

**ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE**

**FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ**

**KATEDRA VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ A  
ENVIROMENTÁLNÍHO MODELOVÁNÍ**

**METODIKA MĚŘENÍ KONTAMINACE OVZDUŠÍ POMOCÍ  
ODBĚROVÝCH ZAŘÍZENÍ VZDUCHU**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Vedoucí práce: Doc. Mgr. Marek Vach, Ph.D.  
Bakalant: Denisa Machková**

**2012**

**ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE**  
Katedra vodního hospodářství a environmentálního  
modelování  
Fakulta životního prostředí  
**ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

Machková Denisa

Aplikovaná ekologie

Název práce

**Metodika měření znečištění ovzduší pomocí odběrových zařízení vzduchu**

Anglický název

**Methodology of measurement of air pollution with a measuring appliance**

---

**Cíle práce**

Informování o překročení povolených limitů znečištění vzduchu s důrazem na zvýšené množství radioaktivních prvků v měřeném vzorku vzduchu v příslušné lokalitě

**Metodika**

Tabulkové vyhodnocení dat získaných z měřených údajů při použití prosávaců vzduchu využívaných v SUJB (Státní úřad pro jadernou bezpečnost).

**Harmonogram zpracování**

- |  |                 |
|--|-----------------|
| 1) Přehled odborné literatury              | (do 15.06.2011) |
| 2) Osonova práce                           | (do 30.06.2011) |
| 3) Vlastní měření                          | (do 30.11.2011) |
| 4) Zpracování dat                          | (do 28.02.2012) |
| 5) Dokončení práce                         | (do 31.03.2012) |
| 6) Odstranění připomínek konzultanta práce |                 |

**Rozsah textové části**

25 stran

**Klíčová slova**

Odběrová zařízení, prosávače vzduchu, radioaktivní znečištění

**Doporučené zdroje informací**

- 1) Státní úřad pro jadernou bezpečnost
- 2) VŠCHT - katedra paliv
- 3) Ústav jaderného výzkumu v Řeži u Prahy
- 4) Jaderná elektrárna Temelín

**Vedoucí práce**

Vach Marek, doc. Mgr., Ph.D.



**prof. Ing. Pavel Pech, CSc.**

Vedoucí katedry

**prof. Ing. Petr Sklenička, CSc.**

Děkan fakulty

V Praze dne 3.5.2011

### **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracovala samostatně pod vedením Doc. Mgr. Marka Vacha, Ph.D., a že jsem uvedla všechny literární prameny, ze kterých jsem čerpala.

V Praze 28.4.2012

.....

## **Poděkování**

Ráda bych poděkovala vedoucímu mé práce Doc. Mgr. Marka Vacha, Ph.D za rady a podnětné připomínky při zpracování práce, Ing. Heleně Malé z odboru monitorování SÚRO Praha, v.v.i. za ochotu zodpovídat mé dotazy, prohlídku měřících zařízení a poskytnutí informačních ke gamaspektroskopii a Mgr. Lubomírovi Dozbabovi z fi. envilog za poskytnutí informací o mobilních detektorech radioaktivity.

V Praze 28.4.2012

.....

## **Abstrakt**

Cílem této práce bylo zjišťování metodiky měření kontaminace ovzduší. Konkrétně se jedná o proměrování výskytu radioaktivních nečistot speciální analytickou metodou gama spektroskopii. Při této metodě se příslušné gama záření detekuje například s využitím scintilačních detektorů, které se vyznačují značnou citlivostí na toto záření. K detekci gama záření se např. používá příslušná scintilační látka. Radioaktivní nečistoty jsou zachycovány v zařízeních pro odběr vzduchu, která se používají v monitorovacích stanicích. Značná část je vyráběna v ČR a zde i distribuována.

Situace není popisována izolovaně jen pro oblast ovzduší, ale je zmíněna i skutečnost, že dochází k šíření radioaktivních odpadů, které jsou důsledkem využívání jaderných paliv. Je poukázáno na negativní následky existujícího ionizujícího záření provázející život na zemi, dále na problematiku související s využíváním umělých zdrojů záření, je diskutován i výskyt radonu apod. Část práce je věnována popisu přenosných detektorů ionizujícího záření, neboť ve všech oblastech lidské činnosti, kde předpokládáme výskyt radioaktivních nečistot je okamžitá indikace důležitá pro minimalizaci dopadů na pracovníky a zavedení preventivních opatření, aby se zamezilo opakování kontaminace. V rámci ochrany životního prostředí byla popsána jen jedna část problému, kontaminace ovzduší. Komplexně je celý problém vyhodnocován v rámci ČR jednotlivými monitorovacími stanicemi, které vytvářejí celý systém kontrolních bodů v návaznosti na celoevropskou síť.

Po stránce teoretické práce splnila účel, neboť daný problém byl popsán, ale jako nutnost se ukazuje doplnit tuto teorii o praktická měření. Přínosem této práce je, že ji lze využít i jako informační zdroj pro širší veřejnost a přispět tak k lepší informovanosti celé společnosti, poukázat na skutečnost, že se nejedná o opomíjenou problematiku, ale že tento problém je seriózně a na vysoké úrovni řešen celou řadou pověřených zodpovědných institucí.

## **Klíčová slova**

Kontaminace, analýza, radioaktivita, indikace, monitorování, gama záření, scintilace.

## **Abstrakt**

The aim of this work is to find out methodology of the air pollution measurement. It's mainly measurement of radioactive contamination in the air by gama spectroscopy. This is a special analytical method in which relevant gama radiation is detected by the usege of scintillating detectors which are very sensitive devices. Gama radiation is detected with the help of a relevant scintillate substance. Radioactivite particles are caught in the air sampling device used in monitoring stations. Most of them are produced and distributed in the Czech Republic.

Air polution is not described separately, but in connection with other circumstances. Existence of radioactive waste as a result of nuclear fuel is mentioned. Negative influence of ionising radiation which accompanies life on the Earth is noted too. What more, problems of making use of artificial source of radiation and presence of radon are recognised and discussed. That's why one part of the work is dedicated to description of transferable detectors of ionising radiation because in all the areas of human activity we expect occurence of radioactive pollutans and immediate indication is the most effective prevention. In connection with protection of the environment is mentioned only the air pollution. This problem is completely evaluated within the Czech Republic by particular monitoring stations, which make up a whole system of controlling points linking up with European network.

The work has fullfilled its theoretical goal, because the problem is described in details. What seems to be not completed are practical measurements. Very positive is the fact that the work can be used as a very good and useful source of information in our society. At the same time it stresses the fact, that this serious problem has been seriously payed a lot of attention by many dedicated responsible institutions.

## **Keywords**

Contamination, analysis, radioactivity, indication, monitoring, gamma radiation, scintillation.

## OBSAH:

1. Úvod.....	9
2. Cíl a metodika práce.....	10
2.1 Cíl práce.....	10
2.2 Metodika práce .....	10
3. Základní fyzikální pojmy .....	12
4. Radioaktivita a radioaktivní odpady obecně.....	14
4.1 Příčiny rozšíření radioaktivních odpadů do atmosféry.....	16
4.2 Ovzduší jako základní složka životního prostředí.....	19
5. Monitorovací technika a metody.....	21
5.1 Informační systém kvality ovzduší - Radiační monitorovací síť v ČR.....	21
5.2 Detektory ionizujícího záření.....	25
5.3 Přenosné operativní měřiče dávkového příkonu a kontaminace.....	27
6. Monitorování radionuklidů v ovzduší.....	30
7. Odběrná zařízení vzduchu.....	34
7.1 Prosávač vzduchu VOPV -12.....	34
7.2 Prosávač vzduchu VOPV – 22.....	36
7.3 Zařízení V3H14C pro odběry vzorků 3H a 14C.....	36
7.4 Zařízení k odběru vzduchu VOPV – 10.....	38
8. Monitoring a hodnocení kvality ovzduší .....	40
8.1 Imisní monitoring.....	40
8.2 Přehled metod měření imisí manuální a kontinuální technikou.....	41
8.3 Atomová absorpční spektroskopie.....	43
8.4 Gama spektrometrie.....	44
9. Princip detekce jaderného záření .....	46
9.1 Scintilační detektory.....	46
9.2 Detektory a jejich dělení podle průběhu a principu detekce.....	49
9.3 Organické a anorganické scintilátory.....	51
9.4 Scintilační materiály.....	51
10. Závěr .....	53
Seznam použité literatury.....	54
Přílohy .....	56



## 1. Úvod

Cílem této práce je upozornit na skutečnost, že kontaminace ovzduší se stala již běžnou součástí našeho života. Důležitým úkolem monitorování stavu ovzduší je, aby s využitím nejnovějších vědeckých poznatků vytvářelo plynulé informace o stavu ovzduší. Tyto informace o znečištění ovzduší jsou potřebné pro provedení opatření ke snižování kontaminace a zlepšení podmínek rozvoje společnosti v lepším životním prostředí. Opatření musí zajistit, že ovzduší bude bezpečné a nebude zdraví škodlivé.

Vzhledem k tomu, že kontaminace ovzduší především radioaktivními produkty je sledovaná záležitost, pokusím se v této práci upozornit na dílčí problém v monitorování kontaminace ovzduší. V návaznosti na to popíši také jednoduché vyhodnocovací metody.

Tato práce popisuje pouze jednu malou část, tj. kontaminaci ovzduší a již se nezabývá popisem kontaminace vod, půd a dalších částí životního prostředí. Přesto je na tento rozsah problému upozorněno a jsou zmíněny i některé právní normy s tím související. Vzduch byl vybrán jako téma této práce proto, že do vzduchu, který dýcháme, a expozici látkami z něj se dá stěží vyhnout, se dostaly po různých událostech vysoké koncentrace radionuklidů. Jejich zdrojem je např. uranová a jiná ruda z přírodních zdrojů, kontaminace z jaderných výbuchů, nebo z výpustí jaderných zařízení, výzkumných pracovišť a přístrojů na bázi radionuklidů.

V ovzduší se mohou nacházet buď jako plyny nebo v podobě prachu či aerosolů. Díky přirozenému proudění vzduchu se pak nekontrolovatelně rozptylují v atmosféře, neznají hranic a mohou se rozšířit v rámci atmosféry prakticky kamkoli na Zemi. Z atmosféry mohou být buď přímo vdechnuty, nebo se v podobě spadu usazují na zemský povrch, vodní plochy a organismy a následně mohou vnikat do organismů. Jsou-li ze zdroje vrženy vysoko do atmosféry, ukládají se na povrchu celé zeměkoule ve formě globálního spadu. Je proto žádoucí na tyto jevy upozornit, seznámit veřejnost se současným stavem a zajistit, aby monitorování ovzduší bylo trvalé. Výsledky zjištěné měřením stupně kontaminace je třeba v souladu s právními předpisy využít pro účinnou prevenci a předcházení krizovým situacím.

Práce je koncipovaná tak, aby se dala využít i jako informační zdroj pro širší veřejnost, proto je doplněna o stručný popis vyhodnocovacích metod a některými tabulkovými údaji, ze kterých lze pochopit složitost této problematiky.

Jako zdroje byly využity výroční zprávy pověřených institucí, které se zabývají radioaktivní problematikou, dále ověřené publikace a tiskoviny výrobců příslušné monitorovací techniky, zkušenosti z exkurzí a odborníků z provozu monitorovacích zařízení a také odborná literatura převážně vydaná Vysokou školou chemicko-technologickou.

## 2. Cíl a metodika práce

### 2.1 Cíl práce

Cílem této práce je upozornit na problematiku kontaminace ovzduší radioaktivními nečistotami a popsat metodiku měření výskytu těchto částic v systému monitorovacích sítí v ČR.

### 2.2 Metodika práce

Zvolené téma této bakalářské práce „Metodika měření kontaminace ovzduší pomocí odběrových zařízení“ je aktuální problematika, která popisuje dnes již běžně známé skutečnosti. Při seznamování se s touto problematikou bylo zjištěno, že údaje sdělované v běžně dostupných materiálech jsou velmi jednoduchou formou prezentace faktů, které lze využít jen omezeně, a jsou určeny jen pro širokou veřejnost.

Práce začínala náhodným výběrem informačních zdrojů v SÚRO Praha, kde byly získány první informační materiály. Navíc jsem získala nová doporučení a kontakty.

Následovala pak již konkrétní návštěva v SÚRO Praha, která byla velmi důležitá při dalším zpracování této tematiky. Poznala jsem zařízení sloužící k odběru vzduchu a navštívila jsem laboratoře, ve kterých probíhalo vlastní měření zachycených radioaktivních částic metodou gama spektroskopie (analytická metoda gama spektroskopie je diskutována v této práci jako hlavní analytická metoda). Měla jsem možnost sledovat práci s velmi dobrým a účinným odběrným zařízením Snow White. Pozorovala jsem i instalace filtrů a jejich opětovné vyjmutí a předání do laboratoře.

Postupem času jsem zjistila, že kontaminace vzduchu je velmi rozsáhlá problematika. Aby se vyhodnotil stupeň kontaminace, bylo nutno vyloučit náhodná měření, ale zřídit složitý monitorovací systém, který vyhodnocuje nejenom vlastní kontaminaci, zabývá se i prevencí, modelováním situací a řešením krizových dějů. Výsledkem jsou pak návrhy způsobů monitorování nejenom výskytu radioaktivních látek v ovzduší, ale i ve vodě, pevných látkách a v dalších možných zdrojích, které vznikají sekundárně činností lidí a při využívání vlastní jaderné energie v průmyslových výrobcích. Překvapením bylo, že kromě stručných informačních zdrojů (výroční zprávy podniků, propagační materiály, návody k vyráběným přístrojům) nebyla metodika měření přehledně popsána v nějaké rozsáhlejší publikaci.

V průběhu zpracovávání práce jsem využila i konzultaci při návštěvě katedry instrumentální analýzy na VŠCHT. Získala jsem zde odborné texty, které byly využity při popisu činnosti scintilačních detektorů, informace o výrobních podnicích zabývajících se výrobou a distribucí odměrných zařízení vzduchu.

Značná část této práce pojednává o zařízeních sloužících k odběru kontaminovaných vzorků vzduchu a je uveden stručný přehled některých modelů těchto přístrojů. Jedná se především o firmu VF a.s. a EnviLog (zařízení typu VOPV a V3H14C), dále o firmu Envinet a.s., která kompletuje detektory ionizujícího záření.

Některé zdroje byly ověřovány a porovnávány údaje v nich publikované. Proto např. velmi obsáhlý informační zdroj (článek Vojtěcha Ulmana o detekci a spektroskopii ionizujícího záření) byl doplněn informací i z Wikipedie.

S metodikou měření kontaminace vzduchu souvisí i kvantitativní informace o intenzitě a energii záření, neboť v některých průmyslových odvětvích dochází k uniku záření a je nutno ve velmi krátké době tuto skutečnost zaznamenat. Proto je v práci i část, která pojednává o operativním měření kontaminace (přenosné měřiče kontaminace).

Tato práce upozorňuje na problematiku kontaminace ovzduší, konstatuje, že celý proces měření a monitorování složení ovzduší je komplikovaná záležitost, které je v současné době věnována výrazná pozornost. Bylo by žádoucí, aby další část této práce byla již zaměřena na konkrétní vyhodnocování krizové situace, aby jednotlivé kapitoly byly doplněny o údaje naměřené v příslušné monitorovací jednotce a aby některé naměřené hodnoty byly zpřístupněny veřejnosti a tak se podporovala myšlenka nejenom skutečné ochrany životního prostředí, ale hlavně preventivní ochrana před předpokládaným zamořením životního prostředí.

### 3. Základní fyzikální pojmy

**Nuklid** je atom s určitým počtem protonů a neutronů v jádře

**Izotopy** jsou různé nuklidy téhož prvku, v jejichž atomech je stejný počet protonů, ale liší se počtem neutronů.

**Radionuklid** je nestabilní nuklid, podléhající samovolné radioaktivní přeměně.

**Radioizotop** je nestabilní izotop prvku, podléhající samovolné radioaktivní přeměně (Houdek F, 2006).

**Ionizující záření** – proud hmotných částic nebo elektromagnetické záření (s kmitočtem vyšším než  $10^{17}$  Hz) doprovázející změnu energetického stavu nebo složení jádra atomu. Zdrojem různých druhů ionizujícího záření jsou radionuklidy (ČEZ, 2001).

#### Druhy ionizujícího záření

**Záření alfa** jsou kladně nabitě částice jader helia obsahující dva protony a dva neutrony. Jedná se tedy o proud částic shodných s jádrem  ${}^4_2\text{He}$  s kladným nábojem. Částice alfa mají velmi malý dolet a pronikavost – zadrží je například papír nebo lidská pokožka.

**Záření beta** je proud záporně nabitých elektronů nebo kladně nabitých pozitronů s jednotkovým elementárním (záporným nebo kladným) nábojem.

Částice beta proniknou slabou vrstvou vody, ale zachytí je tenká vrstva hliníku.

**Záření gama** nemá podobu pevných částic, ale elektromagnetického vlnění. Záření gama je elektromagnetické záření o velmi malé vlnové délce, resp. velmi vysokém kmitočtu.

Částice gama mají velkou energii a mohou proniknout i lidským tělem – pohlit je dokáže například silná olověná nebo betonová deska (SÚRAO, 2002).

**Kosmické záření** – ionizující záření pocházející z mimozemského prostoru.

**Neutronové záření** - proud neutronů (elektricky neutrálních elementárních částic jádra atomu).

**Radioaktivita** – fyzikální jev, při kterém se jádra atomů některých prvků samovolně přeměňují či mění svůj energetický stav a současně při tom uvolňují energii ve formě ionizujícího záření.

**Rentgenové záření** – krátkovlnné elektromagnetické záření vznikající v Roentgenové trubici (zabrzdnění elektronů vyzářovaných katodou v elektronovém obalu jádra prvku anody je doprovázeno vyzářením fotonu).

**Terestriální záření** – ionizující záření pocházející ze zemské kůry (ČEZ, 2001).

#### Fyzikální veličiny a jejich jednotky

**Aktivita** – počet radioaktivních přeměn za jednotku času. Jednotkou pro měření aktivity počet radioaktivní látky je **becquerel (Bq)**.

**Dávka** – množství energie pohlcené v jednotce hmotnosti prostředí. Jednotkou dávky je **gray (Gy=J/kg)**

**Efektivní dávka E** – veličina přesněji vyjadřující účinek záření (dávky) na člověka. Zavádí se proto, že biologická citlivost jednotlivých tkání nebo orgánů lidského těla na shodné dávky je rozdílná. Efektivní dávka E je definována jako součet součinů tkáňových faktorů  $w_t$  a ekvivalentní dávky  $h_t$ . Jednotkou efektivní dávky je **sievert (Sv=J/kg)**.

**Ekvivalentní dávka  $h_t$**  – veličina přesněji vyjadřující účinek daného druhu záření nebo energie záření (dávky) na hmotu, v níž jsou záření nebo energie absorbovány. Zavádí se proto, že různé druhy ionizujícího záření mají při shodné dávce odlišné účinky. Účinnost jednotlivých druhů záření se vyjadřuje radiačním váhovým faktorem  $w_r$ . ekvivalentní dávka  $h_t$  je definována jako součin radiačního váhového faktoru  $w_r$  a střední absorbované dávky v orgánu nebo tkáni T pro dané ionizující záření R nebo součet takových součinů, jestliže pole ionizujícího záření je složeno z více druhů nebo energií. Jednotkou ekvivalentní dávky je rovněž **sievert** ( $Sv=J/kg$ ).

**Poločas rozpadu** – doba, za kterou se rozpadne polovina radioaktivních jader dané radioaktivní látky. Jednotkou pro měření poločasu rozpadu jsou jednotky času (ČEZ, 2001).

## 4. Radioaktivita a radioaktivní odpady obecně

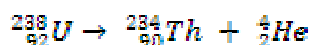
Radioaktivita je vlastnost, která charakterizuje samovolnou přeměnu atomových jader některých nuklidů a je provázena vysláním pronikavého záření. Toto záření se nazývá jaderné (radioaktivní). Poprvé bylo pozorováno francouzským fyzikem H. Becquerelem již v roce 1896.

Radioaktivita je přirozeným jevem. Důsledek tohoto samovolného rozpadu jader atomů je přeměna v jádra jiného izotopu a vše je doprovázeno uvolňováním energie ve formě záření (Houdek F, 2006).

Většina přirozených radionuklidů vznikla při vzniku naší sluneční soustavy. Do dneška se dochovaly pouze radionuklidy s velmi dlouhým poločasem přeměny. Patří k nim například uran  $^{238}\text{U}$ , jehož poločas přeměny 4,5 miliardy let se rovná odhadovanému stáří Země. V přírodě vznikají radionuklidy stále, buď přeměnou jiných nestabilních jader, nebo vlivem kosmického záření. Také ve vesmíru vznikají radionuklidy neustále.

Většina atomových jader vyskytujících se na Zemi je naprosto stálá, výjimku tvoří radioaktivní izotopy, které se rozkládají za emise malých částic zpravidla nesoucích značnou energii. Atomy zejména velmi těžkých prvků potom přecházejí emisí  $\alpha$ -částic (helium) či  $\beta$ -částic (elektron, pozitron) na atomy jiného prvku, než byl původní zářič. Pro atmosférickou chemii je důležitý uran 238, obsažený v mnoha typech hornin, přičemž dochází k jeho neustálému rozkladu a uvolňování plynného radioaktivního radonu z horninového podloží.

Při prvním rozpadu uran 238 emituje  $\alpha$ -částice za vzniku izotopu thoria:



Pro chemii ovzduší je však nejdůležitější vznik radonu, neboť je to vedle heliových  $\alpha$ -částic jediný plynný radioaktivní atom:



Izotop radonu má poločas rozpadu 3,8 dní, což je dosti na to, aby pronikl půdou, horninami či navrtanými otvory do zemského povrchu (uhelné doły, sklepy ap.). Většina radonu uniká zemským povrchem přímo do atmosféry, přičemž velmi slabá koncentrace této látky je zodpovědná za přibližně polovinu celkové radioaktivity, které je lidstvo vystaveno; zbývající polovina radioaktivity je souborem různých vlivů, hlavně pak  $\gamma$ -záření z kosmického prostoru. Většina radonu, který se dostává do budov a uzavřených prostor, pochází ze zhruba metrové vrchní vrstvy Země. Radon vznikající ve větších hloubkách je pravděpodobně konvertován na produkty, které nejsou v plynné fázi (SÚRAO, 2008).

Radon sám o sobě nepředstavuje nebezpečí pro člověka, je inertní a málo rozpustný v tělních tekutinách. Šance, že se rozpadne na další produkty za krátký čas v našich plicích nepatrná. Nebezpečné jsou 3 izotopy, na které se radon postupně rozpadá – polonium, olovo a bizmut. Tyto látky jsou v pevném stavu nasorbovány na prachové částice, z nichž některé zůstávají nalepeny na plicní sklípky. Tyto prvky, zejména  $^{218}\text{Po}$  a  $^{214}\text{Po}$  emitují energetické  $\alpha$ -částice, které mohou způsobit rakovinu

plic (byť ve velkém odstupu za rakovinou plic vzniklou kouřením cigaret) (Víden, 2005).

Většina těchto původních přirozených radionuklidů jsou členy takzvaných přirozených rozpadových řad, jejichž prvními články jsou radionuklidy uran 238, uran 235 a thorium 232. Tyto tři radionuklidy mají velmi dlouhý poločas rozpadu a Zemi byly dány do vínku v poměrně významných koncentracích, takže jejich celkové množství jen v zemské kůře lze počítat v bilionech tun. To je víc, než kupříkladu u cínu nebo rtuti. Kromě tří počátečních zahrnují tyto řady desítky radionuklidů, z nichž nejnámější jsou právě radium 226 a radon 222 – nejrozšířenější plyný radionuklid v půdním vzduchu a v přízemní atmosféře. K nim ještě přistupují původní přirozené radionuklidy, které nejsou členy rozpadových řad. Jsou to především rubidium 87, vůbec nejrozšířenější radionuklid v zemské kůře, a draslík 40, jehož aktivita ve svrchní vrstvě Země má vyšší aktivitu než všechny ostatní přirozené radionuklidy dohromady. Vzhledem k tomu, že draslík patří mezi biogenní prvky, je jeho radioizotop také běžnou součástí všech organismů. Další dva běžné radionuklidy jsou uhlík 14 a tritium (vodík 3). To jsou pro změnu dva nejvýznamnější přirozené radionuklidy „obnovitelné“. Vznikají neustále v horních vrstvách atmosféry působením kosmického záření na dusík a vodík. Vzdušným prouděním se dostávají do biosféry a jako biogenní prvky vstupují podobně jako draslík do látkové výměny organismů. Stejně tak i ostatní uvedené radionuklidy se více či méně uvolňují ze zemské kůry (zvětráváním, erozí, vyluhováním) a vstupují do koloběhu látek v přírodě (Houdek F, 2006).

Poté, co lidé roku 1789 objevili uran, začali vyhledávat a dolovat přímo jeho rudy. Tím uvolňovali do ovzduší radon z uranových rozpadových řad. První lidský „přínos“ radionuklidů do biosféry tedy začal hluboko v předminulém století. A pokračuje dosud. Zatím největším mírovým „producentem“ radionuklidů do ovzduší v globálním měřítku jsou dnes – poněkud paradoxně – tepelné elektrárny. V nich spalovaná fosilní paliva obsahují určitý podíl původních přirozených radionuklidů zemské kůry. Proto každý kilogram poléťavého popílku z klasické uhelné elektrárny má aktivitu v průměru 2700 Bq, plyné exhalace pak „září“ 21,5 milionů Bq na každý megawatt vyrobené elektrické energie. Jaderná elektrárna vypouští do ovzduší na 1 megawatt aktivitu ještě větší, ta však je krátkodobější a do několika dní prakticky vymizí. Různé radionuklidy se do biosféry přece jen dostaly, a to „zásluhou“ pokusných jaderných výbuchů a havárií jaderných reaktorů. „Přebývá“ plutonium 239. To sice vzniká rovněž z uranu, nikoli však štěpením izotopu 235, nýbrž ozařováním uranu 238 neutrony. Plutonium 239 je ekologicky nejnebezpečnějším transuranem, přítomným ve vyhořelém jaderném palivu. I po chemické stránce se jedná o vysoce toxický těžký kov.

Vzplálo přes 2000 pokusných jaderných výbuchů. Z toho 520 těch nejnebezpečnějších – atmosférických. Do vzduchu, který dýcháme, se tak dostaly radionuklidy o celkové aktivitě tisíce trilionů becquerelů. Například koncentrace tritia v atmosféře vzrostla v důsledku jaderných výbuchů asi tisíckrát a jen radioaktivního plutonia 239, jedné z pro člověka vůbec nejnebezpečnějších látek na Zemi, se do ovzduší rozptýlilo skoro tři a půl tuny.

Radionuklidy většinou podléhají přírodnímu koloběhu, protože nahrazují atomy podobně reagujících prvků, které nejsou radioaktivní. Šíří se téměř výlučně vzduchem a vodou. Radionuklidy, ať už pocházejí z přírodních zdrojů, z jaderných výbuchů, nebo z výpustí jaderných zařízení, se mohou v ovzduší nacházet buď jako plyny (radon, tritium, radiouhlík, radioxenon), nebo v podobě prachu či aerosolů. Díky přirozenému proudění vzduchu se pak rozptylují v atmosféře, odkud mohou být

buď vdechnuty, nebo po spadnutí na zemský povrch vnikat do organismů. Přitom průměrná doba setrvání aerosolů a jemného prachu v dolní atmosféře je 10 až 30 dní – za tu dobu vypadnou v ohraničené stopě určené směrem a rychlostí větru. Při výbuších silnějších než pět hirošimských pum s ekvivalentem nad 100 000 tun trinitrotoluenu zplodiny vystoupají do výšky nad 10 km. Pak vydrží v atmosféře i několik let a postupně se ukládají na povrchu celé zeměkoule ve formě globálního spadu (Houdek F, 2006).

Radionuklidy ovšem nemusí ozařovat pouze zvenčí, ale mohou se dostat do organismů. Radioaktivní látky mohou být vdechnuty nebo požitý. V případě tohoto vnitřního zamoření začínají platit další zákonitosti. Kromě poločasu rozpadu, podle něhož se radionuklid rozpadá, pak vstupuje do hry ještě jeho biologický poločas (doba, za kterou se z organismu fyziologicky vyloučí polovina jeho množství). Souběhem poločasu rozpadu a biologického poločasu je pak takzvaný efektivní poločas.

obr. č. 1: Zdroje ozáření populace – graf



zdroj: (SÚRO, 2011a)

#### 4.1 Příčiny rozšíření radioaktivních odpadů do atmosféry

Příčiny rozšíření radioaktivních odpadů lze rozdělit do několika skupin, kde především je nutno upozornit na ty aktuální, které lze nějakým způsobem monitorovat a regulovat, a tím i ovlivnit uvolněné množství. Jedná se hlavně o tři základní příčiny.

##### Jaderné palivo

Vyhořelé jaderné palivo obsahuje radioaktivní látky, jejichž množství (koncentrace) narůstá postupně tak, jak narůstá množství produktů štěpení v jaderném palivu. Je to způsobeno zejména tím, že rozštěpením jednoho atomu  $^{235}\text{U}$  vzniknou dva nestabilní atomy různých prvků, které se dále přeměňují. Proto i po



vyjmutí paliva z reaktoru dochází k jaderným přeměnám a k uvolňování radioaktivního záření a neutronů. Intenzita záření se v čase téměř geometrickou řadou snižuje, než skončí všechny přeměny některým stabilním izotopem (ČEZ, 2001).

Tyto pevné radioaktivní odpady se klasifikují do tří základních kategorií, a to na přechodné, nízko a středně aktivní a vysokoaktivní. Dělíme-li tyto odpady podle místa vzniku, pak největší skupinu z hlediska objemu i aktivity tvoří odpady z jaderné energetiky. Druhou skupinou radioaktivních odpadů pak tvoří takzvané institucionální odpady, které vznikají ve zdravotnictví, průmyslu, zemědělství či výzkumu. Mohou to být např. staré měřicí přístroje a radioaktivní zářiče, znečištěné pracovní oděvy, látky, papír, injekční stříkačky atd. (ČEZ, 2001).

### **Ionizující záření**

Ionizující záření může vyvolávat změny ve struktuře hmoty, a tedy i v buňkách živých tkání. Člověk a s ním i celá živá příroda je vystaven neustálému působení tohoto záření, aniž má možnost tomu zabránit. Ionizující záření (lidskými smysly nedetekovatelné) je totiž trvalou a neoddelitelnou součástí našeho života, neboť naše životní prostředí obsahuje dva trvale přítomné přírodní zdroje tohoto záření – kosmické záření a záření zemské kůry. Kosmické záření přichází ze Slunce nebo z hlubin vesmíru a jeho značnou část pohltí atmosféra nebo odkloní magnetické pole Země. Záření zemské kůry pochází z rozpadu jader radionuklidů přítomných ve vrchních vrstvách zemské kůry (ČEZ, 2001).

### **Umělé zdroje**

Umělými zdroji rozumíme takové zdroje ionizujícího záření, které do životního prostředí zavedl svou činností člověk. Jedná se zejména o zdroje záření užívané v lékařství k diagnóze a léčbě, o radioaktivní látky obsažené v uhlí a uvolněné do životního prostředí při jeho spalování. Dále se jedná o zdroje pocházející ze zkoušek jaderných zbraní, z fosfátových hnojiv, z těžby a úpravy uranových rud, z palivového cyklu jaderných elektráren apod.

Všechny tyto emise se šíří v atmosféře. Ovlivňuje se tím značně životní prostředí lidí, dochází k nárůstu ozáření a tak i k nárůstu nemocí způsobených nadměrným ozářením osob.

Procentuální zastoupení jednotlivých složek ozáření lidí je graficky znázorněno na obr. č. 1 (ČEZ, 2001).

### **Přírodní radioaktivita a problematika radonu**

Největší ozáření obyvatelstva je způsobeno zdroji přírodními. Velmi závažné se jeví ozáření obyvatelstva způsobené radonem ve vzduchu v budovách. V České republice byly nalezeny dokonce tak vysoké úrovně radonu pronikajícího z geologického podloží, že jeho koncentrace převyšují více než 10× mezní hodnoty koncentrací radonu v uranových dolech.

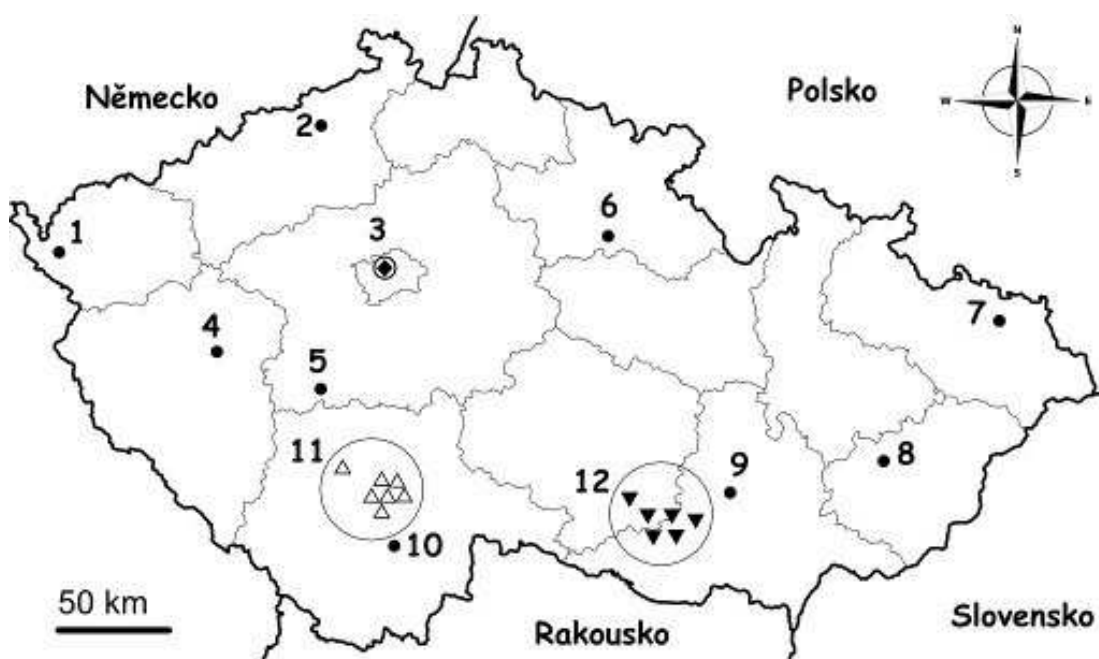
Některé složky ozáření z přírodních zdrojů jsou ovlivněny lidskou činností a je rozumné je regulovat. Regulace uvolňování přírodních radionuklidů do životního prostředí při některých průmyslových činnostech je tedy sledovanou záležitostí (SÚRO, 2011a).

Z hlediska ozáření člověka jsou významné jen některé přírodní radionuklidy. Zevní ozáření gama člověka způsobuje především přítomnost  $^{226}\text{Ra}$  (resp. uranu),  $^{232}\text{Th}$  a  $^{40}\text{K}$  v horninách a půdách povrchové vrstvy Země (jde o vrstvu několik desítek centimetrů).

Z hlediska vnitřního ozáření je zcela dominantní radon ( $^{222}\text{Rn}$ ) a thorn ( $^{220}\text{Rn}$ ) a jejich produkty přeměny. Významným radionuklidem z hlediska vnitřního ozáření je izotop draslíku  $^{40}\text{K}$ . Dále je třeba z hlediska vnitřního ozáření věnovat pozornost izotopům radia  $^{226}\text{Ra}$  a  $^{228}\text{Ra}$ , uranu  $^{238}\text{U}$ ,  $^{234}\text{U}$ , polonia  $^{210}\text{Po}$  a olova  $^{210}\text{Pb}$ . V příjmu těchto radionuklidů (a odpovídajících dávkách) mohou být velké rozdíly u jednotlivých osob nebo skupin obyvatelstva. S výjimkou inhalace radonu a jeho produktů mají na svědomí nejvyšší dávky obyvatelstvu (SÚRO, 2011a).

Vzhledem ke skutečnosti, že příčin kontaminace ovzduší je celá řada, je proto celá ČR monitorována a v oblastech mimořádného nebezpečí je zvýšen počet měřících bodů (obr. 2).

obr. č. 2: Rozmístění měřících míst v ČR



- |    |                   |
|----|-------------------|
| 1  | Cheb              |
| 2  | Ústí nad Labem    |
| 3  | Praha             |
| 4  | Plzeň             |
| 5  | Kamenná           |
| 6  | Hradec Králové    |
| 7  | Ostrava           |
| 8  | Holešov           |
| 9  | Brno              |
| 10 | České Budějovice  |
| 11 | Okolí JE Temelín  |
| 12 | Okolí JE Dukovany |

zdroj: (SÚRO, 2011a)

## 4.2 Ovzduší jako základní složka životního prostředí

Atmosféra tvoří ochrannou slupku bránící život na Zemi před ničivými vlivy okolního kosmického prostoru. Základním rysem tohoto ochranného štítu je absorpce větší části kosmického záření, dopadajícího na vnější atmosférické vrstvy. Dále absorbuje většinu elektromagnetického záření ze Slunce a propouští pouze radiaci v oblasti 300 až 2500 nm (blízké UV – ultrafialové, viditelné a NIR – blízké infračervené záření) a rovněž radiové vlny v oblasti 0,01 až 40 m. Atmosféra plní funkci ochrany zemského povrchu před ničivými účinky ultrafialového záření (O<sub>3</sub> vrstva). Také reabsorbuje IR záření odražené a vyzařované zemským povrchem směrem do kosmického prostoru, čímž stabilizuje teplotu přízemních vrstev ovzduší. Zabráňuje tím ohromným teplotním výkyvům, které jsou běžné na planetách a měsících bez atmosféry.

Jako základní článek hydrologického cyklu transportuje atmosféra vypařující se vodu z oceánů nad zemský povrch a zastává vlastně funkci obřího kondenzátoru ve sluncem poháněném destilačním přístroji. Tímto mechanismem se ovšem na zemský povrch dostávají i nepříjemné škodliviny, které způsobují škody na lidském zdraví, poškozují vegetaci a materiály (Víden, 2005).

Stav čistoty ovzduší je jedním ze tří nejdůležitějších environmentálních faktorů působících na lidské zdraví. Přestože poživatiny živočišného i rostlinného původu a pitná voda jsou zdrojem cca 85% celkové zátěže člověka toxickými látkami, lze na druhé straně vhodnou volbou jejich složení a původu mnohým rizikům předcházet a minimalizovat nebezpečí intoxikace. Člověk však průměrně vdechne (a vydechne) 15 až 20 m<sup>3</sup> vzduchu (18 až 24 kg) za den, takže i nepatrné koncentrace škodlivin v ovzduší mohou výrazně ovlivnit jeho zdraví. Na rozdíl od možné volby potravin lze jen velmi obtížně „vybírat“ mezi různými druhy atmosféry.

Znečištěné ovzduší může obsahovat celou řadu škodlivin. Největší nebezpečí představují látky v pevném a kapalném stavu zpravidla nasorbované na částice prašného aerosolu. Jedná se zejména o persistentní organické polutanty (POPs), těžké kovy, asbest, některé toxiny, toxické plyny a případně i radioaktivní látky (Víden, 2005).

POPs lze rozdělit na 5 základních kategorií:

- 1) polychlorované bifenyly (PCB)
- 2) pesticidy, zejména chlorované druhy (OCP)
- 3) polyaromatické uhlovodíky (PAU)
- 4) dioxiny (PCDD a PCDF)
- 5) další PBT, většinou náhražky velmi toxických stávajících POPs

Persistence těchto sloučenin znamená, že jejich degradace v životním prostředí je pomalá nebo zanedbatelná. Kromě kondenzovaného stavu se mohou v omezené míře vyskytovat v ovzduší i přímo v plynné fázi. Tyto látky se dostávají do ovzduší přičiněním člověka, neboť jsou vyráběny za určitým účelem a navíc vznikají i jako vedlejší produkty při různých chemických výrobcích.

Ve skupině persistentních a neodbouratelných látek s vysokým bioakumulačním potenciálem jsou nejvíce sledovány a za nejnebezpečnější považovány rtuť, olovo, kadmium, chrom a arsen, velmi závažný je rovněž nikl. Dochází k nárůstu koncentrace chemické látky v organismu.

Kromě již zmíněných kovů, je nutné kontrolovat i některé dříve běžně rozšířené látky jako je např. azbest. Jemné vláknité částice asbestu mají kancerogenní účinky, proto pro určení zdravotního rizika je nezbytné sledovat absolutní koncentraci azbestu ve vzduchu. Při zvýšeném zatížení imisemi azbestu dochází k pomalu se vyvíjející fibróze plic, tzv. Asbestóze, při níž se funkční plicní epitel mění na fibrózní.

Vedle POPs hrají při znečištění ovzduší nemalou roli i plynné složky, byť zpravidla s menším bezprostředním účinkem na lidské zdraví. Jedná se zejména o těkavé organické látky (VOC) a anorganické plyny, především oxidy dusíku a síry a oxid uhelnatý. Velmi toxické až smrtící jsou naopak bojové plyny a vzduchem přenášené infekční látky, které představují hrozbu terorismu (Víden, 2005).

## 5. Monitorovací technika a metody

### 5.1 Informační systém kvality ovzduší - Radiační monitorovací síť v ČR

Hlavní zásady systému monitorování radiační situace na území ČR jsou definovány zákonem č. 18/1997 Sb. (atomový zákon). Radiační situace na území ČR je zjišťována především pomocí Radiační monitorovací sítě (RMS), která pracuje ve dvou režimech.

První (normální režim) je zaměřen na monitorování za obvyklé radiační situace. Do druhého (havarijní režim) přechází RMS za radiační mimořádné situace. Normální režim je kontinuálně zabezpečován stálými složkami RMS. V havarijním režimu pracují rovněž i pohotovostní složky (SÚRO, 2011a).

V současné době provádějí monitorování radiační situace na území ČR stálé složky RMS:

- Síť včasného zjištění (SVZ), která sestává ze 71 měřících bodů s automatizovaným přenosem naměřených hodnot. Jejich provoz zajišťují Regionální centra (RC) SÚJB, SÚRO, Český hydrometeorologický ústav (ČHMÚ), Hasičský záchranný sbor (HZS) ČR a Armáda ČR; SVZ je doplněná v okolí jaderných elektráren Dukovany a Temelín teledozimetrickou sítí (TDS), kterou tvoří 24 detektorů v okolí JE Temelín a 27 detektorů u JE Dukovany;
- Teritoriální síť TLD tvořená 184 měřícími místy rozmístěnými na území ČR provozovaná SÚRO a RC SÚJB;
- Lokální síť TLD s celkem 21 měřícími místy v okolí JE Dukovany a JE Temelín provozovaná SÚRO a příslušnými RC SÚJB;
- Lokální síť TLD se 70 měřícími místy v okolí JE Dukovany a JE Temelín provozované Laboratořemi radiační kontroly okolí (LRKO) jaderných elektráren;
- Teritoriální síť 10 měřících míst kontaminace ovzduší (MMKO) provozovaných RC SÚJB, SÚRO a ČHMÚ;
- Síť 12 laboratoří, které jsou vybaveny pro kvalitativní i kvantitativní analýzy obsahu radionuklidů ve vzorcích z životního prostředí (např. v aerosolech, spadech, potravinách, pitné vodě, krmivech apod.). Jsou využívány metody spektrometrie alfa, beta, gama, další radiometrické metody a metody radiochemické analýzy (dle vybavení laboratoře) (SÚRO, 2011b).

Od Černobylské havárie se standardně monitorují aktivity v ovzduší, kde z umělých radionuklidů je již měřitelné pouze  $^{137}\text{Cs}$ . Ve spektrech jsou identifikovatelné kromě  $^{137}\text{Cs}$  i přírodní radionuklidy  $^7\text{Be}$ , které je produktem přeměny přírodního  $^{222}\text{Rn}$ .

Standardní způsob monitorování SÚRO Praha je nastaven tak, že se měří týdenní vzorky kontinuálně odebíraných aerosolů odběrovým zařízením s průtokem  $900\text{ m}^3/\text{h}$ . Měření vzorku trvá až 6 dnů, aby bylo dosaženo citlivosti dovolující spolehlivě stanovit současné hodnoty aktivit  $^{137}\text{Cs}$ .

Radiační monitorovací síť (kontinuálně monitoruje ovzduší na 10 místech v ČR. V uvedených 10 místech se monitorují umělé radionuklidy, z nichž v měřitelných koncentracích se v současné době vyskytuje pouze cesium 137, a i to

většinou je měřitelné jen při použití odběrových zařízení s velkým průtokem, a dlouhou dobou odběru a měření. Odběry se provádějí v týdenních intervalech a doby měření, potřebné k dosažení „prahu citlivosti“ měření 1 mikroBq/m<sup>3</sup>, jsou 3 až 6 dnů. Kromě již zmíněného cesia 137 se v síti měřících míst kontaminace ovzduší monitorují přírodní radionuklidy berylium 7 a olovo 210.

Jednou z nejdůležitějších složek Radiační monitorovací sítě České republiky je Síť TL-dozimetrů (TLD síť) s cílem monitorovat vnější ozáření obyvatel na území ČR (SÚRO, 2011a).

**tab. č. 1: Monitorovací body sítě TLD provozované SÚRO a RC SÚJB**

Typ monitorování	Počet monitor. bodů
teritoriální monitorování po území ČR	184
lokální monitorování v okolí JE Dukovany	12
lokální monitorování v okolí JE Temelín	9
<b>Celkem</b>	<b>205</b>

zdroj: (SÚRO, 2011a)

**tab. č. 2: Rozdělení všech monitorovacích bodů TLD podle typu monitorování**

Oblast	Počet monitorovacích bodů		
	Venku	v budově	celkem
Praha hl. m.	8	5	13
Střední Čechy	17	8	25
Jižní Čechy	20	10	30
Západní Čechy	16	9	25
Severní Čechy	17	6	23
Východní Čechy	16	5	21
Jižní Morava	21	5	26
Severní Morava	16	5	21
Česká republika	<b>131</b>	<b>53</b>	<b>184</b>

zdroj: (SÚRO, 2011a)

Většina monitorovacích bodů je umístěna ve volném prostranství ve výšce 1m nad úrovní terénu (SÚRO, 2011a). Část monitorovacích bodů se rozmísťuje i do přilehlých budov, aby bylo eventuálně možno odhadnout účinnost ukrytí obyvatel v případě radiační havárie. Měřenou veličinou je průměrný čtvrtletní fotonový dávkový ekvivalent HX [μSv]. TLD síť pracuje ve dvou základních složkách - teritoriální síti a lokálních sítí v okolí JE.

Teritoriální TLD síť je tvořena 184 monitorovacími body přibližně rovnoměrně rozmístěnými na území ČR. Monitorovací body lokálních TLD sítí jsou rozmístěny v okolí jaderných elektráren v Dukovanech a Temelíně. Struktura a počet bodů teritoriální sítě podle oblastí ČR uvádějí následující tabulky.

Jako dozimetry jsou používány plastické karty se třemi TLD elementy  $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{C}$ . Měření se provádí pomocí automatického měřicího TLD systému Dosacus – Rados (obr. 3) (SÚRO, 2011a).

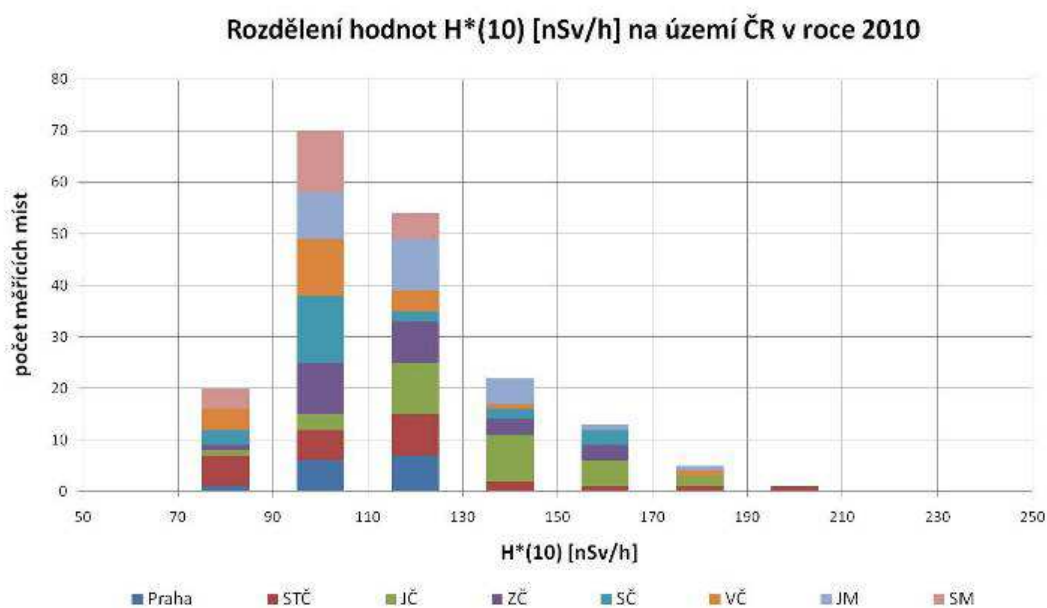
obr. č. 3: TLD



zdroj: (VF, 2008a)

Převážná většina naměřených hodnot se dlouhodobě pohybuje v intervalu od 70 nSv/h do 270 nSv/h, což odpovídá variacím přírodního pozadí na území ČR. Za dobu existence TLD sítě nebylo zaznamenáno žádné překročení vyšetřovací úrovně, tj. hodnoty 500 nSv/h.

obr. č. 4: Rozdělení dávkového příkonu na měřicích místech v ČR



zdroj: (SÚRO, 2011a)

### Terminál elektronických dozimetrů TED-MP

Umožňuje získávání informací o osobách a jejich osobních dávkách z elektronických osobních dozimetrů různých typů. Terminál elektronických TED-MP je součástí systému elektronické osobní dozimetrie SEOD-MP. Poskytuje rozhraní osobám vstupujícím do kontrolovaného pásma (KP) či do jiných vyhrazených prostor, kde se manipuluje se zdroji ionizujícího záření. Je vhodný především pro zdravotnická či vojenská zařízení, výzkumné ústavy a další pracoviště nakládající se zdroji. Hodí se také pro menší systémy užívané jaderných energetických zařízení. Systém umožňuje registraci všech osob překračujících hranice kontrolovaného pásma (pomocí identifikačních karet) a dohled nad jejich osobními dávkami (pomocí elektronických osobních dozimetrů) (VF, 2008a).

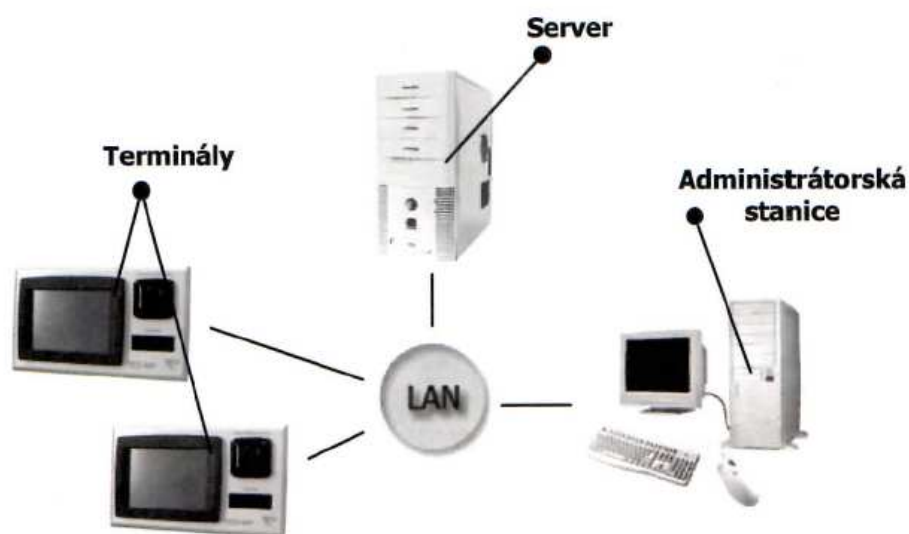
obr. č. 5: Terminál TED-MP



zdroj: (VF, 2008a)



obr. č.6: HW konfigurace systému SEOD-MP



zdroj: (VF, 2008a)

Terminál TED (VF 29) se skládá z průmyslového panelového počítače, který řídí činnost celého systému, z čtečky dozimetřů komunikující s vloženým dozimetrem. Jeden terminál může obsahovat více čteček pro různé typy dozimetřů různých výrobců. Dále z vnitřního napájecího zdroje, který poskytuje napájení ze sítě všem komponentám terminálu.

Osoby vstupující do nebo vystupující z kontrolovaného pásma se identifikují pomocí svých identifikačních karet, čárových kódů nebo čipů. Po vložení dozimetru do čtečky při vstupu do kontrolovaného pásma systém automaticky přiřadí dozimetr identifikované osobě. Po návratu z kontrolovaného pásma se po vložení dozimetru přečte informace o obdržené dávce a uloží se do databáze (VF, 2008a).

## 5.2 Detektory ionizujícího záření

Detektor ionizujícího záření je takové zařízení, které je schopno detekovat (měřit) ionizující záření. Detektory umožňují zkoumat vlastnosti tohoto záření. Detektory ionizujícího záření nám poskytují kvantitativní informace o intenzitě, energii, prostorové distribuci a příp. dalších vlastnostech záření.

Detektory ionizujícího záření se rozdělují podle principu detekce na fotografické, elektronické a materiálové detektory. Podle časového průběhu detekce na kontinuální a kumulativní (integrální) detektory. Podle komplexnosti měřené informace na detektory záření, udávající pouze intenzitu záření, resp. počet kvant záření, bez informace o druhu záření a jeho energii. Mezi tyto nejjednodušší detektory patří filmové a termoluminiscenční dozimetry, ionizační komory a Geigerův-Müllerův počítač. Další typy spektrometrů ionizujícího záření měří nejen intenzitu či počet kvant záření, ale i energii kvant záření a jeho další charakteristiky. Ve spektrometrickém režimu mohou pracovat především scintilační detektory, polovodičové detektory a magnetické spektrometry.

Detektory ionizujícího záření lze rozdělit na následující typy (Wikipedia, 2010):

a) zobrazovací detektory – kamery, které zobrazují (vizuálně nebo elektronicky) prostorové rozložení intenzity záření. Nejjednodušším zobrazovacím detektorem je fotografický film.

b) dráhové detektory částic - částic měří dráhy pohybu jednotlivých částic v prostoru, včetně jejich zakřivení v magnetickém poli. Dosahuje se toho například na základě materiálových efektů - fotochemických reakcí, kondenzace kapiček z páry nebo elektronicky složitými systémy velkého množství prostorově rozmístěných detektorů nebo ionizačních komor.

c) dozimetry- jsou zařízení k měření dávek ionizujícího záření. Dozimetr funguje na principu změny látky v něm obsažené.

d) scintilační detektory

Scintilační detektor je zařízení pro detekci ionizujícího záření založené na principu excitace elektronu do vyššího energetického stavu zářením, přičemž návrat elektronu do základního stavu se projeví jako světelný záblesk.

e) Geigerův-Müllerův počítač

Geigerův-Müllerův počítač také Geigerův-Müllerův čítač či Geigerův-Müllerův detektor je detektor ionizačního záření (především gama, ale i beta a alfa). Měřicí část počítače je tvořena trubicí a vláknem obklopeným plynem. Vodiče jsou pod vysokým napětím 100 – 1000 V. Částice prolétávající plynem naráží do jeho atomů a vytváří z nich ionty a elektrony. Elektrony dopadající na anodu jsou poté registrovány jako impulzy.

f) materiálové detektory

Např. gelové dozimetry jsou založeny na lokálních materiálových změnách úměrných absorbované dávce. Jde buď o změny optických vlastností vyhodnocované prozářením laserovými paprsky, nebo změny chemických vlastností, způsobující změny magnetických vlastností.

### 5.3 Přenosné operativní měřiče dávkového příkonu a kontaminace

obr. č. 7:



Široký měřicí rozsah: dávkové příkony gama od 0,01  $\mu\text{Sv/h}$  do 10 Sv/h rozhraní pro přenos dat rozhraní pro připojení externích sond komponenta systému monitorování prostředí RADOS AAM

obr. č. 8:



Měřicí rozsah: dávkové příkony gama od 0,05  $\mu\text{Sv/h}$  až do 100 mSv/h rozhraní pro připojení externích sond

obr. č. 9:



Externí beta sondy k měřičům RDS-200, RDS-110 a Multirad

obr. č. 10:



Externí gama sondy k měřičům RDS-200 a RDS-100

obr. č. 11:



Detekce gama / gama a neutronového radioaktivního záření vysoká citlivost extrémně rychlá odezva spektrometrické vlastnosti: CsI gama detektor rozhraní bezdrátové komunikace

obr. č. 12:



Detekce gama / gama a neutronového radioaktivního záření rozšířený měřicí rozsah vysoká citlivost extrémně rychlá odezva spektrometrické vlastnosti: CsI gama detektor rozhraní bezdrátové komunikace

obr. č. 13:



Měřicí rozsah: dávkové příkony gama od 0,01  $\mu\text{Sv/h}$  až do 100  $\text{mSv/h}$  rozhraní IrDA histogramy přes konfigurační CSW SW vysoká životnost baterií

obr. č. 14:



Měření povrchové kontaminace  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  v  $\text{imp/s}$  nebo  $\text{Bq/cm}^2$  knihovna pro 8 nuklidů rozhraní IrDA histogramy přes konfigurační CSW SW vysoká životnost baterií

obr. č. 15:



Měření povrchové kontaminace  $\alpha/\beta$  nebo  $\beta/\gamma$  vysoká citlivost přes velkou detekční plochu přednastavitelné profily měření pře MCII SW knihovna pro 20 nuklidů paměť pro 500 zaznamenaných měření

obr. č. 16:



**Monitorování prostředí Inteligentní sonda** pro monitorování gama prostředí. Rozsah měření od  $0,01 \mu\text{Sv/h}$  do  $10\text{Sv/h}$ . Teplotní rozsah od  $-40^\circ\text{C}$  do  $+70^\circ\text{C}$ . Sonda RD-02 je srdcem systému monitorování prostředí RADOS. Systém může být koncipován v rozsahu od malé lokální monitorovací stanice až po celostátní monitorovací síť se stovkami detektorů. Sonda RD-02 umožňuje využití komunikačních prostředků pro vybudování online monitorovací sítě včasného varování (rds, 2012).

## 6. Monitorování radionuklidů v ovzduší

Radionuklidy v ovzduší jsou monitorovány v tzv. měřicích místech kontaminace ovzduší (MMKO) vybavených zařízeními pro odběr aerosolu s průtoky v rozmezí 40 - 900 m<sup>3</sup>/h. Účelem programu monitorování je sledování distribuce aktivit radionuklidů a dávek ionizujícího záření na území státu v prostoru a čase, zejména s cílem získat dlouhodobé časové trendy a včas zjistit odchylky od nich. Pozornost je věnována umělým radionuklidům, z nichž se vyskytují v ovzduší: <sup>137</sup>Cs, <sup>90</sup>Sr, <sup>238</sup>Pu, <sup>239+240</sup>Pu, <sup>85</sup>Kr, <sup>14</sup>C, <sup>3</sup>H.

Úkolem celé této velmi citlivé monitorovací sítě (teritoriální a lokální) je zjištění a monitorování i malých kvalitativních a kvantitativních změn obsahu umělých radionuklidů v atmosféře a sledovat dlouhodobé časové průběhy, na jejichž základě lze odhadnout radiační zátěž obyvatelstva z inhalace.

Teritoriální síť se skládá z 10 MMKO provozovaných RC SÚJB, SÚRO a ČHMÚ. Lokální síť MMKO provozuje Laboratoř radiační kontroly okolí (LRKO) JE Dukovany na 6 stanicích a LRKO JE Temelín na 7 stanicích.

Základem metodiky monitorování je vyhodnocení obsahu filtru s kontinuálně odebíraným aerosolem, který je měněn zpravidla v týdenních intervalech a následně měřen pomocí polovodičové spektrometrie gama.

Ve spektrech je identifikovatelné dlouhodobě v nízkých aktivitách umělé <sup>137</sup>Cs a přírodní radionuklidy <sup>7</sup>Be, které je kosmogenního původu, a <sup>210</sup>Pb, které je produktem přeměny přírodního <sup>222</sup>Rn. <sup>137</sup>Cs v aerosolu pochází z globálního spadu, který je důsledkem dřívějších zkoušek jaderných zbraní v atmosféře a havárie JE v Černobylu. V období březen-květen 2011 byly detekovány i radionuklidy <sup>137</sup>Cs, <sup>134</sup>Cs a <sup>131</sup>I, jejichž původ byl také v JE Fukušima (SÚRO, 2011a).

Dalšími radionuklidy, jejichž obsah v ovzduší je v MMKO Praha sledován je <sup>85</sup>Kr (jeho hlavním zdrojem jsou závody na přepracování jaderného paliva a v minulosti i zkoušky jaderných zbraní; v malé míře se vyskytuje též ve výpustech jaderných elektráren) a <sup>14</sup>C (jeho přírodní rovnovážná koncentrace v atmosféře, kde kontinuálně vzniká účinkem neutronové složky kosmického záření na atmosférický dusík, byla navýšena zkouškami jaderných zbraní; v současné době jsou zdrojem antropogenního <sup>14</sup>C zejména jaderně energetická zařízení, kde vzniká aktivací v jaderných reaktorech).

Ke vzorkování vzduchové hmoty se užívá odběrové zařízení typu Snow White pro kontinuální odběr aerosolů s průtokem vzdušiny 900 m<sup>3</sup>/h. Zařízení se nachází v areálu SÚRO Praha.

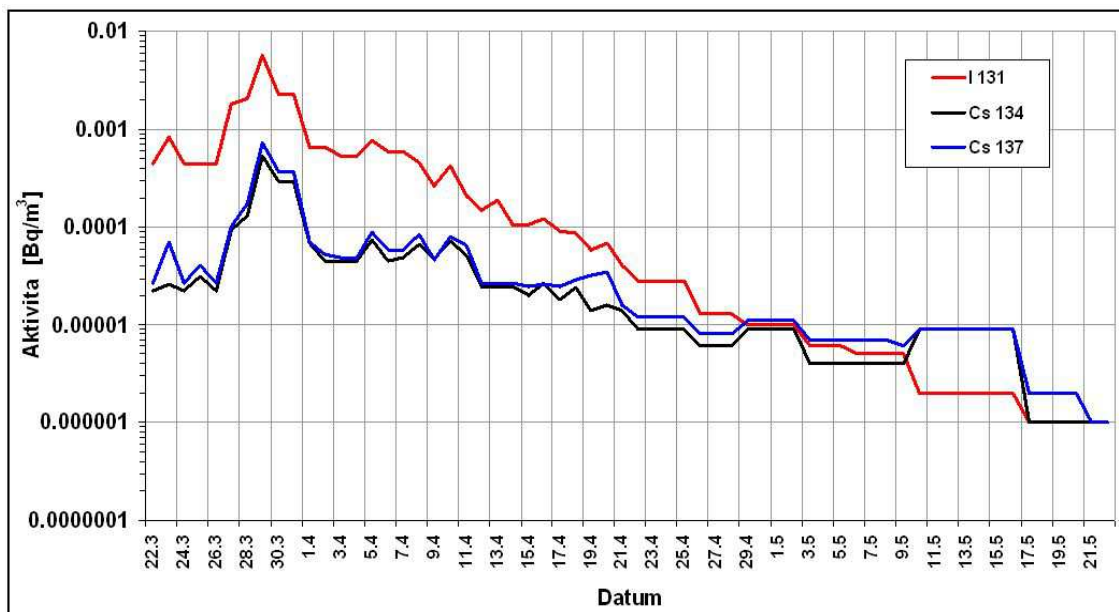
V následující části jsou uvedeny naměřené týdenní hodnoty (obr.18) v letech 2009-2011 a maximální hodnoty (obr.19) objemových aktivit <sup>137</sup>Cs, <sup>7</sup>Be a <sup>210</sup>Pb ve vzdušném aerosolu (měřeno v lokalitě SÚRO Praha) ve dvou měsících následujících po havárii v JE Fukušima.

obr. č. 17: Výměna aerosolového filtru v zařízení Snow White



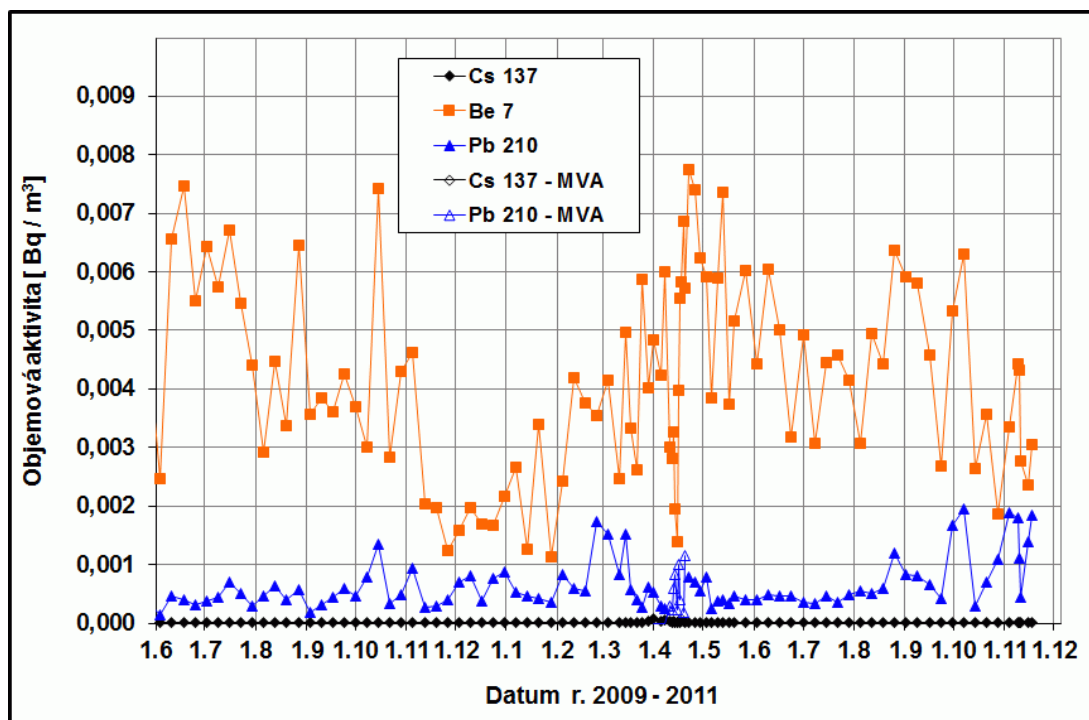
zdroj: (SÚRO, 2011b)

obr. č. 18: Graf objemové aktivity vybraných izotopů



- jedná se o rok 2011 po havárii v JE Fukušima
- zdroj: (SÚRO, 2011b)

obr. č. 19: Graf - maximální hodnoty objemových aktivit  $^{131}\text{I}$ ,  $^{134}\text{Cs}$  a  $^{137}\text{Cs}$  po havárii v japonské jaderné elektrárně Fukušima



- Červené body (aktivity přírodního radionuklidu  $^7\text{Be}$ ) leží v intervalu jedna tisícina až jedna setina  $\text{Bq}/\text{m}^3$ , zatímco černé body ( $^{137}\text{Cs}$ ) leží v intervalu jedna desetimilióntina až jedna desetitisícina  $\text{Bq}/\text{m}^3$ .
- MVA = minimální významná aktivita (práh detekce)  
zdroj: (SÚRO, 2011b)

### Cíle systému monitorování

Smyslem celého systému monitorování je ochrana člověka a životního prostředí před nežádoucími vlivy radioaktivního záření. Požadavky na radiční monitorování plynou přímo z atomového zákona. Např. i ze staré důlní šachty, kde byl těžen smolinec a kde jsou přítomny jeho nevytěžitelné zbytky a vzhledem i ke skutečnosti, že tyto prostory nejsou hermeticky uzavřené, dochází trvale k zvýšení výskytu radionuklidů v prostorech a tím i v atmosféře.

Abychom předcházeli případným kolizním situacím, bylo přistoupeno k metodice sekundárního využití hodnot měření, tj. byl vypracován systém modelových situací, kde opět hlavním důvodem je včasné varování obyvatel. Modelové výpočty předpokládají, že např. podzemní voda přechází z geosféry do jednotlivých složek biosféry a stává se součástí potravních řetězců. Bezpečnostní analýzy určují a prokazují výši této kontaminace. Výsledná dávka osob pak závisí na posouzení následků přijímání kontaminované potravy, na ozáření především z půdy a ze vzduchu a na následcích možného vdechování kontaminovaných částic (Dlouhý, 2009).



## Tvorba modelu

Modelování jevů a procesů znamená vyjádření většinou složitých fyzikálních, chemických, geologických a biologických procesů pomocí řady zákonů a rovnic. Tyto rovnice by měly podrobně popisovat způsob, jakým jsou mezi sebou svázány jednotlivé parametry, například korozní rychlost s teplotou prostředí, teplota s časem nebo aktivita s časem apod.

Při tvorbě koncepčního modelu, vznikají nejistoty, které musí být popsány a náležitě zváženy. Problém nejistot tkví v tom, do jaké míry lze kvantifikovat důvěru v obdržené výsledky. První jsou nejistoty způsobené nedostatečnými znalostmi systému, který se snažíme modelovat. Jde například o nezahrnutí některého procesu při přípravě scénáře, který by se mohl v budoucnosti uskutečnit; jako příklad mohou sloužit drastické změny permeability nebo změny rychlostí podzemního proudění, způsobené změnami teplot nebo v důsledku vývoje plynných zplodin vlivem radiolýzy nebo biologickou degradací materiálů. Druhým zdrojem nejistot jsou modely samotné a v nich platnost některých pokusů o jejich zjednodušení. Třetím zdrojem je nedostatek vstupních dat nebo nepřesností ve vstupních datech (Dlouhý, 2009).

## 7. Odběrná zařízení vzduchu

### 7.1 Vysokoobjemový prosávač vzduchu VOPV-12

Zařízení VOPV-12 je určeno k odběru vzorků vzduchu pro měření obsahu nečistot v ovzduší, například při měření kontaminace ovzduší radioaktivními látkami, prachem a podobně.

Vysokoobjemový prosávač vzduchu VOPV-12 pracuje na principu prosávání vzduchu přes filtr zachycující aerosoly. Vlastní prosávání vzduchu zajišťuje odstředivé čerpadlo, které je vybavené vysokootáčkovým asynchronním motorem řízeného procesorem. Požadovaný průtok je automaticky udržován, zaznamenávají se údaje o prosátém objemu vzduchu v daném intervalu, celkový prosátý objem, celková doba chodu zařízení a další potřebné údaje. Zařízení tvoří jeden mechanický celek s možností připojení filtru na vstup sání.

Je možné ho používat nahodile, cyklicky i kontinuálně. Může sloužit zejména jako ventilační jednotka u odběrových systémů jako odběrové zařízení pro operativní měření aktivity aerosolů a jodů v ovzduší pracovního prostředí nebo jako odběrové zařízení pro kontinuální (bilanční) měření aktivity aerosolů (např. izotopů jodu) z ventilačních komínů.

Hlavní význam odběrových zařízení vzduchu je jejich použití v monitorovacích stanicích životního prostředí, kde pak ve spojení s příslušným filtrem dochází k zachycování radioaktivních nečistot. Radioaktivní nečistoty, které filtr zachytí, jsou poté změřeny v laboratoři. Tímto způsobem lze určit specifickou aktivitu jednotlivých radionuklidů.

V současné době jsou nabízeny dva základní modely s různými rozsahy průtoků pro různé aplikace. Obvykle jsou využívány pro vzorkování aerosolů při průtocích 20 až 160 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup> a vzorkování izotopů jódu při průtocích 1 až 5 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>. Maximální hodnoty průtoků mohou být ovlivněny (limitovány) typem a velikostí použitého filtru. Výhodou těchto zařízení je jednoduchost v zobrazení informací (vzorkování vzduchu, průtok, doba vzorkování, parametry vzduchu, stav zařízení, atd.) (VF, 2008c).

#### Konstrukční uspořádání

Velkoobjemový prosávač vzduchu VOPV-12 mechanicky tvoří jeden celek. Na čelní straně přístroje se nachází vstupní příruba sacího otvoru (viz obr. 20), na zadní straně je umístěn síťový vypínač, zásuvka a konektor. Na vrchní straně krytu je výfuková příruba, displej a klávesnice.

#### Princip činnosti – blokové schéma

Činnost VOPV-12 je založena na principu regulace počtu otáček motoru čerpadla v závislosti na naměřeném průtoku a průtoku požadovaném – nastaveném z klávesnice (viz obr. 23). Vstupní médium musí být zbavené mechanických nečistot. Měřicí trasa média má snímače teploty, tlaku a průtoku. Výstupní hodnoty ze snímačů vstupují do řídicí jednotky. Podle aktuálního průtoku kompenzovaného na tlak a teplotu se na výstupu řídicí jednotky objeví napětí pro ovládání výstupní frekvence měniče motoru čerpadla. Požadované parametry se do VOPV-12 zadávají

z klávesnice. Všechny nastavené parametry nebo také aktuální parametry se mohou sledovat na alfanumerickém displeji 2x16 znaků.

Při použití přístroje VOPV-12 pro měření aerosolů je nutné nasadit na přístroj držák aerosolového filtru s vloženým filtračním plátnem (obr. 22) (VF, 2008c).

**obr. č. 20: Vysokoobjemový prosávací vzduchu VOPV-12 – držák aerosolového filtru**



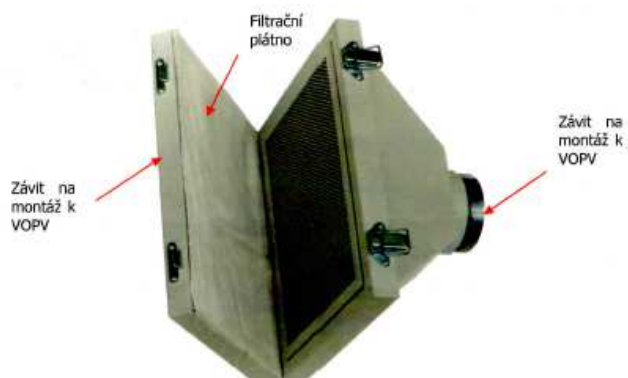
zdroj: (VF, 2008c)

**obr. č. 21: Vysokoobjemový prosávací vzduchu VOPV-12**



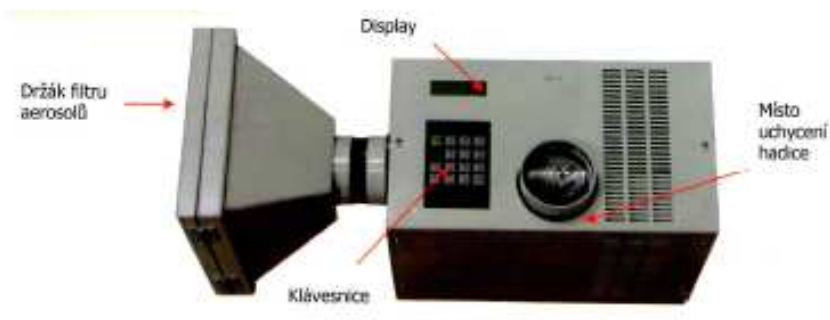
zdroj: (VF, 2008c)

**obr. č. 22: Vysokoobjemový prosávací vzduchu VOPV-12 – vkládání filtračního plátna**



zdroj: (VF, 2008c)

obr. č. 23: Vysokoobjemový prosávač vzduchu VOPV-12 – ovládací prvky



zdroj: (VF, 2008c)

## 7.2 Zařízení VOPV-22

Zařízení VOPV-22 pracuje na stejném principu jako zařízení VOPV-12 a je rovněž určeno k odběru vzorků vzduchu s cílem měření obsahu nečistot v ovzduší, k měření kontaminace ovzduší radioaktivními látkami, prachem a podobně. Toto zařízení slouží mimo jiné k odběru vzdušnin pro různé typy filtrů (VF, 2008d).

obr. č. 24: Zařízení VOPV-22



zdroj: (VF, 2008d)

## 7.3 Zařízení V3H14C

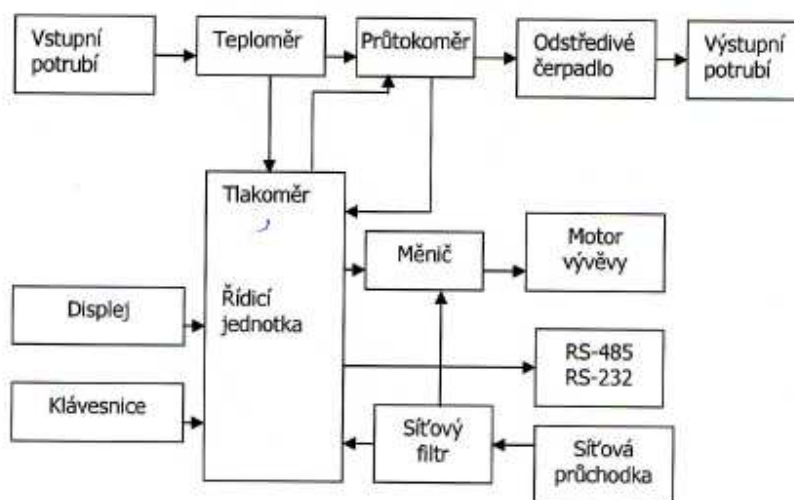
Zařízení V3H14C, resp. V3H14Ca je určeno pro odběry vzorků  $^3\text{H}$  a  $^{14}\text{C}$  ze vzduchu.

### Popis zařízení

V3H14C je dvoucestné, přičemž první odběrová trasa je určená pro záchyt  $^3\text{H}$  a  $^{14}\text{C}$  pouze ve formě  $\text{H}_2\text{O}$  a  $\text{CO}_2$  a druhá odběrová trasa, vybavená katalytickým spalováním, je určená k odběru  $^3\text{H}$  a  $^{14}\text{C}$  i ve formě  $\text{H}_2$ ,  $\text{CO}$  a  $\text{C}_x\text{H}_x$ .

V3H14Ca je redukovanou formou V3H14C, obsahuje pouze jednu trasu bez katalyzátoru a je určeno pro odběr  $^3\text{H}$  a  $^{14}\text{C}$  pouze ve formě  $\text{H}_2\text{O}$  a  $\text{CO}_2$ .

obr. č. 25: Blokové schéma V3H14C



Zařízení V3H14C obsahuje:

- vstupní aerosolový filtr (jódomový filtr jako příslušenství)
- měřidla teploty, tlaku a relativní vlhkosti
- řídicí jednotku s ovládacími tlačítky a grafický displej
- dvě odběrové trasy

zdroj: (VF, 2008e)

První odběrová trasa obsahuje měřidlo průtoku, sorbční nádoby pro  $^3\text{H}$  a  $^{14}\text{C}$  a čerpadlo. Druhá odběrová trasa obsahuje navíc katalyzátor před sorbčními nádobami. Zařízení V3H14Ca (model K0220) je redukovanou formou V3H14C, obsahuje pouze jednu odběrovou trasu bez katalyzátoru. V základním provedení jsou sorbčními médii Silikagel a NaOH.

obr. č. 26: Zařízení V3H, V3Ha pro odběr  $^3\text{H}$



zdroj: (VF, 2008e)

Zařízení V3H, resp. V3Ha je určeno pro odběry vzorků  $^3\text{H}$  vzduchu. V3H je dvoucestné, přičemž první odběrová trasa je určená pro záchyt  $^3\text{H}$  pouze ve formě  $\text{H}_2\text{O}$  a druhá odběrová trasa, vybavená katalytickým spalováním, je určená k odběru  $^3\text{H}$  i ve formě  $\text{H}_2$ .

V3Ha je redukovanou formou V3H, obsahuje pouze jednu trasu bez katalyzátoru a je určeno pro odběr  $^3\text{H}$  pouze ve formě  $\text{H}_2\text{O}$ .

Zařízení V3H obsahuje podobně jako V3H14C jodový filtr, příslušná měřidla teploty, tlaku, relativní vlhkosti, řídicí jednotku a dvě odběrové trasy.

Každé uspořádání příslušných typů se navíc rozlišuje podle určité modelové řady. Např. lze volit různé druhy sorbčních medií nebo se rozlišuje i doba provozu příslušného zařízení v režimu trvalém nebo periodickém apod.

První odběrová trasa obsahuje měřidlo průtoku, sorbční nádoby pro  $^3\text{H}$  a čerpadlo. Druhá odběrová trasa obsahuje navíc katalyzátor před sorbčními nádobami. V základním provedení je sorbčním médiem Silikagel. Vzorkovač umožňuje bilanci množství nejen zachycených složek, ale i bilanci množství těchto složek vypuštěných komínem. Musí být k dispozici data o aktuálním množství vzdušiny protékající komínem a o množství vzdušiny protečeného za vzorkovací periodu. Všechna tato kritéria plní zařízení V3H, resp. V3Ha.

Na připojeném grafickém displeji je možné odečítat celkové množství protečeného vzduchu, aktuální průtoky trasami, dobu provozu a veškeré naměřené hodnoty jako jsou teplota, tlak a vlhkost v trase a teplota v katalyzátoru. Pro všechny měřené hodnoty je možné nastavit signalizační úroveň, jejichž překročení zařízení signalizuje (VF, 2008e).

obr. č. 27: Zařízení V3H14Ca



zdroj: (VF, 2008e)

#### 7.4 Zařízení VOPV-10

Zařízení VOPV-10 je určeno k odběru vzorků vzduchu a pro měření obsahu nečistot v ovzduší, například při měření kontaminace ovzduší radioaktivními látkami, prachem a podobně. Systém je především určen pro odběry vzduchu přes filtr s regulací průtoku vzduchu. Prosáváč vzduchu je konstruován pro nepřetržitý provoz. Vzhledem k vysokému výkonu, nízkým nárokům na spotřebu elektrické energie, minimální údržbě a jednoduché obsluze může sloužit zejména jako:

- odběrové zařízení pro operativní měření aktivity aerosolů a jódů v ovzduší
- odběrové zařízení pro kontinuální měření aktivity aerosolů a jódů v ovzduší (bilance)
- odběrové zařízení pro aplikace s nízkou spotřebou energie

Na displeji lze zobrazit aktuální průtok, celkový průtok od okamžiku spuštění systému, prosátý objem ve volitelných časových intervalech, celkový počet provozních hodin od okamžiku spuštění, teplotu a tlak odebíraného média, stavová a chybová hlášení a reálný čas. VOPV-10 může pracovat v autonomním režimu (průtok vzduchu je řízen vestavěnou řídicí jednotkou) nebo může být připojen k systému a jeho činnost je řízena prostřednictvím externího PC. Zařízení je vybaveno řadou funkcí, jako jsou jednoduché nastavení požadovaného průtoku vzduchu, automatické udržování požadovaného průtoku, automatický start po přerušení napájení, apod. Systém se vyrábí ve variantách buď pro stabilní, nebo mobilní instalaci. Velkoobjemový prosávač vzduchu VOPV-10 je přenosné zařízení tvořící jeden mechanický celek s možností regulace nastaveného průtoku (VF, 2008b).

### Princip činnosti

Činnost VOPV-10 je založená na principu regulace počtu otáček motoru v závislosti na naměřeném průtoku a průtoku nastaveném z klávesnice. Vstupní médium musí být prosávané přes filtr, který ho zbaví mechanických nečistot. Potom se médium dostává na teploměr, tlakoměr a průtokový otvor. Na průtokovém otvoru je snímána tlaková ztráta úměrná průtoku.

obr. č. 28: Zařízení VOPV 10



zdroj: (VF, 2008b)

Odezvy snímaných veličin jsou vedené do řídicí jednotky, naměřená teplota je zobrazená i na displeji. Podle skutečného průtoku a podle požadovaného průtoku kompenzovaného na tlak a teplotu se objeví na výstupu řídicí jednotky napětí pro výstupní frekvenci měniče napájecího motoru prosávače, který buď zrychluje, nebo udržuje konstantní otáčky. Požadované parametry se do VOPV-10 zadávají z klávesnice. Všechny nastavené nebo aktuální parametry je možno sledovat na grafickém displeji (VF, 2008b).

## 8. Monitoring a hodnocení kvality ovzduší

Hlavním účelem monitoringu není pouze sběr dat, ale poskytování důležitých informací vědcům, politikům a expertům v oblasti plánování, aby mohli kvalifikovaně rozhodovat řízení a zlepšování kvality životního prostředí. Obecně je znečištění vzduchu provázeno celou soustavu různých částic pevného nebo kapalného skupenství rozptýlených právě v plynném prostředí. Tyto aerosoly pak proměříme s cílem získat informace o míře znečištění.

Mezi přírodní znečišťující aerosolové příměsi v atmosféře počítáme půdní a prachové částice, vulkanický popel, kosmický prach proniklý do zemského ovzduší, produkty hoření meteoritů, malá semínka rostlin, pylová zrna, bakterie, produkty rozkladu organických látek apod. Právě uvedené příklady představují součásti přirozeného atmosférického aerosolu, avšak v poslední době se v souvislosti s ekologickou problematikou věnuje velká pozornost aerosolům antropogenního původu, které vznikají jako přímé nebo nepřímé produkty lidské aktivity.

Jednotlivé typy monitoringu se liší metodikou, společný je však požadavek na zajištění kvality a věrohodnosti získávaných údajů (Braniš & Hůnová, 2009).

### 8.1 Imisní monitoring

Monitoring imisní představuje objektivní zjišťování míry znečištění venkovního ovzduší. Kvalita ovzduší je pak hodnocena porovnáním zjištěných koncentrací s imisními limity, případně s přípustnými četnostmi překročení imisních limitů, jakožto úrovněmi, které by dle legislativy v ochraně ovzduší neměly být překračovány.

Imisní monitoring je provozován v územně rozlehlých měřících monitorovacích sítích, které vznikaly na našem území již v průběhu 60.

Tyto monitorovací sítě nebyly umístovány náhodně, ale podle příslušných směrnic (Braniš & Hůnová, 2009).

Proto pro umístění odběrové sondy platí následující podmínky:

1) Tok vzduchu okolo vstupního otvoru vzorkovací sondy by neměl být omezován žádnou překážkou ovlivňující tok vzduchu v okolí vzorkujícího zařízení (obvykle vzdáleného několik metrů od budov, balkonů, stromů a dalších překážek a nejméně 0,5 m od nejbližší budovy v případě vzorkovacích bodů reprezentujících kvalitu vnějšího ovzduší v prostoru linie začínající zástavby).

2) Vstupní otvor vzorkovací sondy by měl být umístěn ve výši mezi 1,5 m (zóna dýchání) a 4 m nad zemí. Za některých okolností mohou být nutné vyšší polohy (až do 8 m). Toto vyšší umístění může být také vhodné, pokud má být stanice reprezentativní pro větší oblasti.

3) Vstupní otvor vzorkovací sondy by neměl být umístěn v bezprostředním okolí emisních zdrojů, aby byl vyloučen přímý odběr vzorků emisí nezředěných mícháním s okolním ovzduším.



## 8.2 Přehled metod měření imisí

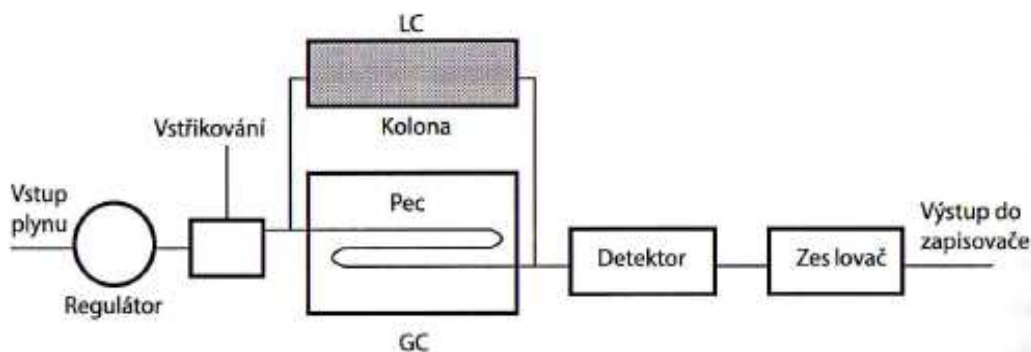
Metody měření imisí se dělí především na metody manuální a kontinuální. Manuální metody se používají především pro monitorování složek, pro které neexistuje adekvátní automatizovaná varianta měření (monitoring těžkých kovů v aerosolu).

Jako příklad metody manuálního měření je uvedeno měření koncentrace aerosolu metodou filtračně-gravimetrickou. Příslušný vzorek je odebírán spojitou filtrací přes membránový filtr. Doba a frekvence odběru odpovídající charakteru lokality, kde je místo odběru zřízeno. Zachycené množství vzorku na filtru (v mm) se stanoví gravimetricky jako rozdíl hmotnosti filtru po expozici a před ní.

Podobně se provádí i stanovení koncentrace kovů v ovzduší, avšak hlavice s filtrem je z inertního materiálu, jako např. teflonu nebo plastických hmot. Exponovaný filtr je zmineralizován na mokré cestě kyselinou dusičnou za horka. Analýza kovů na filtru je prováděna technikou atomové absorpční spektrometrie. Výsledná atmosférická koncentrace aerosolu, popř. kovu, se uvádí v  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^3$  prosátého vzduchu.

**Chromatografie:** metoda dělení a analýzy směsí látek (obr. 29). Podstatou metody je, že složky směsi se dělí na základě rozdílných afinit mezi stacionář (nepohyblivou fází) a mobilní fází. Afinitní síly, které se uplatňují při chromatografickém dělení, jsou především adsorpční síly (van der Waalsovy, slabé elektrostatické interakce), dále pak rozdílná rozpustnost v příslušných fázích, a v neposlední řadě ionizace a disociace. Po opuštění chromatografické kolony se oddělené látky určují a stanovují vhodnými detektory.

obr. č. 29: Schéma plynové a kapalné chromatografie



zdroj: (Braniš & Hůnová, 2009)

### Sítě automatizovaného monitorování ovzduší

Hlavním posláním sítí tohoto typu je především získávání údajů o koncentracích znečišťujících látek ve venkovním ovzduší v reálném čase pro operativní využití ve smogových regulačních systémech (SRS) k zásahům vedoucím k omezení emisí ze zdrojů znečišťování v obdobích s nepříznivými imisními a rozptylovými podmínkami. Obecně jsou automatizované monitorovací systémy tvořeny především soustavou odpovídajících měřících přístrojů propojených systémem sběru a předzpracování dat, z nichž jsou primární údaje vedeny komunikačními

linkami do center pro vyhodnocení operativních informací pro varovné a regulační systémy v reálném čase.

### Měření částic atmosférického aerosolu radiometrickou metodou

Měření koncentrace částic atmosférického aerosolu je založeno na absorpci beta záření ve vzorku zachyceném na filtračním materiálu (Braniš & Hůnová, 2009). Z rozdílu absorpce beta záření mezi exponovaným a neexponovaným filtračním materiálem, který je úměrný hmotnosti zachycených částic atmosférického aerosolu, je odvozen údaj o jeho koncentraci. Průchodem beta záření filtračním materiálem se zachyceným vzorkem dochází v závislosti na tloušťce vrstvy zachycených částic atmosférického aerosolu k zeslabení intenzity podle vztahu obdobného Lambert-Beerovu zákonu pro absorpci elektromagnetického záření:

$$I = I_0 \cdot e^{-\mu q},$$

Kde  $I$  je intenzita beta záření po průchodu vrstvou vzorku aerosolu zachyceného na filtrační pásce radiometru,  $I_0$  je intenzita beta záření prošlého čistou páskou bez vzorku,  $\mu$  je hmotností absorpční koeficient,  $q$  je plošná hustota vrstvy zachyceného aerosolu. Pro plošnou hustotu vrstvy částic prašného aerosolu zachycených na filtrační pásce radiometru a koncentraci aerosolu ve vzduchu platí vztah:

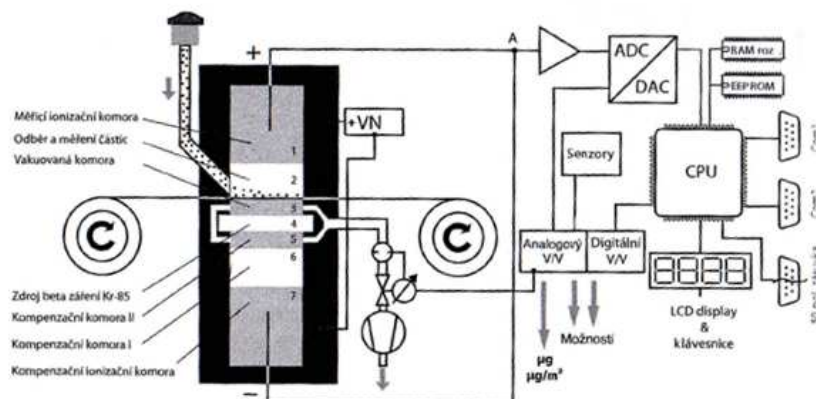
$$q = c \cdot V/S,$$

kde  $c$  je hmotnostní koncentrace částic atmosférického aerosolu [ $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ],  $V$  je objem prosátého vzduchu,  $S$  plocha vrstvy vzorku aerosolu na filtrační pásce.

Pro koncentraci částic atmosférického aerosolu stanovenou radiometrickou metodou a intenzitou beta záření, vyjádřenou podílem četností impulsů  $N$  po průchodu vrstvou vzorku aerosolu zachyceného na filtrační podložce radiometru a četností impulsů  $N_0$  po průchodu čistou filtrační podložkou platí:

$$c = S \ln(N_0/N) / \mu \cdot V,$$

obr. č. 30: Radiometrický prachoměr firmy VEREWA – schéma

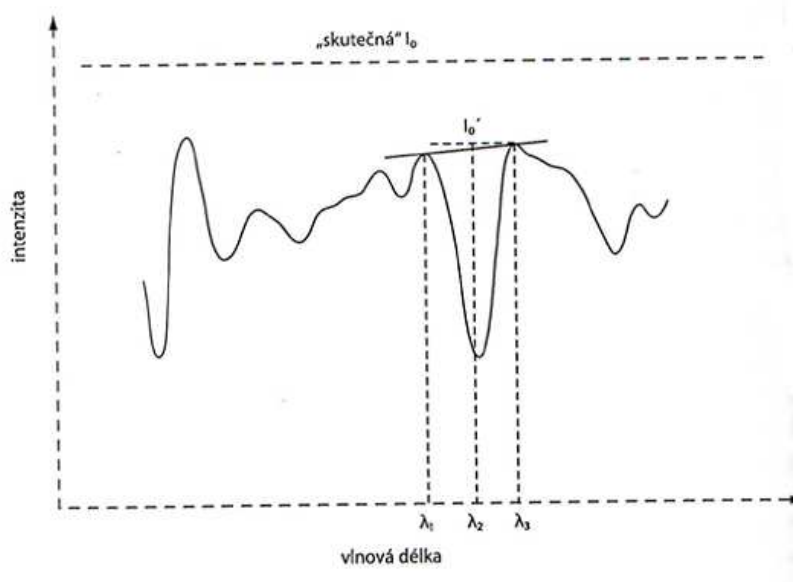


zdroj: (Ulman, 2011)

## Spektroskopické techniky měření na dálku

Vedle automatizovaného monitoringu venkovního ovzduší, založeného na staničních měřeních, ve kterých se provádí měření uváděnými metodami ve vzorcích „bodově“ odebíraného vzduchu, se prosazují i monitorovací systémy založené na metodě diferenciální optické absorpční spektroskopie (DOAS). Metoda DOAS je jednou z metod dálkové detekce. Předností metody je, že koncentrace sledovaných látek je stanovena jako průměr podél optické dráhy dlouhé stovky metrů až několik kilometrů a reprezentuje tedy lépe sledované území na rozdíl od bodových odběrů, které jsou ovlivněny lokálním znečištěním. Další předností metody je skutečnost, že daný měřicí systém tohoto typu lze použít ke sledování většiny běžných znečišťujících látek ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{O}_3$ ,  $\text{NH}_3$  a řada dalších), vážnějším omezením je vliv mlh, silného sněžení a deště na kvalitu měření (Braniš & Hůnová, 2009).

obr. č. 31: Princip diferenciální optické absorpční spektroskopie – graf



zdroj: (Ulman, 2011)

### 8.3 Atomová absorpční spektroskopie (AAS)

Předmětem studia jsou atomy v základním stavu. Vzorek ve formě roztoku (aerosolu) se rozprašuje do plamene, který převede vzorek na atomy v plynném stavu, tzn., dojde k rozložení molekul a komplexů. Na soubor těchto plynných atomů se působí monochromatickým zářením o vlnové délce odpovídající elektronovému přechodu v atomu, který ve vzorku hledáme (kvalitativní analýza) nebo jehož obsah stanovujeme (kvantitativní analýza).

Optická metoda, založená na měření absorpce elektromagnetického záření volnými atomy v rozmezí vlnových délek 190-850 nm (tj. čárová spektra). Metoda je vhodná pro kvantitativní elementární analýzu asi 60-70 prvků převážně kovových. Nutné je převedení analyzované látky z vodného či nevodného roztoku na volné atomy v plynné fázi. Atomizace vyžaduje vysokou teplotu (2 000 – 3 000 K) a je jednou z klíčových operací a problémů u této metody.

Energetická kvanta fotonů pohlcovaných při absorpci záření odpovídají přechodu vnějších (valenčních) elektronů atomů ze základních atomových orbitalů (energie  $E_0$ ) na excitované (energie  $E_1$ ). Změna energie je cca  $\Delta E = 1,5 - 1,6$  eV.

Přechody začínající (u absorpce) resp. končící (u emise) v základním stavu jsou označovány jako rezonanční. Přechody ve volných atomech odpovídají velmi úzkým frekvenčním pásům ve spektru tzv. spektrálním čárám, jejichž vlnová délka je pro daný prvek charakteristická.

Absorpcí vzniklý excitovaný stav atomu je nestabilní (doba života  $10^{-8} - 10^{-9}$  s), velmi rychle se deaktivuje (srážkami, fluorescencí) a přechází zpět do základního stavu. Při pracovních teplotách AAS je počet atomů v excitovaném stavu  $N_1$  zanedbatelně malý oproti počtu atomů v základním stavu  $N_0$  z toho plyne, že: Koncentraci atomů v základním stavu lze ztotožnit s celkovou analytickou koncentrací prvků (Volka, 2000).

### **Princip funkce přístroje**

Ze zdroje primárního záření (nejčastěji výbojka s dutou katodou, zhotovená ze sledovaného prvku) vystupuje záření jednotlivých emisních čar prvku, které prochází absorpčním prostředím, kde volné atomy prvku absorbují určité vlnové délky dopadajícího záření. Monochromátor izoluje vybranou čaru (zpravidla rezonanční). V detekčním systému je detekováno zeslabení toku původního záření.

### **Vyhodnocování signálu**

Metody AAS jsou metody porovnávací, relativní. Při vyhodnocování koncentrace vzorku vycházíme z naměřené absorbance, kterou porovnááme s absorbancemi pro standarty (musí se složením blížit analyzovanému vzorku) metodou kalibrační křivky nebo metodou standardního přídatku (Volka, 2000).

## **8.4 Gama spektrometrie**

K monitorování jednoho z druhů radioaktivního záření se užívá instrumentální analytická metoda - gama spektrometrie.

Radionuklidy v ovzduší jsou monitorovány v tzv. monitorovacích místech kontaminace ovzduší vybavených zařízeními pro odběr aerosolu (SÚRO, 2011a). Celková citlivost monitorovací sítě umožňuje monitorovat i malé kvalitativní a kvantitativní změny obsahu radionuklidů v atmosféře. Celé toto dění (jedná se o zachycení molekul aerosolu na speciálním filtru) se vyhodnocuje výše zmíněnou metodou polovodičové spektrometrie gama.

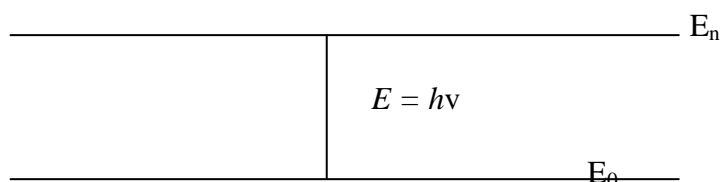
### **Spektrometrie gama – popis metody**

Energie gama záření emitovaného jednotlivými radionuklidy je možno rozlišit na gama spektrometrech vyhodnocením jejich gama spekter, podobně jako se od sebe rozliší v emisní spektrografii jednotlivé prvky použitím emisních spekter. To umožňuje skutečnost, že každý radionuklid je jednoznačně charakterizován energií vyzářeného kvanta gama záření (kterou lze vyhodnotit z jeho gama spektra) a poločasem rozpadu. Gama spektrometrie je metoda, kterou je možno využít pro

kvalitativní i kvantitativní stanovení mikromnožství prvků i ve směsích, které obsahují více prvků nezávisle na jejich chemické formě, v které se ve sledovaném systému nacházejí (Krofta & kol., 1997).

### Emise záření gama a gama spektrum

Základním charakteristickým znakem radionuklidu je jeho nestabilita provázená emisí radioaktivního záření (radioaktivní rozpad). Nejdůležitějšími produkty radioaktivního rozpadu jsou částice alfa, částice, beta a záření gama. Při emisi gama záření přechází atomové jádro z energeticky nestabilního stavu na jaderný izomér, který je stabilnější, nebo se dále rozpadá. Jaderné izoméry jsou jádra s tímž počtem protonů a neutronů, lišící se svým energetickým stavem. Gama záření je tedy výsledkem deexcitace jádra z jeho vyšší energetické hladiny na nižší, resp. na základní hladinu. Velikost energie vyzařovaného gama záření  $E$  odpovídá rozdílu obou energetických hladin  $E_n$  a  $E_0$  (zde je uvažován přechod do základního stavu s energií  $E_0$ ).



Energie gama záření různých radionuklidů se pohybuje v rozmezí od 0,01 do 10 MeV ( $1 \text{ eV} = 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ ), představuje tedy tvrdé elektromagnetické vlnění s malou vlnovou délkou ( $10^{-10} - 10^{-14} \text{ m}$ ). Spektrum gama zářiče je diskrétní, čárové a má jedno nebo několik ostrých maxim (čar), tzv. „fotopíků“ (Krofta & kol., 1997).

## 9. Princip detekce jaderného záření

Pro jeho detekci se využívají efekty interakce záření s vhodně zvoleným a umístěným prostředím. Jaderné záření vysílané radioaktivní látkou může ve vhodném detektoru vyvolat sekundární účinky tím, že ztratí část nebo všechnu svou energii. Příslušným přístrojem spojeným s detektorem se tato ztracená energie (odezva) po případném zesílení zaregistruje a změří.

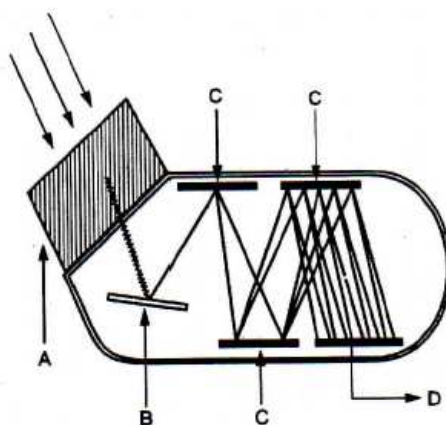
Podle toho, jaký efekt jaderného záření na prostředí se užívá, je možno detektory rozdělit do několika skupin. V současné době se hlavně využívá ionizačních účinků záření – měření ionizačních proudů. Na tomto principu pracují ionizační komory, proporcionální detektory. Další skupina detektorů využívá přeměnu pohybové energie částic nebo fotonů radioaktivního záření na světlo. Sem patří hlavně scintilační detektory (Envinet a.s., 2011b).

### 9.1 Scintilační detektory

Scintilační detektory využívají luminiscence některých látek, která nastává vlivem rychle letících nabitých částic nebo fotonů (Krofta & kol, 1997). Při dopadu ionizujících částic nebo gama fotonů na luminiscenční látky nastává v důsledku interakce emise fotonů. Ve fotonásobiči jsou fotoelektrony zesíleny v požadované proudové impulsy a ty pak registrujeme. Scintilační detektory charakterizuje velká rozlišovací schopnost, citlivost ke všem druhům záření zvláště k záření gama a dlouhá životnost. Scintilační detektory mají široké použití jak při běžné detekci jaderného záření, tak i ve spektrometrii. Na detekci gama záření se převážně používá scintilační látka, kterou tvoří monokrystal jodidu sodného aktivovaného thaliem (NaI(Tl)). Tento typ detektorů patří do skupiny tzv. krystalových scintilačních detektorů. Jedná se o nejčastěji používané anorganické scintilátory určené k detekci gama záření. Vedle jejich primárního použití, tj. detekce gama záření a spektrometrie, se tyto scintilátory také používají pro detekci měkkého rentgenového záření. Díky jejich velkému světelnému výkonu, vysoké detekční účinnosti a dobrému energetickému rozlišení jsou tyto scintilátory hojně používány v biologii, lékařských aplikacích, geologii, v radionuklidových průmyslových aplikacích, monitorování životního prostředí.

Podobně lze využít i scintilační detektory kombinovaného alfa a beta záření, které představují další užitečnou skupinu detektorů a jsou navrženy pro paralelní měření alfa a beta záření. V případě beta částic jsou tyto scintilátory vhodné pro detekci středně a vysoce energetického záření. Alfa částice jsou pak detekovatelné v širokém rozsahu energií. Kombinované scintilátory se zejména hodí k měření radioaktivity v kontaminovaných oblastech, při měření směsi nuklidů atd. (Envinet a.s., 2011a).

obr. č. 32: Schéma scintilačního detektoru



A - Scintilační látka (scintilátor), B – fotokatoda, C – stupňovité elektrody (dynody) – fotonásobiče, D – registrace impulsů  
zdroj: (Krofta & kol, 1997)

### Scintilační gama spektrometrie

Základní úlohou spektrometrie záření gama je stanovení energie a intenzity jednotlivých diskrétních skupin fotonů záření gama emitovaných zkoumaným radionuklidem či směsí radionuklidů. Jednotlivé energetické skupiny fotonů gama se ve spektru zobrazují jakožto příslušné fotopíky, přičemž energie záření určuje polohu fotopíky na vodorovné ose spektra a intenzita určuje plochu (integrál) pod fotopíkem.

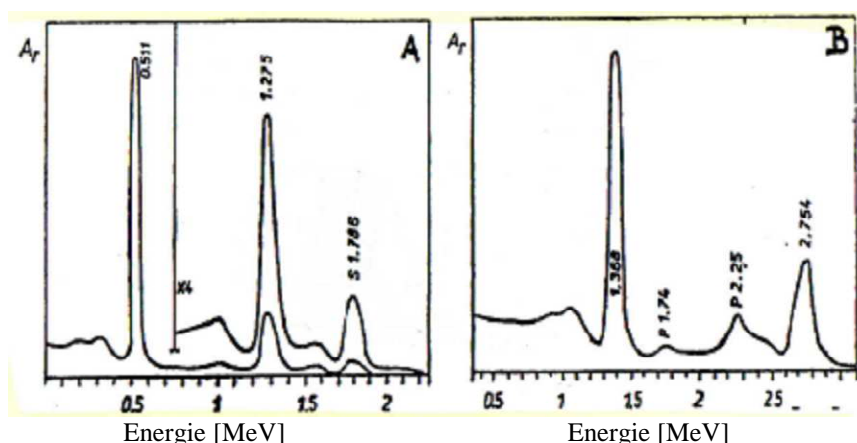
V anorganických scintilátorech vznikají scintilační fotony při přeskocích elektronů zachycených na vyšších hladinách luminiscenčních center (Ulman, 2011).

Použitím scintilační spektrometrické měřicí techniky můžeme rozlišit i jednotlivé radionuklidy ve směsi. Scintilační gama spektrometrie je založena na úměrnosti mezi velikostí elektrických impulsů na výstupu fotonásobiče a energií gama částice absorbované v scintilátoru. Ve scintilační gama spektrometrii je scintilační detektor, který rozdělí elektrické impulsy detektoru podle jejich velikosti. Gama spektrometr zakreslí celé spektrum záření jako křivku s maximy odpovídajícími energiím jednotlivých radionuklidů. Křivka vyjadřuje závislost četnosti impulsů za jednotku času naměřený při energii odpovídající jednotlivým bodům křivky. Gama spektrum jednoznačně charakterizuje daný radionuklid.

Poznatky získané při studiu jaderných reakcí se např. staly základem analytických aktivačních metod. Nejběžněji je používána neutronová aktivační analýza, kde aktivujícími částicemi jsou neutrony. Zdrojem neutronů jsou nejčastěji experimentální jaderné reaktory nebo radionuklidové neutronové zdroje.

Pro kvalitativní i kvantitativní vyhodnocení aktivované směsi, obsahující po aktivaci radionuklidy vyzařující záření gama, se běžně používá vyhodnocení právě gama spekter příslušných radionuklidů. Stanovením energií fotonů emitovaných vzorkem po jeho aktivaci získáme kvalitativní informaci o složení vzorku a z velikosti plochy vymezené spektrem příslušného radionuklidu údaj o jeho kvantitativním složení.

obr. č. 33: Gama spektrum



zdroj: (Krofta & kol, 1997)

Neutronová aktivační analýza v kombinaci s gama spektrometrií je využívána například ke zjišťování stopových množství prvků ve vodách, spadech, potravinách a jiných systémech.

### Kvalitativní analýza gama spektra

Pro kvalitativní vyhodnocení neznámého gama spektra znamená určení neznámé energie gama záření odpovídající jednotlivým maximům spektra příslušející neznámému radionuklidu, je nezbytné přístroj kalibrovat použitím radionuklidů o známé hodnotě energie jejich gama záření (Krofta & kol., 1997). Je možno kalibraci provést třemi popř. čtyřmi body (např. radionuklidy  $^{137}\text{Cs}$  ( $E = 0,6661 \text{ MeV}$ ),  $^{60}\text{Co}$  ( $E_1 = 1,17 \text{ MeV}$ ,  $E_2 = 1,33 \text{ MeV}$ ) a  $^{241}\text{Am}$  ( $E = 0,059 \text{ MeV}$ )).

Porovnáním nalezené hodnoty energie pro jednotlivá maxima u neznámého vzorku s tabelovanými hodnotami energií gama fotonů příslušejícím jednotlivým radionuklidům, a při znalosti poločasu rozpadu určíme druh radionuklidu (tabulka).

### Kvantitativní analýza gama spektra

K určení obsahu určitého radionuklidu, který je výsledkem aktivace stanovovaného elementu ve sledovaném vzorku, se nejvíce využívá relativní metody, kdy je srovnán fotopík standardu s fotopíkem neznámého vzorku. Standardem je zde radionuklid o známé koncentraci či aktivitě, totožný s radionuklidem v neznámém vzorku. Vyhodnocení koncentrace či aktivity prvků či radionuklidů se provádí srovnáním velikostí ploch fotopíků standardu a neznámého vzorku (Krofta & kol., 1997).

tab. č. 3: Základní charakteristiky některých radionuklidů

Z	nuklid	poločas rozpadu	E (MeV)
11	Na 22	2,6 r	0,13; 0,51
	Na 24	15,1 h	1,37; 2,76
19	K 40	$1,27 \cdot 10^8$ r	1,46
21	Sc 46	84,2 d	0,89; 1,18; 2,07



24	Cr 51	27,8 d	0,33
25	Mn 54	313, d	0,21; 0,62; 0,83
26	Fe 59	47,1 d	1,10; 1,30
27	Co 57	270, d	0,12; 0,14
	Co 60	5,2 r	0,51; 1,17; 1,33
30	Zn 65	245, d	1,11
34	Se 75	127, d	0,14; 0,26; 0,41
39	Y 88	105, d	0,91; 1,89; 2,8
40	Zr 95	65, d	0,73
47	Ag m110	253, d	0,66; 0,76; 0,89; 1,38
48	Cd 109	470, d	0,09
55	Cs 134	2,3 r	0,61; 0,80
	Cs 137	33, r	0,21; 0,66
56	Ba 133	8, r	0,03; 0,06; 0,08; 0,38
58	Ce 144	290, d	0,04; 0,09; 0,14; 0,85; 0,96
62	Sm 151	93, r	0,02
63	Eu 152	12,7 r	0,04; 0,12; 0,34
69	Tm 170	129, d	0,05; 0,08
80	Hg 203	45,4 d	0,07; 0,28
95	Am 241	475, r	0,02; 0,06

r - roky, d - dny, h - hodiny

Z – protonové číslo, E – energie vyzařovaného kvanta gama záření

zdroj: (Krofta & kol, 1997)

## 9.2 Detektory a jejich dělení podle průběhu a principu detekce

Detektory ionizujícího záření si můžeme rozdělit podle časového průběhu detekce, fyzikálně-technického principu detekce a komplexnosti měřené radiační informace.

Podle **časového průběhu detekce** rozeznáváme dvě základní skupiny detektorů:

- 1) Kontinuální "on-line" detektory - poskytují průběžnou informaci o okamžité intenzitě záření či počtu kvant ionizujícího záření. Odezva (signál, výsledek měření) takového detektoru by měla být úměrná okamžité intenzitě záření. Detektory tohoto druhu jsou, téměř vždy elektronické.
- 2) Kumulativní (integrální) detektory - postupně shromažďují svou rostoucí odezvu během expozice. Tato odezva (signál, výsledek měření) zůstává v detektoru uchována i po skončení expozice a může se vyhodnotit dodatečně.

Podle **principu detekce** rozeznáváme detektory:

- 1) Fotografické - jsou založené na fotochemických účincích záření (filmové dozimetrie, rtg. filmy).

2) Materiálové - využívají dlouhodobější změny vlastností určitých látek (složení, barva) v nichž se část absorbované energie ionizačního záření převádí na elektrické proudy či impulsy, které se zesilují a vyhodnocují v elektronických aparaturách (scintilační detektory).

Podle **komplexnosti měřené informace** můžeme měřicí přístroje ionizujícího záření rozdělit na následující skupiny přístrojů:

1) Dozimetry - udávají pouze intenzitu záření, resp. počet kvant záření, bez informace o druhu záření a jeho energii.

2) Spektrometry ionizujícího záření - měří nejen intenzitu či počet kvant záření, ale i energii kvant záření. Výsledkem je většinou energetické spektrum  $N = N(E)$ , zachycující graficky závislost četnosti kvant  $N$  čili intenzity záření (na svislé ose) na energii  $E$  (vodorovná osa). Spektrum tedy vyjadřuje energetické rozložení (relativní zastoupení) kvant studovaného záření. Spektrometrie ionizujícího záření se též označuje souhrnným názvem jaderná spektroskopie. Ve spektrometrickém režimu mohou pracovat především scintilační detektory.

### 3) Scintilační detektory

Scintilační detektory ionizujícího záření jsou založeny na vlastnosti některých látek reagovat světelnými záblesky (scintilacemi) na pohlcení kvant ionizujícího záření; tyto světelné záblesky se pak elektronicky registrují pomocí fotonásobičů. Látky vykazující tuto vlastnost se nazývají scintilátory. Nejstarším používaným scintilátorem je sulfid zinečnatý aktivovaný stříbrem  $ZnS(Ag)$ . Pro účely detekce záření gama se však nejčastěji používá jodid sodný aktivovaný thaliem –  $NaI(Tl)$ , ve formě monokrystalu (Ulman, 2011).

Princip měření spočívá v tom, že kvantum měřeného neviditelného záření, např. záření gama, vniká do scintilačního krystalu, kde se částečně nebo úplně absorbuje a část jeho energie se přemění na záblesk (scintilaci) viditelného světla. Výsledná scintilace je tvořena většinou několika stovkami těchto sekundárních fotonů, v závislosti na absorbované energii primárního detekovaného kvanta. Ke scintilačnímu krystalu je opticky přiložen fotonásobič - speciální elektronka, která s vysokou citlivostí převádí světlo na elektrický signál. Díky tomuto opakovanému násobení se původně malý počet elektronů velice zmnoží na cca 10<sup>5</sup>-10<sup>8</sup> elektronů, což je již dostatečný počet k vyvolání dobře měřitelného elektrického impulsu.

Fotonásobiče jsou speciální opto-elektronické součástky pro citlivou detekci slabých světelných toků a jejich přeměnu na elektrické signály (Wikipedia, 2010). Vysoké citlivosti je dosahováno tím, že malý počet elektronů, emitovaných dopadem fotonů (v důsledku fotoelektrického jevu), je násoben opakovaným vyrážením sekundárních elektronů. Signál je tím natolik zesílen, že i dopad jednoho fotonu světla může vyvolat dobře detekovatelný elektrický impuls.

Při detekci záření se na výstupu fotonásobiče objevuje velké množství elektrických impulsů různých velikostí, které je nutno dále zpracovávat a vyhodnocovat. Jedná se tedy o měření počtu impulsů vyvolaných detekcí záření gama určité energie.

Přednosti scintilačního detektoru jsou především v tom, že má vysokou detekční účinnost (citlivost), která se často blíží 100% a krátkou mrtvou dobu (asi 1 ms) a hlavně dobré spektrometrické vlastnosti. Spektrometrické vlastnosti

charakterizují skutečnost, že intenzita světelného záblesku ve scintilátoru je přímo úměrná energii pohlceného kvanta a počtu fotoelektronů emitovaných z fotokatody fotonásobiče. Multiplikační proces elektronů na diodách je rovněž přesně lineární. Takže amplituda  $A$  výstupního impulsu z fotonásobiče je přímo úměrná energii  $E_g$  detekovaného záření:  $A \sim E_g$  (přesněji řečeno amplituda je úměrná energii kvanta, která byla ve scintilátoru absorbována) (Ulman, 2011).

Amplitudovou analýzou výstupních impulsů ze scintilačního detektoru můžeme tedy provádět energetickou analýzu detekovaného záření - jeho spektrometrii. Tyto tři vlastnosti dělají ze scintilačního detektoru téměř ideální přístroj pro detekci a spektrometrii ionizujícího záření, především záření gama.

Scintilační spektrum je pak výsledkem vyhodnocení naměřených hodnot, kde výška impulsu na výstupu fotonásobiče bude vždy úměrná energii, kterou foton gama skutečně ztratil v krystalu.

Vyneseme-li do grafu na vodorovnou osu velikost amplitudy  $A$  výstupních impulsů z fotonásobiče a na svislou osu vždy počet impulsů  $n$  s touto amplitudou  $A$ , dostaneme křivku charakteristického tvaru na obr. 33 - scintilační spektrum záření gama.

Na této křivce je vidět výrazný pík - tzv. fotopík či pík totální absorpce, odpovídající fotonům, které byly v krystalu úplně pohlceny a odevzdaly veškerou svou energii. Luminiscenční spektrum popisuje spektrální složení (vlnové délky) emitovaného světla (Ulman, 2011).

### 9.3 Organické a anorganické scintilátory

Anorganické a organické scintilátory se rozlišují podle principu vzniku scintilace.

V organických scintilátorech je mechanismus vzniku scintilací vyzáření světelného kvanta při deexcitaci molekuly scintilační látky, která byla excitována přijetím kvanta záření gama (Ulman, 2011). Při pohlcení energie tedy dochází k přechodu molekul ze základního stavu na vyšší energetickou hladinu, z níž se molekula vrací do základního stavu jednak vyzářením tepelné energie, jednak fluorescenčního kvanta (Krofta & kol., 1997). Tento děj je přehledně zobrazen v Příloze č. 2. Při rozpuštění takového scintilátoru ve vhodném organickém rozpouštědle zůstávají organické molekuly beze změny a scintilační efekt je většinou zachován.

V anorganických scintilátorech je scintilační efekt vlastností vhodně uspořádané krystalové mřížky s luminiscenčními centry. Jedná se o přeskoky elektronů mezi jednotlivými energetickými hladinami v elektronových obalech vhodných atomů vázaných v krystalové mřížce. Při rozpuštění anorganické látky (např. ve vodě) krystalová mřížka zaniká a scintilační efekt mizí.

### 9.4 Scintilační materiály

Existuje celá řada látek, vykazujících scintilační vlastnosti. Dokonce lze říci, že téměř každá opticky transparentní látka při interakci s ionizujícím zářením vysílá určité množství fotonů viditelného světla.

Nejdéle známou scintilační anorganickou látkou je sulfid zinečnatý aktivovaný atomy stříbra  $ZnS (Ag)$ . Nejpoužívanější anorganickou scintilační látkou je však  $NaI (Tl)$  - jodid sodný, aktivovaný 1-2% thalia. Je vhodný pro detekci nízkých a středních energií záření gama.

Pro detekci vyšších energií záření gama jsou z hlediska detekční účinnosti vhodnější scintilátory s vyšší hustotou:

- 1) **Bi<sub>4</sub>Ge<sub>3</sub>O<sub>12</sub>** (bizmut-germanium-oxid, zkráceně se značí BGO);
- 2) **Lu<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub> (:Ce)** (lutecium-orthosilikát aktivovaný cerem - LSO);
- 3) **Y<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub> (:Ce)** (ytrium-orthosilikát aktivovaný cerem - YSO);
- 4) **Gd<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub> (:Ce)** (gadolinium-orthosilikát aktivovaný cerem - GSO);

V následující tabulce je uvedeno několik anorganických scintilačních materiálů, častěji používaných ve scintilačních detektorech. Jsou seřazeny podle rostoucí hustoty (která zvyšuje detekční účinnost pro záření gama o vyšších energiích) (Ulman, 2011) :

**tab. č. 4: Charakteristiky vybraných scintilačních materiálů**

Scintilát or:	NaI(Tl)	CsI(Tl)	Y <sub>2</sub> SiO <sub>5</sub> ( Ce)	BaF <sub>2</sub>	Gd <sub>2</sub> SiO <sub>5</sub> (Ce)	Bi <sub>4</sub> Ge <sub>3</sub> O <sub>12</sub>	Lu <sub>2</sub> SiO <sub>5</sub> (Ce)	CdWO <sub>4</sub>	PbWO <sub>4</sub>
Hustota [g /cm <sup>3</sup> ]	3,67	4,51	4,53	4,89	6,71	7,13	7,41	7,9	8,23
λ <sub>max</sub> [nm ]	415	400/565	420	220/310	440	480	420	470/540	410/500
scint. dosvit [μs]	0,23	0,6/3,4	0,07	0,008	0,06	0,3	0,04	20.V	
η <sub>ef</sub> [foton/ MeV]	4.10 <sup>4</sup>	5.10 <sup>4</sup>	4,6.10 <sup>4</sup>	1,8.10 <sup>3</sup>	1.10 <sup>4</sup>	8.10 <sup>3</sup>	3.10 <sup>4</sup>	5.10 <sup>3</sup>	3.10 <sup>2</sup>

zdroj: (Ulman, 2011)

Z oblasti organických scintilačních látek vykazujících scintilační vlastnosti je to především naftalen, který emituje scintilační záření o velmi krátké době záblesku 0,08 ms a vlnové délce kolem 345 nm. Důležitou organickou scintilační látkou je anthracen, který se používá jako normál pro porovnávání vlastností všech ostatních organických scintilátorů. Anthracen emituje scintilace s dobou záblesku 0,03ms a vlnovou délkou 450 nm.

Organické scintilační látky si své scintilační vlastnosti většinou zachovávají i při svém rozpuštění ve vhodných organických rozpouštědlech (toluen, xylen, benzen, dioxan, fenyl-cyklo-hexan, fenyléter apod.) - vznikají tak kapalné scintilátory. Kapalné scintilátory mají tu výhodu, že se dají prostým naplněním do vhodné nádoby upravit i na velikosti, která není dosažitelná u pevných (krystalických) scintilátorů. Hlavní využití kapalných scintilátorů je u metody detekce zářičů beta přímo v roztoku s těmito scintilátory.

## 10. Závěr

V průběhu zpracování své bakalářské práce, která je zaměřena na metodiku měření kontaminace ovzduší pomocí odběrných zařízení vzduchu jsem zjistila, že zvolená problematika je velmi složitá. Postupně bylo nutné podrobněji popsat nejen specifickou tematiku představující odběrání a analýzu vzorků vzduchu, ale rozšířit celou práci o metody vyhodnocovací, analytické a doplnit řadu informací především v oblasti detekce ionizujících částic, poukázat na spojitost všech těchto dějů nejenom ve fázi plynné.

Problémem bylo, že některá výzkumná zařízení (např. SÚRO Praha) z důvodu utajení měřených dat nemohla poskytnout podrobnější údaje a ani nebylo možné se v této fázi bakalářské práce se zapojit do měření v nějaké laboratoři. Přesto tato ústní jednání byla užitečná a byla zdrojem informací důležitých ke zpracování problematiky ochrany ovzduší.

Užitečné zdroje byly získány ve Státním ústavu pro jadernou bezpečnost v Praze a v SÚRO Praha. Další dobré informace byly čerpány z dokumentace firmy zabývající se distribucí zařízení pro odběry vzduchu a problematikou radiační kontroly a ochrany (VF Černá Hora). Prospěšná byla i konzultace na katedře speciálních analytických metod na VŠCHT Praha.

Nepodařilo se získat podrobnější informace o problematice ochrany ovzduší přímo v JE Temelín, bylo proto pouze využito informací z laboratoří pracujících pro JE Temelín v Českých Budějovicích.

V současné době není k dispozici mnoho odborných publikací, které by tuto problematiku podrobněji popisovaly, proto byly využívány i nepřímé informační zdroje jako např. výroční zprávy, časopisy, propagační materiály firem ap. Internetové zdroje byly porovnávány s již ověřenou odbornou literaturou hlavně v oblasti analytických metod.

Závěrem bych chtěla vyjádřit přání, aby tato práce se mohla rozšířit právě o měření citlivých dat a tak ji využít jako dobrý start k práci magisterské.

## Seznam použité literatury

### Knihy:

- 1) Braniš M. & Hůnová I., 2009: Atmosféra a klima aktuální otázky ochrany ovzduší. Karolinum, Praha:351.
- 2) Dlouhý Z., 2009: Nakládání s radioaktivním odpadem a vyhořelým jaderným palivem.VUTIUM, Brno: 219
- 3) Krofta J. & kol., 1997: Návod pro laboratorní cvičení z analytické chemie II: Gama spektrometrie. VŠCHT, Praha: 10
- 4) SÚRAO., 2008 : Bratrství úložiště radioaktivních odpadů. SÚRAO,Praha:16
- 5) SÚRAO., 2002 : Správa úložišť radioaktivních odpadů-informační středisko.pdMEDIA,s.r.o., Praha: 24
- 6) Houdek F., 2006: Radioaktivita v životě. Ústav jaderného výzkumu, Řež: 11
- 7) ČEZ, 2001: Hospodaření s použitým jaderným palivem ve světě a České republice. Engineering, s.r.o., Praha: 15
- 8) Viden I., 2005 : Chemie ovzduší. VŠCHT , Praha: 98
- 9) Volka K., 2000: Analytická chemie II. VŠCHT, Praha: 236

### Internetové zdroje:

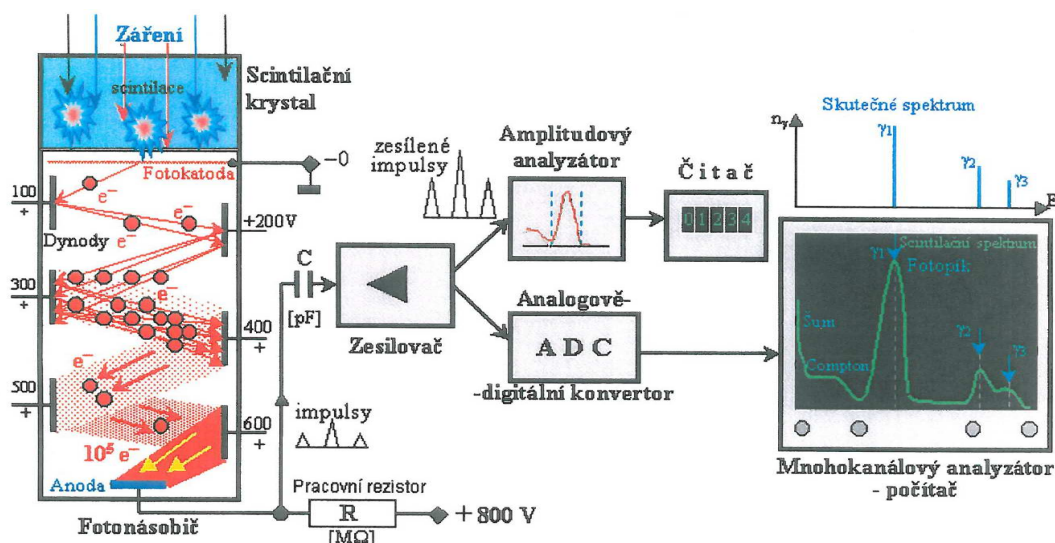
- 1) Ulman J., 2011: Detekce spektrometrie, online:  
<http://astronuklfyzika.cz/DetekceSpektrometrie.htm4>, cit. 12. 1. 2011.
- 2) Envinet a.s., 2011a: GAMS 02 gama spektrometrický systém, Třebíč, online:  
<http://envinet.cz/index.php/cz/sluzainze/radiometricke-systemy/chara-opdadu/gams02>, cit. 2. 3. 2012.
- 3) Envinet a.s., 2011b: GAMWIN – MĚŘICÍ A VYHODNOCOVACÍ RADIOMETRICKÝ IS, Třebíč, online: <http://envinet.cz/index.php/cz/gamwin-srovn>,cit. 2. 3. 2012.
- 4) SÚRO, 2011a: Monitorování radionuklidů v ovzduší, online:  
<http://www.suro.cz/cz/rms/ovzdusi>, cit. 2.3 2012.
- 5) SÚRO, 2011b: Informace o funkci a organizaci RMS, online:  
<http://www.suro.cz/cz/rms/>, cit. 2.3 2012.

- 6) VF, 2008a : Terminál elektronických dozimetrů TED-MP, online:  
<http://www.vf.cz/data/files/b-08-a0002c-ted-mp-118-cz.pdf>, cit. 2.3 2012.
- 7) VF, 2008b : Vysokoobjemový prosávač vzduchu VOPV-10, online:  
<http://www.vf.cz/data/files/b-09-a0003c-vopv-10-115-cz.pdf>, cit. 2.3 2012.
- 8) VF, 2008c : Vysokoobjemový prosávač vzduchu VOPV-12, online:  
<http://www.vf.cz/data/files/b-09-a0001c-vopv-12-52-cz.pdf>, cit. 2.3 2012.
- 9) VF, 2008d : Vysokoobjemový prosávač vzduchu VOPV-22, online:  
<http://www.vf.cz/data/files/k0202-k01c-vopv-22-i-53-cz.pdf>, cit. 2.3 2012.
- 10) VF.2008e : Zařízení V3H14C, V3H14Ca pro odběh  $^3\text{H}$  a  $^{14}\text{C}$ , online:  
<http://www.vf.cz/data/files/b-09-a0002c-v3h14c-55-cz.pdf>, cit. 2.3 2012.
- 11) Wikipedia, 2010: Detektor, online: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Detektor>, cit. 2.3 2012.
- 12) rds, 2012 : Přenosné operativní měřiče dávkového příkonu a kontaminace, online: <http://www.rdsys.cz/index.php/penosne-operativni-mie-davkoveho-pikonu-a-kontaminace>, cit. 2.3 2012.

#### Přílohy:

- Příloha č. 1: Ulman J., 2011a: Principiální schéma scintilačního detektoru (horní větve schématu) a spektrometru (dolní větve schématu), online:  
<http://astronuklfyzika.cz/DetekceSpektrometrie.htm>, cit. 2.3 2012.
- Příloha č. 2: Ulman J., 2011b: Symbolické znázornění mechanismu vzniku scintilací v anorganických a organických látkách, online:  
<http://astronuklfyzika.cz/DetekceSpektrometrie.htm>, cit. 2.3 2012.
- Příloha č. 3: SÚRO, 2011: Teritoriální síť TLD, online:  
<http://www.suro.cz/cz/rms/tld>, cit. 2.3 2012.

## Příloha č. 1 - Principiální schéma scintilačního detektoru a spektrometru

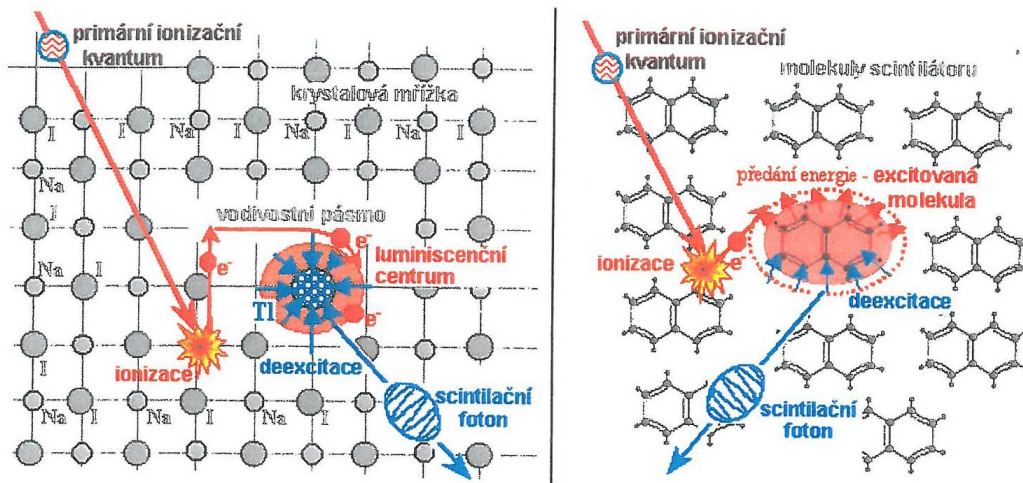


horní větev schématu – scintilační detektor

dolní větev schématu – spektrometr

pravá část – srovnání skutečného čárového spektra se scintilačním spektrem

## Příloha č. 2 - Symbolické znázornění mechanismu vzniku scintilací v anorganických a organických látkách



**vlevo:** mechanismus vzniku scintilací u **anorganických scintilátorů** – přeskok elektronů z excitovaných energetických hladin do hladin s nižší energií (na obr. krystal jodidu sodného)

**vpravo:** mechanismus vzniku scintilací u **organických scintilátorů** – emise scintilačních fotonů vzniká v důsledku změny energetického stavu celé organické molekuly (na obr. molekula naftalenu)



### Příloha č. 3 - Teritoriální síť TLD

- monitorovací bod venku
- monitorovací bod v budově

