

# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA CHEMICKÁ

ÚSTAV CHEMIE A TECHNOLOGIE OCHRANY ŽIVOTNÍHO  
PROSTŘEDÍ

FACULTY OF CHEMISTRY

INSTITUTE OF CHEMISTRY AND TECHNOLOGY OF ENVIRONMENTAL PROTECTION

ANALYTICKÉ METODY VYUŽÍVANÉ PŘI SLEDOVÁNÍ KONTAMINACE  
ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ V SOUVISLOSTI S TĚŽBOU URANOVÝCH  
RUD

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

JIŘÍ BÍLEK

BRNO 2011



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA CHEMICKÁ  
ÚSTAV CHEMIE A TECHNOLOGIE OCHRANY  
ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

FACULTY OF CHEMISTRY  
INSTITUTE OF CHEMISTRY AND TECHNOLOGY  
OF ENVIROMENTAL PROTECTION

# ANALYTICKÉ METODY VYUŽÍVANÉ PŘI SLEDOVÁNÍ KONTAMINACE ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ V SOUVISLOSTI S TĚŽBOU URANOVÝCH RUD

ANALYTICAL METHODS APPLIED FOR THE EVALUATION OF ENVIROMENTAL  
CONTAMINATION BY URANIUM ORE MINING

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

JIŘÍ BÍLEK

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

doc. Ing. JOSEF ČÁSLAVSKÝ, CSc.

BRNO 2011



Vysoké učení technické v Brně  
**Fakulta chemická**  
Purkyňova 464/118, 61200 Brno 12

## Zadání bakalářské práce

|                         |                                                             |                                  |
|-------------------------|-------------------------------------------------------------|----------------------------------|
| Číslo bakalářské práce: | <b>FCH-BAK0566/2010</b>                                     | Akademický rok: <b>2010/2011</b> |
| Ústav:                  | Ústav chemie a technologie ochrany životního prostředí      |                                  |
| Student(ka):            | <b>Jiří Bílek</b>                                           |                                  |
| Studijní program:       | Chemie a chemické technologie (B2801)                       |                                  |
| Studijní obor:          | Chemie a technologie ochrany životního prostředí (2805R002) |                                  |
| Vedoucí práce           | <b>doc. Ing. Josef Čáslavský, CSc.</b>                      |                                  |
| Konzultanti:            |                                                             |                                  |

### Název bakalářské práce:

Analytické metody využívané při sledování kontaminace životního prostředí v souvislosti s těžbou uranových rud

### Zadání bakalářské práce:

Vypracování literární rešerše podávající přehled analytických metody aplikovatelných pro zhodnocení kontaminace životního prostředí jako následku těžby uranových rud

### Termín odevzdání bakalářské práce: 6.5.2011

Bakalářská práce se odevzdává ve třech exemplářích na sekretariát ústavu a v elektronické formě vedoucímu bakalářské práce. Toto zadání je přílohou bakalářské práce.

-----  
Jiří Bílek  
Student(ka)

-----  
doc. Ing. Josef Čáslavský, CSc.  
Vedoucí práce

-----  
doc. Ing. Josef Čáslavský, CSc.  
Ředitel ústavu

V Brně, dne 31.1.2011

-----  
prof. Ing. Jaromír Havlica, DrSc.  
Děkan fakulty

## **ABSTRAKT**

Tato bakalářská práce se zabývá zkušebními postupy, které se používají při sledování kvality životního prostředí po těžbě uranové rudy v oblasti uranového dolu v Dolní Rožínce. Zabývá se stanovením radioaktivních prvků radia, uranu a radonu. Popisuje metody stanovení radioaktivních prvků, které se využívají v uranových dolech v Dolní Rožínce. V práci jsou dále uvedeny další použitelné metody stanovení uranu. V malém rozsahu se tato práce zabývá také stanovením manganu, železa a jiných kovových prvků. Na konci práce jsou uvedeny hodnoty naměřených koncentrací sledovaných analytů ve vybraných lokalitách. Tyto hodnoty, které byly poskytnuty laboratořemi v Dolní Rožínce, jsou platné pro rok 2010.

## **ABSTRACT**

This thesis deals with the testing procedures used in monitoring of environmental quality after uranium ore mining in the uranium mine in Dolní Rožínka. It deals with the determination of radioactive elements radium, uranium and radon. It describes methods for determination of radioactive elements, which are, used in mines in Dolní Rožínka. The paper also mentioned other applicable methods for determination of uranium. On a small scale, this work deals with the determination of manganese, iron and other metallic elements. There are the values of measured concentrations of monitored analytes in selected locations mentioned at the end of the work. These values, which were provided by laboratories in Dolní Rožínka, are valid for 2010.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Uranová ruda, radium, uran, radon, životní prostředí, radioaktivita, absorpce, spektrometrie, scintilace, ionizující záření

## **KEYWORDS**

Uranium ore, radium, uranium, radon, environmental, radioactivity, absorption, spectrometry, scintillation, ionizing radiation

BÍLEK, J. *Analytické metody využívané při sledování kontaminace životního prostředí v souvislosti s těžbou uranové rudy*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, 2011. 48 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Josef Čáslavský, CSc.

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně a že všechny použité literární zdroje jsem citoval správně a úplně. Bakalářská práce je z hlediska obsahu majetkem Fakulty chemické VUT v Brně a může být využita ke komerčním účelům jen se souhlasem vedoucího bakalářské práce a děkana FCH VUT.

.....  
podpis studenta

### *Poděkování:*

*Rád bych poděkoval panu doc. Ing. Josefu Čáslavskému, CSc. za ochotu, laskavost, odborné a cenné rady, které mi usnadnily vypracování této bakalářské práce.*

# OBSAH

|                                                                                      |           |
|--------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1. ÚVOD .....</b>                                                                 | <b>7</b>  |
| <b>2. CÍL PRÁCE .....</b>                                                            | <b>7</b>  |
| <b>3. ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ A JEHO ZNEČIŠTĚNÍ.....</b>                                   | <b>7</b>  |
| <b>3.1. Atmosféra.....</b>                                                           | <b>7</b>  |
| 3.1.1. Lokální znečištění.....                                                       | 8         |
| 3.1.2. Regionální znečištění.....                                                    | 8         |
| 3.1.3. Globální znečištění .....                                                     | 8         |
| 3.1.4. Složení atmosféry .....                                                       | 8         |
| <b>3.2. Hydrosféra .....</b>                                                         | <b>8</b>  |
| 3.2.1. Rozložení vod.....                                                            | 8         |
| 3.2.1.1. Pitná voda .....                                                            | 9         |
| 3.2.1.2. Povrchová voda.....                                                         | 9         |
| 3.2.1.3. Podzemní voda.....                                                          | 9         |
| 3.2.1.4. Odpadní voda.....                                                           | 9         |
| 3.2.1.5. Technologická voda.....                                                     | 9         |
| 3.2.2. Druhy znečištění.....                                                         | 9         |
| 3.2.2.1. Primární znečištění .....                                                   | 10        |
| 3.2.2.2. Sekundární znečištění .....                                                 | 10        |
| <b>3.3. Litosféra .....</b>                                                          | <b>10</b> |
| <b>3.4. Biosféra .....</b>                                                           | <b>10</b> |
| <b>4. RADIOAKTIVITA .....</b>                                                        | <b>11</b> |
| <b>4.1. Přírodní radioaktivita a její rozdělení.....</b>                             | <b>11</b> |
| <b>4.2. Druhy záření.....</b>                                                        | <b>12</b> |
| 4.2.1. Záření alfa.....                                                              | 12        |
| 4.2.2. Záření beta .....                                                             | 12        |
| 4.2.3. Záření gama .....                                                             | 12        |
| <b>4.3. Základní charakteristiky ionizujícího záření .....</b>                       | <b>13</b> |
| <b>4.4. Biologický účinek ionizujícího záření.....</b>                               | <b>14</b> |
| <b>5. ANALYTICKÉ METODY VYUŽÍVANÉ V SOUVISLOSTI S TĚŽBOU URANOVÉ RUDY .....</b>      | <b>14</b> |
| <b>5.1. Molekulová absorpční spektrometrie (MAS) .....</b>                           | <b>14</b> |
| <b>5.2. Izotopická spektrální analýza .....</b>                                      | <b>15</b> |
| <b>5.3. Atomová absorpční spektrometrie (AAS).....</b>                               | <b>15</b> |
| 5.3.1. Plamenová atomová absorpční spektrometrie (F-AAS) .....                       | 16        |
| 5.3.2. Atomová absorpce s elektrotermickou atomizací (ET-AAS) .....                  | 17        |
| <b>5.4. Emisní atomová spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem (ICP-OES).....</b> | <b>18</b> |
| <b>5.5. Hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem (ICP-MS) .....</b>     | <b>19</b> |
| 5.5.1. Obecné uspořádání hmotnostního spektrometru.....                              | 19        |
| 5.5.2. Transport vzorku do plazmatu.....                                             | 19        |
| 5.5.2.1. Laserová ablace.....                                                        | 19        |
| 5.5.3. Ionizace v plazmatu .....                                                     | 20        |
| 5.5.4. Nutnost vakua .....                                                           | 20        |
| 5.5.5. Separace iontů .....                                                          | 20        |

|                                                                                                                   |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 5.5.5.1. Průletový analyzátor (TOF) .....                                                                         | 20        |
| 5.5.5.2. Kvadrupólový analyzátor.....                                                                             | 21        |
| 5.5.6. Detekce iontů.....                                                                                         | 21        |
| <b>5.6. Luminiscenční spektrometrie.....</b>                                                                      | <b>21</b> |
| <b>5.7. Scintilační spektrometrie.....</b>                                                                        | <b>23</b> |
| 5.7.1. Ionizační komora .....                                                                                     | 23        |
| <b>6. RADIOAKTIVNÍ PRVKY .....</b>                                                                                | <b>24</b> |
| <b>6.1. Uran.....</b>                                                                                             | <b>24</b> |
| 6.1.1. Výskyt a vlastnosti .....                                                                                  | 24        |
| 6.1.2. Stanovení uranu spektrofotometricky .....                                                                  | 24        |
| 6.1.2.1. Stanovení uranu pomocí heterocyklických azobarviv .....                                                  | 25        |
| 6.1.2.2. Dělení na silikagelu .....                                                                               | 25        |
| 6.1.3. Stanovení uranu pomocí izotopové spektrální analýzy .....                                                  | 26        |
| 6.1.4. Stanovení uranu pomocí plamenové atomové absorpční spektrometrie (F-AAS).....                              | 26        |
| 6.1.5. Stanovení uranu pomocí atomové absorpční spektrometrie s elektrotermickou atomizací (ET-AAS) .....         | 26        |
| 6.1.6. Stanovení uranu pomocí emisní atomové spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem (ICP-OES) .....           | 27        |
| 6.1.7. Stanovení uranu pomocí hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem (ICP/TOF-MS) .....            | 27        |
| 6.1.8. Stanovení uranu pomocí luminiscenční spektrometrie .....                                                   | 27        |
| <b>6.2. Radium.....</b>                                                                                           | <b>28</b> |
| 6.2.1. Výskyt a vlastnosti radia.....                                                                             | 28        |
| 6.2.2. Stanovení radia scintilačně .....                                                                          | 29        |
| 6.2.2.1. Emanometrické nepřímé stanovení radia .....                                                              | 30        |
| 6.2.2.2. Převedení pevného vzorku na emanační roztok.....                                                         | 30        |
| <b>6.3. Radon .....</b>                                                                                           | <b>31</b> |
| 6.3.1. Výskyt a vlastnosti radonu .....                                                                           | 31        |
| 6.3.2. Stanovení radonu scintilačně .....                                                                         | 31        |
| 6.3.2.1. Nepřímé stanovení radonu .....                                                                           | 32        |
| 6.3.2.2. Přímé stanovení radonu .....                                                                             | 32        |
| 6.3.2.3. Stanovení radonu pomocí scintilátoru Lucasova typu .....                                                 | 32        |
| 6.3.2.4. Zakoncentrování radonu ze vzduchu .....                                                                  | 33        |
| <b>7. KOVOVÉ PRVKY .....</b>                                                                                      | <b>33</b> |
| <b>7.1. Mangan .....</b>                                                                                          | <b>33</b> |
| 7.1.1. Stanovení manganu pomocí plamenové atomové absorpční spektrometrie (F-AAS) .....                           | 33        |
| 7.1.2. Stanovení manganu pomocí molekulové absorpční spektrometrie (MAS) .....                                    | 34        |
| <b>7.2. Železo .....</b>                                                                                          | <b>34</b> |
| 7.2.1. Stanovení železa a ostatních kovových prvků pomocí plamenové atomové absorpční spektrometrie (F-AAS) ..... | 34        |
| 7.2.2. Stanovení železa pomocí molekulové absorpční spektrometrie (MAS) .....                                     | 35        |
| <b>8. STANOVENÍ pH POTENCIOMETRICKY .....</b>                                                                     | <b>35</b> |
| <b>9. ZÁVĚR.....</b>                                                                                              | <b>36</b> |
| <b>10. POUŽITÁ LITERATURA .....</b>                                                                               | <b>36</b> |
| <b>11. SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK.....</b>                                                                          | <b>38</b> |
| <b>12. PŘÍLOHY - VÝSLEDKY ANALÝZ V ROCE 2010 .....</b>                                                            | <b>39</b> |

## 1. ÚVOD

Odštěpný závod GEAM Dolní Rožínka je poslední otevřené naleziště uranu na našem území. Uran se zde těží ve formě rudy smolince. V dnešní době se v České republice získává přibližně 600 tun čistého uranu, před rokem 1989 byla výroba uranu až 6krát vyšší.

Při těžbě uranové rudy se do životního prostředí dostávají nežádoucí látky, jako jsou radioaktivní radium, uran a především radon. Radioaktivní záření má negativní vliv na zdraví živých organismů. Rovněž olovo a kadmium vykazují toxické účinky i při malých koncentracích, zatímco například zinek, měď a nikl působí toxicky pouze při vyšších koncentracích. Toxické látky působí negativně na živé organismy, je tedy nutné sledovat jejich množství ve vodách, půdách a ovzduší a především předcházet jejich úniku do životního prostředí. Stejně tomu je u látek radioaktivních. Je nutné stanovovat koncentrace i ostatních analytů, které při vysokých koncentracích způsobují negativně na kvalitu životního prostředí, jako je mangan, železo atd.

V laboratořích v Dolní Rožínce se provádí kompletní analytický rozbor vody, ovzduší, půdy a bioty. Tato práce se zabývá především problematikou stanovení radioaktivních látek, v menší míře i kovových prvků manganu a železa. Popsána je i metoda stanovení pH potenciometricky.

## 2. CÍL PRÁCE

Cílem této bakalářské práce je popis analytických metod využívaných při sledování vlivu na životní prostředí po těžbě uranové rudy. Práce je rozdělena do kapitol, zabývajících se popisem dané metody při zjišťování hodnot koncentrace daného analytu. Zahrnuje část metod, které jsou používány v Chemické úpravně Dolní Rožínka. Účelem monitoringu okolí je sledování kvality jednotlivých složek životního prostředí v okolí působnosti o. z. GEAM Dolní Rožínka. Sledovanými složkami jsou voda, říční sedimenty, vzduch, půda a zemědělské plodiny.

## 3. ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ A JEHO ZNEČIŠTĚNÍ

Znečišťování životního prostředí se stalo celosvětovým problémem a lidstvo stojí před úkolem tento vývoj zastavit. Zvyšování úrovně kontaminace se projevuje nepatrně a je v kratším časovém horizontu obtížně rozpoznatelné, proto není tento problém ve společnosti příliš vnímán. Nicméně skutečností zůstává, že znečištění existuje a výrazně ovlivňuje prostor, v němž žijeme [1].

### 3.1. Atmosféra

Vzdušný obal Země se nazývá atmosféra. Pokud se bere v úvahu ovzduší, jedná se většinou o troposféru, což je spodní, velmi tenká vrstva atmosféry. Znečištění ovzduší můžeme rozdělit do tří skupin - na lokální, regionální a globální znečištění [1].

### 3.1.1. Lokální znečištění

Lokální znečištění se vztahuje na určitou lokalitu s rozměry  $10^0 - 10^1 \text{ km}^2$ . Z hlediska analýzy ovzduší jde například o stanovení škodlivin v městských aglomeracích, nebo v chráněných oblastech a o porovnání výsledků analýz s imisními limity [1].

### 3.1.2. Regionální znečištění

Regionální znečištění se vztahuje zpravidla na určité územní celky o rozloze asi  $10^2 - 10^3 \text{ km}^2$ . Ve světě existuje síť stanic, které měří regionální znečištění. Na doporučení Světové meteorologické organizace jsou tyto stanice situovány v reprezentativních polohách a mimo dosah velkého zdroje znečištění [1].

### 3.1.3. Globální znečištění

Globální znečištění atmosféry se projevuje především u látek, které se do ovzduší dostávají v souvislosti s lidskou činností a jsou dlouhodobě stálé. Nejznámějšími polutanty tohoto typu jsou prachový aerosol, oxid uhličitý a halogenalkany. Při posuzování globálního znečištění je třeba mít na paměti, že některé škodliviny jsou v malých koncentracích přirozenou součástí ovzduší [1].

### 3.1.4. Složení atmosféry

Suchá a čistá atmosféra má v blízkosti zemského povrchu přibližně toto složení: dusík ( $\text{N}_2$ ) 78,084 %; kyslík ( $\text{O}_2$ ) 20,948 %; argon (Ar) 0,934 %. Tyto složky představují tzv. makrokomponenty. V ovzduší jsou však obsaženy i další složky, řečeny mikrokomponenty. Jejich obsah se často uvádí v ppm. Přitom platí: 1 ppm = 0,0001 %. Oxid uhličitý ( $\text{CO}_2$ ) 315 ppm; neon (Ne) 18 ppm, hélium (He) 5,2 ppm; methan ( $\text{CH}_4$ ) 2 ppm; krypton Kr 1,1 ppm. Dále je přítomna celá řada dalších složek v koncentracích menších než 1 ppm. Z typických škodlivin jsou v čistém vzduchu přítomny CO,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{SO}_2$  a  $\text{NO}_2$ . Některé škodliviny jako  $\text{CO}_2$  a methan jsou přirozenou součástí čistého vzduchu [1,2].

## 3.2. Hydrosféra

Voda pokrývá více než dvě třetiny zemského povrchu a její objem se odhaduje na  $1,5 \cdot 10^9 \text{ km}^3$ . Přibližně 97 % veškeré vody představuje slaná voda, která je obsažena v mořích a oceánech. Rozvinutý průmysl a zemědělství nepříznivě ovlivňují čistotu povrchových vod, což se projevuje jak v nedostatku pitné vody, tak i v nedostatku vody pro technologické použití [1,2].

### 3.2.1. Rozložení vod

Vody lze rozlišovat podle původu, výskytu a použití. Podle původu lze vody dělit na přírodní a odpadní. Odpadní vody se dělí na splaškové a průmyslové. Městské odpadní vody jsou směsí odpadních vod splaškových a průmyslových. Podle výskytu se přírodní vody dělí na atmosférické, povrchové a podzemní. Někdy se uvádí další skupiny tj. vody minerální a důlní. Podle použití se rozeznává voda pitná, užitková, provozní a odpadní [3].

#### **3.2.1.1. Pitná voda**

Pitnou vodu lze definovat jako vodu zdravotně nezávadnou, která ani při trvalém používání nevyvolá onemocnění nebo poruchy zdraví přítomností mikroorganismů nebo látek ovlivňujících akutním, chronickým nebo pozdním působením zdraví spotřebitele a jeho potomstva a jejíž smyslově postižitelné vlastnosti nebrání jejímu požívání. Zdroje pitné vody jsou podzemní a povrchové. Některé oblasti jsou odkázány na vodu srážkovou [3].

#### **3.2.1.2. Povrchová voda**

Povrchová voda je směsí podzemních vod, pramenité vody a dešťových srážek. V některých případech může obsahovat také odpadní vody. Jezera, řeky a potoky obsahují minerály ve velmi odlišném poměru. Ve vodních tocích a v jejich bezprostředním okolí žije mnoho živých organismů, které ve vodě zanechávají organické látky a metabolické stopy. Povrchové vody mohou být kontaminovány těžkými kovy nebo organickými sloučeninami, které jsou vedlejším produktem průmyslové výroby a městského osídlení. Významným zdrojem kontaminace povrchových vod v zemědělských oblastech jsou ekologicky nešetrné zemědělské postupy využívající vedle pesticidů a herbicidů, jejichž aktivní substance často obsahují uhlovodíky, také fosfáty, dusičnany a organická hnojiva [4].

#### **3.2.1.3. Podzemní voda**

Kvalita podzemní vody je především výsledkem geochemických procesů, probíhajících v poměrně dlouhém časovém horizontu. Nekontaminované podzemní vody obsahují jen velice malé koncentrace organických látek, ale poměrně větší množství solí, které se do vody dostávají při styku s geologickým podložím. Množství rozpuštěných solí je velice rozmanité. Podzemní vody jsou vody bezkyslíkaté, v některých případech se zvýšenými koncentracemi volné kyseliny uhličitě, železa a manganu, které při použití vody k pitným účelům musí být odstraněny [5].

#### **3.2.1.4. Odpadní voda**

Odpadní vody lze dělit na splaškové odpadní vody a průmyslové odpadní vody. V městech dochází k jejich smíšení a vznikají tedy městské odpadní vody. Odpadní vody jsou kanalizační sítí odváděny do čistíren odpadních vod, odkud jsou po akceptovatelném vyčištění vypouštěny do povrchových vod [3].

#### **3.2.1.5. Technologická voda**

Technologické vody jsou nezbytným médiem pro zajištění výroby. V mnoha případech dochází ke znečištění technologické vody a následně je jako odpadní voda vypouštěna jako odpadní. Tento způsob nakládání s vodou je z ekonomického i ekologického hlediska nežádoucí [3].

### **3.2.2. Druhy znečištění**

Znečištění vod lze rozdělit do několika větví. Dělení může být založeno na původu, pak rozeznáváme znečištění anorganické, organické a biologického původu. Znečištění probíhá buď přímou kontaminací (označuje se jako primární znečištění), nebo jako reakce na znečištění ve formě nárůstu množství mikroorganismů [1].

#### **3.2.2.1. Primární znečištění**

Primární znečištění je způsobeno látkami přítomnými v odpadní vodě, popř. změnou některých vlastností. Může být způsobeno vlivem inertních materiálů (půda, kaolin, apod.), organickými látkami buď přirozeného (huminové látky, splašky) nebo antropogenního původu (ropné produkty, fenoly, pesticidy, atd.). Dále může být způsobeno vlivem anorganických látek, bakterií, teploty a radiace [1].

#### **3.2.2.2. Sekundární znečištění**

Sekundární znečištění je nadměrný rozvoj některých organismů vyvolaný přísunem vhodných látek. Mezi typické příklady patří především eutrofizace vodních nádrží, tj. zarůstání nádrží řasami, sinicemi a rozsivkami, které je vyvoláno nadměrným přísunem dusičnanů a fosforečnanů [1].

### **3.3. Litosféra**

Nejsvrchnější část litosféry se nazývá pedosféra neboli půda. Půdy vznikly abiogenními procesy, tedy zvětráváním povrchové vrstvy hornin a minerálů za působení atmosféry, vody a změn teplot. Po vzniku organismů se zapojily také procesy biogenní. Půda představuje velmi komplexní systémy zahrnující plynné, kapalné a pevné složky anorganického a organického původu. Půda představuje pro všechny živé organismy přímý či zprostředkovaný zdroj živin. Na kvalitě a složení půdy záleží růst a vývoj rostlin. Rostliny stojí na začátku potravního řetězce, proto je čistota půdy velmi důležitá i pro člověka [6].

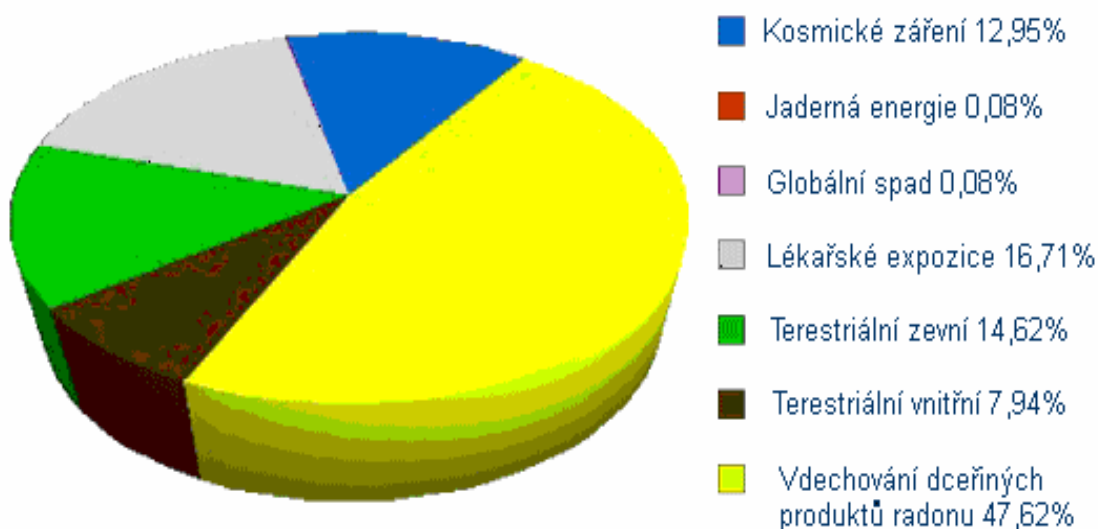
Migrace kontaminantů je relativně pomalá. Znečištění je stabilní a dlouhodobě ovlivňuje životní prostředí. Znečištění půdy se liší oproti znečištění vody a ovzduší, takže není zpozorováno okamžitě, ale projevuje se v mnoha případech skrytě. Kontaminanty obsažené v půdě se nakonec dostávají do organismu člověka, kde se kumulují. Přísun těchto látek je buď přímý, nebo pomocí potravinových řetězců [7].

### **3.4. Biosféra**

Biosféra je část planety Země, kde se vyskytují různé formy života, od jednobuněčných organismů po člověka. Zahrnuje část atmosféry (přibližně do výšky 18 km v oblasti tropů a 10 km v polárních oblastech), prakticky celou hydrosféru a povrch litosféry (do desítek metrů pod povrchem půdy, v případě výskytu jeskyní obývaných živými organismy až do hloubky několika kilometrů). Ke kontaminaci biosféry dochází v závislosti na znečištění ostatních částí životního prostředí [1,6].

## 4. RADIOAKTIVITA

Radioaktivita je přírodní jev, při kterém má atom schopnost se samovolně dříve nebo později přeměnit v jiný atom za současného vysílání ionizujícího (jaderného) záření do okolí. Toto záření není člověkem přímo vnímáno smysly, ale může jej velmi negativně ovlivnit. Negativní dopady se posuzují podle intenzity záření a jejího druhu, celkové dávky odpovídající i době, po kterou je člověk záření vystaven. Nejvíce je lidský organismus vystaven radioaktivitě, která pochází z přírodních zdrojů: z vesmíru, skal, půdy, vody a dokonce i vlastních těl. Je to tzv. přirozená radioaktivita, která závisí na konkrétních místních podmínkách, ale během času se příliš nemění a zůstává zhruba konstantní. Mezi nejčastější složky přirozené radioaktivity patří plyn radon, který vzniká rozpadem radioaktivních prvků v podzemí a jako plyn poté proniká na povrch. Přírodnímu ozáření byly organismy vystaveny odjakživa a tomuto záření se nelze vyhnout [8].



Obr. č. 1: Poměr faktorů radioaktivní zátěže [9]

### 4.1. Přírodní radioaktivita a její rozdělení

Přírodní ozáření je způsobeno dvěma odlišnými zdroji: kosmickým zářením a radionuklidy. Kosmickým zářením dopadajícím na Zemi z vesmíru, které ozařuje člověka zejména externě v závislosti na nadmořské výšce a poloze na Zemi. Záření vzniklé přírodními radionuklidy vyskytující se v našem životním prostředí se dají podle původu rozdělit do tří skupin: [10,11].

➤ Kosmogenní radionuklidy, které vznikají průběžně jadernými reakcemi při interakci kosmického záření se stabilními prvky zejména ve vnějším obalu Země (např. známý izotop  $^{14}\text{C}$  reakcí  $^{14}\text{N}(n, p)^{14}\text{C}$ ), dalšími jsou např.  $^3\text{H}$ ,  $^7\text{Be}$ ,  $^{22}\text{Na}$  aj. [11].

➤ Původní primordiální radionuklidy, které vznikly v raných stádiích vesmíru a díky velmi dlouhému poločasu rozpadu se dosud vyskytují na Zemi ve významném množství (např.  $^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$ ,  $^{87}\text{Rb}$  aj.). Řada dalších původně přítomných radionuklidů kvůli kratšímu poločasu již vymřela nebo jsou prakticky nedetekovatelné [11].

✦ Radionuklidy vznikající sekundárně z původních radionuklidů tvořících rozpadové řady. Ze čtyř možných rozpadových řad: uran-radiové (vychází od  $^{238}\text{U}$ ), thoriové (od  $^{232}\text{Th}$ ), aktiniové (od  $^{235}\text{U}$ ) a neptuniové (od  $^{237}\text{Np}$ ) se v přírodě setkáme pouze s prvními třemi [11].

Na člověka působí jen některé přírodní radionuklidy. V horninách a půdách povrchové vrstvy Země (několik desítek centimetrů) se nachází  $^{226}\text{Ra}$  (resp. uran),  $^{232}\text{Th}$  a  $^{40}\text{K}$ , které způsobují zevní ozáření gama. Významnými radionuklidy z hlediska vnitřního ozáření jsou radon  $^{222}\text{Rn}$  a izotop draslíku  $^{40}\text{K}$ . Z hlediska vnitřního ozáření je třeba věnovat pozornost i izotopům radia  $^{226}\text{Ra}$  a  $^{228}\text{Ra}$ , uranu  $^{238}\text{U}$ ,  $^{234}\text{U}$ , polonia  $^{210}\text{Po}$  a olova  $^{210}\text{Pb}$  [10].

## 4.2. Druhy záření

Existují tři základní druhy přírodního záření: alfa  $\alpha$ , beta  $\beta$ , gama  $\gamma$ . V následujících podkapitolách se tyto druhy záření krátce popisují. Při jaderné reakci vzniká záření neutronové, ale v přírodě se téměř nevyskytuje [10].

### 4.2.1. Záření alfa

Je to ionizující záření tvořené rychle letícími částicemi alfa:  $^4_2\alpha$  neboli jádra helia  $^4_2\text{He}^{2+}$ . Jsou to těžké nabitě částice, které pronikají látkami velmi obtížně. Zdrojem alfa záření jsou těžké radionuklidy, např.  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ . Záření alfa má čárové spektrum, což znamená, že každý radionuklid emituje částice alfa pouze o určitých energiích. Protože částice alfa nesou dva elementární elektrické náboje, při průchodu prostředím velmi silně ionizují a rychle ztrácejí svoji energii. Prudký pokles ionizační schopnosti  $\alpha$  částic nastává, když se částice zpomalí natolik, že může zachytit elektrony z okolí a přeměnit se na neutrální atomy helia. Dosah záření alfa je proto relativně malý. Ve vzduchu je dosah záření jen několik centimetrů, deseticentimetrová vrstva vzduchu představuje úplně absorbující vrstvu. Ochrana před alfa-částicemi nepředstavuje tedy větší problém [10].

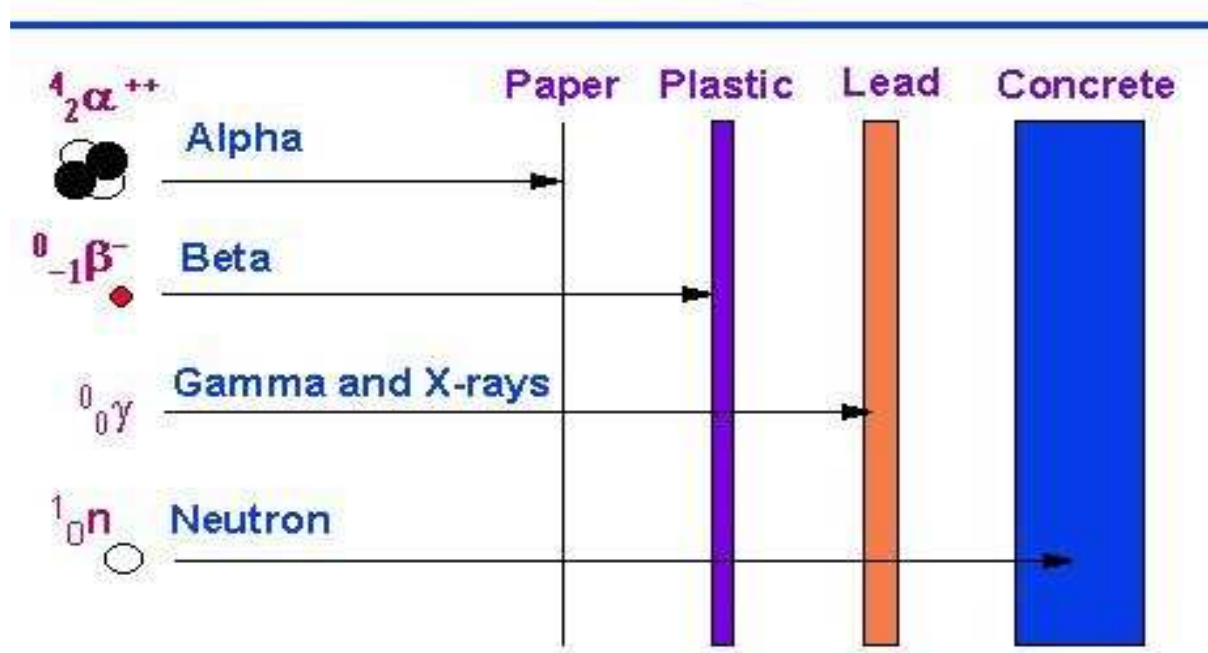
### 4.2.2. Záření beta

Beta záření je tvořeno rychle letícími elektrony ( $^0_{-1}\beta$  neboli  $^0_{-1}e^-$ ) nebo pozitrony (částice lišící se od elektronu pouze opačným znaménkem elektrického náboje:  $^0_{+1}\beta$  neboli  $^0_{+1}e^+$ ). Vzniká při přeměně mnoha radionuklidů, např.  $^{32}\text{P}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ , ale i  $^{222}\text{Rn}$  a  $^{226}\text{Ra}$ . Ve srovnání se zářením alfa jsou částice beta mnohem lehčí a pohybují se při stejné energii mnohem rychleji a daleko méně ionizují. Záření beta má proto daleko větší dosah v prostředí. Zastaví jej tenká vrstva plastu, ale prochází tenkou vrstvou papíru [10].

### 4.2.3. Záření gama

Je to záření elektromagnetické, tedy proud fotonů o vysoké energii obvykle jaderného původu. Vzniká při přeměně řady radionuklidů, často současně se zářením alfa nebo beta. Gama záření má mnohem delší dosah než alfa a beta záření. Vrstva železa jej dokáže pohltit [10].

## Penetration depths



Obr. č. 2: Průchod ionizovaného záření materiály [12].

### 4.3. Základní charakteristiky ionizujícího záření

Mírou velikosti účinku ionizujícího záření na látku je absorbovaná dávka, která je definována jako energie záření absorbovaná objemem hmoty o jednotkové hmotnosti. Je vyjádřena v  $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$  a nazývána 1 Gray (Gy). Tato jednotka nezávisí na typu radioaktivního záření ani na jeho intenzitě, ani na druhu absorbátoru [10,11].

Jednotlivé druhy ionizujícího záření mají rozdílnou biologickou účinnost. Z těchto důvodů byla definována jednotka dávkový ekvivalent zvaná 1 Sievert (Sv). Dávkový ekvivalent je definován jako absorbovaná dávka násobená jakostním faktorem, který udává, kolikrát je daný druh záření biologicky účinnější než záření gama (za základ se bere rentgenové záření o energii 200 keV) [10,11].

Radioaktivita vzorku se s časem mění, jelikož výchozího radionuklidu v důsledku rozpadu ubývá. Čas, který je nutný k přeměně poloviny původního radionuklidu, se nazývá poločas rozpadu. Počet jaderných přeměn za časovou jednotku se nazývá aktivita (A). Jednotkou aktivity je 1 Becquerel (Bq), což je rozpad jednoho atomového jádra za 1 sekundu. Měrná aktivita (a) se vztahuje na jednotku hmotnosti. Jednotkou měrné aktivity je  $(\text{s}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1})$  [10,11].

Tkáně a orgány v těle vystavené záření jsou různě citlivé a jejich poškození vlivem tohoto záření vede k různě závažným následkům pro celý organismus. Proto se zavádí veličina efektivní dávka, která slouží pro účely radiační ochrany. Efektivní dávka je součet vážených středních hodnot ekvivalentních dávek v tkáních či orgánech lidského těla [10,11].

#### **4.4. Biologický účinek ionizujícího záření**

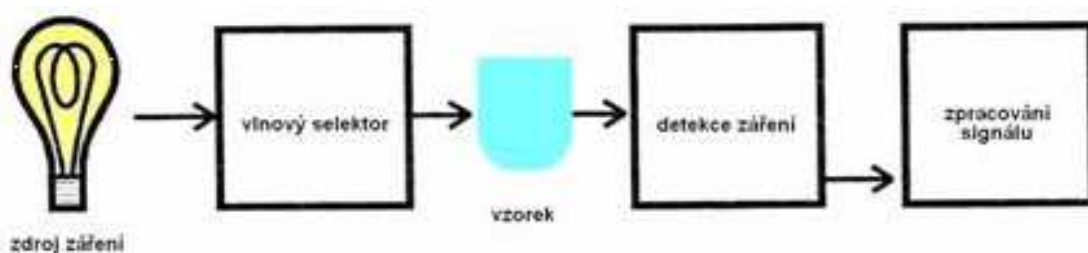
Účinky ionizujícího záření se projevují ve větší či menší míře u všech druhů živých organismů. Závažnost účinků a hodnota dávky záření, která je vyvolává, závisí na druhu organismu. Často jde o účinky negativní, jsou však známy případy, kdy ionizující záření vyvolává v živých organismech změny pozitivní. Rozlišujeme přímý a nepřímý účinek záření na buňku. Přímým účinkem se rozumí změna biologicky důležité makromolekuly přímým zásahem částic ionizujícího záření nebo sekundárním elektronem při ozařování rentgenovým nebo gama zářením. Přímý účinek se pokládá za závažný hlavně u nukleových kyselin, které záření poškozuje štěpením vodíkových vazeb mezi komplementárními bázemi. Nepřímý účinek souvisí s radiolýzou vody a rozumí se jím změny způsobené především radikály a peroxidem vodíku. Na molekulární úrovni se za nejzávažnější pokládají změny, které ionizující záření vyvolávají ve struktuře a biosyntéze DNA. Jakýkoliv zásah do biochemického cyklu DNA je závažný, neboť následně negativně ovlivňuje syntézu enzymů nezbytných pro mnoho dalších procesů. K poškození buňky pak přispívají nejen chybně syntetizované enzymy, které nemohou vykonávat svoji funkci, ale i vznikající bílkoviny, které jsou pro buňku cizí a působí toxicky. Poškození buněk závisí především na rozmnožovacích schopnostech buňky. Vliv ionizujícího záření je tím výraznější, čím má buňka větší schopnost k rozmnožování a čím méně je diferencovaná. Proto jsou organismy vůči záření nejcitlivější na počátku vývoje. Biologické účinky ionizujícího záření závisí také na dávce záření, která představuje celkovou energii, které záření udělilo tkáni nebo organismu. Buňky mají však jistou schopnost poškození enzymaticky opravit, což se děje jen tehdy, není-li přísun energie do buněk příliš rychlý. Prakticky to znamená, že při určité dávce je poškození organismu menší, je-li tkáň nebo organismus touto dávkou ozáření ozářen nikoli najednou, ale je-li dávka buď rozprostřena rovnoměrně na delší dobu, nebo rozdělena na několik menších dávek s časovými prodlevami mezi nimi (frakcionace dávky). Účinek záření na živý organismus závisí také na druhu ionizujícího záření [10,11].

### **5. ANALYTICKÉ METODY VYUŽÍVANÉ V SOUVISLOSTI S TĚŽBOU URANOVÉ RUDY**

V této kapitole jsou stručně popsány principy metod, které jsou využívány při analýze vod, ovzduší i sedimentů v důsledku těžby uranové rudy.

#### **5.1. Molekulová absorpční spektrometrie (MAS)**

MAS je založena na měření absorpce elektromagnetického záření molekulami v oblasti vlnových délek 200 až 800 nm. Absorbce záření má za následek excitaci elektronů do různých excitovaných, vibračních a rotačních podhladin molekuly. Z důvodu velkého počtu možných blízkých přechodů elektronů je absorpční spektrum ve formě pásu. Proměření elektronových spekter tedy umožňuje identifikaci určitých anorganických i organických látek. Většího významu tato metoda nabývá při kvantitativní analýze [14].



Obr. č. 3: Základní schéma absorpčního spektrometru [13].

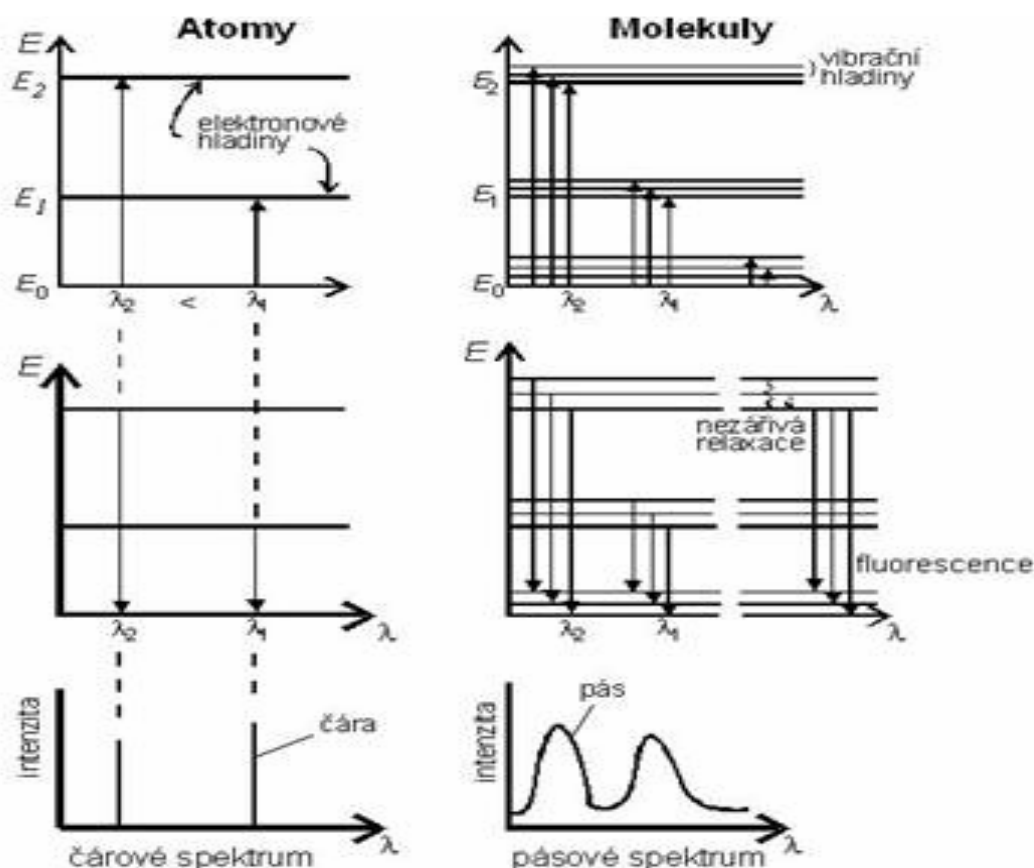
## 5.2. Izotopická spektrální analýza

Izotopická spektrální analýza se zakládá na poznatku, že rozmístění energetických hladin atomů nebo molekul závisí na hmotnosti atomových jader. Proto lze pozorovat posuv spektrálních čar, které náležejí různým izotopům atomů nebo molekul. Posuvy pro izotopy vodíku:  $H_{\alpha} = 0,178 \text{ nm}$ ,  $H_{\beta} = 0,133 \text{ nm}$ ,  $H_{\gamma} = 0,119 \text{ nm}$ ,  $H_{\delta} = 0,112 \text{ nm}$ . Při zvyšování atomové hmotnosti hodnota posuvu rychle klesá. Nejvyšší posuvy jsou tedy pozorovány u spektrálních čar izotopů vodíku. Závislost polohy spektrálních čar mnohoelektronových atomových soustav na hmotnosti jádra, je mnohem složitější a teoretický výpočet složitější. Bylo experimentálně zjištěno, že izotopické posuvy pro prvky se střední atomovou hmotností jsou malé, u prvků z konce periodické tabulky posuvy opět narůstají a to až o setiny nm [14].

Výčet prvků, pro které jsou vypracovány analytické postupy, není příliš rozsáhlý. Jde především o vodík, helium, lithium, bór, stroncium, olovo a uran. Izotopická spektrální analýza se odlišuje od ostatních spektrálních metod v tom, že čáry dvou izotopů se vždy vyskytují velmi blízko sebe. Proto je třeba využívat spektrálních přístrojů s relativně velkou rozlišovací schopností a zdrojů záření, které vyzařují úzké spektrální čáry. Jako budící zdroj se neuplatňují jiskrový ani plazmový výboj. Vysoká teplota a velká hustota plazmatu těchto zdrojů způsobují rozšíření spektrálních čar, které překrývá izotopické rozštěpení, a proto je nemožné navzájem rozdělit složky jednotlivých izotopů. Proto jsou výhodnější zdroje záření, které pracují při nízkém tlaku a malých intenzitách proudu. Nejvyužívanějším zdrojem je dutá katoda, zvláště je-li ochlazena na teplotu tekutého dusíku [14].

## 5.3. Atomová absorpční spektrometrie (AAS)

AAS je optická metoda, založená na měření absorpce elektromagnetického záření volnými atomy v rozmezí vlnových délek 190 až 850 nm. Nezastupitelný význam této metody tkví v kvantitativní elementární analýze prvků, převážně kovových. Pro využití metody je nezbytná atomizace, tedy převedení vodného či nevodného roztoku vzorku na volné atomy vysokou teplotou. AAS lze rozdělit podle druhu atomizace na plamenovou AAS, kde je k atomizaci nutné využít plamen a elektrotermickou AAS, využívající grafitové atomizátory vyhřívané na vysokou teplotu z [15].



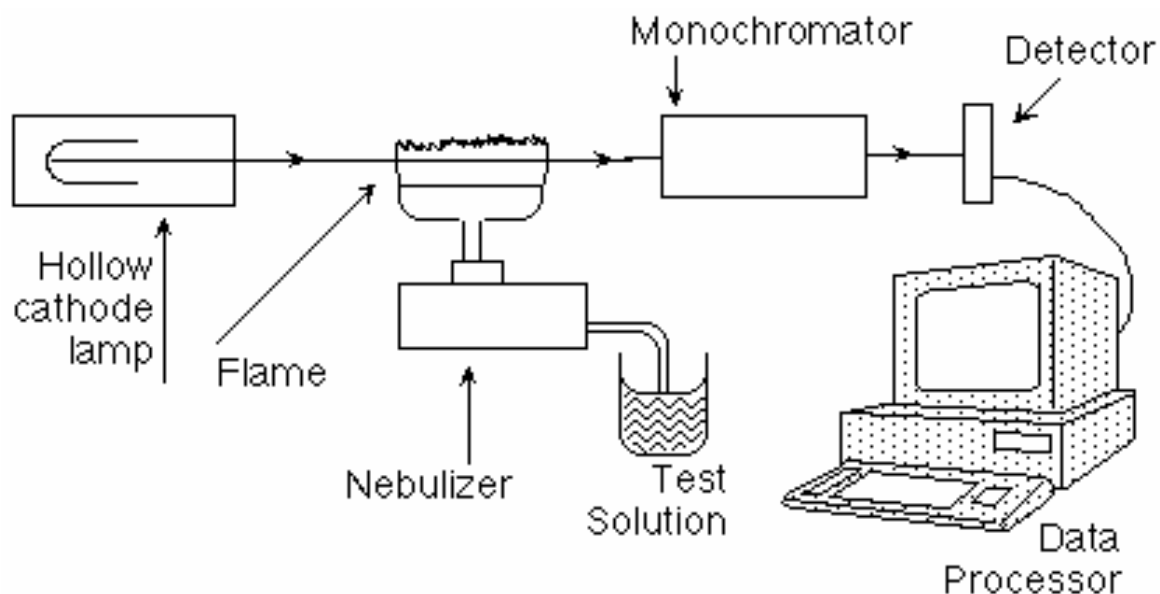
Obr.č.4.: Spektrum AAS a MAS [13]

### 5.3.1. Plamenová atomová absorpční spektrometrie (F-AAS)

Zdrojem záření je výbojka s dutou katodou. Katoda je ze stejného kovu, který se stanovuje a zaujímá tvar dutého válečku. Anoda má tvar drátu a je z wolframu nebo molybdeny. Lampa obsahuje argon o tlaku 1 kPa. Vložené napětí vyvolá doutnavý výboj, který ionizuje atomy vzácného plynu, které bombardují kovovou katodu. Uvolněné atomy kovu se srážkami excitují a při deexcitaci vysílají potřebné záření.

Plamenový atomizátor funguje na principu směšování vzorku s topným plynem a oxidovadlem a následného vnášení do plamene, kde se vzorek atomizuje. Teplota atomizátoru musí být dostatečně vysoká k atomizaci, ale neměla by přesáhnout hodnotu, při které by docházelo k excitaci atomů. Nízká teplota plamenů, jejich chemická reaktivita a vedlejší chemické reakce v kapkách aerosolu ještě před odpařením rozpouštědla vyvolávají některé interference. Tyto interference můžeme rozdělit. Dělí se na zářivé, které jsou způsobeny nedokonalou izolací analytických čar ve spektru, a transportní, ty jsou vyvolány poruchami v tvorbě aerosolu. Tvorba termicky stabilních sloučenin je rovněž velmi častou interferencí, této nedokonalosti lze čelit přidáním vytěsňovacího prvku, který tvoří sloučeninu ještě stabilnější a složku vytěsni. [16].

F-AAS je poměrně dosti používaná metoda, z důvodu její relativně vysoké selektivity, citlivosti a poměrně nízké pořizovací ceny. Touto metodou je možné stanovit velké množství prvků. Pro stanovení uranu není využití FAAS příliš rozšířené, protože spektrální čáry jsou slabé. Druhá nevýhoda tkví v tom, že komplexy uranu nejsou zcela disociované. Jako další nevýhodu této metody lze označit fakt, že je metoda málo citlivá pro žáravzdorné prvky, zejména uran. Oxidy uranu, které vznikají v plameni, jsou velmi stabilní [17].



Obr. č. 5: Schéma atomového absorpčního spektrometru [13]

### 5.3.2. Atomová absorpce s elektrotermickou atomizací (ET-AAS)

Elektrotermické atomizátory jsou zařízení vyhřívaná na potřebnou teplotu působením elektrického proudu. Materiál atomizátoru musí být velmi odolný vůči vysokým teplotám, nejčastěji se používají různé modifikace grafitu. Je možné použít nějaký těžkovatelný kov, jako je tantal, molybden, platina nebo wolfram. Aby byl atomizátor dostatečně chráněn před oxidací, musí se pracovat v ochranné atmosféře, převážně se využívá argon, z ekonomických důvodů je občas nahrazen dusíkem. Atomizátory lze rozdělit podle tvaru na otevřené a uzavřené. Otevřené atomizátory mají tvar tyčinek, kelímků nebo spirálek. Tyto atomizátory, se už v praxi téměř nepoužívají. Běžně se můžeme setkat s uzavřenými atomizátory ve tvaru trubic. Stejně jako v F-AAS se jako zdroj záření využívá výbojka s dutou katodou [18].

Teplotní program u ET-AAS má čtyři fáze, každá se vyznačuje dobou trvání, konečnou teplotou, nárůstem teploty, atd. Tyto fáze se nazývají sušení, pyrolýza, atomizace a čištění. Při sušení se odpařuje rozpouštědlo, proto se volí teplota přibližně o pět stupňů větší než teplota varu rozpouštědla. Při pyrolýze je hlavním cílem přeměna matrice nebo její odstranění. Teplota se volí asi o 50 °C nižší, než je teplota, při které dochází k ztrátě analytu. Atomizace je rozklad molekul vzorku na volné atomy. Při čištění se užívá teplota o 200 °C větší než je teplota atomizace a zajišťuje odstranění zbytků po atomizaci [18].

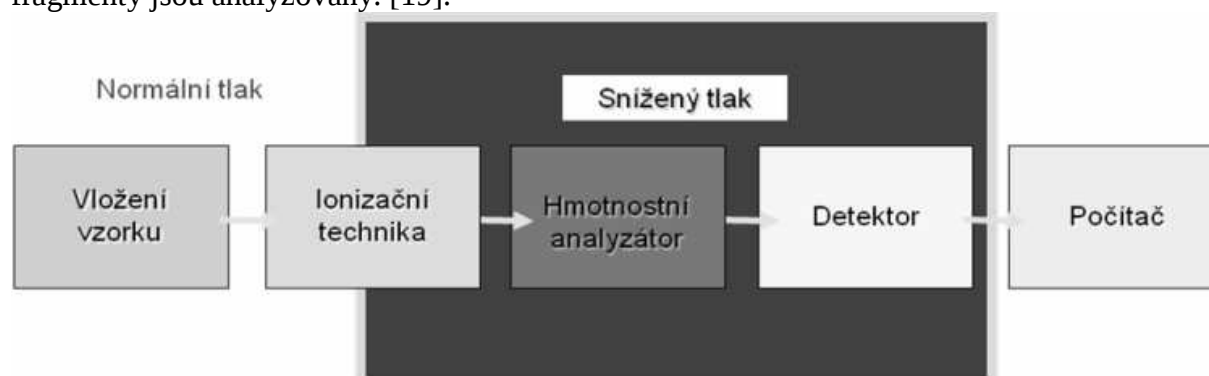


## 5.5. Hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem (ICP-MS)

Hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem (ICP-MS) je aktuálně považována za jednu z nejdůležitějších analytických technik pro stanovení celkové koncentrace a izotopového zastoupení pro aktinoidy, tedy i uran. Hlavními výhodami této metody je krátký čas stanovení, vysoká citlivost a selektivita. ICP-MS se běžně využívá téměř pro všechny prvky. Před vlastním stanovením není často zapotřebí žádné předúpravy kapalných vzorků, pevné vzorky se před analýzou rozpouštějí. U laserové ablace (LA), není nutné převádět pevný vzorek na kapalný, díky laserovému vnitřnímu i povrchovému štěpení matrice. V kombinaci s TOF analyzátozem zajišťuje dominantní postavení metody mezi spektrálními analytickými postupy. Snad jediná nevýhoda tkví v pořizovací ceně [19].

### 5.5.1. Obecné uspořádání hmotnostního spektrometru

Běžný hmotnostní spektrometr obsahuje součásti uvedené na obr. č. 7. Nejprve je nutné transportovat vzorek do iontového zdroje. Po ionizaci následuje separace iontů v analyzátoru. Ionty určitého poměru  $m/z$  se určují v detektoru a poslední součástí je vyhodnocovací zařízení. U tandemového uspořádání hmotnostního spektrometru se po ionizaci vzorku provádí separace určitého iontu a takto separovaný iont se dále fragmentuje, takto vzniklé fragmenty jsou analyzovány. [19].



Obr. č. 7: Základní uspořádání hmotnostního spektrometru

### 5.5.2. Transport vzorku do plazmatu

Většinou se ICP-MS používá k analýze roztoku vzorku. Pro jeho převedení do plazmatu, je nejprve třeba dopravit jej do zmlžovače, což se provádí za použití peristaltické pumpy. Přitom se obvykle používá dvou- nebo i třícestné čerpadlo, které v prvním kanále transportuje roztok vzorku, v druhém kanále roztok interního standardu a třetí může být použit například pro in-line ředění příliš koncentrovaných vzorků. Aerosol vzniká ve zmlžovači, ve kterém se tvoří jemně dispergovaná mlha kapiček roztoku vzorku, jenž je unášen nosným plynem do plazmového hořáku [18,20].

#### 5.5.2.1. Laserová ablace

Laserová ablace (LA) využívá destrukce na povrchu i uvnitř pevného materiálu, při němž dochází k vzorkování malého množství látky. Po dopadu paprsku laseru s vysokou energií na materiál dochází k vyhloubení kráterku a vzniku mikroplazmatu. Pevný materiál je tak velice rychle přenesen do plynné fáze. Takto upravený vzorek putuje do ICP a dále do analyzátoru. Laserová ablace zajišťuje výrazné urychlení metody ICP-MS [19].

### 5.5.3. Ionizace v plazmatu

Existuje několik způsobů ionizace např. chemická ionizace, ionizace nárazem elektronů, atd. Nejběžnější je však způsob ionizace v ICP. Dlouhodobým výzkumem bylo nalezeno plazma s takovými parametry, které produkci uvedených iontů zabezpečují v požadované míře. Základní charakteristikou vstupu vzorku do plazmatu je množství přiváděného plynu. To je v tomto případě na úrovni přibližně 20 l Ar/min a zajišťuje tvorbu aerosolu vzorku potřebných parametrů. Pro takový průtok plynu je pak jako ideální prostředí definováno vysokofrekvenční (obvykle v rozmezí 25 až 50 MHz) plazma s dodávaným výkonem 0,8 až 1,8 kW. Technicky je tento výkon předáván protékajícímu proudu argonu pomocí cívký o 3 až 4 závitech, která je umístěna na vyústění zmlžovače. Působením vysoké teploty v plazmatu dochází k atomizaci a k následné ionizaci uvolněných atomů, které jsou vtahovány vakuem do hmotnostního spektrometru. Iontová optika se skládá z elektrod s elektrostatickým napětím, které fokusují ionty při průchodu evakuovaným prostorem do úzkého paprsku při vstupu do analyzátoru. Existují dva typy iontové optiky; off-axis a in-line [20].

### 5.5.4. Nutnost vakua

Využití hmotnostní spektrometrie bylo dlouho omezené kvůli technickým problémům s vytvořením stabilního vakua. Vysoké vakuum o tlaku  $10^{-4}$  až  $10^{-8}$  Pa brání vzájemným kolizím částic v plynné fázi. Vakuum je tvořeno ve vakuové sekci. Jedná se zpravidla o dvoustupňový systém vývěv tvořený v prvním stupni olejovou vývěvou, ve druhém turbomolekulárním čerpadlem [19].

### 5.5.5. Separace iontů

Separace probíhá na principu vytvoření iontů, které jsou rozděleny v analyzátorech v závislosti na jejich poměru  $m/z$ . Na detektor projdou pouze ionty s takovým poměrem  $m/z$ , který odpovídá nadefinovaným podmínkám analyzátoru. Při použití klasická konstrukce hmotnostního spektrometru vznikající ionty přicházejí do akcelerační komory, zde jsou urychleny napětím 3 až 10 kV. Takto urychlené ionty vstupují do magnetického pole, jehož silové účinky způsobí pohyb iontů po kruhové dráze. Detektor je umístěn tak, aby na něho dopadaly pouze ty ionty které mají určitý poloměr průletu v magnetickém poli. Nastavením magnetického pole se mění i poloměr průletu iontů, tzn. Na detektor dopadnou ionty s jiným poměrem  $m/z$ . Klasické uspořádání se už téměř nevyužívá. V moderních laboratořích se využívají průletové a kvadrupólové analyzátory [19,20].

#### 5.5.5.1. Průletový analyzátor (TOF)

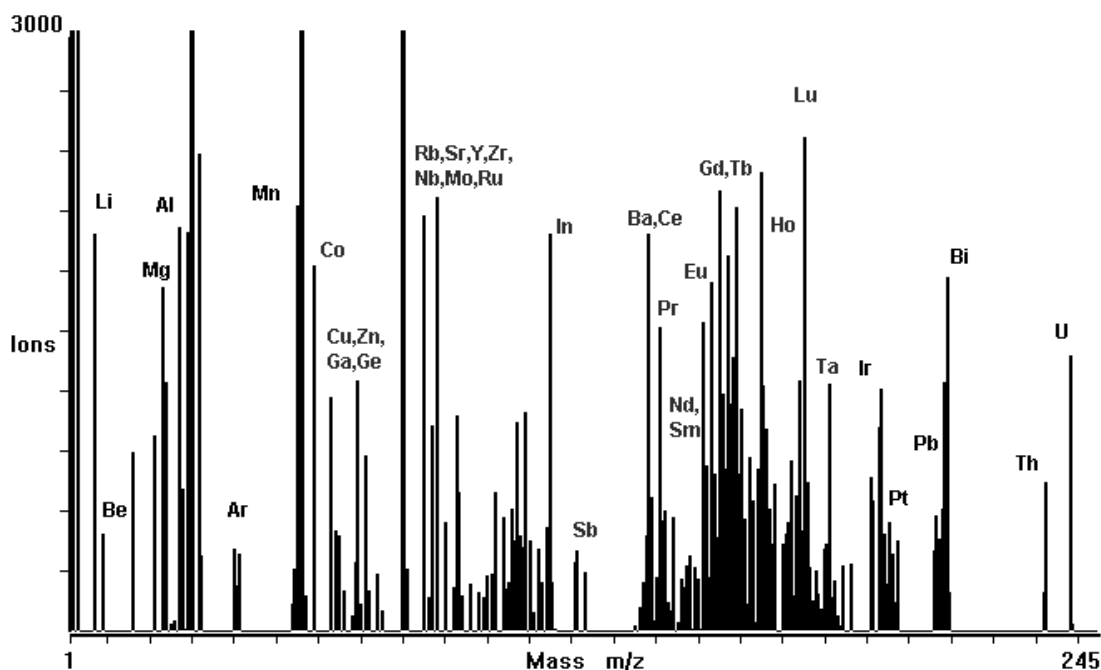
Princip TOF spektrometrů je znám již déle jak 50 let, podstatný rozmach ve vývoji však nastává až v posledních patnácti letech. Vlastní princip je velmi jednoduchý. Ionty jsou v akceleračním poli urychleny vloženým potenciálem, přičemž získají stejnou kinetickou energii, a vstupují do evakuované letové trubice, kde není žádné pole. Lehké ionty jsou v akceleračním poli urychleny na vyšší rychlost, takže na detektor dopadají dříve než ionty těžší [18].

#### 5.5.5.2. Kvadrupólový analyzátor

Kvadrupól (Q) obsahuje čtyři rovnoběžné tyčové elektrody. Na každou tyč je přiváděna stejnosměrná složka napětí (stovky voltů) a také radiofrekvenční pole. Nastavení těchto hodnot předurčuje trajektorii drah iontů. Při určitém nastavení, mají stabilní trajektorii vedoucí k detektoru pouze ty ionty, které mají určitou hodnotu poměru  $m/z$  [20].

#### 5.5.6. Detekce iontů

Pro detekci iontů v ICP-MS se nejčastěji využívá vícekanálový elektronásobič. Jeho funkce spočívá v mnohonásobném zesílení elektrického signálu, vzniklém dopadem měřeného iontu na měrnou plochu, na které je vložen elektrický potenciál o velikosti přibližně -3 kV. Po dopadu iontu dojde k vypuzení několika elektronů, tyto elektrony dopadají na místo s méně negativním potenciálem a vyřazují další elektrony, takto se proces několikrát opakuje až dojde k zesílení elektrického proudu  $10^4$  až  $10^8$ krát. Vzniklý elektrický proud je snadno měřitelný [20].



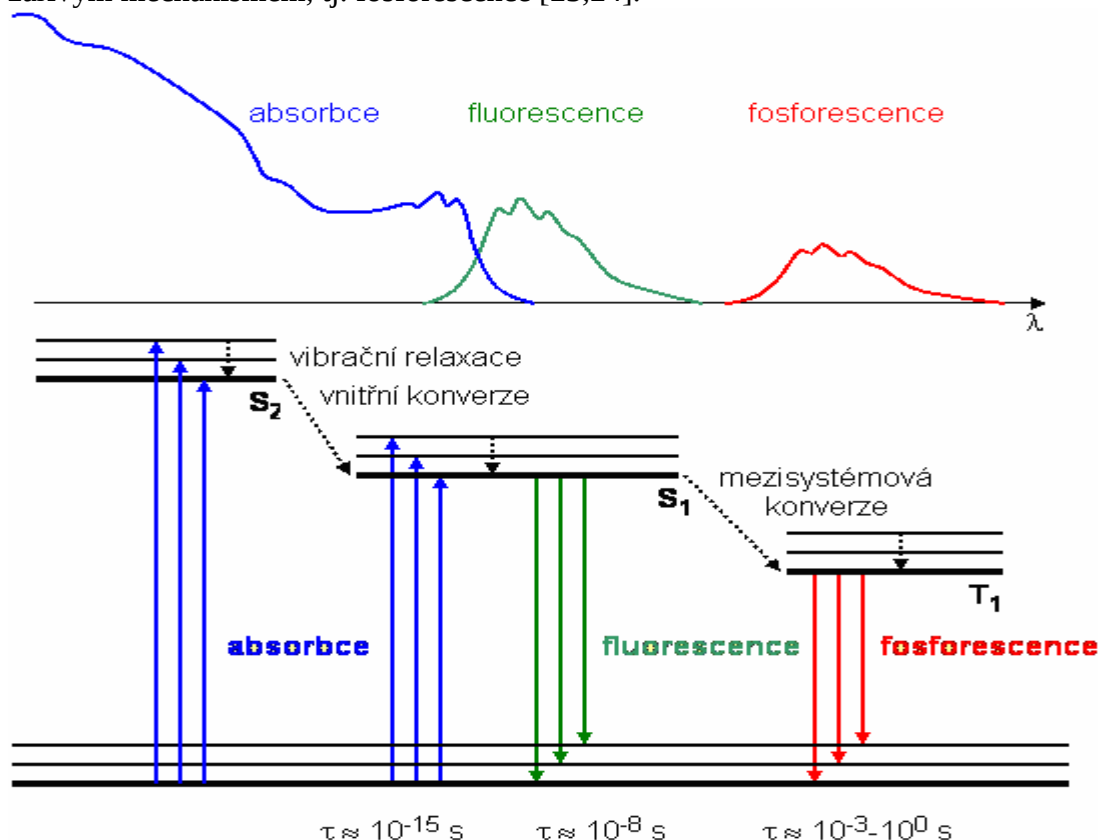
Obr. č. 8: Hmotnostní spektrum [18]

### 5.6. Luminiscenční spektrometrie

Luminiscence je jev, který je možno pozorovat při vzájemném působení záření a analyzovaného prostředí. Část záření je absorbována a převádí atomy a molekuly do excitovaného stavu. Obvykle je většina adsorbované energie přeměněna nevratně v teplo a jen malá část je vyzářena jako luminiscenční záření s krátkým ( $10^{-8}$  až  $10^{-5}$  s) nebo dlouhým ( $>10^{-2}$  s) dosvitem. Dosvit je doba, která uplyne od konce budícího impulsu do vyhasnutí luminiscence. Proces s krátkým dosvitem se nazývá fluorescence, proces s dlouhým dosvitem se označuje jako fosforescence. Fotoluminiscenční metody založené na využití emisních spekter se označují názvem fluorimetrie a fosforimetrie. Tato spektra vznikají deexcitací molekul předem excitovaných absorpcí záření v téže spektrální oblasti [22].

Pro vznik fotoluminiscenčního spektra je nutná excitace molekul ze základního elektronové hladiny, na níž za běžných teplot většina molekul je, na některou vyšší elektronovou hladinu působením zářivé energie vhodné frekvence. Podstata tkví v deexcitaci molekuly z excitovaných stavů. Protože energeticky bohatý excitovaný stav je nestabilní, molekuly se rychle vrací zpět do stabilního základního stavu. Deexcitace může probíhat zářivým nebo nezářivým mechanismem, popřípadě jejich kombinací [22,24].

Excitační a deexcitační poměry lze nejnázorněji ukázat schematickým diagramem energetických hladin dvouatomové molekuly se singletovým základním elektronovým stavem  $S_0$ , kde spinové číslo je 0. Z nejnižší vibrační podhladinu tohoto stavu se molekula excituje absorpcí fotonu do příslušné vyšší elektronové singletové hladiny  $S_1$ , popř.  $S_2$  a některé vibrační a rotační podhladinu. Kromě singletových excitovaných stavů má molekula i excitované stavy tripletové  $T_1$  popř.  $T_2$ . Excitace do tohoto stavu absorpcí záření je spinově zakázaná. Při deexcitaci se nejdříve uplatňují velmi rychlé vnitřní konverze a vibrační relaxace, kterými přejde molekula do stavu  $S_1$  s nejnižší vibrační podhladinou. Odtud přechází molekula do základního stavu  $S_0$ . Děje se tak zářivým přechodem, neboli fluorescencí na nějakou vibrační podhladinu (děj F). Při nezářivé deexcitaci dojde k vnitřní konverzi mezi elektronovými stavy  $S_1$  a  $S_2$  s následující vibrační relaxací v základním stavu  $S_0$ . Interkombinační konverze může však vést k tripletovému stavu  $T_1$  s vyšší vibrační podhladinou, z které pak molekula přechází vibrační relaxací na nejnižší vibrační podhladinu tohoto stavu. Odtud pak přechází dále do základního stavu  $S_0$  na některou vibrační podhladinu zářivým mechanismem, tj. fosforescence [23,24].



Obr.č.9.: Schéma zářivých a nezářivých přechodů mezi excitovaným a základním stavem složité molekuly [24].

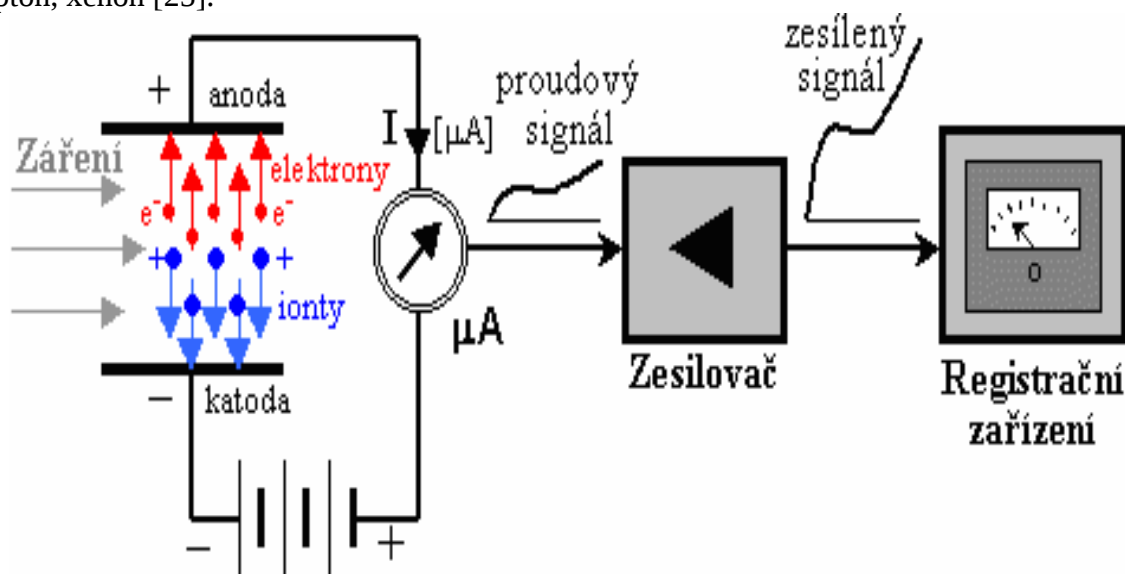
## 5.7. Scintilační spektrometrie

Ionizující záření je okem neviditelné, takže abychom se o jeho existenci vůbec mohli přesvědčit, je třeba jej detekovat pomocí příslušných fyzikálních metod a vhodné přístrojové techniky. Kromě "zviditelnění" nám detekce umožňuje zkoumat vlastnosti tohoto záření a využívat jej v řadě vědecko-technických, průmyslových a medicínských aplikací. Poskytuje nám kvantitativní informace o intenzitě, energii, prostorové distribuci a příp. dalších vlastnostech záření [25].

### 5.7.1. Ionizační komora

Ionizační komora je nejjednodušším elektronickým detektorem ionizujícího záření; přímočaře využívá v názvu obsaženou základní vlastnost tohoto záření - ionizační účinky na látku. Ionizační komora je tvořena dvěma kovovými destičkami - elektrodami (anodou a katodou), umístěnými v plynném prostředí a připojenými v elektrickém obvodu na napětí řádově stovky voltů. Za normálních okolností (bez přítomnosti záření) systémem neprochází žádný proud - plyn mezi elektrodami je nevodivý, obvod není uzavřen. Vnikne-li však do prostoru mezi elektrodami ionizující záření, vyráží z původně neutrálních atomů plynu elektrony a mění je na kladné ionty. Záporné elektrony putují v elektrickém poli okamžitě ke kladné anodě, kladné ionty se dají do pohybu k záporné katodě - obvodem začne protékat slabý elektrický proud způsobený iontovou vodivostí ionizovaného plynu mezi elektrodami. Proud, měřený mikroampérmetrem, je přímo úměrný intenzitě ionizujícího záření; dá se ocejchovat v jednotkách intenzity záření či dávkového příkonu (Gy/s). Tímto způsobem je realizována detekce toku neviditelného ionizujícího záření převedením na měřitelnou velikost elektrického proudu procházejícího obvodem ionizační komory [25].

Plynovou náplň ionizační komory může být v principu i obyčejný vzduch, lepší vlastnosti však vykazují speciální plynové náplně tvořené inertními vzácnými plyny jako je argon, krypton, xenon [25].



Obr. č. 10: Schématické znázornění principu ionizační komory pro detekci toku ionizujícího záření [25]

## 6. RADIOAKTIVNÍ PRVKY

Atomová jádra některých nuklidů mají přebytek energie, jsou nestabilní a přeměňují se postupně na jádra stabilnější. Přitom je přebytek energie uvolněn ve formě jaderného záření. Nuklidy s takovou vlastností se nazývají radionuklidy. Podle způsobu vzniku rozlišujeme přírodní radionuklidy (např.  $^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$ ), které vznikly (nebo vznikají) nezávisle na lidské činnosti, a radionuklidy uměle vytvořené, v přírodě se nevyskytující (transurany). Jedním z přírodních radionuklidů, přítomných ve stopovém množství (jednotka ppm = gramy prvku na tunu horniny) ve všech horninách a zeminách, je uran ( $^{238}\text{U}$ ). Rozpadem uranu vznikají další radioaktivní prvky s postupně se zvyšující stabilitou jádra. Tyto prvky tvoří tzv. uranovou rozpadovou řadu, jejíž součástí je i plyn radon. Kromě uranové rozpadové řady existují i další rozpadové řady, např. thoriová s výchozím členem  $^{232}\text{Th}$ . Radioaktivní rozpad prvků probíhá buďto vyzařením částice alfa (jádra hélia  $^4_2\text{He}^{2+}$ ), částice beta (jeden elektron), případně doplňujícího záření gama (elektromagnetické záření) a kvalitativní změnou původního prvku na jiný nový prvek s nižším atomovým číslem [26].

### 6.1. Uran

#### 6.1.1. Výskyt a vlastnosti

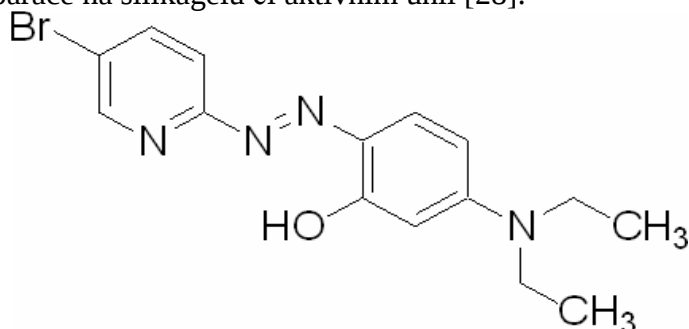
Radioaktivní prvek uran patří do skupiny prvků periodické tabulky nazývané aktinoidy. Je jedním ze tří aktinoidů vyskytující se v přírodě. Uran byl objeven v roce 1789 německým chemikem M. Klaprothem, který jej izoloval z uranitu  $\text{U}_3\text{O}_8$  (tato ruda je častěji označována jako smolinec). Stabilně se v přírodě vyskytují dva izotopy uranu  $^{238}\text{U}$  a  $^{235}\text{U}$ . V malém měřítku se uran již dlouho využívá pro barvení skla a keramiky, ale jeho jediné skutečně významné využití je jako jaderné palivo. Hlavním rysem aktinoidů, tedy i uranu, je jejich nukleární nestabilita, která se projevuje radioaktivitou [27].

#### 6.1.2. Stanovení uranu spektrofotometricky

Spektrofotometrické metody se používají při stanovení stopového množství uranu v kapalném vzorku, nebo po převedení na kapalnou fázi. Pro stanovení se využívá schopnost uranu tvořit cheláty a iontové asociáty schopné intenzivní absorpce UV/VIS záření. Pro stanovení uranu se využívá několik činidel, např. heterocyklická azobarviva, arsenazo III, chlorfosfonazo III, skupina chromazurolů, thiokyanatanu a jiné. Pro velký počet činidel je v práci uvedena pouze nejpoužívanější metoda a to s využitím heterocyklického azobarviva (Br-PADAP) [28].

#### 6.1.2.1. Stanovení uranu pomocí heterocyklických azobarviv

Při reakci těchto azobarviv s uranem vznikají výrazně barevné přechody. Tyto reakce jsou mnohem selektivnější než u jiných azobarviv. Při stanovení malého množství uranu je nutné oddělení uranu od doprovodných prvků nebo použití směsí maskovacích činidel. Často se provádí i separace na silikagelu či aktivním uhlí [28].



Obr. č. 11: Br-PADAP [29]

Nejcitlivějším činidlem této skupiny je 2-(5-bromo-2-pyridylazo)-5-diethylaminofenol (Br-PADAP). Při reakci uranu s tímto činidlem vzniká žlutě zbarvený komplex. Optimální podmínky při reakci jsou, pH kolem 7,1 až 8,1, tato hodnota se zajišťuje přidáním pufru, často triethanolaminového (pH = 7,6). Využívá se etanolového prostředí, ideální je kolem 48 %. Přítomnost směsi maskovacích činidel fluoridu sodného a sulfosalicylanu sodného, eliminuje nepřesnost měření, způsobenou rušivými ionty např. Zr, Ce, Fe, V a jiné. Vlnová délka se volí kolem 580 nm. Absorbance se měří po 40 min. Vhodná je extrakce uranu tri-n-oktyl-fosfinoxidem s 2 M kyselinou dusičnou v přítomnosti kyseliny askorbové a fluoridů, kde dochází k redukci  $Ce^{4+}$   $Fe^{3+}$ ,  $V^{5+}$  kyselinou askorbovou a maskování  $Zr^{4+}$  a  $Th^{4+}$  fluoridem. Reakční mechanismus Br-PADAP s uranem závisí na pH a na přítomnosti jiných aniontů. V kyselém prostředí vzniká komplex. Ten se extrahuje do chloroformu a jiných nepolárních rozpouštědel, např. hexanu [28].

Existuje mnoho dalších heterocyklických azobarviv, ale (Br-PADAP) je nejcitlivější a jeho použití převládá.

#### 6.1.2.2. Dělení na silikagelu

Pro analýzu uranu ve složitějších matricích je za potřebí zpravidla separace od doprovodných prvků, protože vysoce citlivá činidla mají na uran omezenou selektivitu. V laboratořích v Dolní Rožínce se využívá separace na silikagelu, ale existuje více možností, jako je separace na anexech v přítomnosti kyseliny sírové nebo uhličitanu, nebo na katexech.

Na aktivovaný silikagel se uran sorbuje ve slabě alkalickém prostředí při pH 9,3 společně s Be, Ti a Sn v přítomnosti EDTA a vinanu, které maskují velký počet iontů, doprovázejících uran. Po promytí sloupce silikagelu vodou nebo roztokem vinanu a EDTA se uran vymyje koncentrovanou HCl nebo 2 M  $H_2SO_4$ . Při vyšších koncentracích doprovodných prvků (např. Fe, Al, Cr, Mn, Co, Ni, Zn) v amoniakálním prostředí se EDTA respektive vinanové hydroxokomplexy sorbují rovněž na sloupci silikagelu a mohou po eluci ze sloupce působit rušivě při následném stanovení uranu. Také se provádí sorpce U při pH 5 z prostředí EDTA, kyseliny vinné. Sloupec se promyje roztokem chloridu sodného, amonného, EDTA a kyselinou vinnou a zadržený uran se vymyje 3 M kyselinou octovou [29].

### 6.1.3. Stanovení uranu pomocí izotopové spektrální analýzy

V roce 1947 byl zjištěn velký izotopický posuv několika čar uranu a to až o 0,014 nm. Toto zjištění ihned vyvolalo zájem spektrometrů a položilo základ k velkému množství prací, zabývajících se spektrálním stanovením izotopického složení uranu. Používalo se různých zdrojů záření, mezi jinými i obyčejného stejnosměrného oblouku. Později byl studován výboj v duté katodě, spojující v sobě výhody stability záření, úzké čáry a dostatečný jas. Spektrum bylo registrováno různými metodami, nejvíce se využívala fotoelektrická registrace [14].

Spektrum uranu je tak bohaté na spektrální čáry, že je nutno používat spektrálních přístrojů s vysokou rozlišovací schopností. Při výběru spektrálních čar je důležité mít na paměti, že jádro  $^{235}\text{U}$  má spin 5/2 a mnoho jeho spektrálních čar je rozšířeno vzhledem k nerozlišené hyperjemné struktuře [14].

### 6.1.4. Stanovení uranu pomocí plamenové atomové absorpční spektrometrie (F-AAS)

Nejcitlivější spektrální čáry uranu se nacházejí na 358,5 nm a 356,7 nm. Na vlnové délce 358,5 nm je citlivější, bohužel je to také oblast kde se vyskytují absorpční pásy CN radikálu, který vzniká chemickou reakcí v plameni a jenž způsobuje problémy s přesností stanovení. Proto se uran častěji stanovuje při vlnové délce 356,7 nm. Další možností je uran stanovit při vlnové délce 351,5 nm plamenem acetylen-oxid dusný. Ale i s použitím této teploty je citlivost poměrně nízká. Ionizace uranu v plameni acetylen-oxid dusný je přibližně 45 %, proto se často přidává činidlo pro potlačení ionizace, přidáním činidla nelze zcela zamezit ionizaci, nastává však výrazné zlepšení absorpce. Jeden gram chloridu draselného na jeden litr analyzovaného roztoku postačuje k potlačení ionizace. Další metodou zvýšení citlivosti stanovení je možnost přidání kovu, který tvoří v plameni stabilní oxidy. Mezi tyto kovy patří hliník, titan a galium. Tyto prvky zachytí dostupný kyslík v plameni s větší pravděpodobností než uran a tím je posunuta rovnováha na stranu neionizovaného uranu [17].

### 6.1.5. Stanovení uranu pomocí atomové absorpční spektrometrie s elektrotermickou atomizací (ET-AAS)

Atomizace uranu v grafitovém atomizátoru se zdá být komplikovaný proces, protože uran je jeden z prvků s nejnižší citlivostí v AAS. Citlivost metody pro stanovení uranu je nepříznivě ovlivněna tvorbou velkého množství stabilních oxidů  $\text{U}_3\text{O}_8$ ,  $\text{U}_3\text{O}_5$  a  $\text{U}_2\text{O}_4$  případně  $\text{UO}_2$ . Také vznik žáruvzdorných karbidů UC a  $\text{UC}_2$  nepříznivě ovlivňuje stanovení, snižují detekční limit a zároveň mají za následek značný paměťový efekt. Potřebná teplota k rozložení karbidů se pohybuje mezi 3000 až 4000 °C, tato teplota je ale vyšší, než sublimační teplota grafitu [17].

Aby se zajistila vyšší citlivost a životnost atomizátoru ET-AAS, používají se různé chemické modifikátory. Byla vyvinuta metoda stanovení stopových koncentrací uranu pomocí ET-AAS v přítomnosti plutonia, jakožto hlavního prvku matrice. Tato metoda vykazuje dostatečnou přesnost a citlivost stanovení. Stanovení uranu ET-AAS není v praxi příliš rozšířeno, z důvodu tvorby již zmíněných oxidů a karbidů a také díky vysokému paměťovému efektu [17].

#### **6.1.6. Stanovení uranu pomocí emisní atomové spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem (ICP-OES)**

Atomová emisní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem (ICP-OES) je široce uznávána metoda pro stanovení kovů, pro její vysokou citlivost a selektivitu. Stanovení uranu metodou ICP-OES není ovlivněno interferencí způsobených tvorbou karbidů a oxidů uranu. Teplota plazmatu 6000 K je dostatečně vysoká, aby bylo možno atomizovat molekulu UO. Tímto efektem lze vysvětlit dobrou citlivost OES-ICP pro stanovení koncentrace uranu [30].

Stanovení uranu metodou ICP-OES je obtížné vzhledem k spektrálním interferencím způsobenými jinými prvky. Většina prvků vzácných zemin a thoria může rušit stanovení uranu při 10krát vyšší koncentraci. Vápník, železo, vanad a zirkon silně ovlivňují emise uranu. Pro správné měření emisí uranu metodou ICP-OES je nutné najít vhodné vlnové délky s vysokou citlivostí a nízkou interferencí způsobenou prvky matrice. Při výběru spektrální čáry je třeba vzít v úvahu poměr intenzity pozadí, mez detekce a spektrální interference prvků matrice. Je důležité zdůraznit, že rušící účinky způsobené kontaminanty v matrici, budou záviset na typu vzorku, na koncentraci uranu ve vzorku a na koncentraci kontaminantů obsažených v matici [31].

#### **6.1.7. Stanovení uranu pomocí hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem (ICP/TOF-MS)**

ICP-MS se používá pro stanovení izotopového zastoupení uranu ve vzorku. Tato metoda má velmi vysokou selektivitu a citlivost. Nejsnadněji probíhá analýza izotopu  $^{238}\text{U}$ , který je nejhojněji zastoupen v přírodě. Analýza izotopu  $^{235}\text{U}$  probíhá také relativně snadno. Pro stanovení izotopu  $^{234}\text{U}$  musí předcházet zakoncentrování vzorku, ale běžně se tento izotop nestanovuje. Interference mohou nastat při blízké atomové hmotnosti interferentů a izotopů uranu. Tato nepřesnost se však projeví pouze u přístrojů s malou rozlišovací schopností. Aplikace letové trubice TOF tuto interferenci eliminuje. Laserová ablace tedy zaručuje vysokou rychlost analýzy, neboť se pevný vzorek nemusí převádět do kapalně fáze. Kapalně vzorky dříve podléhaly interferenci vlivem rozpuštěných solí, tento problém však v nových metodách odstraňuje letová trubice. Dá se tedy předpokládat, že hmotnostní spektrometrie se bude nadále rozvíjet a především tuto metodu bude využívat čím dál více laboratoří [32].

#### **6.1.8. Stanovení uranu pomocí luminiscenční spektrometrie**

Luminiscenční spektrometrie se používá pro stanovení koncentrace uranu ve vzorcích povrchové, pitné a odpadní vody. Metoda stanovení je založena na měření intenzity emitovaného fosforescenčního záření uranových iontů ( $\lambda = 530 \text{ nm}$ ) při jeho excitaci UV zářením. Pro zesílení fosforescence se do roztoku přidává křemičitan sodný ( $\text{pH} = 8\text{-}10$ ). Pro odstranění rušivých vlivů způsobených rychlou fluorescencí doprovodných složek matrice se využívá odečet fosforescenčního signálu v přesně definovaném časovém úseku po excitačním pulzu xenonové výbojky (time resolving mode). Případné zhášení fosforescence je možné eliminovat naředěním vzorku [22].

## 6.2. Radium

### 6.2.1. Výskyt a vlastnosti radia

Z radiohygienického hlediska patří radium a radon mezi významné zdroje radiačního zatížení populace. Do životního prostředí se dostávají ze zemské kůry, jejich koncentrace je proto závislá na geologickém složení lokality a meteorologických podmínkách.

| Člen řady | Z  | A   | Záření                                | $t_{1/2}$           |
|-----------|----|-----|---------------------------------------|---------------------|
| U<br>↓    | 92 | 235 | $\alpha$                              | $7,13 \cdot 10^8$ r |
| Th<br>↓   | 90 | 231 | $\beta$                               | 24,6 h              |
| Pa<br>↓   | 91 | 231 | $\alpha$                              | $3,4 \cdot 10^4$ r  |
| Ac        | 89 | 227 | $\alpha$ (1,2 %), $\beta$             | 22 r                |
| Fr        | 87 | 223 | $\alpha$ , $\beta$ ( $\approx 100$ %) | 21 min              |
| Th        | 90 | 227 | $\alpha$                              | 18,6 d              |
| At        | 85 | 219 | $\alpha$ (97 %), $\beta$              | 0,9 min             |
| Ra        | 88 | 223 | $\alpha$                              | 11,2 d              |
| Bi        | 83 | 215 | $\beta$                               | 8 min               |
| Rn        | 86 | 219 | $\alpha$                              | 3,92 s              |
| Po        | 84 | 215 | $\alpha$ ( $\approx 100$ %), $\beta$  | 0,001 83 s          |
| Pb        | 82 | 211 | $\beta$                               | 36,1 min            |
| At        | 85 | 215 | $\alpha$                              | $10^{-4}$ s         |
| Bi        | 83 | 211 | $\alpha$ (99,68 %), $\beta$           | 2,16 min            |
| Tl        | 81 | 207 | $\beta$                               | 4,79 min            |
| Po        | 84 | 211 | $\alpha$                              | 0,52 s              |
| Pb        | 82 | 207 | stabilní                              |                     |

Obr.č.12.: Rozpadová řada uranu  $^{235}\text{U}$  [33]

K významnému zvýšení jejich koncentrace ve vodách či v ovzduší dochází často v souvislosti s lidskou činností. Jako příklad lze uvést vliv zvýšené objemové aktivity radia v odpadních vodách z těžby a zpracování uranové rudy na jeho koncentraci v povrchových a podzemních vodách. Kromě častých vysokých objemových aktivit radonu v dolech a dalších podzemních prostorách se zdraví škodlivé koncentrace radonu mohou vyskytovat i v obytných prostorách, zejména v budovách s nekvalitní izolací spodní stavby vystavěných na podloží se zvýšeným obsahem radia nebo v budovách vystavěných z druhotných surovin se zvýšeným obsahem radia (např. z tvárnic vyrobených z elektrárenských popílků ze spalování uhlí se zvýšeným obsahem uranu). Z hlediska svých fyzikálních a chemických vlastností je radium, jako nejtěžší prvek skupiny vzácných zemin, nejbližší baryu. Vystupuje výlučně v oxidačním stavu  $\text{Ra}^{2+}$ , v roztoku vytváří bezbarvý kationt  $\text{Ra}^{2+}$ . Z celé řady známých izotopů radia se v přírodě vyskytují čtyři:  $^{223}\text{Ra}$  ( $T_{1/2} = 11,434$  dne),  $^{224}\text{Ra}$  ( $T_{1/2} = 3,62$  dne),  $^{226}\text{Ra}$  ( $T_{1/2} = 1600$  r) a  $^{228}\text{Ra}$  ( $T_{1/2} = 5,75$  r). Až na poslední z nich, který je zářičem  $\beta^-$ , jsou všechny uvedené isotopy zářiči  $\alpha$ . Všechny přirozené isotopy radia v přírodě vznikají postupnou radioaktivní přeměnou z mateřských nuklidů přirozených rozpadových řad. Vzhledem ke svému dlouhému poločasu radioaktivní přeměny a korpuskulárnímu charakteru emitovaného záření je z uvedených izotopů radia radiohygienicky nejvýznamnějším  $^{226}\text{Ra}$ . Přeměnou přirozených izotopů radia vznikají další radionuklidy, z nichž největší význam mají izotopy vzácného plynu radonu [34].

### 6.2.2. Stanovení radia scintilačně

Pro stanovení  $^{226}\text{Ra}$  v jednotlivých složkách životního prostředí byla popsána celá řada přímých i nepřímých radioanalytických postupů, které využívají

- detekce záření  $\alpha$  emitovaného  $^{226}\text{Ra}$  a jeho rozpadovými produkty ( $^{222}\text{Rn}$ ,  $^{218}\text{Po}$ ,  $^{214}\text{Po}$ )
- detekce záření  $\beta^-$  rozpadových produktů  $^{226}\text{Ra}$  ( $^{214}\text{Bi}$ ,  $^{214}\text{Pb}$ ) nebo
- detekce záření  $\gamma$  emitovaného při přeměně  $^{226}\text{Ra}$  a jeho rozpadových produktů ( $^{214}\text{Bi}$ ,  $^{214}\text{Pb}$ ).

Metody využívající měření záření  $\beta^-$  jsou používány poměrně zřídka, a to prakticky výlučně při kombinovaném měření záření  $\alpha$  a  $\beta^-$  pomocí kapalných scintilátorů. Citlivost těchto metod je pro měření přírodních koncentrací  $^{226}\text{Ra}$  poměrně nízká. Metody využívající detekce záření  $\gamma$  se používají zejména při nedestruktivní analýze pevných objemových vzorků. Nejcitlivější a nejpoužívanější metody využívají detekce záření  $\alpha$ . Lze je rozdělit na metody přímé, v nichž se měří jen  $^{226}\text{Ra}$  nebo  $^{226}\text{Ra}$  v rovnováze s rozpadovými produkty, a nepřímé, v nichž se měří pouze záření  $\alpha$  rozpadových produktů  $^{226}\text{Ra}$ . Obecnou nevýhodou těchto metod je nutnost separovat, případně i koncentrovat  $^{226}\text{Ra}$ . U přímých (nespektrometrických) metod je další nevýhodou interference ostatních izotopů radia. Korekce na isotopické složení je totiž v případě radia složitá, protože na rozdíl od stabilních elementů není zastoupení izotopů radia v přirozené směsi konstantní, ale závisí na poměru koncentrací uranu a zdroji radia, na stáří analyzovaného vzorku (době, která uplynula od uvolnění radia ze zdroje do okamžiku měření), případně na rychlosti uvolňování jednotlivých izotopů radia z jejich zdrojů [34].

#### 6.2.2.1. Emanometrické nepřímé stanovení radia

Základní nepřímou metodou stanovení  $^{226}\text{Ra}$ , využívající detekce záření  $\alpha$  jeho rozpadových produktů, je metoda emanometrická. Předností této metody je selektivita, vysoká citlivost a reprodukovatelnost stanovení; proto je považována za metodou rozhodčí. Princip emanometrického stanovení  $^{226}\text{Ra}$  spočívá v tom, že jeho koncentrace se vypočte z aktivity jeho prvního dceřiného produktu  $^{222}\text{Rn}$ , kvantitativně převedeného z analyzovaného vzorku do vhodného měřicího zařízení, změřené v rovnováze s jeho dalšími dceřinými radionuklidy. Nutnou podmínkou je při tomto stanovení přesná znalost stupně ustavení radioaktivní rovnováhy mezi  $^{226}\text{Ra}$  a  $^{222}\text{Rn}$  [34].

#### 6.2.2.2. Převedení pevného vzorku na emanační roztok

Aby bylo možno zajistit kvantitativnost převedení  $^{222}\text{Rn}$  ze vzorku do měřicího zařízení, vychází se při emanometrickém stanovení  $^{226}\text{Ra}$  vždy z kapalného vzorku. Pevné vzorky před analýzou obvykle převádíme do formy roztoku (emanační roztok), v některých výjimečných případech je můžeme analyzovat přímo jako taveniny. Převod  $^{226}\text{Ra}$  z pevných vzorků do emanačního roztoku je možno v zásadě provést dvěma způsoby:

- úplně rozpustit navážku analyzovaného materiálu a vzniklý roztok použít k emanometrickému stanovení
- do emanačního roztoku převést pouze isotopy radia, oddělené z původního vzorku např. stržením na baryum.

V obou případech musí být výsledný roztok čirý, bez koloidních částic, stáním z něj nesmí vypadávat sraženina a nesmí docházet k adsorpci radia na stěnách nádoby. Pokud je objem analyzovaného vzorku (emanačního roztoku) dostatečně malý vzhledem k používanému detektoru, je možno  $^{222}\text{Rn}$  přímo kvantitativně převést (deemanovat) do detektoru. Při analýze vzorků, jejichž objem je souměřitelný s objemem používaného detektoru, je v některých případech možno použít tzv. cirkulační metodu. V tomto případě je  $^{222}\text{Rn}$ , stržený s nosným plynem, cirkulován mezi deemanační nádobkou a detektorem do ustavení rovnovážné koncentrace radonu v celém okruhu. Měřena je potom tedy pouze aktivita části  $^{222}\text{Rn}$  dané poměrem objemu detektoru a celého okruhu. Pokud je objem analyzovaného roztoku velký, nebo koncentrace radia v něm příliš nízká, je třeba provést koncentrování  $^{226}\text{Ra}$  nebo  $^{222}\text{Rn}$ . Metody koncentrování radonu jsou popsány níže, pro koncentrování radia se při emanometrickém stanovení obvykle používá jeho spolusrážení s některou nerozpustnou sloučeninou barya nebo vápníku. Nejčastější je přitom spolusrážení s vápenatou solí kyseliny trihydrogenfosforečnano-dodekamolybdenové za přítomnosti polyethylenglykolu, případně spolusrážení se síranem barnatým. Vzniklé sraženiny se obvykle rozpustí v alkalickém roztoku Komplexonu 3 a přímo použijí jako emanační roztok. Jak bylo uvedeno výše, je při emanometrickém stanovení  $^{226}\text{Ra}$  jeho koncentrace počítána ze změřené aktivity  $^{222}\text{Rn}$  v rovnováze s jeho dceřinými radionuklidy [34].

### 6.3. Radon

Radon vzniká radioaktivní přeměnou z mateřského izotopu  $^{226}\text{Ra}$  vzniklého rozpadem  $^{238}\text{U}$ , který je v různém množství obsažen v zemské kůře. Na rozdíl od ostatních prvků uran-radiové rozpadové řady je radon inertní radioaktivní plyn se schopností pronikat zemskou kůrou k jejímu povrchu až do atmosféry [34].

Jsou-li radon a jeho rozpadové produkty vdechnuty (samotné nebo usazené na aerosolové nebo prachové částice), v dýchacích cestách, případně v plicních sklípcích se rozpadají, přičemž „bombardují“ tenkou plicní sliznici vysokými rozpadovými energiemi (alfa, beta rozpad). Tyto matečné buňky, které zajišťují regeneraci výstelky, jsou zásahem záření usmrčeny nebo poškozeny mutacemi, které se kumulují a po překročení určité meze vzniká při dělení nefunkční, nekoordinovaně se množící rakovinová buňka. Je prokázáno, že v případě dlouhodobého působení radonu a jeho dceřiných rozpadových produktů na plíce se prudce zvyšuje možnost vzniku rakoviny. Odhaduje se, že asi 16 % případů zhoubných nádorů plic připadá na choroby z ozáření radonem a jeho rozpadovými produkty [34].

#### 6.3.1. Výskyt a vlastnosti radonu

Radon, prvek s atomovým číslem 86, je nejtěžším homologem skupiny vzácných plynů. Bod varu radonu je  $-61,80\text{ }^{\circ}\text{C}$ , bod tání  $-71\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Z jeho fyzikálně - chemických vlastností je významná snadná sorpce na aktivním uhlí a silikagelu, která umožňuje dělení radonu od vodíku,  $\text{CO}_2$  a ostatních vzácných plynů. Radon je sice částečně rozpustný ve vodě, nicméně ve srovnání s jeho rozpustností v organických rozpouštědlech (toluen, hexan, benzen, alkoholy) je jeho rozpustnost ve vodě nízká. Z hlediska stanovení je významná zejména jeho rozpustnost v toluenu, který je základem řady kapalných scintilátorů. Plyný radon se vyznačuje velmi vysokou difusní schopností, snadno proniká betonem (vrstva betonu o tloušťce 10 cm zadrží pouze 10 % radonu), gumou, řadou umělých hmot, a dokonce i některými kovy (např. Woodovým kovem). Ke ztrátám radonu může dojít i adsorpcí na skle. Z celé řady známých izotopů radonu se v přírodě vyskytují tři:  $^{219}\text{Rn}$  (aktinon, dceřiný produkt  $^{223}\text{Ra}$ ,  $T_{1/2} = 3,96\text{ s}$ ),  $^{220}\text{Rn}$  (thoron, dceřiný produkt  $^{224}\text{Ra}$ ,  $T_{1/2} = 55,6\text{ s}$ ) a  $^{222}\text{Rn}$  (dceřiný produkt  $^{226}\text{Ra}$ ,  $T_{1/2} = 3,825\text{ dne}$ ). Všechny tyto izotopy radonu jsou členy přirozených rozpadových řad a jsou zářiči  $\alpha$ . Radiohygienicky nejvýznamnějším je z uvedených izotopů radonu  $^{222}\text{Rn}$ , který má nejen nejdelší poločas radioaktivní přeměny, ale jeho koncentrace v přírodě jsou v průměru cca 10krát vyšší, než koncentrace thoronu. Přeměnou přirozených izotopů radonu vzniká řada dalších radionuklidů, jejich genetické souvislosti v uranové rozpadové řadě, jejímž členem je i  $^{222}\text{Rn}$ , jsou znázorněny na obrázku 12. [34].

#### 6.3.2. Stanovení radonu scintilačně

Pro měření koncentrace  $^{222}\text{Rn}$  byla popsána celá řada přímých i nepřímých radioanalytických postupů, které využívají

- detekce záření  $\alpha$  emitovaného  $^{222}\text{Rn}$  a jeho rozpadovými produkty ( $^{218}\text{Po}$ ,  $^{214}\text{Po}$ )
- detekce záření  $\beta^-$  rozpadových produktů  $^{222}\text{Rn}$  ( $^{214}\text{Bi}$ ,  $^{214}\text{Pb}$ ) nebo
- detekce záření  $\gamma$  emitovaného při přeměně rozpadových produktů  $^{222}\text{Rn}$  ( $^{214}\text{Bi}$ ,  $^{214}\text{Pb}$ ).

Metody využívající měření záření  $\beta^-$  jsou používány poměrně zřídka, a to prakticky výlučně při kombinovaném měření záření  $\alpha$  a  $\beta^-$  pomocí kapalných scintilátorů. Metody využívající detekce záření  $\gamma$  se pro vlastní stanovení radonu používají zcela výjimečně, běžné je jejich použití pro stanovení emanační schopnosti pevných vzorků (schopnost látek obsahujících radium, uvolňovat do okolí část vznikajícího radonu). Nejcitlivější a nejpoužívanější jsou metody využívající detekce záření  $\alpha$ . Lze je rozdělit na metody přímé, v nichž se měří jen  $^{222}\text{Rn}$  nebo  $^{220}\text{Rn}$  v rovnováze s rozpadovými produkty, a nepřímé, v nichž se měří pouze záření  $\alpha$  rozpadových produktů  $^{222}\text{Rn}$  [34].

#### **6.3.2.1. Nepřímé stanovení radonu**

Při nepřímých metodách stanovení je ke koncentrování kladně nabitých iontů  $^{218}\text{Po}$  a  $^{214}\text{Po}$ , vzniklých při postupných přeměnách  $^{222}\text{Rn}$ , možno využít např. elektrodepozice na záporně nabitě elektrodě. Vlastní měření záření  $\alpha$   $^{218}\text{Po}$  a  $^{214}\text{Po}$  se potom provádí např. pomocí křemíkových detektorů s povrchovou bariérou. Druhý způsob využívá skutečnosti, že kladné ionty dceřiných produktů  $^{222}\text{Rn}$  jsou ve vzduchu vázány na jemné prachové částice, které lze zachytit na vhodný filtr [34].

#### **6.3.2.2. Přímé stanovení radonu**

Při přímých metodách stanovení je po převedení radonu do detektoru třeba se započítím měření vyčkat do ustavení radioaktivní rovnováhy mezi  $^{222}\text{Rn}$  a jeho krátkodobými rozpadovými produkty. K praktickému ustavení rovnováhy dojde za cca 3 až 4 hodiny (7 až 9 násobek poločasu radioaktivní přeměny  $^{214}\text{Pb}$ , nuklidu s nejdelším poločasem z krátkodobých rozpadových produktů  $^{222}\text{Rn}$ ). K vlastnímu měření se používají buď vnitřní plynové detektory (proudové nebo impulsní ionizační komory, proporcionální nebo koronové detektory), kapalinové scintilační spektrometry nebo scintilační detektory Lucasova typu. Praktické použití některých vnitřních plynových detektorů (zejména proporcionálních a koronových) je omezeno vysokými nároky na čistotu pracovního plynu, širší použití našly v poslední době zejména impulsní ionizační komory. Výhodou použití kapalinových scintilačních spektrometrů je prakticky 100% účinnost detekce jak záření  $\alpha$ , tak i záření  $\beta$   $^{222}\text{Rn}$  (rozpuštěného přímo v kapalném scintilátoru) a jeho rozpadových produktů. Moderní měřicí systémy překonaly i hlavní z dřívějších nevýhod tohoto způsobu měření - vyšší pozadí [34].

#### **6.3.2.3. Stanovení radonu pomocí scintilátoru Lucasova typu**

Nejmodernější a v České republice standardní, metodou je měření  $^{222}\text{Rn}$  pomocí scintilačních detektorů Lucasova typu. Detektory jsou obvykle komůrky válcového tvaru, mají objem 100 až 200 cm<sup>3</sup>, v horní části jsou opatřeny jedním nebo dvěma kohouty a jejich spodní část je uzavřena průhledným okénkem. Vnitřní stěny detektoru (kromě okénka) jsou pokryty vrstvou scintilátoru ZnS(Ag). Částice  $\alpha$ , emitované při rozpadu  $^{222}\text{Rn}$ ,  $^{218}\text{Po}$  nebo  $^{214}\text{Po}$ , interagují se scintilátorem za vzniku fotonů viditelného světla, které jsou po průchodu okénkem detektoru registrovány fotonásobičem. Při měření nižších koncentrací radonu je třeba prodloužit doby měření, pokud je koncentrace radonu ve vzduchu nižší než cca 5 mBq.l<sup>-1</sup>, je ho třeba zkoncentrovat z většího objemu vzorku [34].

#### 6.3.2.4. Zakoncentrování radonu ze vzduchu

Pro zakoncentrování radonu ze vzduchu, případně jeho oddělení od jiných plynů, se v zásadě používají dva způsoby:

➤ Adsorpce na aktivním uhlí, případně na silikagelu. Pro zvýšení účinnosti se adsorpce často provádí při snížené teplotě, k chlazení adsorbéru se používá suchý led (tuhý oxid uhličitý), případně kapalný vzduch nebo dusík. Desorpce z aktivního uhlí i silikagelu nastává až při zvýšené teplotě (350-500 °C, respektive 1000 °C). V terénu nasorbovaný vzorek je tedy možno dopravit zpět do laboratoře i při pokojové teplotě [34].

➤ Vymražení při teplotě kapalného vzduchu nebo dusíku (-190 °C respektive -196 °C). Provádí se např. prosáváním plynu dlouhou spirálou naplněnou skleněnými kuličkami a ponořenou v chladicím mediu. Pro převedení radonu do měřicího zařízení stačí zahřát spirálu na pokojovou teplotu. Vlastní měření, včetně oprav na rozpad radonu před započítáním a během měření se provádí obdobně, jako při stanovení radia. Při emanometrickém stanovení  $^{226}\text{Ra}$  se  $^{222}\text{Rn}$  vzniklý ve vzorku z  $^{226}\text{Ra}$  obvykle převádí do detektoru pomocí deemančního systému. Nejprve se (při odpojení scintilačního detektoru) vodný vzorek převede do emanační nádoby a dokonale se deemanuje probubláním vhodným plynem o objemu rovném minimálně čtyřnásobku objemu vzorku. Použitý plyn musí být předem skladován po dobu potřebnou k rozpadu veškerého radonu (plyn musí být "vystárlý"), který by v něm mohl být případně přítomen (minimálně čtyři týdny). Emanační nádoba se uzavře, uskladní a zaznamená se čas. Aktivita  $^{222}\text{Rn}$  nahromaděného v emanační nádobce se měří po uplynutí několika dní [34].

## 7. KOVOVÉ PRVKY

Pro stanovení většiny kovů se nejběžněji využívá plamenová AAS, pro kovy které vytváří s činidly barevné roztoky je možno použít MAS. Pro ukázkou je uvedeno stanovení manganu a železa. Ostatní kovy např. kobalt, nikl, měď, zinek, kadmium a olovo se nejčastěji stanovují AAS založenou na stejném principu [35].

### 7.1. Mangan

Přítomnost malých množství manganu v organismu a jeho pravidelný přísun v potravě je nezbytné pro jeho správnou funkci. Naopak přebytek manganu v potravě působí negativně především na nervovou soustavu a působí potíže podobné projevům Parkinsonovy nemoci [35].

#### 7.1.1. Stanovení manganu pomocí plamenové atomové absorpční spektrometrie (F-AAS)

Zřejmě nejkvalitnější metodou stanovení koncentrace manganu ve vodách, případně dalších matricích, je AAS. Výhodou je prakticky specifické stanovení veškerého manganu obsaženého ve všech jeho formách. Spálením vzorku v kyslíko-acetylenovém plameni dochází k měření veškerých přítomných atomů manganu při specifické vlnové délce 279,5 nm. V tomto případě prakticky nerozhoduje to, v podobě jakých sloučenin se mangan ve vodě vyskytoval, neboť při vysoké teplotě plamene dochází k jejich atomizaci [35].

### 7.1.2. Stanovení manganu pomocí molekulové absorpční spektrometrie (MAS)

Mangan se ve vodách stanovuje v zásadě fotometricky nebo metodou atomové absorpční spektrofotometrie. Pro laboratoře, které nedisponují instrumentálním vybavením pro stanovení manganu metodou AAS, jsou vhodné metody fotometrické. Principem je oxidace sloučenin manganu na manganistanový anion, nejčastěji peroxodisíranem amonným nebo draselným a následné stanovení intenzity jeho růžového zabarvení. Reakce probíhá v kyselém prostředí za katalýzy ionty  $\text{Ag}^+$ . Kromě stříbra je nutná přítomnost iontů rtuťnatých, které slouží k maskování případně přítomných chloridů. Další fotometrické metody využívají schopnosti manganu tvořit barevné sloučeniny s některými látkami. Fotometrické metody mají uplatnění zejména v provozních laboratořích a v terénních setech, které umožňují jednoduchým způsobem, změřit koncentraci manganu s relativně dostatečnou přesností a správností. Zcela jistě dochází k tomu, že nejsou stanoveny všechny formy manganu, zejména pokud je vázán v komplexech s organickými látkami huminového charakteru. Ke zkoušenému objemu vzorku se přidají činidla s přídatkem standardu manganu a roztok formaldoximu. Intenzita zbarvení oranžově-červeného komplexu se stanovuje na spektrofotometru při vlnové délce 450 nm v kyvetách o optické dráze 50 mm. Komplex je stabilní při pH v rozmezí 9,5 – 10,5 a intenzita zabarvení je úměrná obsahu manganu [35].

## 7.2. Železo

K toxickému působení železa dochází jeho postupnou akumulací ve střevě v průběhu života. Toxicita železa při hemochromatóze má klasickou triádu, do které patří diabetes, zvýšená pigmentace kůže a cirhóza jater. Projevy ukládání nadbytku železa ve tkáních jsou únava, charakteristické změny barvy kůže, poruchy funkce kloubů, poruchy srdečního rytmu, dále dochází k snížené funkci štítné žlázy a atrofii varlat [35].

### 7.2.1. Stanovení železa a ostatních kovových prvků pomocí plamenové atomové absorpční spektrometrie (F-AAS)

Atomová absorpční spektroskopie je metoda kvantitativní elementární analýzy pro více než 60 prvků (převážně kovových). Vyznačuje se vysokou citlivostí a je pro prvek specifická tzn. že lze stanovit prvek i v přítomnosti velkého přebytku doprovodných látek, bez předchozích složitějších separací a úprav [35].

Záření, které vychází ze zdroje a prochází absorpčním prostředím, vstupuje do monochromátoru. Vhodným nastavením polohy monochromátoru se výstupní šterbinou vyizoluje ze spektra zdroje úzká část vlnových délek (monochromatické záření). Záření neabsorbované vzorkem pak dopadá na detektor, který přeměňuje zářivou energii na elektrický proud. Ten je dále zesílen a měřen na odečítacím přístroji (mikroampérmetr, měrný potenciometr, zapisovač, nebo digitální voltmetr). Postup je téměř totožný u většiny těžkých kovů, jako jsou měď, kobalt, zinek a jiné [35].

### 7.2.2. Stanovení železa pomocí molekulové absorpční spektrometrie (MAS)

Ze všech fotometricky stanovitelných prvků bylo na stanovení železa popsáno nejvíce reakcí např.: s rhodanidem, 1,10-fenantrolinem, bathofenantrolinem, 2,2'-dipyridylem, chelatonem 3 a peroxidem vodíku, ferronem nebo kyselinou sulfosalicylovou [35].

Ke spektrofotometrickému stanovení malých množství železa v nejrůznějších materiálech, včetně biologických, se využívá vzniku velmi intenzivního zbarvení komplexních sloučenin železitých iontů s rhodanidovým aniontem  $\text{SCN}^-$ . Této reakce se využívá i v kvalitativní analýze k důkazu  $\text{Fe}^{3+}$  iontů. Stanovení spočívá v převedení železa přítomného ve vzorku do formy  $\text{Fe}^{3+}$  oxidací v kyselém prostředí, vytvoření červeného komplexu účinkem rhodanidu amonného a změření absorpance vzniklého roztoku v oblasti vlnových délek 400 - 700 nm [35].

## 8. STANOVENÍ pH POTENCIOMETRICKY

Potenciometrií se označuje metoda využívající pro stanovení aktivity (koncentrace) sledované látky měření elektromotorického napětí elektrochemických článků, které nejsou proudově zatíženy (článkem protéká prakticky nulový proud). Je-li aktivita stanovované složky určována přímo z hodnoty elektromotorického napětí článku, jedná se o přímou potenciometrii (např. měření pH). Změny napětí článku v závislosti na přídatku titračního činidla využívá potenciometrická titrace. Grafickým záznamem titrace s potenciometrickou indikací je titrační křivka, což je závislost elektromotorického napětí článku na objemu přidaného titračního činidla [36].

Elektrochemické články používané při potenciometrických metodách se skládají ze dvou elektrod: elektrody měrné (indikační), jejíž potenciál je závislý na koncentraci stanovované látky, a elektrody referentní, jejíž potenciál je za daných podmínek konstantní. Jako referentní elektrody se používají např. elektrody chloridostříbrné, chloridortuťné (kalomelové) a merkurosulfátové; jako měrné pak většinou elektrody z kovu, jehož ionty jsou obsaženy v měřeném roztoku, nebo iontově selektivní elektrody membránové, z nichž nejznámější je elektroda skleněná [36].

K potenciometrickému měření napětí se nejčastěji používá článek tvořený pracovní skleněnou iontově-selektivní elektrodou a referentní elektrodou (nejčastěji chloridostříbrnou), které jsou ponořeny do měřeného roztoku. Velmi často se používá kombinovaná skleněná elektroda, ve které je celý článek spojený v jeden kompaktní celek [36].

U běžných pH metrů je obvyklé, že měřená hodnota napětí článku se po kalibraci rovnou přepočítává na pH, které je zobrazeno na displeji přístroje [36].

## 9. ZÁVĚR

Tato práce se zaměřuje na metody využívané při sledování kontaminace životního prostředí, jsou zde uvedeny metody, které se využívají v laboratořích v Dolní Rožínce i metody, které se prozatím v Dolní Rožínce nepoužívají z důvodu vysoké pořizovací ceny nebo jiných problémů, které jejich využití nedovolují. Práce se v největší míře zabývá stanovením radioaktivních prvků, a to z největší míry stanovením uranu. Nejcitlivější a nejrychlejší metoda pro stanovení uranu a většiny ostatních látek je hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem, avšak pořizovací náklady aparatury zatím nedovolují příliš mnoho laboratořím v ČR tuto metodu využívat. V laboratořích v Dolní Rožínce se využívá MAS s dělením na silikagelu; tato metoda má dostatečnou citlivost a je časově relativně nenáročná. Další moderní analytické metody se v Dolní Rožínce sice nevyužívají, ale především ICP-OES je velmi přesná a rychlá metoda. Bohužel i pořizovací cena ICP-OES je poměrně vysoká. Pro stanovení radia a uranu je nejvýhodnější využívat metodu scintilační, která využívá ionizujícího záření těchto radionuklidů. Scintilační metoda se využívá v Dolní Rožínce. Pro stanovení ostatních kovů jako je železo, mangan atd. je opět nejrychlejší a nejpresnější ICP-MS, ale nejčastěji se využívá F-AAS, její citlivost je dostatečná a pořizovací cena přijatelná. Do budoucna se dá předpokládat, že MS obsadí dominantní postavení mezi moderními analytickými metodami. V příloze na konci práce jsou uvedeny naměřené data po analýze důlní vody v oblasti obce Drahonín. Dále jsou v příloze monitorovány vodní toky Loučka a Hadůvka. Poslední část přílohy obsahuje grafy, ukazující změny v kontaminaci za posledních 15 let.

## 10. POUŽITÁ LITERATURA

- [1] POPL, M.: FÄHNRIK, J.: *Analytická chemie životního prostředí*. Praha: VŠCHT, 1999. 218 s.
- [2] *Meteocentrum.cz* [online]. 2009 [cit. 2011-03-03]. Složení atmosféry Země. Dostupné z: <<http://www.meteocentrum.cz/encyklopedie/slozeni-atmosfery-zeme.php>>.
- [3] PITTER, P.: *Hydrochemie*. Praha: VŠCHT, 1999. 568 s.
- [4] *Bezpecna voda.cz* [online]. 2010 [cit. 2011-03-03]. Kontaminace povrchové vody. Dostupné z: <<http://www.bezpecnavoda.cz/products/rizika-nakazy-z-vody-a-jejich-prevence/>>.
- [5] MALÝ, J. MALÁ, J.: *Chemie a technologie vody*. Brno: NOEL 2000 s.r.o., 1996. 200 s.
- [6] JENÍK, J.: *Ekoanalýza*. Pardubice: VŠCHT Pardubice, 1993. 114 s.
- [7] *Wikiskripta.eu* [online]. 2010 [cit. 2011-03-03]. Zdravotní rizika z půdy. Dostupné z: <[http://www.wikiskripta.eu/index.php/Zdravotni%AD\\_rizika\\_z\\_p%C5%AFdy](http://www.wikiskripta.eu/index.php/Zdravotni%AD_rizika_z_p%C5%AFdy)>.
- [8] HÁLA, J. *Radioaktivita ionizující záření jaderná chemie*. Brno: Konvoj, 1998. 311 s.
- [9] *Poměr zátěže ionizujícího záření* [online]. 2008 [cit. 2011-04-27]. Radioaktivita.cz. Dostupné z: <<http://www.radioaktivita.cz/osveta/graf-1.gif>>.
- [10] POPL, M.: *Instrumentální analýza*. Praha: SNTL, 1986. 296 s.

- [11] *RDM-servis.cz* [online]. 8. 2. 2010 [cit. 2011-04-22]. Radonový průzkum.  
<<http://www.radon-servis.cz/1-co-je-to-radon.htm>>.
- [12] *Ionizing radiation penetration distances* [online]. 13. 3. 2011 [cit. 2011-04-27].  
Gtcceis.anl.gov. Dostupné z: <<http://www.gtcceis.anl.gov/guide/rad/index.cfm>>..
- [13] *Spektrometrické analytické metody* [online]. 16. 4. 2010 [cit. 2011-04-27].  
Users.prf.jcu.cz.  
Dostupné z: <[http://users.prf.jcu.cz/sima/analyticka\\_chemie/spektraa.htm](http://users.prf.jcu.cz/sima/analyticka_chemie/spektraa.htm)>.
- [14] ZAJDĚJ, A.: *Spektrální analýza*. Praha: SNTL, 1970. 384 s.
- [15] POPL, M.: *Instrumentální analýza*. Praha: SNTL, 1986. 296 s.
- [16] KARABEGOV, M. A. New developments in atomic absorption spectrometry.  
*MEASUREMENT TECHNIQUES*. 2011, 53, s. 1174-1181.
- [17] WELZ, B.; SPERLING, M. *Atomic Absorption Spectrometry*. New York: WILEY-VCH, 1999. 965 s.
- [18] *Rmi.cz* [online]. 1999 [cit. 2011-03-16]. Odborná literatura  
<<http://www.rmi.cz/?ref=8&id=3>>.
- [19] BURGER, S. Determination of impurities in uranium matrices by time-of-flight ICP-MS using matrix-matched method. *JOURNAL OF RADIOANALYTICAL AND NUCLEAR CHEMISTRY*. 2007, 274, s. 491-505.
- [20] JARVIS, K. E., GRAY, A. L., HOUK, R. S.: *Handbook of Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry*. 1992th edition. USA: Chapman and Hall, 1992. 377s.
- [21] *nastroje* [online]. 24. 5. 2010 [cit. 2011-04-27]. Jh-inst.cas.cz. Dostupné z:  
<<http://www.jh-inst.cas.cz/3nastroje/detail.php?p=16>>.
- [22] LEHMANN, S. Complexation of aqueous uranium(IV) with phosphate investigated using time-resolved laser-induced fluorescence spectroscopy. *JOURNAL OF RADIOANALYTICAL AND NUCLEAR CHEMISTRY*. 2010, 283, s. 395-401.
- [23] MASSAD, W. Atomic absorption spectrometry: the way for multielement determinations. *INTERNATIONAL JOURNAL OF ENVIRONMENTAL ANALYTICAL CHEMISTRY*. 2000, 77, s. 159-175.
- [24] *Principy fluorescenční spektroskopie* [online]. 5. 2. 2008 [cit. 2011-04-27].  
Psych.lf1.cuni.cz.  
Dostupné z: <<http://psych.lf1.cuni.cz/fluorescence/soubory/principy.htm>>.
- [25] *Detekce a spektrometrie ionizujícího záření* [online]. 18. 3. 2011 [cit. 2011-04-27].  
Astronuklfyzika.sweb.cz.  
Dostupné z: <<http://astronuklfyzika.sweb.cz/DetekceSpektrometrie.htm>>
- [26] *RDM-servis.cz* [online]. 8. 2. 2010 [cit. 2011-04-22]. Radonový průzkum.  
Dostupné z: <<http://www.radon-servis.cz/1-co-je-to-radon.htm>>.
- [27] GREENWOOD, N., EARNSHAW, A.: *Chemie prvků*. Praha: Informatorium, 1993. 1638 s.
- [28] SOMMER, L., HAVEL, J. *Vybrané metody oddělení malých množství uranu a jeho citlivého spektrofotometrického stanovení*. Brno: UJEP, 1977. 287 s.
- [29] *Thir* [online]. 13. 10. 2010 [cit. 2011-04-27]. Aladdin-reagent.com.  
Dostupné z: <[http://www.aladdin-reagent.com/thir.asp?Rea\\_SubID=17115](http://www.aladdin-reagent.com/thir.asp?Rea_SubID=17115)>.

- [30] SCOTT, R. H. The determination of uranium in rocks by inductively coupled plasma-optical emission spectrometry. *ANALYTICA CHIMICA ACTA*. 1976, 82, s. 67-77.
- [31] FUJINO, O. Determination of uranium in apatite minerals by inductively coupled plasma atomic emission spectrometry after solvent extraction and separation with 3-phenyl-4-benzoyl-5-isoxazolone into diisobutyl ketone. *ANALYTICA CHIMICA ACTA*. 30. 8. 1994, 298, s. 63-68
- [32] SANTOS, Juracir. Uranium determination using atomic spectrometric techniques: An overview. *ANALYTICA CHIMICA ACTA*. 3. 9. 2010, 674, s. 113-117.
- [33] *Rady* [online]. 23. 11. 2009 [cit. 2011-04-27]. Tiscali.cz.  
Dostupné z: <<http://home.tiscali.cz/~cz382002/rady/rura.html>>.
- [34] *CVIČENÍ Z JADERNÉ CHEMIE* [online]. 13. 10. 2009 [cit. 2011-04-27]. Fjfi.cvut.cz.  
Dostupné z: <[www.fjfi.cvut.cz/kjch/materialy/RCHP/Eman.pdf](http://www.fjfi.cvut.cz/kjch/materialy/RCHP/Eman.pdf)>.
- [35] AMORIM, Carqueija. Atomic absorption spectrometry: the way for multielement determinations. *QUIMICA NOVA*. 2008, 31, s. 1784-1790.
- [36] SKOOG, D., WEST, D., HOLLER, J.: *Analytical chemistry*. Orlando, Florida: Fundamentals of analytical chemistry, 1991. 1271 s.

## 11. SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

|                  |                                                           |
|------------------|-----------------------------------------------------------|
| AAS              | Atomová absorpční spektrometrie                           |
| Bq               | Becquerel                                                 |
| Br-PADAP         | 2-(5-bromo-2-pyridylazo)-5-diethylaminofenol              |
| DNA              | Deoxyribonukleová kyselina                                |
| ET-AAS           | Atomová absorpce s elektrotermickou atomizací             |
| F-AAS            | Plamenová atomová absorpční spektrometrie                 |
| Gy               | Gray                                                      |
| ICP              | Indukčně vázané plazma                                    |
| ICP-MS           | Hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem     |
| ICP-OES          | Emisní atomová spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem |
| LA               | Laserová ablace                                           |
| MAS              | Molekulová absorpční spektrometrie                        |
| Q                | Kvadrupólový analyzátor                                   |
| Sv               | Sievert                                                   |
| T <sub>1/2</sub> | Poločas rozpadu                                           |
| TOF              | Průletový analyzátor                                      |

## 12. PŘÍLOHY - VÝSLEDKY ANALÝZ V ROCE 2010

| DIAMO, státní podnik odštěpný závod GEAM - oddělení ekologie<br>Dolní Rožínka, PSČ 592 51<br><b>MONITORING LOKALITY OLŠÍ</b><br>Profil: <b>Akumulační nádrž pod odvalem Olší</b><br>Značení: <b>ANO</b><br>Prosté vzorky <span style="float: right;">Rok: 2010</span> |          |               |                              |              |              |              |                             |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|---------------|------------------------------|--------------|--------------|--------------|-----------------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                       | Ukazatel |               |                              |              |              |              |                             |
| Datum                                                                                                                                                                                                                                                                 | pH       | U<br>[mg/l]   | Ra <sup>226</sup><br>[mBq/l] | RL<br>[mg/l] | Fe<br>[mg/l] | Mn<br>[mg/l] | Q<br>[m <sup>3</sup> /rok.] |
| 19. 1. 2010                                                                                                                                                                                                                                                           |          | 4,930         |                              |              |              |              | 610                         |
| 16. 2. 2010                                                                                                                                                                                                                                                           |          | 2,930         |                              |              |              |              | 915                         |
| 24. 3. 2010                                                                                                                                                                                                                                                           | 7,30     | 4,410         | 50                           | 1500         | 0,54         | 0,08         | 1 608                       |
| 1. čtvrtletí                                                                                                                                                                                                                                                          | 7,30     | 4,090         | 50                           | 1500         | 0,54         | 0,08         | 3 133                       |
| 20. 4. 2010                                                                                                                                                                                                                                                           |          | 4,920         |                              |              |              |              | 3 144                       |
| 11. 5. 2010                                                                                                                                                                                                                                                           | 7,30     | 4,700         | 30                           | 2200         | 0,23         | 0,08         | 4 109                       |
| 18. 6. 2010                                                                                                                                                                                                                                                           |          | 5,280         |                              |              |              |              |                             |
| 22. 6. 2010                                                                                                                                                                                                                                                           |          | 3,860         |                              |              |              |              | 10 024                      |
| 2. čtvrtletí                                                                                                                                                                                                                                                          | 7,30     | 4,690         | 30                           | 2200         | 0,23         | 0,08         | 17 277                      |
| 1. pololetí                                                                                                                                                                                                                                                           | 7,30     | 4,433         | 40                           | 1850         | 0,39         | 0,08         | 20 410                      |
| 26. 7. 2010                                                                                                                                                                                                                                                           |          | 5,110         |                              |              |              |              | 3 754                       |
| 23. 8. 2010                                                                                                                                                                                                                                                           | 7,50     | 5,390         | 40                           | 2500         | 0,22         | 0,09         | 2 712                       |
| 13. 9. 2010                                                                                                                                                                                                                                                           |          | 4,850         |                              |              |              |              | 1 769                       |
| 3. čtvrtletí                                                                                                                                                                                                                                                          | 7,50     | 5,117         | 40                           | 2500         | 0,22         | 0,09         | 8 235                       |
| 20. 10. 2010                                                                                                                                                                                                                                                          |          | 5,060         |                              |              |              |              | 1 620                       |
| 9. 11. 2010                                                                                                                                                                                                                                                           | 7,40     | 4,270         | 30                           | 2200         | 0,41         | 0,43         | 1 747                       |
| 1. 12. 2010                                                                                                                                                                                                                                                           |          | 4,140         |                              |              |              |              | 2 644                       |
| 4. čtvrtletí                                                                                                                                                                                                                                                          | 7,40     | 4,490         | 30                           | 2200         | 0,41         | 0,43         | 6 011                       |
| 2. pololetí                                                                                                                                                                                                                                                           | 7,45     | 4,803         | 35                           | 2350         | 0,32         | 0,26         | 14 246                      |
| <b>Záznamová úroveň</b>                                                                                                                                                                                                                                               |          | <b>0,010</b>  | <b>30</b>                    |              |              |              |                             |
| <b>Vyšetřovací úroveň</b>                                                                                                                                                                                                                                             |          | <b>20,000</b> | <b>400</b>                   |              |              |              |                             |
| <b>Limit</b>                                                                                                                                                                                                                                                          |          |               |                              |              |              |              | <b>70 000</b>               |
| Průměr                                                                                                                                                                                                                                                                | 7,38     | 4,604         | 38                           | 2100         | 0,35         | 0,17         |                             |
| Minimum                                                                                                                                                                                                                                                               | 7,30     | 2,930         | 30                           | 1500         | 0,22         | 0,08         |                             |
| Maximum                                                                                                                                                                                                                                                               | 7,50     | 5,390         | 50                           | 2500         | 0,54         | 0,43         |                             |
| <b>CELKEM</b>                                                                                                                                                                                                                                                         |          |               |                              |              |              |              | <b>34 656</b>               |

Poznámka: V přehledu jsou vykazovány měsíční objemy vod vypuštěné z ANO do komína VK 3/0 - 3 na ČDV Olší - Drahonín, kde jsou čištěny společně s důlními vodami. Referenční úrovně radionuklidů jsou převzaty ze schváleného programu monitoringu.

DIAMO, státní podnik odštěpný závod GEAM - oddělení ekologie  
Dolní Rožínka, PSČ 592 51

## MONITORING LOKALITY OLŠÍ - DRAHONÍN

Profil: Tok Hadůvka 150m pod ČDV Olší - Drahonín

Značení: **HAD – 4**

Prosté vzorky

Rok: 2010

| Datum                     | Ukazatel   |              |                              |              |                                         |              |              |
|---------------------------|------------|--------------|------------------------------|--------------|-----------------------------------------|--------------|--------------|
|                           | pH         | U<br>[mg/l]  | Ra <sup>226</sup><br>[mBq/l] | RL<br>[mg/l] | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup><br>[mg/l] | Fe<br>[mg/l] | Mn<br>[mg/l] |
| 19. 1. 2010               | 7,80       | 0,028        | 30                           | 1400         | 710                                     | 0,15         | 0,60         |
| 16. 2. 2010               | 8,00       | 0,039        | 30                           | 1300         | 590                                     | 0,07         | 0,07         |
| 24. 3. 2010               | 7,50       | 0,010        | 30                           | 470          | 160                                     | 0,40         | 0,05         |
| 1. čtvrtletí              | 7,77       | 0,026        | 30                           | 1057         | 487                                     | 0,21         | 0,24         |
| 20. 4. 2010               | 7,80       | 0,025        | 30                           | 740          | 350                                     | 0,15         | 0,06         |
| 11. 5. 2010               | 7,70       | 0,016        | 30                           | 1100         | 480                                     | 0,33         | 0,44         |
| 22. 6. 2010               | 7,70       | 0,044        | 30                           | 900          | 410                                     | 0,08         | 0,23         |
| 2. čtvrtletí              | 7,73       | 0,028        | 30                           | 913          | 413                                     | 0,19         | 0,24         |
| 1. pololetí               | 7,75       | 0,027        | 30                           | 985          | 450                                     | 0,20         | 0,24         |
| 26. 7. 2010               | 8,00       | 0,079        | 30                           | 1500         | 690                                     | 0,14         | 0,46         |
| 23. 8. 2010               | 8,40       | 0,063        | 30                           | 1400         | 660                                     | 0,08         | 0,40         |
| 13. 9. 2010               | 7,30       | 0,031        | 30                           | 1600         | 690                                     | 0,10         | 0,85         |
| 3. čtvrtletí              | 7,90       | 0,058        | 30                           | 1500         | 680                                     | 0,11         | 0,57         |
| 20. 10. 2010              | 7,90       | 0,036        | 30                           | 1400         | 700                                     | 0,11         | 0,37         |
| 9. 11. 2010               | 7,90       | 0,056        | 30                           | 1200         | 540                                     | 0,08         | 0,06         |
| 1. 12. 2010               | 7,90       | 0,037        | 30                           | 1200         | 580                                     | 0,09         | 0,05         |
| 4. čtvrtletí              | 7,90       | 0,043        | 30                           | 1267         | 607                                     | 0,09         | 0,16         |
| 2. pololetí               | 7,90       | 0,050        | 30                           | 1383         | 643                                     | 0,10         | 0,37         |
| <b>Záznamová úroveň</b>   |            | <b>0,010</b> | <b>30</b>                    |              |                                         |              |              |
| <b>Vyšetřovací úroveň</b> |            | <b>0,110</b> | <b>400</b>                   |              |                                         |              |              |
| <b>Zásahová úroveň</b>    |            | <b>0,210</b> | <b>800</b>                   |              |                                         |              |              |
| <b>Hodnota ukazatele</b>  | <b>6-8</b> | <b>0,040</b> | <b>300</b>                   | <b>1000</b>  | <b>300</b>                              | <b>2,00</b>  | <b>0,50</b>  |
| Průměr                    | 7,83       | 0,039        | 30                           | 1184         | 547                                     | 0,15         | 0,30         |
| Minimum                   | 7,30       | 0,010        | 30                           | 470          | 160                                     | 0,07         | 0,05         |
| Maximum                   | 8,40       | 0,079        | 30                           | 1600         | 710                                     | 0,40         | 0,85         |

Poznámka: Hodnoty ukazatelů jsou převzaty z nařízení vlády č. 61/2003 Sb., Referenční úrovně radionuklidů jsou převzaty ze schváleného programu monitoringu.

|                                                                                                                                                                                                                                           |            |              |                              |              |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|--------------|------------------------------|--------------|
| DIAMO, státní podnik odštěpný závod GEAM - oddělení ekologie<br>Dolní Rožinka, PSČ 592 51<br><b>MONITORING LOKALITY OLŠÍ</b><br>Profil: <b>Tok Hadůvky v profilu splávek vedle hráze ANO</b><br>Značení: <b>HAD - 1a</b><br>Prosté vzorky |            |              |                              |              |
|                                                                                                                                                                                                                                           |            |              |                              | Rok: 2010    |
|                                                                                                                                                                                                                                           | Ukazatel   |              |                              |              |
|                                                                                                                                                                                                                                           | pH         | U<br>[mg/l]  | Ra <sup>226</sup><br>[mBq/l] | RL<br>[mg/l] |
| 24. 3. 2010                                                                                                                                                                                                                               | 6,90       | 0,010        | 30                           | 390          |
| 11. 5. 2010                                                                                                                                                                                                                               | 7,30       | 0,010        | 30                           | 420          |
| 23. 8. 2010                                                                                                                                                                                                                               |            |              |                              |              |
| 9. 11. 2010                                                                                                                                                                                                                               | 7,00       | 0,011        | 30                           | 340          |
| <b>Záznamová úroveň</b>                                                                                                                                                                                                                   |            | <b>0,010</b> | <b>30</b>                    |              |
| <b>Vyšetřovací úroveň</b>                                                                                                                                                                                                                 |            | <b>0,110</b> | <b>400</b>                   |              |
| <b>Zásahová úroveň</b>                                                                                                                                                                                                                    |            | <b>0,210</b> | <b>800</b>                   |              |
| <b>Hodnota ukazatele</b>                                                                                                                                                                                                                  | <b>6-8</b> | <b>0,040</b> | <b>300</b>                   | <b>1000</b>  |
| Průměr                                                                                                                                                                                                                                    | 7,07       | 0,010        | 30                           | 383          |
| Minimum                                                                                                                                                                                                                                   | 6,90       | 0,010        | 30                           | 340          |
| Maximum                                                                                                                                                                                                                                   | 7,30       | 0,011        | 30                           | 420          |

Poznámka: Hodnoty ukazatelů jsou převzaty z nařízení vlády č. 61/2003 Sb., Referenční úrovně radionuklidů jsou převzaty ze schváleného programu monitoringu.

|                                                              |          |             |                              |              |                                         |              |              |
|--------------------------------------------------------------|----------|-------------|------------------------------|--------------|-----------------------------------------|--------------|--------------|
| DIAMO, státní podnik odštěpný závod GEAM - oddělení ekologie |          |             |                              |              |                                         |              |              |
| MONITORING LOKALITY OLŠÍ                                     |          |             |                              |              |                                         |              |              |
| Profil: Tok Hadůvka nad haldou Drahonín                      |          |             |                              |              |                                         |              |              |
| Značení: HAD – 3                                             |          |             |                              |              |                                         |              |              |
| Prosté vzorky                                                |          |             |                              | Rok: 2010    |                                         |              |              |
| Datum                                                        | Ukazatel |             |                              |              |                                         |              |              |
|                                                              | pH       | U<br>[mg/l] | Ra <sup>226</sup><br>[mBq/l] | RL<br>[mg/l] | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup><br>[mg/l] | Fe<br>[mg/l] | Mn<br>[mg/l] |
| 24. 3. 2010                                                  | 7,30     | 0,010       | 30                           | 340          | 65                                      | 0,44         | 0,05         |
| 11. 5. 2010                                                  | 7,40     | 0,011       | 30                           | 410          | 110                                     | 0,28         | 0,08         |
| 23. 8. 2010                                                  | 7,80     | 0,013       | 30                           | 400          | 130                                     | 0,19         | 0,06         |
| 9. 11. 2010                                                  | 7,50     | 0,010       | 30                           | 430          | 110                                     | 0,16         | 0,05         |
| Záznamová úroveň                                             |          | 0,010       | 30                           |              |                                         |              |              |
| Vyšetřovací úroveň                                           |          | 0,110       | 400                          |              |                                         |              |              |
| Zásahová úroveň                                              |          | 0,210       | 800                          |              |                                         |              |              |
| Hodnota ukazatele                                            | 6-8      | 0,040       | 300                          | 1000         | 300                                     | 2,00         | 0,50         |
| Průměr                                                       | 7,50     | 0,011       | 30                           | 395          | 104                                     | 0,27         | 0,06         |
| Minimum                                                      | 7,30     | 0,010       | 30                           | 340          | 65                                      | 0,16         | 0,05         |
| Maximum                                                      | 7,80     | 0,013       | 30                           | 430          | 130                                     | 0,44         | 0,08         |

Poznámka: Hodnoty ukazatelů jsou převzaty z nařízení vlády č. 61/2003 Sb., Referenční úrovně radionuklidů jsou převzaty ze schváleného programu monitoringu.

DIAMO, státní podnik odštěpný závod GEAM - oddělení ekologie

Dolní Rožínka, PSČ 592 51

## MONITORING LOKALITY OLŠÍ - DRAHONÍN

Profil: **Tok Loučka u mostu v obci Skryje**

Značení: **LOSK**

Prosté vzorky

Rok: 2010

| Datum                     | Ukazatel   |              |                              |              |                                         |              |              |
|---------------------------|------------|--------------|------------------------------|--------------|-----------------------------------------|--------------|--------------|
|                           | pH         | U<br>[mg/l]  | Ra <sup>226</sup><br>[mBq/l] | RL<br>[mg/l] | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup><br>[mg/l] | Fe<br>[mg/l] | Mn<br>[mg/l] |
| 19. 1. 2010               | 7,80       | 0,010        | 30                           | 240          | 68                                      | 0,26         | 0,05         |
| 16. 2. 2010               | 7,80       | 0,010        | 30                           | 260          | 57                                      | 0,17         | 0,05         |
| 24. 3. 2010               | 7,60       | 0,010        | 30                           | 210          | 33                                      | 3,24         | 0,23         |
| 1. čtvrtletí              | 7,73       | 0,010        | 30                           | 237          | 53                                      | 1,22         | 0,11         |
| 20. 4. 2010               | 8,00       | 0,010        | 30                           | 210          | 54                                      | 0,16         | 0,05         |
| 11. 5. 2010               | 8,30       | 0,010        | 30                           | 240          | 47                                      | 0,37         | 0,06         |
| 22. 6. 2010               | 7,90       | 0,010        | 30                           | 230          | 44                                      | 0,31         | 0,05         |
| 2. čtvrtletí              | 8,07       | 0,010        | 30                           | 227          | 48                                      | 0,28         | 0,05         |
| 1. pololetí               | 7,90       | 0,010        | 30                           | 232          | 51                                      | 0,75         | 0,08         |
| 26. 7. 2010               | 7,90       | 0,010        | 30                           | 240          | 51                                      | 0,46         | 0,05         |
| 23. 8. 2010               | 7,40       | 0,010        | 30                           | 220          | 58                                      | 0,25         | 0,05         |
| 13. 9. 2010               | 8,00       | 0,010        | 30                           | 250          | 52                                      | 0,36         | 0,05         |
| 3. čtvrtletí              | 7,77       | 0,010        | 30                           | 237          | 54                                      | 0,36         | 0,05         |
| 20. 10. 2010              | 8,00       | 0,010        | 30                           | 240          | 60                                      | 0,31         | 0,05         |
| 09. 11. 2010              | 8,30       | 0,010        | 30                           | 220          | 51                                      | 0,11         | 0,05         |
| 01. 12. 2010              | 8,00       | 0,010        | 30                           | 260          | 63                                      | 0,14         | 0,05         |
| 4. čtvrtletí              | 8,10       | 0,010        | 30                           | 240          | 58                                      | 0,19         | 0,05         |
| 2. pololetí               | 7,93       | 0,010        | 30                           | 238          | 56                                      | 0,27         | 0,05         |
| <b>Záznamová úroveň</b>   |            | <b>0,010</b> | <b>30</b>                    |              |                                         |              |              |
| <b>Vyšetřovací úroveň</b> |            | <b>0,110</b> | <b>400</b>                   |              |                                         |              |              |
| <b>Zásahová úroveň</b>    |            | <b>0,210</b> | <b>800</b>                   |              |                                         |              |              |
| <b>Hodnota ukazatele</b>  | <b>6-8</b> | <b>0,040</b> | <b>300</b>                   | <b>1000</b>  | <b>300</b>                              | <b>2,00</b>  | <b>0,50</b>  |
| Průměr                    | 7,92       | 0,010        | 30                           | 235          | 53                                      | 0,51         | 0,07         |
| Minimum                   | 7,40       | 0,010        | 30                           | 210          | 33                                      | 0,11         | 0,05         |
| Maximum                   | 8,30       | 0,010        | 30                           | 260          | 68                                      | 3,24         | 0,23         |

Poznámka: Hodnoty ukazatelů jsou převzaty z nařízení vlády č. 61/2003 Sb., Referenční úrovně radionuklidů jsou převzaty ze schváleného programu monitoringu.

DIAMO, státní podnik odštěpný závod GEAM - odbor ekologie a sanací  
Dolní Rožínka, PSČ 592 51

MONITORING LOKALITY OLŠÍ - DRAHONÍN

Profil: Loučka pod ústím Hadůvky

Značení: LOU -2

Prosté vzorky

Rok: 2010

| Datum                     | Ukazatel   |              |                              |              |                                         |              |              |
|---------------------------|------------|--------------|------------------------------|--------------|-----------------------------------------|--------------|--------------|
|                           | pH         | U<br>[mg/l]  | Ra <sup>226</sup><br>[mBq/l] | RL<br>[mg/l] | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup><br>[mg/l] | Fe<br>[mg/l] | Mn<br>[mg/l] |
| 24. 3. 2010               | 7,60       | 0,010        | 30                           | 180          | 36                                      | 2,36         | 0,23         |
| 11. 5. 2010               | 8,30       | 0,010        | 30                           | 290          | 72                                      | 0,28         | 0,05         |
| 23. 8. 2010               | 8,00       | 0,010        | 30                           | 250          | 64                                      | 0,27         | 0,05         |
| 9. 11. 2010               | 8,00       | 0,010        | 30                           | 240          | 48                                      | 0,11         | 0,05         |
| <b>Záznamová úroveň</b>   |            | <b>0,010</b> | <b>30</b>                    |              |                                         |              |              |
| <b>Vyšetřovací úroveň</b> |            | <b>0,110</b> | <b>400</b>                   |              |                                         |              |              |
| <b>Zásahová úroveň</b>    |            | <b>0,210</b> | <b>800</b>                   |              |                                         |              |              |
| <b>Hodnota ukazatele</b>  | <b>6-8</b> | <b>0,040</b> | <b>300</b>                   | <b>1000</b>  | <b>300</b>                              | <b>2,00</b>  | <b>0,50</b>  |
| Průměr                    | 7,98       | 0,010        | 30                           | 240          | 55                                      | 0,76         | 0,10         |
| Minimum                   | 7,60       | 0,010        | 30                           | 180          | 36                                      | 0,11         | 0,05         |
| Maximum                   | 8,30       | 0,010        | 30                           | 290          | 72                                      | 2,36         | 0,23         |

Poznámka: Hodnoty ukazatelů jsou převzaty z nařízení vlády č. 61/2003 Sb., Referenční úrovně radionuklidů jsou převzaty ze schváleného programu monitoringu.

|                                                                                           |          |             |                              |              |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|----------|-------------|------------------------------|--------------|
| DIAMO, státní podnik odštěpný závod GEAM - oddělení ekologie<br>Dolní Rožínka, PSČ 592 51 |          |             |                              |              |
| MONITORING LOKALITY OLŠÍ                                                                  |          |             |                              |              |
| Profil: Vývěr pod akumul. nádrží Olší                                                     |          |             |                              |              |
| Značení: VÝ ANO                                                                           |          |             |                              |              |
| Prosté vzorky                                                                             |          |             | Rok: 2010                    |              |
| Datum                                                                                     | Ukazatel |             |                              |              |
|                                                                                           | pH       | U<br>[mg/l] | Ra <sup>226</sup><br>[mBq/l] | RL<br>[mg/l] |
| 24. 3. 2010                                                                               | 7,30     | 0,771       | 30                           | 1300         |
| 11. 5. 2010                                                                               | 7,40     | 0,391       | 30                           | 1200         |
| 23. 8. 2010                                                                               | 7,40     | 0,342       | 30                           | 1500         |
| 9. 11. 2010                                                                               | 7,50     | 0,409       | 30                           | 1500         |
| Záznamová úroveň                                                                          |          | 0,010       | 30                           |              |
| Vyšetřovací úroveň                                                                        |          | 2,000       | 400                          |              |
| Průměr                                                                                    | 7,40     | 0,478       | 30                           | 1375         |
| Minimum                                                                                   | 7,30     | 0,342       | 30                           | 1200         |
| Maximum                                                                                   | 7,50     | 0,771       | 30                           | 1500         |

Poznámka: Referenční úrovně radionuklidů jsou převzaty ze schváleného programu monitoringu.

DIAMO, státní podnik odštěpný závod GEAM - oddělení ekologie

Dolní Rožínka, PSČ 592 51

## MONITORING LOKALITY OLŠÍ

Profil: **Vrt v údolní nivě pod akumulací nádrží Olší - za silnicí**

Značení: **OM 2**

Nadmořská výška pažnice (m n. m.): 476,26

Nadmořská výška terénu (m n. m.): 474,76

Souřadnice X: 1132978,15

Souřadnice Y: 619052,53

Prosté vzorky

Rok: 2010

| Datum                     | Ukazatel     |                        |
|---------------------------|--------------|------------------------|
|                           | U<br>[mg/l]  | Nadmořská výška<br>[m] |
| 24. 3. 2010               | 0,016        | 474,63                 |
| 11. 5. 2010               | 0,026        | 473,64                 |
| 23. 8. 2010               | 0,034        | 473,61                 |
| 9. 11. 2010               | 0,042        | 473,54                 |
| <b>Záznamová úroveň</b>   | <b>0,010</b> |                        |
| <b>Vyšetřovací úroveň</b> | <b>0,700</b> |                        |
| Průměr                    | 0,030        | 473,86                 |
| Minimum                   | 0,016        | 473,54                 |
| Maximum                   | 0,042        | 474,63                 |

*Poznámka: Referenční úrovně radionuklidů jsou převzaty ze schváleného programu monitoringu.*

DIAMO, státní podnik odštěpný závod GEAM - oddělení ekologie

Dolní Rožinka, PSČ 592 51

## MONITORING LOKALITY OLŠÍ

Profil: **Vrt u východní paty odvalu Drahonín**

Znáčení: **DRM 1**

Nadmořská výška pažnice (m n. m.): 452,68

Nadmořská výška terénu (m n. m.): 452,08

Souřadnice X: 1133671,86

Souřadnice Y: 618908,17

Prosté vzorky

Rok: 2010

|                           | Ukazatel     |                 |
|---------------------------|--------------|-----------------|
|                           | U            | Nadmořská výška |
| Datum                     | [mg/l]       | m. n. m.        |
| 24. 3. 2010               | 0,010        | 451,20          |
| 11. 5. 2010               | 0,010        | 447,32          |
| 23. 8. 2010               | 0,010        | 447,08          |
| 9. 11. 2010               | 0,010        | 447,31          |
| <b>Záznamová úroveň</b>   | <b>0,010</b> |                 |
| <b>Vyšetřovací úroveň</b> | <b>0,700</b> |                 |
| Průměr                    | 0,010        | 448,23          |
| Minimum                   | 0,010        | 447,08          |
| Maximum                   | 0,010        | 451,20          |

*Poznámka: Vody z vývěru Drahonín jsou zachycovány v jímací studni, čerpány do komína VK 3/0 - 3 a následně čištěny s důlními vodami na ČDV Olší - Drahonín. Referenční úrovně radionuklidů jsou převzaty ze schváleného programu monitoringu.*

DIAMO, státní podnik odštěpný závod GEAM - oddělení ekologie  
Dolní Rožínka, PSČ 592 51

MONITORING LOKALITY OLŠÍ - DRAHONÍN

Profil: Vývěr u jižní paty odvalu Drahonín

Značení: VYDR

Prosté vzorky

Rok: 2010

| Datum              | Ukazatel |             |                              |              |                                         |              |              |                            |
|--------------------|----------|-------------|------------------------------|--------------|-----------------------------------------|--------------|--------------|----------------------------|
|                    | pH       | U<br>[mg/l] | Ra <sup>226</sup><br>[mBq/l] | RL<br>[mg/l] | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup><br>[mg/l] | Fe<br>[mg/l] | Mn<br>[mg/l] | Q<br>[m <sup>3</sup> /rok] |
| 24. 3. 2010        | 7,40     | 0,363       | 40                           | 760          | 420                                     | 0,49         | 0,05         |                            |
| 11. 5. 2010        | 7,70     | 0,526       | 130                          | 840          | 450                                     | 30,20        | 0,55         |                            |
| 23. 8. 2010        | 7,30     | 0,789       | 40                           | 940          | 530                                     | 0,26         | 0,05         |                            |
| 9. 11. 2010        | 7,70     | 0,325       | 60                           | 930          | 530                                     | 10,20        | 0,26         |                            |
| Záznamová úroveň   |          | 0,010       | 30                           |              |                                         |              |              |                            |
| Vyšetřovací úroveň |          | 2,000       | 500                          |              |                                         |              |              |                            |
| Limit              | 7 300    |             |                              |              |                                         |              |              |                            |
| Průměr             | 7,53     | 0,501       | 68                           | 868          | 483                                     | 10,29        | 0,23         |                            |
| Minimum            | 7,30     | 0,325       | 40                           | 760          | 420                                     | 0,26         | 0,05         |                            |
| Maximum            | 7,70     | 0,789       | 130                          | 940          | 530                                     | 30,20        | 0,55         |                            |
| CELKEM             | 8 957    |             |                              |              |                                         |              |              |                            |

*Poznámka: Vody z vývěru Drahonín jsou zachycovány v jímací studni, čerpány do komína VK 3/0 - 3 a následně čištěny s důlními vodami na ČDV Olší - Drahonín. Referenční úrovně radionuklidů jsou převzaty ze schváleného programu monitoringu.*

DIAMO, státní podnik odštěpný závod GEAM - oddělení ekologie

Dolní Rožínka, PSČ 592 51

### **MONITORING LOKALITY OLŠÍ DRAHONÍN**

**Profil: Vstup důlních vod na ČDV Olší Drahonín**

**Značení: VK 3**

### **Sledování změn chemického složení vod**

Prosté

vzorky

Rok 1996 - 2010

| Rok  | Ukazatel |        |                   |        |        |        |        |        |        |        |
|------|----------|--------|-------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|      | U        |        | Ra <sup>226</sup> |        | RL     |        | Fe     |        | Mn     |        |
|      | [mg/l]   |        | [mBq/l]           |        | [mg/l] |        | [mg/l] |        | [mg/l] |        |
|      | prům.    | max.   | prům.             | max.   | prům.  | max.   | prům.  | max.   | prům.  | max.   |
| Rok  | U        | U      | Ra                | Ra     | RL     | RL     | Fe     | Fe     | Mn     | Mn     |
|      | [mg/l]   | [mg/l] | [mBq/l]           | [Bq/l] | [mg/l] | [mg/l] | [mg/l] | [mg/l] | [mg/l] | [mg/l] |
| 1996 | 11,726   | 13,100 | 2013              | 2700   | 3250   | 3546   | 30,90  | 38,00  | 6,50   | 8,10   |
| 1997 | 11,615   | 13,067 | 1852              | 2330   | 3168   | 3662   | 28,33  | 38,85  | 6,99   | 8,71   |
| 1998 | 10,763   | 12,579 | 1376              | 1895   | 3001   | 3536   | 21,35  | 28,72  | 5,98   | 8,34   |
| 1999 | 9,978    | 11,250 | 1132              | 1555   | 2916   | 3141   | 16,27  | 20,64  | 5,11   | 6,82   |
| 2000 | 8,875    | 10,038 | 1082              | 1392   | 2639   | 1517   | 11,98  | 17,79  | 3,31   | 4,88   |
| 2001 | 8,428    | 9,100  | 1032              | 1610   | 2509   | 2857   | 13,74  | 14,26  | 3,26   | 3,94   |
| 2002 | 7,997    | 8,800  | 793               | 1370   | 2572   | 2800   | 12,58  | 15,40  | 3,84   | 4,60   |
| 2003 | 7,645    | 8,700  | 898               | 1500   | 2550   | 2600   | 11,70  | 12,60  | 3,22   | 6,62   |
| 2004 | 7,424    | 8,090  | 865               | 1190   | 2250   | 2600   | 12,50  | 22,90  | 2,80   | 3,16   |
| 2005 | 6,808    | 7,860  | 1084              | 1590   | 2200   | 2400   | 4,67   | 9,35   | 1,46   | 2,45   |
| 2006 | 6,575    | 6,940  | 935               | 1400   | 2150   | 2300   | 8,29   | 16,20  | 1,61   | 2,24   |
| 2007 | 5,878    | 6,660  | 962               | 1440   | 1900   | 2100   | 10,01  | 17,50  | 1,91   | 2,25   |
| 2008 | 5,373    | 6,200  | 1193              | 1530   | 1975   | 2100   | 7,06   | 7,38   | 1,85   | 2,05   |
| 2009 | 4,514    |        | 834               |        | 1818   |        | 5,89   |        | 1,28   |        |
| 2010 | 2,484    |        | 1037              |        | 1700   |        | 2,55   |        | 0,91   |        |

DIAMO, státní podnik odštěpný závod GEAM - oddělení ekologie

Dolní Rožínka, PSČ 592 51

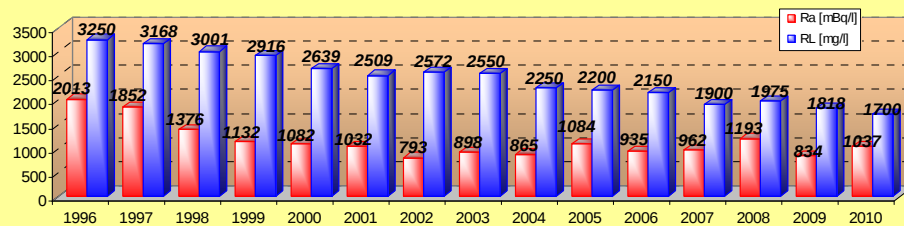
### **MONITORING LOKALITY OLŠÍ - DRAHONÍN**

**Profil: Vstup důlních vod na ČDV Olší; Drahonín**

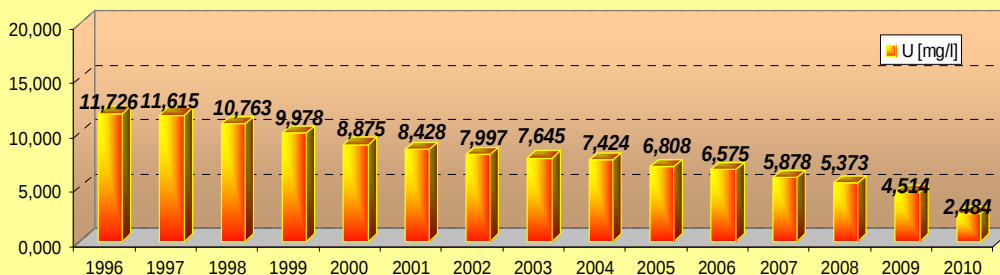
**Značení: VK 3**

### **Sledování změn chemického složení vod**

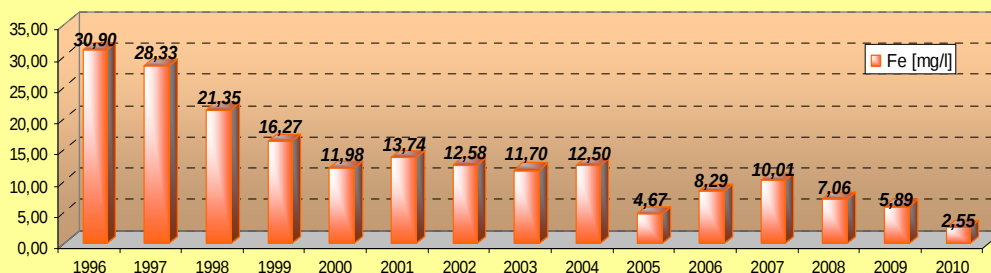
Vývoj průměrných koncentrací  $Ra^{226}$  a RL  
v letech 1996 - 2010



Vývoj průměrných koncentrací U  
v letech 1996 - 2010



Vývoj průměrných koncentrací Fe  
v letech 1996 - 2010



Vývoj průměrných koncentrací Mn  
v letech 1996 - 2010

