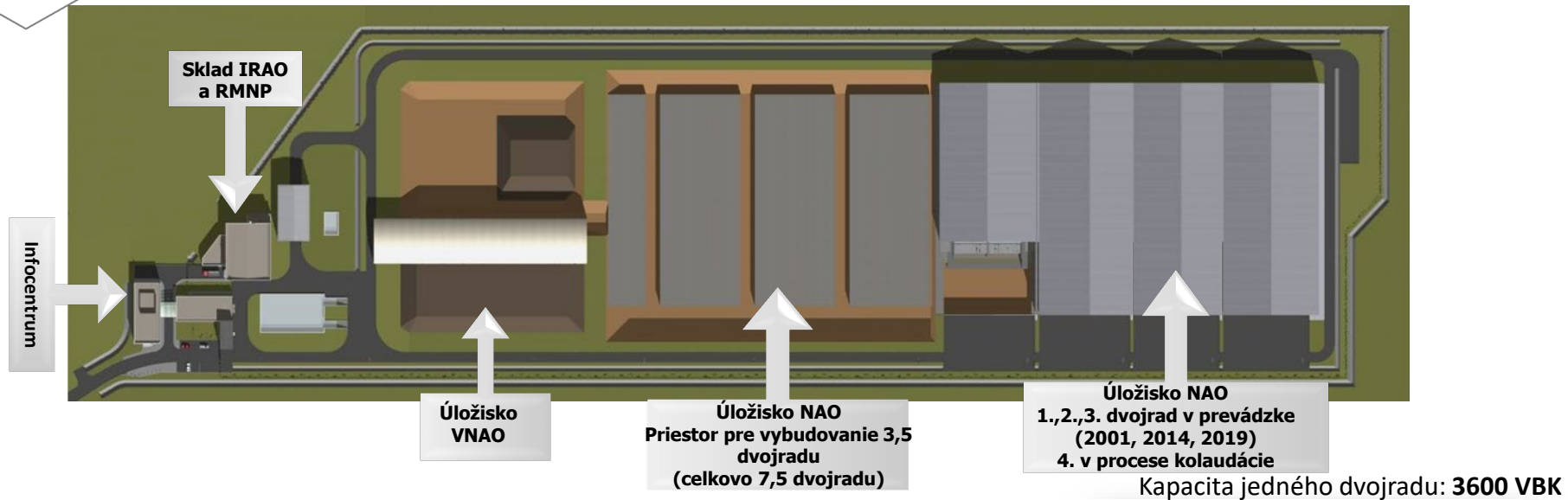
400 VBK/rok



## VBK:

- Telo
- Veko
- Zátky





I. Etapa – 20 000 m<sup>3</sup>, RAO z vyradovania JE A-1,  
II. Etapa – 9 000 m<sup>3</sup>, RAO z vyradovania JE V-1,  
III. Etapa – 39 000 m<sup>3</sup>, VNAO z ostatných JZ - NJZ a SMR nebolo uvažované.



1. Znížiť množstvo RAO redukciou objemu

2. Vytvoriť bezpečnú formu RAO fixovaním do vhodnej špeciálnej matrice

3. Zabezpečiť dostatočné bariéry voči úniku rádioaktivity do životného prostredia počas prepravy, spracovania a konečného uloženia



## PodĎakovanie

- ✓ Plnenie **Dohody o vzájomnej spolupráci** medzi spoločnosťou **JAVYS, a. s.** a **Katedrou jadrovej chémie Prírodovedeckej fakulty UK** (KJCH PriF UK).
- ✓ Základné úlohy a ponúkané činnosti:
- ✓ **Skúšobné laboratórium rádiochemickej analýzy a separačných metód** (podľa ISO/IEC 17025:2017).
- ✓ Realizuje merania alfa, beta a gama aktivity RN vo vzorkách vody, ŽP, jadrových zariadení a úložísk RAO.
- ✓ Zameriava sa na **vývoj separačných metód a pracovných postupov** na stanovenie rádionuklidov.
- ✓ Viac informácií: <https://fns.uniba.sk/larcha/>





**Ďakujem Vám za  
pozornosť!**

**horucka.robert@javys.sk  
horucka2@uniba.sk**

