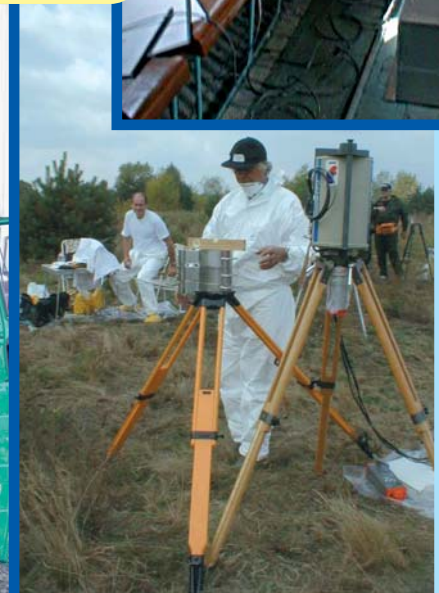
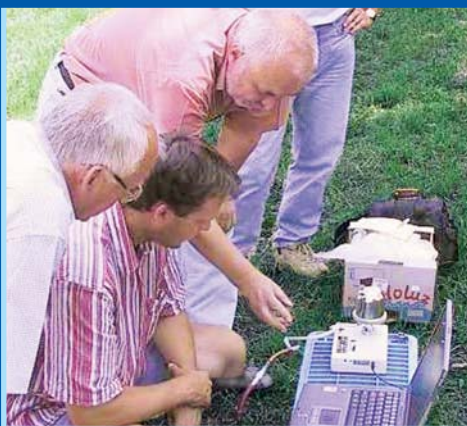
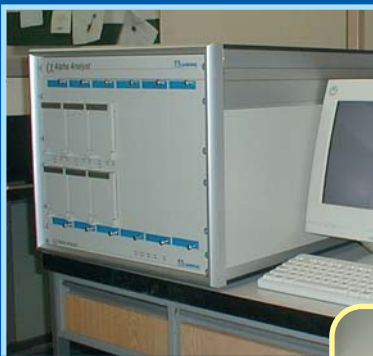


ČESKÁ REPUBLIKA

STÁTNÍ ÚSTAV

RADIAČNÍ OCHRANY





Praha, Šrobárova ul.



Praha, Bartoškova ul.

Státní ústav radiační ochrany

Šrobárova 48 , 100 00 Praha 10

tel.: 4202 67311239

fax: 420267311410

e-mail: suro@suro.cz

www.suro.cz



ZPRÁVA O ČINNOSTI 1998 - 2003

Historie a organizační uspořádání SÚRO

Úvod

Radiační monitorovací síť

Mobilní skupina

Monitorování obsahu radionuklidů
v životním a pracovním prostředí

Vnitřní kontaminace osob
a využití celotělového počítače

Přírodní ozáření

Studie plicní rakoviny
v důsledku expozice radonu

Hodnocení a usměrňování lékařských expozic
v oblasti radiodiagnostiky a radioterapie

Aplikace termoluminiscenční a filmové
dozimetrie v SÚRO

Výzkum
(institucionální, tuzemské a mezinárodní granty)

Zahraniční spolupráce a mezilaboratorní porovnání

Školící a vzdělávací činnost,
poskytování informací

Seznam vybraných publikací

HISTORIE A ORGANIZAČNÍ USPOŘÁDÁNÍ SÚRO

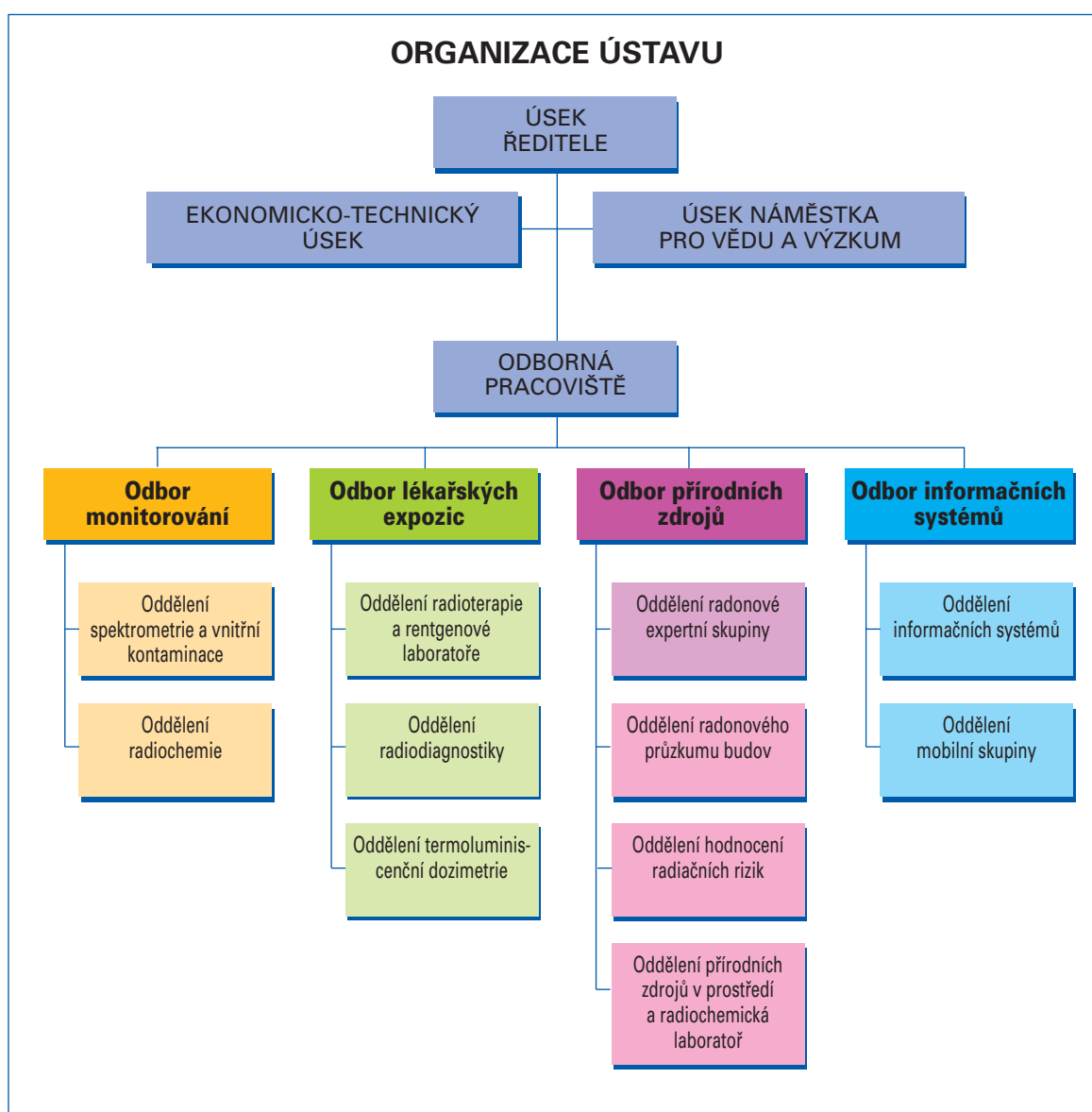
Státní ústav radiační ochrany (SÚRO) byl zřízen v roce 1995 z rozhodnutí předsedy Státního úřadu pro jadernou bezpečnost (SÚJB) po delimitaci Centra hygieny záření Státního zdravotního ústavu, na jehož činnost navazuje. Během osmi let existence došlo již ke stabilizaci jeho úlohy v rámci systému radiační ochrany a nachází zde důležité místo a uplatnění.

Centrum ústavu sídlí v Praze 10, Šrobárova 48 v areálu Státního zdravotního ústavu. Na konci roku 2002 byla však dokončena první část nového areálu v Praze 4 v Bartoškově ulici, do něhož se ústav bude postupně stěhovat.

Součástí ústavu jsou dvě pobočky sídlící v budovách Regionálních center SÚJB: v Hradci Králové -Pileticích, která se specializuje na problematiku radonu a přírodních radionuklidů v prostředí, a pobočka v Ostravě, která se specializuje na radiodiagnostiku.

V současné době má ústav 121 zaměstnanců.

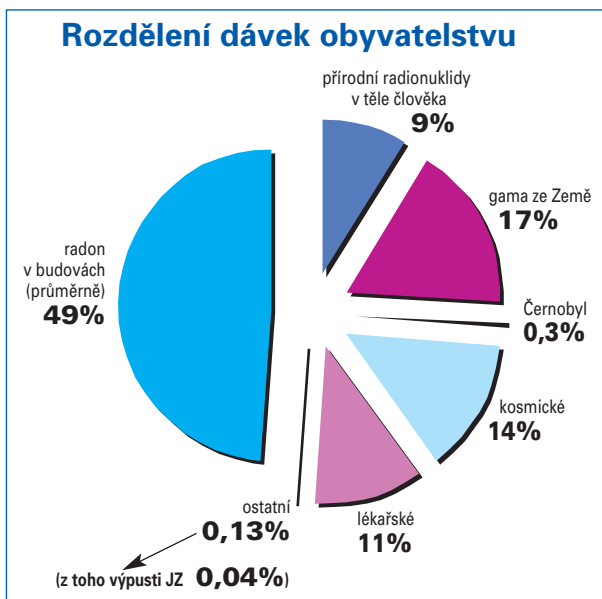
K zabezpečení hlavních úkolů je ústav členěn podle následujícího schématu:



Úvod

Největší pozornost a obavy obyvatel jsou dnes soustředěny na umělé zdroje ionizujícího záření (IZ), zvláště na jaderná zařízení. Málokdo si je vědom toho, že pro průměrného člověka větší ozáření způsobují přírodní zdroje ozáření (zejména radon v budovách, záření gama z povrchu Země, přírodní radionuklidy v těle člověka, kosmické záření) a ozáření způsobené v důsledku lékařského vyšetření (rentgeny, nukleární medicína). To nemluvíme o extrémních případech výskytu radonu v bytech, kdy dávky mohou být deseti i stonásobně vyšší než přírodní pozadí. Podíl jednotlivých typů ozáření na průměrném celoživotním ozáření našich občanů je názorně vidět na obrázku.

Úkolem Státního ústavu radiační ochrany (dále SÚRO) je mimo jiné sledovat všechny uvedené složky ozáření, analyzovat jejich význam, studovat možnosti, jak ozáření rozumně omezovat a také přispívat k větší informovanosti občanů naší republiky o ionizujícím záření. SÚRO zajišťuje v oblasti radiační ochrany takové činnosti, které nejsou přímo státním dozorem, ani nejsou zajišťovány privátními poskytovateli služeb. Významnou částí činnosti ústavu je výzkum v oblasti radiační ochrany.



Konkrétněji lze hlavní činnosti SÚRO formulovat takto:

- Udržuje přiměřenou laboratorní a terénní měřicí kapacitu tak, aby bylo možné kdykoliv stanovit obsah radionuklidů v složkách životního prostředí, biologických materiálech a v populaci a stanovit dávky ionizujícího záření.
- Zabezpečuje významné části provozu Radiační monitorovací sítě ČR v normálním i havarijním režimu. Za normální situace jde o monitorování aktuální radiační situace včetně následků způsobených předchozími událostmi s dopadem na radiační situaci na území ČR (např. spad ze zkoušek jaderných zbraní v atmosféře, z havárie JE Černobyl), a o včasné zjištění radiační havárie; v havarijním režimu o hodnocení následků havárie a získávání podkladů pro přijímání opatření na ochranu obyvatelstva. Součástí je i mobilní skupina určená k provádění terénních měření a analýz radiační situace včetně leteckého monitorování.
- Sleduje stav ozáření obyvatelstva a pracovníků z umělých radionuklidů v souvislosti s našimi jadernými zařízeními a dalšími zdroji (namátkové odběry a analýza vzdušných výpustí jaderných zařízení a monitorování okolí JE) a podílí se na monitorování vybraných zařízení se zdroji IZ ve správě státu (úložiště radioaktivních odpadů (RAO) v dolu Richard v Litoměřicích a vybraná měření úložiště přírodních RAO - důl Bratrství v Jáchymově).
- Podílí se na sledování a regulaci přírodního ozáření zejména na tzv. Radonovém programu České republiky a dále na sledování ozáření obyvatelstva z dalších možných zdrojů přírodní radioaktivity (stavebních materiálů a vody).
- Nezávisle ověřuje zdroje ionizujícího záření používané v lékařství (v radioterapii a radiodiagnostice) a sleduje radiační zátěž obyvatelstva při lékařském ozáření.
- Sleduje a hodnotí riziko onemocnění v důsledku ozáření, např. dlouhodobé epidemiologické studie karcinogenního rizika z ozáření v souvislosti s expozicí radonu u horníků a obyvatelstva, hodnocení rizika zhoubných novotvarů z profesionální expozice.
- Podílí se na informování obyvatelstva o radiační situaci v České republice.

V této zprávě chceme poskytnout přístupnou formou podrobnější informace o činnosti ústavu a ukázat některé významnější výsledky, které byly získány během uplynulých let.

Ing. Radim Filgas
ředitel SÚRO

Radiační monitorovací síť

Systém ochrany obyvatelstva a životního prostředí před radioaktivními látkami a ionizujícím zářením (radiační ochrana) vychází z informací o stavu ozáření obyvatel z různých zdrojů; jedním z těchto zdrojů jsou i informace poskytované Radiační monitorovací sítí (RMS) ČR.

Část RMS začala fungovat již po havárii JE v Černobylu v roce 1986; dnešní její funkce a organizace je upravena vyhláškou SÚJB č. 319/2002 Sb. ze dne 13. června 2002.

Úkolem RMS je sledovat rozdělení aktivit radionuklidů a dávek ionizujícího záření na území státu v prostoru a v čase; za obvyklé radiační situace zejména pro účely získání dlouhodobých časových trendů a včasného zjištění odchylek od nich; za radiační mimořádné situace pro účely posouzení radiační situace na území státu a pro přípravu opatření k ochraně zdraví obyvatelstva. Pozornost je věnována zejména následujícím umělým radionuklidům: v ovzduší ^3H , ^{137}Cs , ^{90}Sr , $^{239+240}\text{Pu}$ a ^{85}Kr , v poživatinách ^{137}Cs , ^{90}Sr a ^3H a v těle člověka ^{137}Cs . V posledních dvou letech bylo zavedeno i sledování ^{14}C (který je jak umělého, tak i přírodního původu) v ovzduší.

Činnost RMS je řízena SÚJB. SÚRO zabezpečuje pro činnost RMS zejména:

- metodické vedení složek RMS včetně vývoje a ověřování nových metod monitorování,
- zpracování monitorovacího plánu a metodik odběrů a měření a jejich průběžné revize a aktualizace (v roce 2003 vypracoval SÚRO a předal na SÚJB soubor 25 metodik),
- shromažďování dat pro centrální databázi Informačního systému (IS) RMS, ověřování jejich kvality a jejich analýzu v rámci ČR,
- organizace porovnávacích měření a jejich hodnocení,
- provoz centrální laboratoře RMS, která koordinuje měření vzorků odebraných laboratorními a mobilními skupinami a sama zajišťuje odběry a analýzy rozsáhlého souboru vzorků a speciální, jinde nedostupná měření a analýzy, včetně měření vnitřní kontaminace,
- výpomoc ostatním laboratořím v případě jejich nedostatečné měřicí kapacity,
- zpracování podkladů pro výroční zprávy o radiační situaci na území ČR, sestavení a vydávání zpráv,
- průběžnou aktualizaci informací o radiační

situaci uveřejňovaných na internetových stránkách,

- stálé pohotovostní služby pro případ radiační mimořádné události,
- podporu Krizového koordinačního centra SÚJB při zajištění havarijní připravenosti, účast pracovníků SÚRO v Krizovém štábu (KŠ) SÚJB a zajišťování činnosti záložního centrálního pracoviště IS RMS.

RMS se skládá ze vzájemně spolupracujících dílčích sítí; na činnosti většiny z nich se SÚRO významně podílí. Jedná se o Síť včasného zjištění (SVZ), síť termoluminiscenčních dozimetřů (TLD), měřicí místa kontaminace ovzduší (MMKO), laboratorní skupiny, centrální laboratoř a pozemní a letecké mobilní skupiny. Nedílnou součástí RMS je i informační systém. Činnost jednotlivých složek RMS se řídí monitorovacím plánem, který obsahuje závazné pokyny pro jednotlivé složky sítě specifikující místa, dobu, frekvence a způsob měření resp. odběru vzorků, metody pro zpracování, měření a vyhodnocování vzorků a způsob a frekvenci předávání výsledků měření. Práce složek se liší za obvyklé radiační situace a za radiační mimořádné situace.

Za obvyklé radiační situace je v činnosti

- **Síť včasného zjištění** sestávající z 47 měřicích míst na území ČR, která kontinuálně měří příkon dávkového ekvivalentu (PDE) v 10 minutových integračních intervalech (*obr.1*).



Obr. 1 - Měřicí místo SVZ a TLD sítě vybavené (zleva) měřicími stanicemi, proporcionálním detektorem, G-M detektorem a TL dozimetrem.

Obr. 2 - Výměna aerosolového filtru v odběrovém zařízení Snow White pro odběr aerosolů a plyných forem jodu s průtokem 900 m³/h. Zařízení je součástí sítě MMKO.



- **Teritoriální síť TLD** tvořená 184 měřicími místy, rovnoměrně pokrývajícími území ČR, osazenými termoluminiscenčními dozimetry, které kontinuálně měří PDE s tříměsíčním intervalem výměny dozimetrů. Kontinuálně měří PDE také **lokální síť TLD**, sestávající celkem z 92 měřicích míst v okolí jaderných elektráren.
- **10 měřicích míst kontaminace ovzduší (MMKO)** vybavených zařízeními pro odběr aerosolů (*obr. 2*), která kontinuálně odebírají vzorek vzdušiny na aerosolový filtr, analyzovaný v týdenních intervalech v laboratořích pomocí polovodičové spektrometrie gama.
- **9 laboratorních skupin**, které provádějí spektrometrické, případně radiochemické analýzy obsahu radionuklidů ve vzorcích z životního prostředí; aerosolové filtry analyzují v týdenních intervalech, spady v měsíčních intervalech, odběry mléka a masa ve čtvrtletních intervalech, pitné vody v ročním intervalu a odběry obilovin, brambor, ovoce, zeleniny a hub po sklizni resp. sběru.
- **Centrální laboratoř SÚRO**, která kromě běžných analýz provádí ve vybraných vzorcích speciální stanovení jako je především stanovení ⁹⁰Sr, ^{239,240}Pu, ³H a ¹⁴C. Kromě toho jednou za rok probíhá u skupiny osob reprezentující populaci ČR i analýza vzorků moče. Na celotělovém počítači centrální laboratoře se také jedenkrát ročně stanovuje in vivo pomocí polovodičové spektrometrie gama ve vybrané skupině osob retence ¹³⁷Cs.
- **Mobilní skupiny**, které zajišťují mapování radiační situace na základě pozemního a leteckého monitorování dávkového příkonu a povr-

chové kontaminace, distribuci TL dozimetrů, kvalitativní a kvantitativní hodnocení aktivit radionuklidů v terénu (spektrometrie in situ), odběr vzorků a vyhledávání ztracených zdrojů ionizujícího záření (*obr. 3*). SÚRO zajišťuje provoz dvou mobilních skupin se speciálním přístrojovým vybavením a ve spolupráci s armádou se rozhodující měrou podílí na zajištění letecké skupiny pro celou ČR.

Aktuální informace z RMS jsou spolu s dalšími výsledky průběžně zveřejňovány na internetových stránkách ústavu (www.suro.cz) a dále formou každoročně vydávané Zprávy o radiační situaci na území ČR (tiskem a na www.suro.cz).

Za radiační mimořádné situace činnost složek sítě řídí Krizový štáb SÚJB v závislosti na konkrétní radiační situaci.



Obr. 3 - Mobilní skupina při monitorování pomocí in situ spektrometrie s HPGe detektorem (vlevo), měření příkonu dávkového ekvivalentu scintilační sondou NB 3201 (vpravo) a odběru půdy.

Mobilní skupina

Součástí havarijní připravenosti ústavu je špičkově vybavená mobilní skupina, určená k provádění terénních měření a analýz radiačních událostí, včetně leteckého monitorování.

Za obvyklé radiační situace se podílí na vyhledávání záříčů např. ve šrotu (*obr. 1*), na svozu a rozvozu TL dozimetrů ve Středočeském kraji pro síť TLD a na zjišťování radiační situace dle požadavků SÚJB, popř. jiných státních orgánů.

Pro případ radiační mimořádné situace je mobilní skupina připravena plnit úkoly, které jí ukládá Vyhláška 319/2002 Sb. a úkoly, které jsou vyžá-

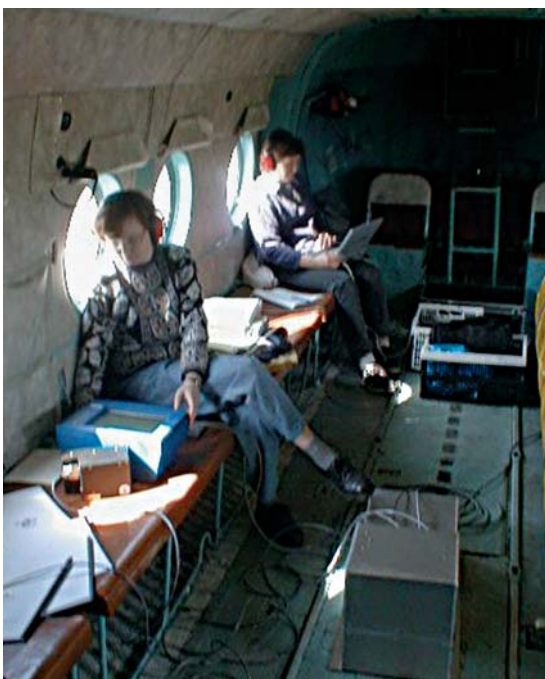


Obr. 1 - Vyhledávání záříčů ve šrotu



Monitorovací vůz

dány Krizovým štábem SÚJB. Jedná se zejména o měření dávkového příkonu, rychlý kvalitativní i kvantitativní odhad obsahu radionuklidů ve vzorcích životního prostředí přímo v terénu, odběry vzorků životního prostředí nebo mapování dávko-



Obr. 2 - Letecké monitorování



Obr. 3 - Mezinárodní porovnání mobilních skupin v Černo-
bylu na Ukrajině v r. 1999

vých příkonů a aktivit radionuklidů v terénu (letecké, v automobilu, ruční).

Mimo tyto úkoly mobilní skupina testuje a navrhuje přístrojové vybavení, spolupracuje při vývoji programů a vytváří postupy a metodiky pro mobilní skupiny RMS, včetně konzultací a přípravy cvičení. Úzce spolupracuje s pracovníky z jiných resortů – MF ČR, MV ČR a A ČR.

Mobilní skupina je pro terénní měření vybavena nejmodernějšími přístroji - monitory dávkového příkonu a povrchové kontaminace, gamaspektrometrickými trasami pro měření in situ a unikátním spektrometrickým systémem IRIS určeným k velkoplošnému leteckému monitorování radiační situace (obr. 2) či vyhledávání ztracených zářičů.

Mobilní skupina SÚRO se pravidelně účastní mezinárodních porovnání mobilních skupin (obr. 3).

V posledních letech se mobilní skupina zúčastnila několika mimořádných akcí:

Monitorování v Kosovu a Bosně

V lednu a únoru 2001 se dva pracovníci mobilní skupiny SÚRO podíleli na činnosti speciálního armádního monitorovacího týmu coby součást složky pro radiometrická měření. Úkolem celého týmu bylo provést radiační průzkum v prostorech působnosti českého armádního kontingentu dislokovaného v rámci sil KFOR a SFOR v Kosovu (obr. 4) a v Bosně a Hercegovině (obr. 5). Cílem bylo zjistit, zda nejsou příslušníci jednotek ohrožení případnou kontaminací ochuzeným uranem z použité munice a v případě existence tohoto ohrožení posoudit jeho stupeň.

Srovnávací měření MAPE

Z iniciativy SÚJB se MS SÚRO zúčastnila kontrolních a srovnávacích měření v okolí odkalovacích nádrží státního podniku DIAMO v Mydlovarech. Akce konaná 1. 3. 2002 měla širokou publicitu vzhledem k účasti představitelů SÚJB, pracovníků DIAMO a rakouských a českých ekologických aktivistů, které podpořil svou přítomností americký právník Ed Fagan. Úkolem MS SÚRO bylo provádět srovnávací měření PDE v monitorovacích bodech, souběžně s pracovníky skupiny radiační ochrany z Výzkumného střediska

ze Seibersdorfu. Akce volně navazovala na setkání odborníků z Rakouska a ČR v rámci informačního dne, konaného v areálu státního podniku DIAMO v Mydlovarech 20. 4. 2001. I této akce se zúčastnila MS SÚRO v rámci srovnávacích měření s laboratorii v Seibersdorfu. Prováděla se měření PDE na místě a laboratorní měření měrných aktivit přírodních radionuklidů v odebraných vzorcích půd a vod z okolí odkališť. Získané výsledky byly ve velmi dobré shodě. Kromě toho se mobilní skupina SÚRO podílela i na leteckém monitorování nad odkalovacími nádržemi.

Zabezpečení summitu NATO v Praze

V roce 2002 se mobilní skupina (s podporou pracovníků dalších odborů) účastnila akcí při zajišťování radiační ochrany během konání summitu NATO v Praze. Bylo provedeno letecké proměření dávkových příkonů nad oblastí konání summitu pro získání referenčních údajů pro případ nutnosti vyhledávání radionuklidových zářičů. Před konáním summitu pracovníci mobilní skupiny spolupracovali při zajištění bezpečnosti v Kongresovém centru (preventivním proměřováním dávkových příkonů ve všech prostorech). Během konání summitu mobilní skupina zajišťovala 24-hodinovou pohotovost pro případ nutného zásahu, a podílela se na zajišťování bezpečnosti v místech konání akcí summitu i mimo Kongresové centrum (Obecní dům, Hrzánský palác).



Obr. 4 - Kosovo, leden 2001



Obr. 5 - Bosna a Hercegovina, únor 2001



Měření za všech podmínek - Normandie, 2000

Monitorování obsahu radionuklidů v životním a pracovním prostředí

Člověk používá přírodní i umělé radionuklidy již více než 50 let. Během jejich výroby a užívání však dochází i k jejich uvolňování do životního a pracovního prostředí. V současné době detekované hodnoty aktivit radionuklidů v životním prostředí, kromě těch, které jsou jeho přirozenou součástí, pocházejí například z pokusů jaderných zbraní v atmosféře v 50. a 60. letech minulého století, z havárií jaderných zařízení, ze zániku satelitů v horních vrstvách atmosféry a v malé míře také z jaderných zařízení při jejich běžném provozu. Občas se nacházejí i v komunálním odpadu a ve šrotu, kam se dostávají větší nedbalostí jejich uživatelů.

SÚRO ve velkém rozsahu zabezpečuje monitorování obsahu přírodních a umělých radionuklidů v nejrůznějších vzorcích ze životního a pracovního prostředí. Pro svá stanovení používá zejména metody spektrometrie alfa, beta a gama, další radiometrické metody a metody radiochemické. Kromě měřicí techniky SÚRO disponuje i technikou pro odběry vzorků, například zařízeními pro odběr aerosolu (s průtokem až $900 \text{ m}^3/\text{h}$) včetně zařízení umožňující zjišťovat velikostní distribuci aerosolových částic a zařízeními pro odběry plynů.

Pro stanovení obsahu radionuklidů ve vzorcích pomocí spektrometrie gama je SÚRO vybaven devíti trasami s polovodičovými HPGe detektory o relativní účinnosti 10 až 150% umístěnými z důvodu snížení přírodního pozadí ve stínících kobkách z oceli (tloušťka stěn 200 mm - obr. 1) nebo z olova (tloušťka stěn 100 mm). Pro stanovení vnitřní kontaminace měřením obsahu radionuklidů v těle jsou určeny dva HPGe detektory podobného typu jako pro měření běžných vzorků a dva HPGe detektory s tenkým okénkem z uhlíkových vláken v čele krytu detektorů speciálně určené pro stanovení radionuklidů s nízkými energiemi záření gama. Stanovení obsahu ^{125}I nebo ^{131}I ve štítné žláze in vivo je prováděno pomocí scintilačního detektoru s kolimátorem. V některých případech měření probíhají bez další úpravy vzorků; v mnoha případech je však vzhledem k nízkému obsahu radionuklidů nutno použít koncentračních metod jako je odpařování, sušení, spalování, mineralizace nebo selektivní sorpce.



Obr. 1 - Polovodičový detektor o relativní účinnosti 150% pro měření záření gama, umístěný v ocelovém stínění



Obr. 2 - Radiochemické pracoviště



Obr. 3 - Zařízení pro elektrodepozici aktinidů na nerezové disky před jejich měřením pomocí spektrometrie alfa



Obr. 4 - Přístroj pro stanovení nuklidů emitujících záření alfa (Alfa analyst se 6 komůrkami)

Ke stanovení aktivity radionuklidů pomocí spektrometrie alfa (izotopy uranu, plutonia a americia a ^{210}Po) je k dispozici 12 měřicích komůrek (obr. 4). Využívají se po předchozí radiochemické úpravě vzorku (obr. 2) (mineralizací, srážením, kapalinovou extrakcí, extrakční chromatografií, iontoměničovou chromatografií) a po elektrodepozici (obr. 3). Ke stanovení uranu bez izotopického rozlišení se používá fluorimetrie (buď přímo nebo po separaci kapalinovou extrakcí nebo extrakční chromatografií) nebo spektrofotometrie. Ke stanovení ^{226}Ra měřením emanace radonu slouží tříkanálový analyzátor s Lucasovými komůrkami, ke stanovení ^{222}Rn ve vodě měření aktivity gama rozpadových produktů tříkanálovým analyzátozem se scintilačním krystalem NaI(Tl).

Pro stanovení radionuklidů emitujících záření beta je SÚRO vybaven nízkopozadovými alfa – beta automaty (stanovení stroncia po separaci srážením nebo extrakční chromatografií) a kapalinovými scintilačními spektrometry (obr. 5 a 6) (měření tritia ve vodě po destilaci nebo ve vzduchu po vymražení vodních par).

SÚRO také ve spolupráci s oddělením dozimetrie záření ÚJF AV ČR provádí stanovení ^{14}C v ovzduší, ve vzdušných výpustech jaderných zařízení a v biologických materiálech měřením pomocí kapalinových scintilačních spektrometrů po předchozím převedení uhlíku do formy karbonátu nebo benzenu a také stanovení ^{85}Kr v ovzduší a ve vzdušných výpustech po zpracování vzorků několikastupňovou kryogenní sorpcí na aktivním uhlí. ^{85}Kr se měří scintilačním detektorem a výtěžnost separace kryptonu je stanovována plynovou chromatografií.

S uvedeným technickým a znalostním vybavením provádí SÚRO v Praze téměř 3000 analýz vzorků ročně. V uplynulém období zajišťoval zejména:

- Činnost centrální laboratoře radiační monitorovací sítě ČR včetně významné části odběrů a analýz vzorků v rámci plnění monitorovacího plánu.
- V oblasti havarijní připravenosti udržování vysoké technické úrovně přístrojového vybavení a kapacity laboratoří.

- Stanovení vnitřní kontaminace osob měřením in vivo na celotělovém počítači nebo pomocí exkreční analýzy.
- Výběrové odběry a analýzy vzdušných výpustí jaderných zařízení (JE Dukovany, JE Temelín a ÚJV Řež) v rámci jejich nezávislé kontroly.
- Monitorování vybraných zařízení se zdroji ionizujícího záření, která jsou ve správě státu.
- V oblasti vědy a výzkumu řešení témat, která odrážejí aktuální potřeby oboru a dlouhodobý koncepční rozvoj se zaměřením především na studium chování radionuklidů v lidském organismu, rozvoj nových přístupů k odhadu expozice z vnitřní kontaminace, studium umělých radionuklidů v životním a pracovním prostředí, vývoj nových metod a přístupů k monitorování výpustí z jaderných zařízení, studium fyzikálně chemických vlastností umělých radionuklidů ve výpustech jaderných zařízení a v životním prostředí a vývoj a zdokonalování metod analýzy vzorků a prostředků k hodnocení výsledků těchto analýz.



Obr. 5 a 6 - Kapalinový scintilační spektrometr Tricarb

- V oblasti expertní činnosti vypracovávání metodik, odborných zpráv, posudků a stanovisek, spoluúčast na tvorbě legislativy, provádění odběrů a analýz vzorků a terénních měření a šetření pro potřeby dozoru a účast na inspekcích SÚJB.
- Stanovení obsahu radionuklidů v dalších vzorcích jako jsou například kontaminované předměty nalezené v životním prostředí (ve spalovnách komunálního odpadu, na šrotištích), ve

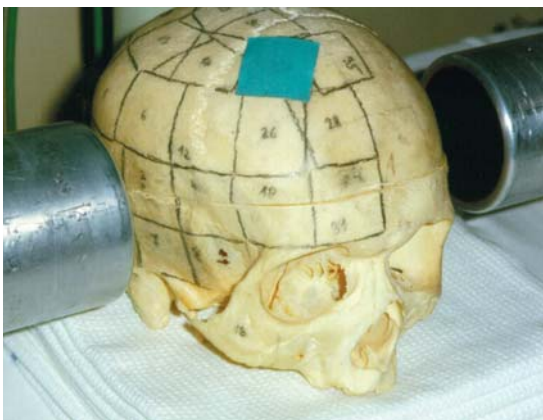
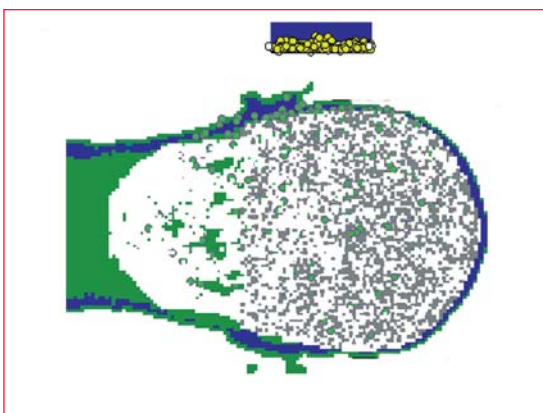
stavebních materiálech, ve střezech z radioterapeutických ozařovačů, v potravinách určených pro vývoz, v aerosolech z odběrů z pracovního prostředí a v odpadních vodách.

- Po povodních v roce 2002 se ústav podílel na pomoci ÚJV Řež, a to hlavně měřením pracovníků na celotělovém počítači, měřením odpadních vod a vod ze zatopených prostor.

Vnitřní kontaminace osob a využití celotělového počítače

Celotělové počítače obecně slouží ke stanovení obsahu radionuklidů v těle člověka *in vivo*, a tedy následně k odhadu dávky z vnitřní kontaminace. Principiálně jde o spektrometr záření gama s detektory o vysoké účinnosti a dobrým stíněním ke snížení pozadí.

První celotělový počítač u nás byl vybudován v roce 1962 v tehdejší Ústavu hygieny práce a chorob z povolání, dnes je majetkem Státního ústavu radiační ochrany. Stínění bylo zkonstruováno z ocelových plátů, které pocházejí z tanků Tygr z II. světové války. Použití staré oceli bylo zvoleno jednak proto, že v šedesátých letech bylo prostředí kontaminováno v důsledku pokusů s jadernými zbraněmi v atmosféře, jednak pro již tehdy rozšířenou kontaminaci oceli ^{60}Co pocházejícího z průmyslových aplikací.



Obr.1a, b. - Kalibrace detekčního systému s dvěma LEGe detektory (dole) pro měření nízkenergetických osteotropních radionuklidů. Nahoře znázornění teoretického výpočtu účinnosti pro stejnou geometrii jako na obr. dole. Použit počítačový fantom lidského těla složený z malých prostorových elementů (voxelů), nad hlavou znázorněn detektor. Barevné body znázorňují místa vyslání gama kvant, body v detektoru místa registrace.

Detekční i vyhodnocovací část celotělového počítače byla postupně kompletně inovována. Původní 4 scintilační NaI(Tl) detektory velikosti 10,12 cm x 12,70 cm byly nahrazeny polovodičovým detektorem HPGe o asi padesátinásobně lepším rozlišení, což umožňuje stanovení aktivit radionuklidů ve složité směsi. Citlivost polovodičového detektoru, vyjádřená jako minimální detekovatelná aktivita je srovnatelná s citlivostí 4 původních scintilačních detektorů. Použití polovodičového detektoru se ukázalo jako velmi významné po havárii jaderného reaktoru v Černobylu, kdy bylo směsí radionuklidů kontaminováno také obyvatelstvo České republiky, a zvláště pak lidé, kteří se navraceli z oblastí poblíže Černobylu. Směs radionuklidů se rovněž vyskytuje jako kontaminant u profesionálů, zejména při údržbě jaderných reaktorů.

V současné době je celotělový počítač SÚRO vybaven HPGe detektorem o relativní účinnosti 117%, dále speciálními detektory pro detekci nízkenergetického záření gama tzv. LEGe detektory, které se používají ke stanovení obsahu radionuklidů v jednotlivých orgánech. Ke kalibraci bylo použito mj. i matematické simulace metodou Monte Carlo (*obr. 1a, b*).

Rekonstrukce vnitřní vestavby stínící kobky celotělového počítače v letech 2000 až 2002

Rekonstrukcí byl nahrazen původní stojan pro detektory z r. 1962 zařízením pro posuv, otáčení a nastavení různých výšek celkem pro 4 detektory. Hlavním problémem rekonstrukce bylo nalezení materiálu s nízkým obsahem radionuklidů, které by nezvyšovaly pozadí uvnitř stínící kobky. Speciální ocel BIOFER, která byla vyvinuta ve spolupráci s Vítkovickými železárnami pro výstavbu stínění celotělových počítačů v jaderných elektrárnách Dukovany a Temelín a pro výstavbu stínění monitorovací sítě v osmdesátých letech, již nebyla k dispozici a nová výroba vzhledem k malé poptávce nepřicházela v úvahu. Proto bylo třeba veškerý materiál před použitím změřit nízkopozadovou spektrometrií gama. Zkoumání materiálu se zaměřilo jak na příměsi umělých radionuklidů, z nichž nejpravděpodobnější byl ^{60}Co , případně i ^{137}Cs , tak na přírodní radionuklidy, které se ve zvýšeném množství mohou vyskytnout jak v oceli, tak zejména ve slitinách, obsahujících

hliník. Firma, která vestavbu prováděla, navrhla pro nosné konstrukce pro uchycení a posuv detektorů použít duralové tyče o různých průřezích (U, H a pod). Měřením nízkopozadovou spektrometrií gama nebyl v tomto materiálu identifikován žádný umělý radionuklid. Z přírodních radionuklidů bylo identifikováno ^{210}Pb o energii záření gama 46 keV. Měřením materiálu v takové vzdálenosti od detektorů, jako se předpokládá při

skutečných měřeních pak bylo rozhodnuto tento materiál použít (obr. 2). I veškerý další materiál, použitý ve stínění celotělového počítače - ať již šlo o tapety, linoleum nebo o elektronické prvky či svítidla, byl vždy před použitím změřen v těsné blízkosti polovodičového detektoru.

Rekonstrukce umožňuje užití několika geometrických konfigurací pro měření in vivo i pro měření vzorků. V komoře celotělového počítače



Obr. 2 - Měření duralových tyčí pro nový posuv detektorů. K měření použito 2 LEGe detektorů a 1 HPGe detektoru. Na obrázku vpravo je vidět starý stojan s jednou scintilační sondou.

je zařízení pro upevnění a posuv celkem čtyř detektorů. Osoby in vivo lze měřit vsedě v křesle (*obr. 4*) velkým HPGe detektorem (relativní účinnost 117%), vleže na lůžku, nad nímž se posouvá některý z menších HPGe detektorů o relativní účinnosti kolem 20%, vleže lze měřit dvěma speciálními LEGe detektory, které se umísťují u hlavy anebo kdekoliv podél těla (*obr. 3*).

Využití celotělového počítače

Celotělový počítač se používá k monitorování vnitřní kontaminace pracovníků s otevřenými zářiči, k monitorování při podezření na nehodu s následnou vnitřní kontaminací i pro stanovení vnitřní kontaminace pro epidemiologické studie. V minulosti byla na celotělovém počítači SÚRO sledována skupina lidí, kontaminovaná radioaktivními svítícími barvami,



Obr. 3 - Vnitřní vestavba v komoře. Kalibrační fantom IGOR je měřen polovodičovým detektorem HPGe, posouváním do různých poloh nad ležící postavou. Vlevo je velký HPGe detektor pro měření sedící osoby. Dva LEGe detektory jsou obráceny ke stěně (mimo pracovní polohu).

kteří obsahovaly ^{226}Ra a ^{90}Sr , skupina pacientů s aplikovaným thorotrastem (koloidní roztok ThO_2) a další jednotlivci i skupiny s vnitřní kontaminací. Vnitřní kontaminace obyvatelstva byla sledována po černobylské havárii, kdy šlo zejména o ^{137}Cs , ^{134}Cs , ^{131}I , dále ^{103}Ru a $^{132}\text{Te}+^{132}\text{I}$. Tato studie pokračuje do současné doby, nyní se sleduje již jen ^{137}Cs .

Předmětem zájmu je nyní zejména vývoj metodik pro měření osteotropních nízkoenergetických radionuklidů in vivo (^{210}Pb , ^{241}Am) a studium kinetiky ^{241}Am u osob s vnitřní kontaminací tímto radionuklidem. Pro tuto studii se používají fantomy s umělými či skutečnými částmi lidské kostry. Na obrázcích (obr. 5a, b) jsou části fantomu US Transuranium and Uranium Registry, který byl do SÚRO pro kalibrace zapůjčen. Tento fantom obsahuje kosti dárce, vědeckého pracovníka, u něhož došlo 25 let před jeho smrtí k významnému příjmu ^{241}Am . Přesné stanovení aktivity bylo provedeno radiochemickou analýzou v symetrických kostech.

Většina studií vnitřní kontaminace osob, kromě přímého měření na celotělovém počítači, vyžaduje i stanovení vylučované aktivity radionuklidů v exkretech. V některých případech lze využít k měření aktivity radionuklidů gama spektrometrii přímo, jindy je třeba použít radiochemické koncentrace nebo separace s následným měřením gama nebo alfa spektrometrií.



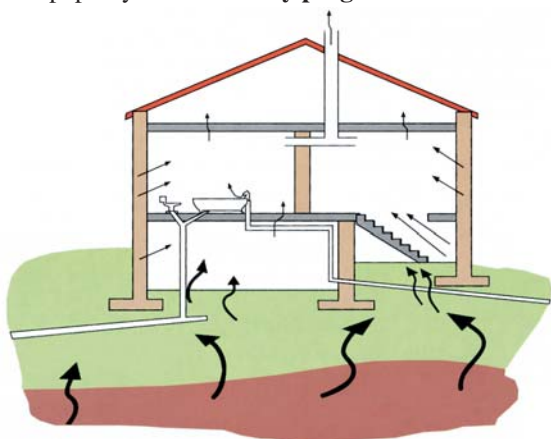
Obr. 4 - Kalibrační fantom IGOR v sedící poloze. Je měřen detektorem HPGe (117%).



Obr. 5a, b - Kalibrace měřicího systému pro vyhodnocení ^{241}Am v kostře

Přírodní ozáření

Pro průměrného občana České republiky je největší ozáření způsobeno přírodní radioaktivitou, na prvním místě radonem (přesněji produkty přeměny radonu) v ovzduší budov. Další přírodní ozáření obyvatelstva je dáno zářením gama přírodních radionuklidů v zemské kůře (^{40}K , prvky uranové a thoriové přeměnové řady), přírodními radionuklidy v těle člověka a kosmickým zářením. Ozáření z radonu je ovšem dominantní a jeho koncentrace v budovách vykazuje veliké rozpětí. Průměrná hodnota objemové aktivity radonu v bytech České republiky je kolem 140 Bq/m^3 , to odpovídá roční efektivní dávce kolem $2,5 \text{ mSv}$, v extrémních případech však byly nalezeny hodnoty až $20\,000 \text{ Bq/m}^3$, odpovídající dávce kolem 500 mSv ročně. Reprezentativní průzkum provedený v letech 1993 naznačil, že kolem 60 - 70 tisíc rodinných domů v České republice má obsah radonu vyšší než 400 Bq/m^3 , a to je hodnota považovaná za důvod k zásahu ke snížení ozáření. Proto je významná část činnosti ústavu zaměřena na níže popsáný tzv. **Radonový program**.



V oblasti přírodního ozáření však SÚRO sleduje i další složky např. stavební materiály, vody, půdy, nově i materiály s vyšším obsahem radionuklidů. SÚRO zřídil specializovanou laboratoř pro přírodní radionuklidy v pobočce v Hradci Králové, která je schopna zajistit potřebné laboratorní analýzy. SÚRO provádí měření, sběr a analýzu dat ke zjištění celostátních reprezentativních ukazatelů, vypracovává metodiky měření, doporučení a podklady pro legislativní návrhy.

Přehled připravených doporučení vydaných SÚJB

- Metodiky měření a hodnocení obsahu přírodních radionuklidů ve stavbách, na stavebních pozemcích a ve stavebních materiálech a vodě.
- Postupy při výpočtu ozáření kritické skupiny osob v souvislosti s uvolňováním přírodních radionuklidů do životního prostředí a při posuzování zásahů v oblastech s ukončenou hornickou činností.

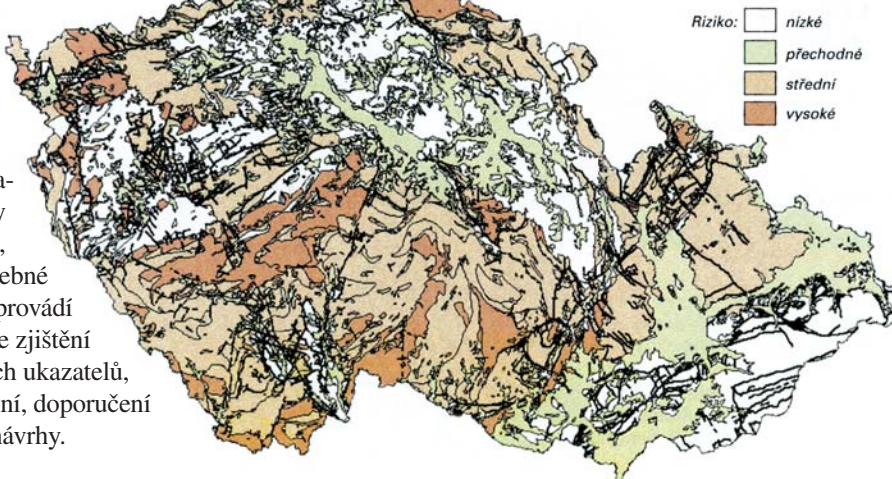
Radonový program

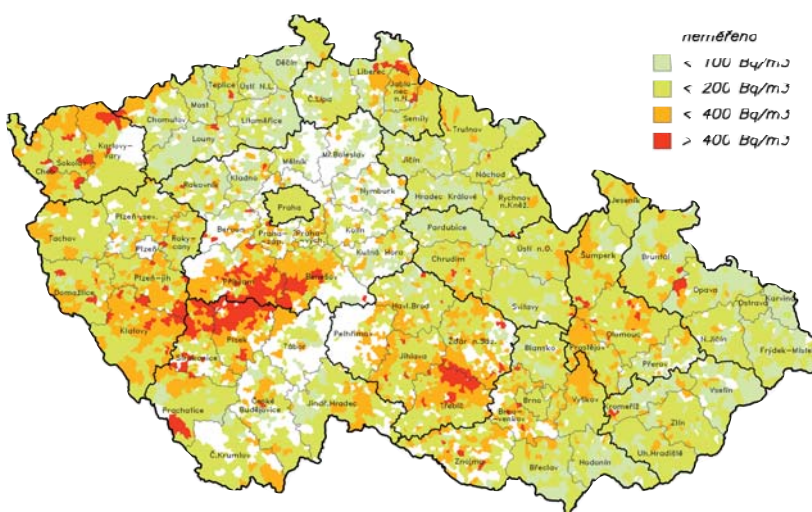
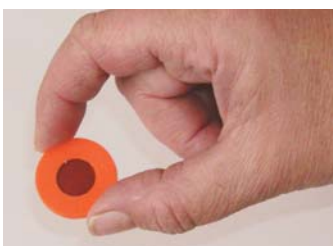
zahrnuje jednak **systém intervencí** ke snížení existujícího ozáření tj. cílené vyhledání postižených budov, informování občanů a samosprávy, pomoc majitelům s protiradonovým opatřením vč. kontroly účinnosti těchto opatření. Do tohoto programu patří i snížení přírodní radioaktivity ve vodě dodávané do veřejných vodovodů. Druhou částí radonového programu je **prevence**, tj. rozumné omezení přírodního ozáření v nových budovách. Jde o kontrolu a omezení možných zdrojů ozáření, tj. radonu pronikajícího z podlahy do budov, ozáření ze stavebních materiálů a vody.

Vyhledávání budov s radonem

SÚRO v úzké spolupráci s SÚJB, Státním ústavem jaderné, chemické a biologické ochrany (SÚJCHBO), okresními a krajskými úřady dlouhodobě zajišťuje celostátní program vyhledávání budov s vyšším obsahem radonu. Vyhledávání se

Geologická prognózní mapa radonového rizika ČR zpracovaná ČGÚ Praha





Průměrné hodnoty (geometrický průměr) objemové aktivity radonu (OAR) v obcích České republiky - z dosavadních měření pomocí stopových detektorů

provádí pomocí stopových detektorů připravovaných a vyhodnocovaných v SÚJCHBO (viz obrázky), které se umísťují do budov na jeden rok. Měří se především starší rodinné domy, školská a předškolská zařízení v oblastech, kde se podle prognózní geologické mapy radonového rizika připravené ČGÚ očekává vyšší riziko pronikání radonu z podloží.

Do konce roku 2002 bylo změřeno více než 120 000 budov, ve více než 20 000 byla zjištěna hodnota převyšující uvedenou zásahovou úroveň. Průzkum cílený do oblastí s vyšším rizikem byl efektivní, úspěšnost nalezení postižených budov byla v posledních letech 10x vyšší než při pouhém namátkovém průzkumu.

Ústav zpracovává výsledky měření a průběžně je zasílá občanům, v případě zjištění vyšších hodnot i s podrobnou informací o dalším postupu a nabídkou detailnějšího korespondenčního měření před opatřením.

Kontrola účinnosti protiradonových opatření

Od doby zahájení programu bylo v ČR se státní pomocí provedeno již několik tisíc protiradonových opatření v rodinných domech a školách. Vzhledem k tomu, že tato problematika je pro stavebnictví stále poměrně nová, došlo v řadě případů k tomu, že opatření selhalo. SÚRO proto provádí výzkum a kontrolu dlouhodobé účinnosti těchto opatření. K tomu používá především cenově dostupná korespondenční měření a v případech, kdy ukazují selhání, provádí diagnostická šetření na místě. K tomu

je v ústavu zřízena radonová expertní skupina vč. soudního znalce, vybavená špičkovou radonovou diagnostickou soupravou, technikou Blower-doors, sadou kontinuálních monitorů, soupravou čidel pro měření minimálních tlakových diferencí a proudění vzduchu apod.

Přírodní radionuklidy ve stavebních materiálech

Stavební materiály obsahují vždy určité množství radioaktivních látek. Jedná se především o draslík a prvky uranové a thoriové přeměnové řady, jejichž přítomnost ve stavebním materiálu vede



Radonová expertní skupina

Výsledky měření obsahu radia (Ra^{226}) ve stavebních materiálech v České republice

Stavební materiál	Průměrná hodnota (Bq/kg)	Nejvyšší hodnota (Bq/kg)
stavební kámen	27,5	925
cihly	45,2	143
beton	21,1	192
pórobeton	46,1	85
škvárobeton	66,7	118
malty	19,8	82
omítky	13,9	56
keramické obklady	63,0	117
písek	13,3	41
jíl	40,9	199
kamenivo	34,9	1090
popílek, škvára	75,5	363
cement	36,5	88
vápno	12,5	94
sádra	12,1	86

k ozáření osob ve stavbách. Ozařují pronikavým zářením gama, navíc z radia, které je z nich obvykle nejvýznamnější, vzniká radioaktivní přeměnou radon, částečně unikající do ovzduší budovy. Měření radioaktivity stavebních materiálů se provádí metodou spektrometrie gama. Ústav v minulých letech provedl statistickou analýzu více než 4500 výsledků měření od více než 700 výrobců nebo dovozců stavebního materiálu. Obsah radia ve stavebních materiálech používaných v ČR je obvykle řádu desítek Bq/kg. Vyšší hodnoty vykazují materiály vyrobené s použitím odpadních surovin (popílek, škvára, struska) nebo některé druhy kamene, například žula. V tabulce jsou pro informaci uvedeny zjištěné průměrné a maximální hodnoty obsahu radia ve stavebních materiálech používaných v ČR. Z hlediska ozáření osob ve stavbách jsou samozřejmě významné především takové materiály, které tvoří největší část staveb (beton, cihly, tvárnice). Odhad průměrného ozáření ze stavebních materiálů v ČR je 0,4 až 0,6 mSv za rok, tj. několikrát méně než z radonu, který do budov proniká z podloží.

Přírodní radionuklidy ve vodě

Podzemní voda obsahuje vždy určité množství radonu (v povrchových vodách je radonu zanedbatelně). Obsah radonu ve vodě souvisí s obsahem přírodních radionuklidů v geologickém podloží, častý výskyt vyšších hodnot je zjišťován například

v okresech Jindřichův Hradec, Písek, Prachatice, Strakonice, Plzeň - jih, Sokolov a Tachov. Radon přechází do vody z hornin obsahujících uran a radium a spolu s vodou se dostává do budov. Při používání vody v bytě se část radonu uvolňuje do ovzduší (při sprchování a mytí asi 50%, při vaření a praní téměř 100%) a vytváří zde krátkodobé produkty přeměny radonu, jejichž vdechování přispívá k ozáření osob. Pro obsah radonu ve vodě pro veřejné zásobování byla stanovena jednak směrná hodnota 50 Bq/l (při překročení se posuzuje, zda by nebylo výhodné radon z vody odstranit tj. porovnávají se náklady a přínos takového opatření), jednak mezní hodnota 300 Bq/l. Nad tuto mezní hodnotu nesmí být voda dodávána a je třeba snížit obsah radonu ve vodě vhodnou úpravou nebo nahradit zdroj vody. Výsledky měření ukazují, že průměrná hodnota koncentrace radonu ve vodě je asi 15 Bq/l. Překračování směrné hodnoty 50 Bq/l bylo zjištěno v 9% veřejných vodovodů, překračování úrovně 300 Bq/l v 0,6 % veřejných vodovodů.

Obsah přírodních radionuklidů ve vodě dodávané do veřejných vodovodů – základní ukazatele

radionuklid (ukazatel)	počet vzorků celkem	geometrický průměr (Bq/l)	nejvyšší hodnota (Bq/l)
celková aktivita alfa	5 490	0,052	3,81
celková aktivita beta	5 211	0,092	14,0
Rn^{222}	5 584	15,7	22,10

Kromě radonu jsou v pitné vodě přítomny, i když obvykle v menším množství, také další přírodní radionuklidy. Jedná se především o radium (^{226}Ra) a izotopy uranu (^{234}U a ^{238}U). Do vody se dostávají stejnou cestou jako radon, a pití vody obsahující takové radionuklidy, způsobuje rovněž určité ozáření obyvatel. Zjišťování jednotlivých přírodních radionuklidů (je jich několik desítek) ve vodě je však pracná a nákladná záležitost. Byly proto zavedeny 2 skupinové ukazatele, tzv. celková objemová aktivita alfa a celková objemová aktivita beta, které charakterizují obsah přírodních radionuklidů (jiných než radon) ve vodě. Pro celkovou aktivitu alfa ve vodě dodávané do veřejných vodovodů je stanovena směrná hodnota 0,2 Bq/l a pro celkovou aktivitu beta směrná hodnota 0,5 Bq/l.

Teprve při překročení některé z těchto úrovní je účelné (a naše předpisy to požadují) zjišťovat konkrétní obsah jednotlivých radionuklidů ve vodě. Výsledky měření celkových objemových aktivit ve vodě, dodávané do veřejných vodovodů, ukazují průměrnou hodnotu celkové aktivity alfa 0,052 Bq/l a celkové aktivity beta 0,092 Bq/l. Překračování směrných hodnot bylo zjištěno u 5% veřejných vodovodů. Vyšší hodnoty byly zjišťovány například v okresech Písek, Plzeň - jih, Lito-měřice, Louny a Teplice. Výsledky měření dalších radionuklidů, provedené ovšem jen ve vybraných vodovodech, kde byly překročeny skupinové ukazatele, jsou v další tabulce.

Výsledky měření jednotlivých radionuklidů

radionuklid	počet vzorků	geometrický průměr (Bq/l)	nejvyšší hodnota (Bq/l)
Draslík	454	1,45*	54,1*
Uran	368	0,004*	0,148*
Pb ²¹⁰	143	0,040	0,346
Po ²¹⁰	30	0,009	0,071
Ra ²²⁶	370	0,028	0,302
U ²³⁴	38	0,075	2,72
U ²³⁵	38	0,005	0,05
U ²³⁸	62	0,045	1,08

* hmotnostní koncentrace uranu a draslíku je uvedena v mg na litr

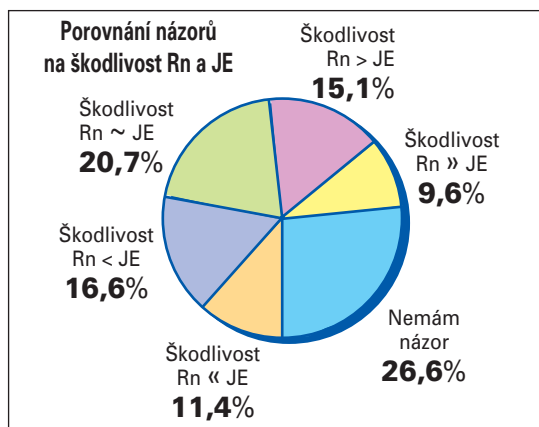
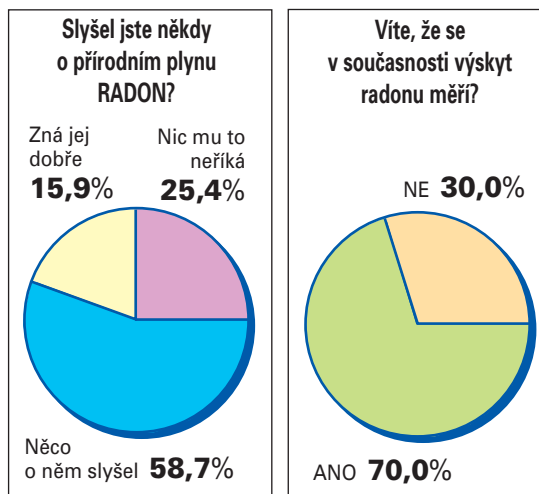
Uvedené údaje jsou z centrální databáze více než 18 000 výsledků měření z veřejných vodovodů, kterou ústav v minulých letech vedl a provedl její analýzu.

Průměrná efektivní dávka z přírodních radionuklidů ve vodě dodávané do veřejných vodovodů je odhadována na 0,054 mSv za rok, z toho téměř 90 procent je dáno přítomností radonu ve vodě (tj. asi stokrát méně než z radonu pronikajícího do budov přímo ze země). Odhad průměrného ozáření z přírodních radionuklidů (jiných než radon) v pitné vodě je 0,006 mSv/rok, tj. asi desetkrát méně než odhad ozáření z radonu ve vodě.

V minulém roce zahájil ústav pilotní korespondenční průzkum obsahu radonu v individuálních zdrojích vody, zejména v oblastech s očekávaným vysokým radonovým rizikem. Z dosavadních 1083 výsledků měření vychází geometrický průměr 48 Bq/l a velké rozpětí hodnot s maximální zjištěnou hodnotou 6400 Bq/l.

Informovanost o radonu

Na přelomu roku 1999 - 2000 zorganizoval ústav reprezentativní sociologický průzkum informovanosti občanů o radonové problematice a radioaktivitě. Cílem bylo zjistit, zda se daří občanům předat dostatek informací, aby měli pro své rozhodování podklady a věcné argumenty. Celkem bylo o rozhovor požádáno 1100 občanů starších 18 let. Dotazování se uskutečnilo v rámci celé České republiky. Výběr respondentů byl proveden pomocí kvótního postupu. Kromě řady dalších, byly dotazovaným mimo jiné položeny otázky, zda o radonu slyšeli, zda vědí o jeho měření a co si myslí o porovnání ozáření z radonu v bytech a ozáření z jaderné elektrárny za normálního provozu. Výsledky šetření jsou patrné z obrázků. Ukázaly, že přes 70% respondentů o radonu a jeho měření již slyšelo, ale pouze čtvrtina občanů má o úrovních ozáření informace odpovídající stavu poznání.



Studie plicní rakoviny v důsledku expozice radonu

Podle Mezinárodní agentury pro výzkum rakoviny je radon považován za kancerogen. Na základě extrapolace výsledků studií pracovníků exponovaných v uranových dolech lze doložit, že po kouření cigaret je expozice radonu v obydlicích v některých zemích druhá nejvýznamnější příčina. Epidemiologické studie horníků uranových dolů, založené J. Ševcem a V. Plačkem, představují významný zdroj informací o zdravotních účincích radonu. Jedinečnost studií spočívá zejména v objektivním odhadu expozice, která vychází z měření radonu v dolech od roku 1949, a dále v dlouhodobém sledování exponovaných osob, které pokrývá téměř 50 let. Výsledky studií byly podkladem pro hodnocení rizika v uranových dolech již od počátku sedmdesátých let, naposledy v doporučení výboru BEIR VI (Biological Effects of Ionizing Radiation). Cílem českých studií mezi horníky uranových dolů a u osob exponovaných radonu v obydlicích, je přispět k prohloubení těchto poznatků, zejména v souvislosti s dobou po expozici a možnými interakcemi s kouřením.

Kohortová studie pracovníků exponovaných v podzemí uranových dolů zahrnuje 4339 horníků jáchymovské oblasti (studie S), kteří zde pracovali v letech 1948-63 a dále 5621 horníků příbramské oblasti (studie N), kteří zde pracovali v letech 1968-88, kdy byla již plně zavedena hygienická opatření. Studie vlivu radonu v životním prostředí zahrnuje oblast Středočeského plutonu (241 km²), který tvoří hlavně žulové podloží s četnými geologickými zlomy. Sledovaná populace zahrnuje 12 002 osob, kteří žili v oblasti po roce 1960.

Odhady expozic ve studii S jsou odvozeny z rozsáhlých měření radonu uskutečněných od roku 1949. Expozice pracovníků jsou uvedeny v jednotkách WLM (working level month), které integrují koncentrace produktů přeměny radonu ve vzduchu (WL) a trvání expozice v měsících (170 pracovních hodin). Jeden WL odpovídá 130 000 MeV potenciální energie alfa uvolněné krátkodobými produkty přeměny v jednom litru vzduchu (3.7 kBq/m³). Expozice radonu ve studii obyvatel je založena na měření ekvivalentní objemové aktivity radonu, které probíhalo po dobu jednoho roku ve většině domů (80%) sledované oblasti. Expozice obyvatel žijících mimo oblast jsou odvozeny z radonových

map. Pro porovnání výsledků v obou studiích jsou expozice obyvatel vyjádřeny v jednotkách $kBq\ m^{-3}a$, které integrují koncentrace radonu ($kBq\ m^{-3}$) a dobu pobytu v letech (a).

Informace o kouření ve sledovaných kohortách se liší. Ve studii S byly údaje o kouření shromážděny u 332 případů a 502 kontrol přiřazených k případům podle roku narození a věku. Tyto informace byly zjišťovány ze zdravotní dokumentace, od příbuzných a od žijících členů souboru. Ve studii N byly údaje o kouření shromažďovány mezi pracovníky již při sestavení souboru (85%). V souboru obyvatel jsou tato data známa ze 72%.

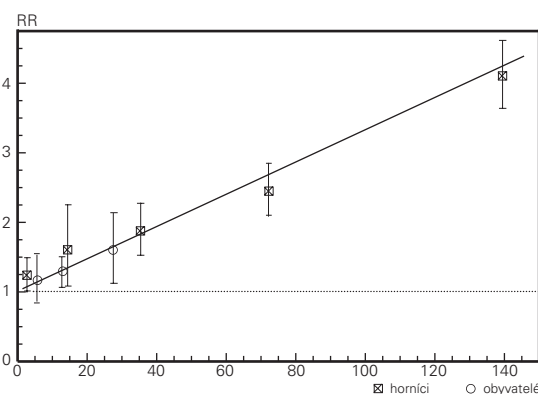
Ke konci roku 1999 bylo evidováno v hornické studii celkem 4008 úmrtí (40%), z toho 922 případů plicní rakoviny. Ve studii obyvatel zemřelo 4090 osob (35%), z nichž bylo 218 plicních rakovin.

Tab. 1 - Studie horníků uranových dolů a obyvatel ke konci roku 1999

	Horníci	Obyvatelé
Počet osob	9 960	11 801
Průměrná kumulovaná expozice	70 WLM	24 kBqm ³ a
Expozice v období před 5-34 roky	54 WLM	11 kBqm ³ a
Počet osob-roků sledování	260 075	299 810
Počet rakovin plic	922	218
Standardizovaná úmrtnost (O/E ^a)	3.88	1.15
Relativní riziko (RR ^b)	3.29	1.35

^a O/E – podíl pozorovaných počtů k počtům očekávaným podle celostátních statistik

^b RR – podíl pozorovaných počtů k počtům odhadnutým při nulové expozici



Obr. 1. Relativní riziko (RR) v závislosti na expozici kumulované v období před 5-34 roky ve studii horníků (WLM) a ve studii obyvatel ($kBq\ m^{-3}a$)

Tab. 2
Časově specifické koeficienty rizika**Odhady ze studií horníků a obyvatel**^a vzhledem k expozičním příkonům < 8WL

Doba od expozice	Horníci UD (922 případů)		Obyvatelé (218 případů)	
	ERR/WLM ^a	90% CI	ERR/kBq m ⁻³ a	90% CI
5 - 19	0.059	0.043 - 0.075	0.045	- 0.000 - 0.153
20 - 34	0.015	0.010 - 0.021	0.013	- 0.000 - 0.123
35 - 49	0.008	0.003 - 0.012		
5 - 34	0.028	0.020 - 0.035	0.028	0.005 - 0.069
35 - 49	0.004	0.001 - 0.008	0.003	- 0.000 - 0.071

Relativní riziko pozorované mezi horníky a u obyvatel vykazuje přibližně lineární závislost na expozici (*obr.1*). Koeficienty rizika (převýšení relativního rizika na jednotku expozice) vzhledem k různým obdobím expozice jsou uvedeny v *tab. 2*. Relativně značný pokles rizika s dobou od expozice je patrný v obou studiích. Výsledky ukazují, že největší riziko pochází z expozic před 5 - 19 lety, a dále, že expozice před více než 35 lety je zanedbatelná (méně než 1/7 ve srovnání s obdobím před 5 - 19 lety).

Údaje o kouření byly sledovány s výjimkou studie S u většiny osob. V době, kdy byla kohorta S sestavena (1970), byla těžba v jáchymovských dolech ukončena a nebylo technicky možné přímé zjišťování kuřácké anamnézy. Vzhledem k tomu, že výsledky interakce kouření a expozice radonu lze očekávat u vyšších expozic, bylo zahájeno retrospektivní šetření ve studii S. Předběžné výsledky odhadů koeficientů rizika vykazují pozoruhodnou shodu (*tab. 3*).

Vzhledem k relativně nízkým počtům nekuřáckých případů plicní rakoviny, nejsou uvedené koeficienty rizika statisticky významné. Nicméně, vyšší koeficienty u nekuřáků byly zjištěny v obou studiích. Kromě těchto koeficientů bylo odhadnuto i relativní riziko plicní rakoviny vzhledem ke kouření (RR=11,1). Tato hodnota odpovídá odhadům

Tab. 4 - Relativní riziko plicní rakoviny vzhledem k radonu a kouření

	nekuřáci	kuřáci
neexponovaní	1	11
exponovaní v UD (200WLM)	10	55
exponovaní v obydlí (800 Bq m ⁻³)	2	17

Tab. 3 - Převýšení relativního rizika na jednotku expozice u kuřáků a nekuřáků

Studie	UE ^a	Případy	ERR/UE ^b	90%CI	
Horníci UD	WLM	kuřáci	362	0.018	0.010 - 0.030
		nekuřáci	43	0.040	0.014 - 0.140
Obyvatelé	kBq m ⁻³ a	kuřáci	173	0.023	0.000 - 0.064
		nekuřáci	42	0.043	- 0.006 - 0.444

^a UE jednotka expozice^b Převýšení relativního rizika na jednotku expozice vzhledem k období před 5 - 34 lety

rizika ve většině studií o kouření. V *tab. 4* jsou shrnuty tyto poznatky o kombinovaných účincích radonu a kouření. Expozice 200 WLM zhruba odpovídá relativnímu riziku neexponovaných kuřáků, avšak expozice oběma karcinogenům netvoří součin obou rizik, ale je přibližně poloviční. Tyto relace odpovídají sub-multiplikační interakci.

Současné výsledky studií potvrzují, že klesající účinek expozice radonu s časem, který byl již dříve pozorován v hornických studiích, se projevuje i při expozici v obydlích. Potvrzuje se tak, že hodnocení rizika založené na expozici před 5 - 34 lety je nejvhodnější.

Hodnocení kombinovaných účinků kouření a radonu v epidemiologických studiích je zcela evidentní. Mezi horníky je prevalence kouření vyšší než v mužské populaci. Při hodnocení rizika z radonu však jen několik studií zahrnuje kouření. Podstatnou podmínkou při tomto hodnocení je dostatečný počet případů plicní rakoviny mezi nekuřáky. Výsledky šesti kombinovaných studií horníků exponovaných radonu (64 nekuřáckých případů, BEIR VI) jsou ve shodě s výsledky českých studií. Při interpretaci těchto poznatků se předpokládá rozdílný způsob plicní depozice a clearance u kuřáků a nekuřáků.

Riziko radonu bylo prokazatelně pozorováno v hornických studiih. Přímé odhady ve studiih mezi obyvatelstvem jsou obtížnější. Míra expozice je řádově nižší a navíc odhady expozic u obyvatel vykazují větší nepřesnost než u horníků. Odhady expozice u horníků jsou přesnější nejen proto, že měření byla realizována v minulosti, ale i proto, že doba expozice u horníků je poměrně přesně zaznamenána. Přes tyto nedostatky výsledky českých studií v pracovním a životním prostředí vykazují pozoruhodnou shodu. Téměř identické koeficienty rizika vzhledem k expozicím před 5 - 34 lety, podobný pokles rizika s časem a podobné koeficienty rizika mezi kuřáky a nekuřáky ukazují, že riziko v pracovním prostředí lze extrapolovat na podmínky v životním prostředí. Otázkou zůstává převod rozdílných jednotek. Podle publikace Mezinárodní komise pro radiační ochranu ICRP-65 (1993)

$$1 \text{ WLM} = 3.5 \text{ mJh/m}^3,$$

$$1 \text{ kBq m}^{-3} \text{ a} = 11.7 \text{ mJh/m}^3 \text{ (při } F=0.3),$$

což znamená více než třikrát větší expozici při $1 \text{ kBq m}^{-3} \text{ a}$ ve srovnání s jednotkou WLM. Důležitým předpokladem při takových převodech jednotek

je odhad plicní ventilace u pracovníků a u obyvatel. Je zřejmé, že rozdíly mezi horníky a obecnou populací jsou značné. U horníků se expozice vztahuje k pracovní činnosti, zatímco u obyvatel tvoří významný podíl odpočinek a spánek, kdy je plicní ventilace nižší.

Relativní riziko plicní rakoviny závisí lineárně na kumulativní expozici za období před 5-34 lety. Přitom je účinek expozice ve vzdálenější době před více než 34 lety výrazně menší ve srovnání s obdobím před 5 -19lety. Kombinovaný účinek radonu a kouření odpovídá sub-multiplikativní interakci, tj. relativní riziko z radonu mezi kuřáky (vzhledem k neexponovaným kuřákům) je při stejné expozici přibližně poloviční než riziko exponovaných nekuřáků (vzhledem k neexponovaným nekuřákům). Výsledky zjištěné ve studiih v pracovním a životním prostředí vykazují značnou shodu, jak při hodnocení vlivu času tak s ohledem na vliv kouření. Při rozdílu v plicní ventilaci mezi horníky a obecnou populací, je roční příjem potenciální energie alfa z expozice 1 kBq/m^3 přibližně roven příjmu odpovídajícímu 1WLM, což je v souladu s riziky pozorovanými v obou studiih.



Podzemní pracoviště uranových dolů (Rožná I)

Hodnocení a usměrňování lékařských expozic v oblasti radiodiagnostiky a radioterapie

V této oblasti ústav především vyvíjel metody kontroly systému jakosti při lékařském ozáření. V radioterapii prováděl nezávislé prověrky (audity) radioterapeutických ozařovačů. V radiodiagnostice za stejným účelem realizoval porovnávací měření firm měřících rentgenová zařízení a praktické zkoušky osob pro ověřování zvláštní odborné způsobilosti. Dále ústav zpracovával odborné podklady pro výkon dozoru státní správy, zejména posuzoval metodiky pro provádění přejímacích zkoušek, zkoušek dlouhodobé stability a zkoušek provozní stálosti.

V roce 2000 vznikla pobočka SÚRO v Ostravě. Na tuto pobočku byla převedena významná část problematiky v oblasti radiodiagnostiky, v SÚRO Praha zůstala problematika radioterapie a část radiodiagnostiky. Pobočka v Ostravě si postupně vybavuje rentgenovou laboratoř. V současné době provozuje již dva diagnostické rentgeny, využívané zejména pro účely zkoušek osob, porovnávací měření a nazařování termoluminiscenčních dozimetřů a filmů pro korespondenční audit zubních rentgenů. Pobočka vykonává i některé další činnosti pro RMS, gama spektrometrii a radiochemii.

Od roku 1985 vlastnil Státní ústav radiační ochrany, a před jeho vznikem Institut hygieny a epidemiologie, autorizaci státního metrologického střediska SÚRO - K110 pro ověřování stanovených měřidel a kalibraci měřidel v oblasti záření X. V roce 2002 byly na základě usnesení vlády ČR ze dne 23. 8. 2000 převedeny vybrané metrologické výkony ze Státního ústavu radiační ochrany do Českého metrologického institutu.

Ústav v oblasti radiodiagnostiky a radioterapie

- vyvíjí metody kontroly systému jakosti při lékařském ozáření a provádí nezávislé prověrky (audity) vybraných dozimetrických veličin a parametrů zdrojů ionizujícího záření používaných v radioterapii a dentální radiodiagnostice, včetně kontroly zobrazovacího procesu a plánovacích systémů;
- provádí zkoušky pro typové schvalování a posuzování shody radionuklidových zářičů a rentgenů;
- vyvíjí metody pro potřeby sledování a hodnocení radiační zátěže obyvatelstva, včetně výpočtu odhadu dávky na plod;

- prostřednictvím rentgenových laboratoří (SÚRO Praha, SÚRO Ostrava) vytváří zázemí pro odbornou, výzkumnou a vzdělávací činnost;
- na základě žádosti zřizovatele se podílí na práci ve zkušebních a odborných komisích SÚJB. Na vyžádání SÚJB zpracovává odborná stanoviska, metodiky, doporučení, návrhy legislativních a dalších dokumentů (příprava návrhu novelizace Atomového zákona a jeho prováděcích předpisů, Zákona o podmínkách získávání a uznávání způsobilosti k výkonu nelékařských zdravotnických povolání a k výkonu činností souvisejících s poskytováním zdravotní péče) a zajišťuje porovnávací měření a praktické zkoušky pro ověřování zvláštní odborné způsobilosti;
- provádí expertizy pro SÚJB a Státní zdravotní ústav, příp. další subjekty;
- spolupracuje s vysokými školami, Institutem postgraduálního vzdělávání ve zdravotnictví, MZd ČR, Českým metrologickým institutem, Technickou normalizační komisí, s odbornými společnostmi České lékařské společnosti J. E. Purkyně a s mezinárodními organizacemi.

V tabulce 1 je uveden systém auditů v radioterapii a v radiodiagnostice v ČR. V tabulce 2 je uveden přehled všech provedených auditů radioterapeutických ozařovačů - měření na místě. Toto komplexní dlouhodobé pravidelné provádění auditů radioterapeutických ozařovačů významně přispělo

Kontrola polohy zdrojů v aplikátorech při auditu brachyterapeutického ozařovače



Tab. 1 - Systém auditů v radioterapii a v radiodiagnostice v ČR

Metoda	Ozařovač	Od roku	Frekvence
in-situ audit - měření na místě	radionuklidový ozařovač	1996	po přijímací zkoušce, 1 x za 5 let
	urychlovač elektronů	1996	
	terapeutický rentgen	2000	
	brachyterapeutický ozařovač	2001	
TLD korespondenční audit*	radionuklidový ozařovač	1997	1 x za 2 roky
	urychlovač elektronů	1997	
TLD a filmový audit plánovacích systémů s použitím víceúčelového fantomu*	radionuklidový ozařovač	2000	pilotní studie
	urychlovač elektronů	2000	
TLD a filmový audit*	zubní diagnostický rentgen	2001	1 x za 2 roky

* podrobněji viz kapitola o TL dozimetrii

Tab. 2 - Přehled provedených auditů radioterapeutických ozařovačů - měření na místě

Ozařovač - počet v ČR v roce 2003	Počet auditů v roce									celk.	**	***
	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003				
radionuklidový ozařovač - 39	10	19	17	4	4	10	4	6	74	13	61	
urychlovač elektronů - 21	3	8	10	2		1	5	11	40	14	26	
terapeutický rentgen* - 24			3		4	7	11	5	30	4	26	
brachyterapeutický ozařovač* - 15							9	10	19	5	14	
celkem	13	27	30	6	8	18	29	32	163	36	127	

* Audity v rámci institucionálního výzkumu

** Počet auditů po přijímací zkoušce

*** Počet pravidelných auditů

ke zlepšení klinické praxe v České republice. Výhodou tohoto systému je, že je prováděn jedním subjektem (SÚRO) a že zahrnuje všechny typy radioterapeutických ozařovačů a široký výběr kontrolovaných parametrů. Audity na místě a základní TLD audity pomohly sjednotit stanovení dávky v radioterapii. Audity na místě odhalily několik vážných chyb dokonce po přijímací zkoušce, navíc umožňují cennou výměnu zkušeností mezi jednotlivými pracovišti. Základní TLD audity umožňují pravidelnou kontrolu stálosti dobré úrovně základní dozimetrie v radioterapii. Rozšířené TLD audity poskytly důležitou informaci o plánovacích systémech používaných v ČR. Audity významnou měrou pomáhají státnímu dozoru radioterapeutických center v ČR.

Přehled vytvořených metodik

Metodika zkoušek ZIZ užívaných v radioterapii
– radionuklidové ozařovače a urychlovače elektronů

Metodika zkoušek ZIZ užívaných v radioterapii
– URZ v brachyterapii

Metodika zkoušek ZIZ užívaných v radiodiagnostice
– CT

Metodika nezávislé prověrky terapeutických rentgenů

Metodika nezávislé prověrky zařízení s URZ používaná v brachyterapii

Metodika zkoušek ZIZ užívaných v radiodiagnostice
- skiografie a skiaskopie - metodika zkoušky pro typové schvalování a ověřování vlastností podle norem ČSN EN 60601-2-7, 60601-2-28, 60601-1-3

Přehled doporučení SÚJB vytvořených pracovníky SÚRO

Zavedení systému jakosti při využívání významných zdrojů ionizujícího záření v radioterapii:

Radionuklidové ozařovače (květen 1998)

Urychlovače elektronů (květen 1998)

Uzavřené radionuklidové zářiče v brachy-
terapii (červenec 1998)

Radiologické události (březen 1999)

Rentgenové ozařovače (březen 2000)

Radionuklidové ozařovače – revize (2003)

Radioterapeutické simulátory (2003)

Korespondenční TLD audit (2003)

v radiodiagnostice:

Korespondenční audit v systému jakosti

v dentální radiodiagnostice (2001)



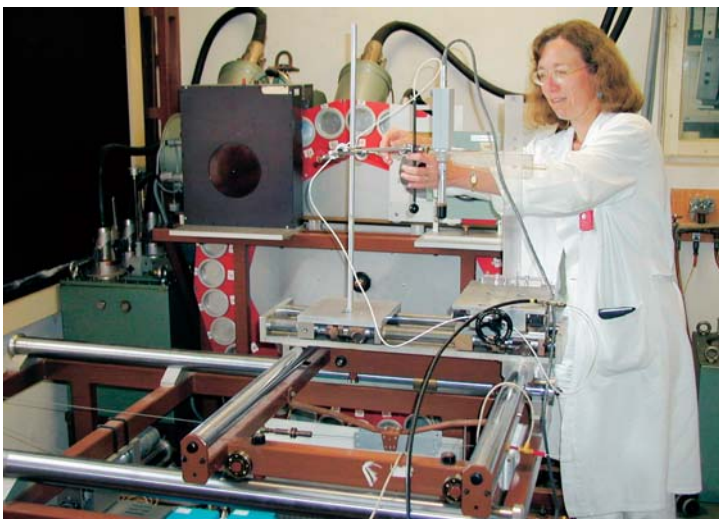
Zkouška rentgenů k typovému schválení

Přehled posudků a zkoušek

činnost	Počet posudků /zkoušek* za rok						celkem
	1998	1999	2000	2001	2002	2003**	
radioterapie	12	26	18	16	20	14	106
diagnostika	35	30	14	9	9	14	111
návrh normy			3	7	5	2	17
jiný dokument	9	2	4		2	1	18
zkoušky ZIZ	1	5	1	19	19	7	52
celkem	57	63	40	51	55	38	304

* Zkoušky pro typové schvalování a posuzování shody rentgenů a radionuklidových zářičů

** do 1. 9. 2003



Ověřování stanoveného měřidla v rentgenové laboratoři SÚRO Praha



Antropomorfní fantom

Přehled činnosti rentgenové laboratoře

činnost	rok						celkem
	1998	1999	2000	2001	2002	2003	
ověřování a kalibrace dozimetrů*	42(69)	42(69)	57(104)	52(104)	38(64)	1(2)	232(412)
filmová dozimetrie CSOD**	12 x	13 x	12 x	12 x	12 x	5 x	66 x
měření ekvivalentu olova a hliníku	1	24	26		5	4	60
nazařování TLD	5 x	6 x	209 x	47 x		1 x	268
nazařování filmů***			130	280	2160	1800	4370
radonové komory			50	55			105
kVp metry****	11	6	20	19	12		68

* před závorkou je uveden počet měřidel, v závorce počet detektorů (obvykle ionizačních komor)

** cca 2000 ks filmových kazet při jednom měření prováděném obvykle jednou měsíčně

*** v rentgenové laboratoři v Ostravě

**** kalibrace neinvazivních měřičů napětí rentgenky

Porovnávací měření firem

rentgenové zařízení	počty držitelů povolení za rok				
	1999	2000	2001	2002	2003
skiografie		15			15
zubní	19		21		
mamografie				3	

Porovnávací měření se z důvodu velké časové náročnosti a možnosti poruch s výhodou provádějí na laboratorních rentgenových zařízeních SÚRO Ostrava (zubní rentgen Planmeca a skiografický rentgen MP 30), vyjma mamografických rentgenů, kde je malý počet držitelů povolení a měření lze navíc provést v jednom dni. V současné době se porovnávací měření provádějí v rozsahu přijímací zkoušky. Na základě výsledků z porovnávacích měření lze konstatovat, že úroveň firem provádějících měření stoupá. Stále ale existují problematické body, které však nemají zásadní vliv na radiační ochranu. Poznatky z porovnávacích měření byly využity při kontrolách v terénu a při tvorbě metodik a protokolů.



Skiografický rentgen MP 30 v Ostravě

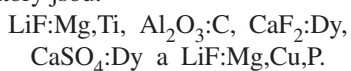
Aplikace termoluminiscenční a filmové dozimetrie

Ve Státním ústavu radiační ochrany je termoluminiscenční dozimetrie používána pro monitorování životního prostředí v rámci Radiační monitorovací sítě ČR a pro kontrolu lékařských zdrojů ionizujícího záření v radioterapii a radiodiagnostice.

Podstata termoluminiscenční dozimetrie je založena na jevu zvaném termoluminiscence, tj. emise světla z různých látek při jejich ohřevu. Tento jev je znám již velmi dlouho. První reference pochází již z roku 1663, kdy zjištění jevu u diamantu popsal jeden ze zakladatelů moderní chemie R. Boyle. Radiačně indukovaná termoluminiscence byla poprvé popsána v roce 1895 vědci E. Wiedemannem a G. C. Schmidtem.

Ozáříme-li vhodnou krystalickou látku (někdy též nazývanou jako „fosfor“ nebo „luminofor“), dojde k ionizaci, a tedy k uvolnění elektronů ze stabilních energetických hladin v krystalu. Počet elektronů uvolněných v důsledku ozáření je úměrný dávce. Uvolněné elektrony mohou být zachyceny v záchytných centrech krystalu, kde setrvávají tak dlouho, dokud nezískají dostatečnou energii k úniku. Jestliže je látka zahřívána, narůstá kinetická energie tepelného pohybu elektronů. Zároveň tedy roste pravděpodobnost jejich úniku ze záchytných center. Uniklé elektrony mohou přecházet do luminiscenčních center přičemž dochází k vyzáření přebytečné energie ve formě viditelných nebo ultrafialových fotonů. Měřením počtu těchto fotonů můžeme zjistit dávku, kterou byl materiál původně ozářen. Právě toto je podstatou termoluminiscenční dozimetrie (TLD).

Přístroje a aparatury pro vyvolání a změření TL signálu (TLD readers) jsou tedy založeny na poměrně jednoduchém principu: ozářený dozimetr je nutno prudce zahřát a uvolněné světlo kvantitativně zachytit. I přes jednoduchý princip jsou však aparatury pro měření TLD poměrně složité a jejich jednotlivé části musí splňovat mnoho náročných kvalitativních požadavků. Nejčastěji používanými TL detektory jsou:



Volba materiálu se řídí podle aplikace, pro kterou jsou dozimetry použity. Při výběru vhodného detektoru se posuzuje hlavně závislost odezvy na energii záření, fading (stabilita zachyceného signálu), citlivost a reprodukovatelnost údajů. Materiál má obvykle formu prášku, tabletek nebo tyčinek, jejichž hmotnost nebývá větší než 1 g. Malá hmotnost

a tudíž i „bodové“ rozměry detektoru jsou mimořádnou předností TLD. Samotný TL materiál se téměř nikdy nepoužívá bez dodatečného pouzdra či obalu bránících znečištění detektoru a zprostředkovávajících i potřebnou elektronovou rovnováhu. Vhodné pouzdro může sloužit i ke zlepšení směrové závislosti detektoru a modifikaci jeho energetické závislosti.

TLD se stala téměř univerzálním dozimetrickým nástrojem, použitelným pro nejrůznější praktické úlohy. V oblasti radiační ochrany je to především: dozimetrie osob, dozimetrie životního prostředí, dozimetrie lékařských aplikací ionizujícího záření, havarijní dozimetrie, monitorování okolí jaderných pracovišť, vyšetřování účinnosti stínění apod.

V následujícím textu jsou stručně popsány aplikace termoluminiscenční a filmové dozimetrie na SÚRO.

Monitorování prostředí pomocí TLD v rámci RMS ČR



Obr. 1 - Automatický TLD systém Dosacus

Monitorování prostředí pomocí TLD je realizováno v rámci provozu tzv. teritoriální sítě a lokálních sítí termoluminiscenčních dozimetrů. Toto monitorování probíhá od roku 1989 a je zaměřeno na měření vnějšího ozáření obyvatel v životním prostředí. Jedná se tedy především o měření fotonového záření pocházejícího jednak z přírodních radionuklidů v dané lokalitě a z kosmického záření, a jednak z umělé radioaktivity indukované v prostředí při využití umělých zdrojů ionizujícího záření. TL dozimetr používaný pro měření v životním prostředí je možno obecně definovat jako dozimetr umístěný venku pro účely odhadu dávky absorbované ve vzduchu vzhledem k fotonům a mionům. Co se týče přírodní radioaktivity, měřené záření má většinou

energii větší než 100 keV (zastoupení nižších energií činí pouze několik málo procent). V případě umělých zdrojů záření však může být zastoupení nízkenergetické složky významnější.

Teritoriální síť je tvořena celkem 184 monitorovacími body rovnoměrně rozmístěnými na území ČR a opatřeny TL dozimetrem, který je vhodný pro daný účel (viz mapa obr. 2). Za normální radiační situace pracuje síť ve čtvrtletních intervalech. Znamená to, že každé 3 měsíce jsou dozimetry v monitorovacích bodech vyměněny. Vyzvednuté dozimetry se vyhodnocují pomocí automatického měřicího systému Dosacus (viz obr. 1). Jako dozimetry jsou používány plastové karty se třemi zabudovanými tabletkami $Al_2O_3:C$. Karty jsou navíc uloženy v hliníkových kontejnerech pro zajištění ochrany materiálu a modifikaci jeho směrové a energetické závislosti. Výsledky jsou vykazovány ve formě průměrného čtvrtletního příkonu fotonového dávkového ekvivalentu pro každý monitorovací bod. Naměřené hodnoty se pohybují v rozmezí

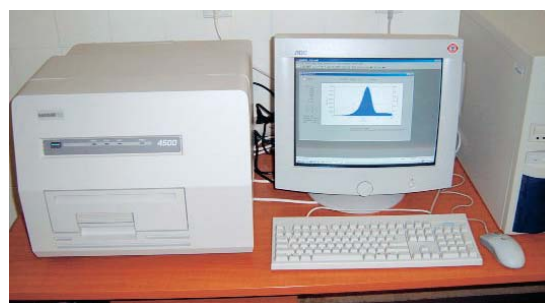


Obr. 2 - Teritoriální síť TL dozimetrie v ČR

od 70 do 270 nSv/h, což odpovídá variacím přírodního pozadí na území ČR. Lokální síť TLD se nachází v okolí jaderných elektráren Temelín a Dukovany. V okolí jaderné elektrárny Temelín je rozmístěno celkem 9 monitorovacích bodů a v okolí jaderné elektrárny Dukovany je celkem 12 monitorovacích bodů opatřených TLD. Při měření a vyhodnocení dozimetrů z lokálních sítí jsou používány stejné nástroje a postupy jako pro dozimetry teritoriální sítě TLD.

TLD audit v radioterapii

TLD audit je používán jako základní nástroj státní inspekce pro kontrolu radiační bezpečnosti ozařovačů používaných v radioterapii. Každý klinicky používaný ozařovač musí být touto formou zkontrolován nejméně jednou za dva roky. TLD audit je organizován korespondenčním způsobem. Znamená to, že na radioterapeutická pracoviště jsou pravidelně zasílány dozimetrické sestavy tvořené TL dozimetry, filmy, protokolem a návodem. Úkolem radioterapeutických pracovišť je ozářit TLD přesně v souladu s návodem a odeslat sestavu zpět do SÚRO k vyhodnocení. Změřením TL dozimetrů se získá hodnota dávky aplikované pracovištěm. Dozimetry jsou vyhodnocovány manuálním TLD systémem Harshaw (viz obr. 3). Naměřená dávka se porovnává s dávkou udanou pracovištěm. Relativní rozdíl by neměl přesahovat 3%. TLD audit se provádí ve dvou formách. Základní forma obnáší pouze kontrolu kalibrace svazku. Pokročilá forma se provádí s pomocí víceúčelového fantomu (viz obr. 4) a je zaměřena na kontrolu velké části procesu, kterým prochází pacienti při radioterapii. Zahrnuje počítačovou tomografii (CT), plánování léčby a ozáření. Takto lze do jisté míry kontrolovat, jak je přesně realizována plánovaná dávková distribuce pacientům. Tato pokročilá verze však zatím není rutinní součástí státní inspekce. Základní verze TLD auditu se pravidelně provádí od roku 1997 a přispívá ke zlepšení úrovně radiační bezpečnosti pacientů podrobujících se radioterapii. V současné době již dochází pouze k ojedinělým případům špatné kalibrace svazku, kdy relativní rozdíl mezi skutečně aplikovanou a zamýšlenou dávkou přesahuje 3%.



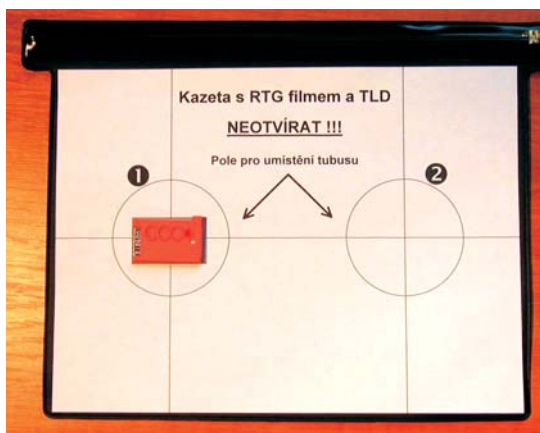
Obr. 3 - Manuální TLD systém Harshaw



Obr. 4 - TLD audit s víceúčelovým fantomem

TLD a filmový audit v dentální radiodiagnostice

Tento audit rutinně prováděný pro potřeby státní inspekce patří mezi legislativou vyžadované metody kontroly kvality v oblasti dentální radiodiagnostiky. Podobně jako TLD audit v radioterapii je organizován korespondenčním způsobem. Účelem je především kontrola dávkové zátěže pacienta při intraorálním rentgenovém vyšetření. Audit je založen na kontrole dvou parametrů rentgenového přístroje - velikosti pole záření na konci tubusu a reprodukovatelnosti expozičních parametrů a na ověření kvality celého zobrazovacího procesu, tedy



Obr. 5 - Kazeta s verifikačním filmem a připevněným TLD

na měření kermy ve vzduchu na konci tubusu a na kontrole nastavení expozičních parametrů a kontrole vyvolávání dentálních filmů. Korespondenční audit probíhá tak, že do zubní ordinace je zaslána speciální dozimetrická sestava obsahující podrobný návod, protokol, TL-dozimetr, bezfóliový verifikační film a referenčně ozářený dentální film. S poslanými materiály pracuje stomatolog analogicky jako kdyby prováděl rentgenové vyšetření pacienta a tudíž výsledky odráží reálný stav radiační ochrany na kontrolovaném pracovišti. Vyhodnocení je zaměřeno zejména na prokázání souvislosti mezi naměřenou hodnotou kermy ve vzduchu, K_a , a způsobem vyvolávání intraorálních filmů. V České republice je běžnou praxí, že se nedodržují doporučené podmínky při vyvolávání filmů, což se kompenzuje větším ozářením pacienta. Dávky z takových vyšetření obvykle nepřekračují diagnostickou referenční úroveň (5 mGy pro intraorální vyšetření), nicméně mohou být až čtyřikrát vyšší než dávka při optimalizovaném vyšetření, kdy jsou správně nastaveny expoziční parametry a je dodržován správný způsob vyvolávání filmů. Takové případy lze pomocí TLD auditu lehce odhalit.

Výzkum (institucionální, tuzemské a mezinárodní granty)

Výzkumná činnost představovala zhruba třetinu kapacity ústavu. Byla zaměřena především na tzv. institucionální výzkum, kromě toho pracovníci ústavu řešili nebo se podíleli na řešení několika domácích a zahraničních grantů.

Institucionální výzkum ústavu

probíhal od roku 1998 podle pravidel usnesení vlády České republiky ze dne 22. dubna 1998 č. 281 o Pravidlech hodnocení výzkumných záměrů a výsledků organizací pro poskytování institucionální podpory výzkumu a vývoje, a byl pravidelně vyhodnocován. Výsledky všech úkolů byly hodnoceny kladně.

Ústav řešil tyto projekty:

1. Studium ozáření obyvatelstva České republiky při používání zdrojů ionizujícího záření k diagnostickým a terapeutickým účelům

Cíl: Hodnocení fyzikálně technického zázemí pro nenádorovou a paliativní radioterapii - audity všech terapeutických rentgenových přístrojů v ČR.

Hodnocení využití zdrojů ionizujícího záření používaných k brachyterapii - audity všech after-loadingových zařízení určených k brachyterapii, včetně ověření kermové vydatnosti pro URZ s ^{137}Cs (systémy Selectron) pomocí studnové kalibrační komory.

Odpovědný řešitel: Ing. Ivana Horáková, CSc.

Cíl: Vývoj metody pro korespondenční TLD & filmový audit v dentální radiodiagnostice.

Vývoj metody pro korespondenční TLD audit v radioterapii s využitím multi-purpose fantomu.

Odpovědný řešitel: Ing. Daniela Kroutilíková

2. Studium chování radionuklidů v lidském organismu a rozvoj nových přístupů k odhadu expozice z vnitřní kontaminace

Cíl: Pokračovat ve výzkumu vnitřní kontaminace ^{137}Cs u obyvatelstva v ČR; vyvíjet metody pro stanovení vnitřní kontaminace u profesionálů a obyvatelstva, speciální pozornost věnovat metodám pro stanovení vnitřní kontaminace transurany vzhledem k významu těchto radionuklidů (jaderné elektrárny, nové technologie a výzkum - přepracování paliva transmutací).

Odpovědný řešitel: Ing. Irena Malátová, CSc.



3. Studium umělých radionuklidů v životním a pracovním prostředí

Cíl: Vývoj nových metod a přístupů k monitorování výpustí z jaderných zařízení, studium fyzikálně chemických vlastností umělých radionuklidů ve výpustech a v životním prostředí, doplnění sledování o další radionuklidy, které mají význam z hlediska kolektivních dávek. Studie distribuce ^{137}Cs v půdě na území ČR, stanovení ^{14}C ve vzorcích životního prostředí a ve vzdušných výpustech jaderně-energetických zařízení. Pokračování v dlouhodobém sledování výpustí z JEZ včetně analýzy naměřených dat, studie inovačního procesu sítě včasného zjištění a inovace metod práce mobilních skupin.

Odpovědný řešitel: RNDr. Petr Rulík

4. Studium ozáření obyvatelstva České republiky z přírodních zdrojů

Cíl: Zpracovat přehled o reprezentativní expozici obyvatelstva České republiky přírodnímu ozáření a o zdrojích přírodního záření. Pokračovat v cílených průzkumech expozice obyvatelstva a zdrojů přírodního ozáření v zájmových oblastech s vyšší úrovní přírodního záření, ve výzkumu efektivity opatření ke snížení tohoto ozáření. Pokračovat ve výzkumu chování radonu a jeho produktů přeměny v budovách a ve studiu hodnocení kancerogenního rizika z ozáření.

Odpovědný řešitel: Ing. Jiří Hůlka

Další výzkumná činnost

pracovníků ústavu zahrnovala řešení následujících grantů :

- Grant IGA MZd ČR 1927-3:
Odhad expozice obyvatelstva z výpustí JEZ
odpovědný řešitel: Ing. I. Malátová, CSc.
- Grant IGA MZd ČR 1928 – 3:
Odhad dávek z dceřiných produktů radonu měřením ²¹⁰Pb in vivo a v životním prostředí
odpovědný řešitel: Ing. I. Malátová, CSc.
- Grant IAEA 6765/RI/RB:
Sběr a vyhodnocení dat pro scénář střední Čechy, ověřování modelů pro přechod m v terestriálním, městském a vodním prostředí
odpovědný řešitel: Ing. I. Malátová, CSc.
- Grant IGA MZd ČR 4965-3:
Studium kinetiky některých osteotropních radionuklidů
odpovědný řešitel: Ing. I. Malátová, CSc.
- Grant EU INCO-Copernicus:
SAVEC-Spatial Analysis of Vulnerable Areas in Central Europe
odpovědný řešitel: Ing. I. Malátová, CSc.
- Grant IGA MZd ČR 4920-3:
Riziko rakoviny plic ve vztahu k expozici radonu v pracovním a životním prostředí
odpovědný řešitel: RNDr. L. Tomášek, CSc.
- Grant EU IC15-CT97-0300:
Cohort studies on radon exposed populations
odpovědný řešitel: RNDr. L. Tomášek, CSc.
- Grant IGA MZd 18591-3:
Zhoubné novotvary plic u horníků exponovaných radonu
odpovědný řešitel: RNDr. L. Tomášek, CSc.
- Grant IGA MZd ČR NC 5948-3:
Zabezpečení jakosti radioterapie-plánovací systémy
odpovědný řešitel: Ing. D. Kroutilíková
- Grant IGA MZd ČR NC 7393-3:
3D konformní radioterapie-vývoj metod pro ustanovení systému zabezpečení jakosti na národní úrovni
odpovědný řešitel: Ing. D. Kroutilíková
- Grant IAEA 8512/RB:
Vybudování národní sítě TLD
odpovědný řešitel: Ing. D. Kroutilíková
- Grant IGA MZd ČR 2625-3:
Nezávislé ověření jakosti fyzikálně-technického zázemí radioterapie
odpovědný řešitel: RNDr. I. Přidal, CSc.
spoluřešitel: Ing. H. Žáčková
- Grant GAČR 103/95/1306:
Metodiky dimenzování ochrany staveb proti radonu
odpovědný řešitel: Ing. M. Jiránek, CSc.
spoluřešitel: Ing. J. Hůlka
- Grant IAEA RP.CZR/1997/008/RQ:
Quality assurance programmes establishment in radiology and radiotherapy
odpovědný řešitel: Ing. I. Zacháříšová
spoluřešitelé: Ing. H. Žáčková, Ing. D. Olejář
- Grant IAEA CZR/9013:
Establishment of Radiation Protection and Safety Training Centre
odpovědný řešitel: Doc. Ing. J. Novotný, CSc.
spoluřešitelé: Ing. H. Žáčková,
Ing. D. Kroutilíková, Ing. I. Horáková, CSc.
- Grant IGA MZd ČR NJ 6768:
Kvantifikace kancerogenních účinků radonu v pracovním a životním prostředí
odpovědný řešitel: RNDr. L. Tomášek, CSc.

Školící a vzdělávací činnost, poskytování informací

Ústav plnil mnohostranné úlohy ve vzdělávání a školení. V rámci vzdělávání zejména organizoval semináře, školení a přednášky v programu vzdělávání pracovníků SÚRO a SÚJB, byl odbornou základnou IPVZ (Institut pro další vzdělávání ve zdravotnictví).

Ústav nově zavedl systém vzdělávání pro nové pracovníky SÚRO a SÚJB. Poskytoval průběžně konzultace pro inspektory SÚJB i pro další pracovníky státní správy. Pořádal regionální odborné semináře o radonovém programu pro pracovníky okresních úřadů, zpracoval informaci o radonovém programu pro přednosty okresních úřadů.

Dále zajišťoval ve spolupráci s SÚJB a MAAE studijní pobyty pro zahraniční stážisty, např. pro stážisty z Moldávie, Gruzie, Sýrie, Arménie, Kazachstánu, Ukrajiny, Uzbekistánu, Bosny a Hercegoviny, Albánie, Tanzánie, Pákistánu, Estonska, Běloruska a Rumunska. Pracovníci ústavu též přednášeli na kurzech pořádaných MAAE.

Pracovníci ústavu se podíleli na výuce pro studenty Fakulty jaderné a fyzikálně inženýrské ČVUT Praha v oborech biologické účinky záření a radiační ochrana a zajišťovali odborné vedení postgraduálních studentů FJFI ČVUT.

Ústav poskytoval odborníky k výuce v kurzech radiační ochrany, k odborné výuce v radiační ochraně zdravotnických a dalších pracovníků, především „vybraných pracovníků“ dle AZ a dalších předpisů.

Ústav se spolu s FJFI ČVUT Praha pravidelně podílel na organizaci Dnů radiační ochrany a na domácích a zahraničních konferencích.

V rámci poskytování informací ústav připravoval a vydával specializované informační materiály k problematice radiační ochrany a poskytoval podklady pro zprávy SÚJB. Ústav pravidelně vydával nebo se významně podílel na přípravě následujících publikací:

- Zpráva o radiační situaci na území České republiky
- Zpráva o plnění radonového programu
- Radon - bulletin SÚRO
- Rentgen - bulletin SÚRO
- Zpravodaj SROBF ČLS J.E.P.
- Příspěvek do ročenky MŽP
- Příspěvek do Statistické ročenky životního prostředí ČR
- Příspěvek do výroční zprávy SÚJB

Ústav zpracoval rozsáhlé a podrobné údaje z oblasti radiační ochrany a zveřejnil je na své internetové stránce www.suro.cz, kde je možné najít:

- informace o aktuální radiační situaci na území ČR
- informace o přírodní radioaktivitě a radonovém programu
- informace o legislativě v oblasti radiační ochrany
- důležité publikace ústavu a informace o činnosti ústavu
- důležité odkazy
- odpovědi na otázky z oblasti radiační ochrany



Zahraniční spolupráce a mezilaboratorní porovnání

Zahraniční spolupráce

Pracovníci ústavu byli v rámci své působnosti zapojováni do řady mezinárodních aktivit, programů, činností pracovních skupin, organizování mezinárodních seminářů apod.

Spolupracovali s významnými mezinárodními organizacemi: MAAE, ESTRO a účastnili se projektů EROPAQ, EURAQA, EQUAL, EMERALD a dalších, například:

- práce v řídicím výboru European ALARA Network, který má za úkol pomáhat zemím Evropy v uplatňování ALARA principu v praxi,
- práce skupiny RO5 - neformální skupina odborníků evropských zemí zabývajících se monitorováním aerosolů v ovzduší, která je schopna prakticky okamžitě, prostřednictvím e-mailů, reagovat a informovat se o aktuálních hodnotách objemových aktivit,
- práce v Expert Group on the Evolution of the System of Radiation Protection (EGRP) – NEA OECD Paris (s publikací: The Way Forward: Modernisation of the System of Radiological Protection, OECD Nuclear Energy Agency's Committee on Radiation Protection and Public Health (CRPPH), Paris 2002),
- bilaterálních jednání s Rakouskem v souvislosti s plněním dohod z Melku,
- účast ve výboru ICRU (The International Commission on Radiation Units and Measurements) pro přípravu dokumentu Direct Determination of the Body Content of Radionuclides,
- spolupráce s granty EU OMINEX, EURADOS, EC FIGH-CT-199-0008-Radon Epidemiology, EC FIGH-CT-199-00013 – U Miners and Animal Data,
- pracovní skupiny B (WGB) Organizace pro komplexní zákaz zkoušek jaderných zbraní (CTBTO),
- pracovní skupina: European Collaborative Group on Residential Radon and Lung Cancer (ČR, Velká Británie, Německo, Francie, Itálie, Švédsko, Finsko, Belgie),
- pracovní skupina: U Miners and Animal Data (ČR, Francie, Německo, Velká Británie, Nizozemí).

Mezilaboratorní porovnávání

Účast v mezilaboratorních porovnáních je jedním z důležitých požadavků programů zabezpečování jakosti a jedinečnou prověrkou práce každé laboratoře. Jednotlivá oddělení SÚRO se účastní jak mezinárodních, tak národních porovnávacích měření. V následujících tabulkách jsou uvedena porovnání, jichž jsme se zúčastnili v období 1997-2003.

Kontrola kvality radioterapie

Stanovení absorbované dávky

Rok	Organizátor	Porovnání
1999-2002	MAAE	Ověření přesnosti TLD měření v radioterapii
1998-2002	Státní metrologické středisko	Ověření kalibrace TLD pro měření v radioterapii
1998-1999	EROPAQ, EURAQA	Ověření přesnosti TLD měření v radioterapii
2002-2003	EQUAL	Ověření přesnosti TLD měření v radioterapii
1998-2003	MAAE	TLD audit SSDL - kerma ve vzduchu pro Cs, pro potřeby radiační ochrany

Monitorování životního prostředí

Stanovení aktivity ve vzorcích životního prostředí a vody

Rok	Organizátor	Porovnání
1998	BfS - Německo	Stanovení přírodních zářičů v půdách pomocí gamaspektrometrie
1998	MAAE – IAEA-384	Radionuklidy v sedimentech
1999	SÚRO Hradec Králové	$\Sigma\alpha$, ^{226}Ra , U ve vodě
1999	BfS - Německo	Rostlinný popel – ^{137}Cs , přírodní radionuklidy pomocí gamaspektrometrie, ^{210}Pb
1999	MAAE	Proficiency test – ^{90}Sr v minerální matici
1999	MAAE	Proficiency test – $^{239+240}\text{Pu}$, ^{241}Am v popílku
2000	SÚRO Hradec Králové	^{222}Rn ve vodě
2001	MAAE – IAEA-414	gama zářiče, ^{90}Sr , ^{210}Pb , ^{241}Am v rybí moučce
2002	ASLAB	$\Sigma\alpha$, $\Sigma\beta$, U, ^{226}Ra , ^3H , ^{90}Sr , radon, uran, ^{210}Pb , ^{210}Po ve vodě
2002	MAAE – IAEA-385	Antropogenní a přírodní radionuklidy v sedimentech
2002	MAAE	Proficiency test-radionuklidy v popílku
2003	MAAE	Proficiency test – ^{226}Ra , ^{228}Ra , ^{234}U , ^{238}U ve vodě
2003	ASLAB	$\Sigma\alpha$, $\Sigma\beta$ ve vodě, ^{222}Rn , U, ^{90}Sr , ^{226}Ra
2003	BfG Koblenz-Německo	^3H ve vodě

Stanovení průměrného příkonu fotonového dávkového ekvivalentu

Rok	Organizátor	Porovnání
1997	US Department of Energy, Environmental Measurements Laboratory, New York, USA	11th International Intercomparison of Environmental Dosimeters
2000	US Department of Energy, Environmental Measurements Laboratory, New York, USA	12th International Intercomparison of Environmental Dosimeters

Porovnání terénních měření - měření dávkových příkonů
 - kvalitativní a kvantitativní stanovení gama radionuklidů v životním prostředí
 - nalezení ztracených zářičů

Rok	Organizátor	Porovnání
1997	SUER Švýcarsko	10th Exercise on Mobile Radiological Laboratories; 1997 Intercomparison Measurements, Switzerland
1998	LRKO Trnava, Slovensko	11th Exercise on Mobile Radiological Laboratories; 1998 Intercomparison Measurements, Slovakia
1999	J. Stefan Inst., Slovinsko, EC of Techn. Safety, Ukrajina	12h Exercise on Mobile Radiological Laboratories (MORAL); 1999 Intercomparison Measurements - Chernobyl, Ukraina
2000	SUER Švýcarsko	Environmental Radioactivity - Intercomparison Measurements, France
2002	KFKI Maďarsko	14 th Exercise on Mobile Radiological Laboratories (MORAL 14); 2002 Intercomparison Measurements, Hungary

Monitorování vnitřní kontaminace

Stanovení aktivity v lidském těle

Rok	Organizátor	Porovnání
2001- 2003	MAAE	Mezinárodní porovnání fantomů pro celotělová měření (fantomy BOMAB II, štítná žláza, koleno, TORSO)

Stanovení radionuklidů v biologických materiálech

Rok	Organizátor	Porovnání
1999	BfS - Německo	⁹⁰ Sr v moči
1999	PROCORAD - Francie	³ H, ⁹⁰ Sr, U, zářiče gama v moči, aktinidy v popelu stolice, neznámé nuklidy v moči
2000	PROCORAD - Francie	³ H v moči, izotopy Th, ²³⁸ Pu, ²³⁹⁻²⁴⁰ Pu, ²⁴¹ Am, ²⁴⁴ Cm v popelu stolice, neznámé nuklidy v moči
2001	MAAE	izotopy U, ²³⁹⁻²⁴⁰ Pu, ²³⁸ Pu, ²⁴¹ Am v moči
2001	PROCORAD - Francie	³ H v moči, izotopy Th, ²⁴¹ Am, ²⁴⁴ Cm v popelu stolice, neznámé nuklidy v moči
2002	PROCORAD - Francie	³ H v moči, izotopy U v moči, ²⁴¹ Am v popelu stolice, neznámé nuklidy v moči
2003	PROCORAD - Francie	³ H v moči, ⁹⁰ Sr a zářiče gama v moči izotopy U, ²⁴¹ Am, ²⁴³ Cm v popelu stolice

Stanovení úvazku efektivní dávky

Rok	Organizátor	Porovnání
1996-8	MAAE	Porovnání a ověření biokinetických modelů při stanovení příjmu nuklidů
1997-9	EURADOS	3. evropské porovnání na odhad dávek z vnitřní kontaminace

Seznam zkratk

ASLAB	- Středisko pro posuzování způsobilosti laboratoří při Výzkumném ústavu vodohospodářském T. G. Masaryka
BfG	- Bundesanstalt für Gewässerkunde
BfS	- Bundesamt für Strahlenschutz
ČLS J.E.P.	- Česká lékařská společnost J. E. Purkyně
EMERALD	- Project for European Medical Radiation Learning
EQUAL	- ESTRO Quality Assurance Network
EROPAQ	- pan-European Radiation Oncology Programme for Assurance of Treatment Quality
ESTRO	- European Society for Therapeutic Radiology and Oncology
EURAQA	- pan-European Radiotherapy Quality Assurance
EURADOS	- European Radiation Dosimetry Group
KFKI	- Central Research Institute for Physics
LRKO	- Laboratoř radiační kontroly okolí
MAAE	- Mezinárodní agentura pro atomovou energii
PROCORAD	- Association pour la promotion du controle de qualite des analyses de biologie medicale en radiotoxicologie
SROBF	- Společnost radiační onkologie, biologie a fyziky
SUER	- Sektion Überwachung der Radioaktivität im Physikdepartement der Universität Fribourg
SSLD	- sekundární standardizační laboratoř

Seznam vybraných publikací

- Bečková V.:** International intercomparisons PROCORAD, Mezinárodní porovnání PROCORAD, XXV. Days of Radiation Protection, Jáchymov 2002, ISBN 80-01-02651-5.
- Bečková V., Malátová I., Pospíšilová H.:** Rychlé stanovení ^{241}Am v biologických materiálech. Bezpečnost jaderné energie, 11, 332 – 335, 9/10, 2002.
- Bečková V., Filgas R., Hölgze Z., Pešková V., Poliák R.:** Excretion Analysis of a Case of Old Internal Contamination with ^{241}Am . Acta Polytechnica 38, (3), str. 209 - 212 (1998).
- Bečková V., Michálek V.:** Separace uranu ze vzorků spadu extrakční chromatografií. Sborník konference Radiologické metody v hydrosféře 03, Seč 2003, ISBN 80-903203-4-1, str. 49 – 52.
- Češpírová I., Filgas R., Ejemová M.:** Mobile group exercises (NRPI – RC SONS), XXV. Days of Radiation Protection, Jáchymov 2002, ISBN 80-01-02651-5, str.19-20.
- Dolejš J.:** Meteorological data and week measurement of indoor concentration. Sixth International Workshop on the Geological Aspects of Radon Risk Mapping, PRAHA, 20- 23th September 2002.
- Dolejš J., Hůlka J.:** The weekly measurement deviations of indoor radon concentration from the annual arithmetic mean. Radiation Protection Dosimetry Vol 104, No.3 pp.253-258 (2003).
- Dulaiová H.:** Přehled moderních metod stanovení ^{241}Am se zřetelem na vnitřní kontaminaci. XIII. celostátní seminář o separační chemii, Lázně Bohdaneč, 1999, str. 93 - 107.
- Dulaiová H., Bečková V., Bučina I.:** Determination of Americium by Extraction Chromatography in Urine Samples. IRPA Regional Congress on Radiation Protection in Central Europe, Budapest, August 1999.
- Dulaiová H., Bečková V., Bučina I.:** Determination of Americium by Extraction Chromatography in Urine Samples. IRPA Regional Congress on Radiation Protection in Central Europe, Budapest, August 1999.
- Dulaiová H., John J., Bečková V., Bučina I.:** Determination of Americium by Extraction Chromatography in Urine Samples, plakátové sdělení na „The 45th Conference on Bioassay, Analytical and Environmental Chemistry“, 18.-22. října 1999, Gaithersburg, 1999 of Central Europe, Bratislava, September 2003.
- Filgas R., Bečková V., Fojtík P., Hölgze Z., Michálek V., Pešková V.:** Participation of National Radiation Protection Institute in PROCORAD Intercomparisons. Acta Polytechnica 38, (3), str. 207 - 208 (1998).
- Fojtíková I., Tomášek L.:** Quantitative Survey of Radon Awareness Among Czech Republic Residents, Conference Proceedings, XXIII Days of Radiation Protection, 28.11.- 1.12.2000, Jáchymov, 2000, str. 11 - 12.
- Foltánová Š., Malátová I., Jurochová B., Bečková V., Filgas R., Holgze Z.:** A Case of Internal Contamination of a Person with a Mixture of Radionuclides. IRPA Regional Congress on Radiation Protection in Central Europe, Budapest, August 1999.
- Foltánová Š., Malátová I., Beckova V. and Filgas R.:** The Cases of Internal Contamination with ^{241}Am . Proceedings of IRPA Regional Congress on Radiation Protection in Central Europe, Dubrovnik, 20-25 May 2001, section 8p07, ISBN 953-96133-3-7.
- Foltánová Š., Malátová I., Pospíšilová H., Rulík P.:** Reconstruction of the Whole Body Counter in the National Radiation Protection Institute. Sborník referátů. XXV. Dny radiální ochrany, Jáchymov, 27.11.- 29.11.2002, ISBN 80-01-20651-5, str. 26 - 29.
- Hölgze Z.:** Separation of neptunium from urine by coprecipitation with BiPO_4 . Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 227 (1998), str. 127 – 128.
- Hölgze Z., Filgas R.:** Monitoring of releases of ^{238}Pu , $^{239,240}\text{Pu}$, ^{241}Am , ^{242}Cm and ^{244}Cm in airborne effluents of nuclear power plant at Dukovany in the Czech Republic in 1994, 1995, 1996 and 1997. Czechoslovak Journal of Physics, 49 (1999), Suppl. S1 83 - 89.
- Hölgze Z., Malý M.:** Sources, vertical distribution, and migration rates of $^{239,240}\text{Pu}$, ^{238}Pu and ^{137}Cs in grassland soil in three localities of central Bohemia. Journal of Environmental Radioactivity 47 (2000) 135 – 147.
- Hölgze Z., Malý M.:** A case of repeated accidental inhalation contamination of a male subject with ^{137}Cs , Health Physics 82 (4), 517 – 520 (2002) ISSN 0017-9078.
- Horáková I., Jursíková E., Cvach M., Žáčková H.:** Experience with calibration of ionisation chambers which are used for absorbed dose determination in radiotherapeutical x-ray beams in Czech Republic, str. 74- 77, Proceedings of XXIV. Days of Radiation Protection, Jáchymov, November, 26.- 29. 2001, ISBN 80-88806-26-27.
- Horáková I., Žáčková H., Judas L., Přidal I.:** Přínos oddělení lékařské radiální fyziky k zajištění jakosti v radioterapii, str.15 – 21, Zpravodaj SROBF ČLS J.E.P. č.2/2001, přednáška na III. Motolských dnech, 27.4.2001.
- Horáková I., Žáčková H., Kroutilíková D., Novák L.:** The Quality Audit Network in Radiotherapy in the Czech Republic, Proceedings of Clinical Audit, Tampere, 2003.
- Hůlka J.:** Radon in the Czech Republic, BMU Berlin – Statusgesprach, Berlin 2002.
- Hůlka J.:** Exposures to Natural Radiation in the Czech Republic. XXV. Days of radiation protection 27.11-29.11. Jáchymov 2002, ISBN 80-01-02651-5, str. 54 - 56.
- Hůlka J., Thomas J.:** Remedial Measures in Czech Houses with High Radium Content in Building Material: sborníku International Symposium on Restoration of Environments with Radioactive Residues, IAEA, Arlington, Virginia USA, Dec.1999.
- Hůlka J., Tomášek L., Fojtíková I., Jiránek M.:** The study of soil -Indoor transfer factor – probabilistic approach. Proceedings of 5th Conference on High Levels of Natural Radiation and Radon Areas, Radiation Dose and Health Effects, Munich, September 4 - 7, 2000.

Hůlka J., Thomas J.: Radon in the Czech Republic. IRPA Regional Congress on Radiation Protection in Central Europe, Bratislava September 2003.

Hunt J. G., Malátová I., Foltánová Š.: Calculation and Measurement of Calibration Factors for Bone-Surface Seeking Low Energy Gamma Emitters and Determination of ^{241}Am Activity in a Real Case of Internal Contamination. Radiat. Prot. Dosim. 82(3) 215-218 (1999). ISSN 0144-8420.

Hunt J. G., Malátová I., Foltánová Š., Dantas B. M.: Calibration of in vivo Measurement Systems Using a Voxel Phantom and the Monte Carlo Technique. Radiat. Prot. Dosim. 89, (3 - 4), str. 283 - 286 (2000).

Hunt J. G., de Santos D., da Silva F. C., Malatova I., Foltanova S., Dantas B. M., Azeredo A.: Application of Voxel Phantoms and Monte Carlo methods to Internal and External Dosimetry. IRPA - 10. 10th International Congress of the International Radiation Protection Association „Haarmonization of Radiation, Human Life and the Ecosystem“. Proceedings International Conference Center Hiroshhima, P - 3a - 119, May 14 - 19, 2000, Hiroshima, Japan.

ICRU Report 69 Direct Determination of the Body Content of Radionuclides. Journal of the ICRU, Vol.9, No 1, 2003.ISSN 1473-6691 (**Griffith R., Bergman H., Fry F. A., Hickman D., Genicot J.-L., Malátová I., Neton J., Rahola T., Wahl W.**)

Jiránek M., Hůlka J.: Applicability of various insulating materials for radon barriers. The Science of The Total Environment, Volume 272, Issues 1-3, 14 May 2001, Pages 79-84.

Kanyár B., Howard B., Malátová I., Krajewski P., Crout N., Strand P., Sanchez A., Wright S., Mirchi R., Nényei A.: Preliminary Results on the spatial Analysis of Vulnerable Areas in Central Europe (SAVEC). Proceedings of IRPA Regional Congress on Radiation Protection in Central Europe, Dubrovnik, 20-25 May 2001, section 5o02, ISBN 953-96133-3-7.

Klener V., Malátová I., Pelclová D.: Kontaminace pracovníků americiem 241 při likvidaci rukavicových skříní. (akceptováno k publikaci v Pracovním lékařství)

Kroutilíková D.: TLD territorial radiation monitoring network in the Czech Republic. Proceedings of IRPA Regional Congress on Radiation Protection in Central Europe, Dubrovnik, Croatia, 2001, May 20-25, Croatian Radiation Protection Association, Zagreb (2002) (CD-ROM - file 5p-03.doc).

Kroutilíková D.: Doporučení - Korespondenční TLD audit v systému jakosti v radioterapii, SÚJB, 2002, účelová publikace.

Kroutilíková D., Novák L.: Korespondenční audit intraorálních dentálních rentgenů. Prakt.zub.Lék., 2002, roč. 50, č.2, str. 70-74.

Kroutilíková D., Novák L.: Korespondenční audit intraorálních dentálních rentgenů. LKS, 2002, roč. 12, č. 1, str. 8-9.

Kroutilíková D., Novák L., Rada J.: Doporučení - Korespondenční audit v systému jakosti v dentální radiodiagnostice, SÚJB, 2001, účelová publikace.

Kroutilíková D., Novotný J., Judas L.: Systémy pro plánování radioterapie - současný stav v ČR. Zpravodaj SROBF 1/2002, str. 22-24.

Kroutilíková D., Novotný J., Judas L.: Thermoluminescent dosimeters (TLD) quality assurance network in the Czech Republic, Radiotherapy & Oncology, Vol. 66, No. 2, pp. 235-244, 2003.

Kroutilíková D., Novotný J., Judas L.: Intercomparisson of radiotherapy treatment planning systems using a multi-purpose phantom for external photon beams. Proceedings of IRPA Regional Congress on Radiation Protection in Central Europe, Dubrovnik, Croatia, 2001, May 20-25, Croatian Radiation Protection Association, Zagreb (2002) (CD-ROM - file 4o-12.doc).

Kroutilíková D., Novotný J., Wicha R., Judas L.: Infrastruktura plánovacích systémů pro externí radioterapii v ČR. Radiační onkologie, 2002, sv.2, č.1, str. 25-34.

Kroutilíková D., Žáčková H.: TLD audit in radiotherapy in the Czech Republic, Radiation Protection Dosimetry, Vol. 85, Nos.1-4, pp 393-396, 1999.

Kuča P., Novák L., Rulík P., Tecl J.: Radiation Monitoring Network of the Czee Republic, IRPA Regional Congress on Radiation Protection in Central Europe, Bratislava, September 2003.

Levinská M., Dolejš J., Hůlka J. and Tomášek L.: Research of radon occurrence in new houses in dependence on the soil radon index. Sixth International Workshop on the Geological Aspects of Radon Risk Mapping, PRAHA, 20- 23th September 2002.

Liland A., Malátová I., Kanyár B., Krajewski P., Sanchez A., Borghius S., Foltanova S., Mirchi R., Tarjan S. and Varga B.: Spatial variation of Estimated ^{137}Cs Intakes in Poland, Hungary and the Czech Republic after the Chernobyl Accident and Comparison with Whole Body Measurements. Proceedings of IRPA Regional Congress on Radiation Protection in Central Europe, Dubrovnik, 20-25 May 2001, section 5p02, ISBN 953-96133-3-7.

Liland A., Skuterud L., Malátová I., Krajewski P., Eged K., Somlai J., Tecl J., Tarjan S.: Identification of Critical Groups in Poland, Hungary and the Czech Republic through Diet Questionnaires. Proceedings of IRPA Regional Congress on Radiation Protection in Central Europe, Dubrovnik, 20-25 May 2001, section 5p33 1-6, ISBN 953-96133-3-7.

Makrlík E., Vaňura P., Bečková V.: Extraction of Lead with Nitrobenzene Solution of Strontium Dicarbollycobaltate in the Presence of 18-crown-6. J. Prakt. Chemie, 341, No6, pp. 592 - 594, 1999. ISSN 1436-9966.

Makrlík E., Vaňura P., Bečková V.: Extraction of lead with nitrobenzene solution of strontium bis-1,2-dicarbollycobaltate Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, Vol.241, No 3, pp. 659 - 661, 1999. ISSN 0236-5731.

Malátová I., Foltánová Š., Pospíšilová H.: Overview if the cases of internal contamination with ^{241}Am in the Czech Republic. Sborník referátů. XXV. Dny radiační ochrany, Jáchymov, 27.11.- 29.11.2002, ISBN 80-01-02651-51-5, str. 79 - 82.

Malátová I., Foltánová Š., Bečková V., Filgas R., Pospíšilová H., Hölgge Z.: Assessment of Occupational doses from Internal Contamination with ^{241}Am . Workshop on Internal Dosimetry of Radionuclides. Internal Dosimetry of Radionuclides. Occupational, Public and Medical Exposure. Proceedings of Workshop 9 – 12 September 2002, New College, Oxford, United Kingdom. Rad. Prot. Dosim., pp.325 – 328,105, 1 – 4, 2003.

Malátová I., Foltánová Š.: Uncertainty of the Estimation of ^{241}Am Content of the Human Body. Radiat. Prot. Dosim. 89, (3 – 4), str. 295 – 299 (2000).

Malátová I., Foltánová I., Rulík P.: Contamination of Steel Produced in the Czech Republic with Cobalt 60, Workshop on Radioactive Contaminated Metallurgical Scrap, Prague, 26.-28.5.1999.

Malátová I., Foltánová Š., Novotný T.: Estimation of the ^{241}Am content in the skeleton of a person contaminated 25 years ago. Proceedings of the 6th SRP International Symposium Southport '99, 427-430, Southport (1999). ISBN 0-7058-1784-9.

Malátová I., Češpírová I., Drábová D., Bečková V.: A Case of Internal Contamination by ^{90}Sr of a Member of the Public, Rad. Prot. Dosim. 79, (1-4), str. 201-204 (1998).

Malátová I., Tecl J.: Statistical Survey of the Consumption of the Products from Seminars in The Czech Republic. XXIV. days of radiation protection, Conference proceedings., pp.108 – 111. Jasná pod Chopkom, Slovakia, November 26 – 29, 2001. ISBN 80 – 88806-26-27.

Malátová I., Foltánová Š., Češpírová I.: 35 years of existence of whole body counter in the Czech Republic - experiences and prospects. Acta Polytechnica 38, (3), str. 193-194 (1998).

Malátová I., Foltánová Š.: A case of internal contamination by ^{241}Am – different methods for whole body content assessment. In: Radioaktivität in Mensch und Umwelt, Eds. Winter M., Henrichs K., Dörfel H. 30.Jahrestagung des Fachverbandes für Strahlenschutz, Lindau, 28.September–2.Oktober 1998, Band I, str.40 - 45.

Mirchi R., Schlesingerová E.: Determination of the Radium-226 in drinking water, Conference Abstracts, XXV. Days of Radiation Protection, Jáchymov 2002, ISBN 80-01-02651-5.

Moučka L., Froňka A.: Measurements for estimation of the radon infiltration and room ventilation, Sixth International Workshop on the Geological Aspects of Radon Risk Mapping, PRAHA, 20- 23th September 2002.

Muck K., Franic Z., Križman M., Malátová I., Tait D., Grabowski G. and Galeriu D.: Environmental decrease of ^{137}Cs activity concentration in Milk in Central Europe after a nuclear fallout – a comparison. Proc. of IRPA Regional Congress on Radiation Protection in Central Europe, Dubrovnik, 20-25 May 2001, section 5o04, ISBN 953-96133-3-7.

Novák L., Kroutilíková D.: A method of postal audit in dental radiodiagnosics. Proceedings of IRPA Regional Congress on Radiation Protection in Central Europe, Dubrovnik, Croatia, 2001, May 20-25, Croatian Radiation Protection Association, Zagreb (2002) (CD-ROM – file 4p-02.doc).

Rada J.: Typové schvalování, zkoušky přijímací, dlouhodobé stability a provozní stálosti; Sborník učebních textů Dům techniky Ostrava 2003.

Rulík P.: The European ALARA Network: a tool for improving radiation protection management in Europe, XXV. Days of Radiation Protection, Jáchymov 2002, ISBN 80-01-02651-5.

Rulík P., Tomášek M., Malátová I.: Radionuclide composition of noble gases in effluents of some nuclear establishments, Conference Proceedings of the 21st Radiation Hygiene Days, Jasná pod Chopkom, Slovakia, 23. – 27.11. 1998, str. 56 – 58, ISBN: 80-88806-04-6.

Rulík P., Malátová I., Bučina I.: Long Term Observation of the Radioactive Aerosol Particle Size Distribution in the Air Effluents from Nuclear Power Plant with the Use of Cascade Impactor, Proceedings, 10th International Congress of The International Radiation Protection Association, Hiroshima, Japan, 14.-19.5.2000.

Rulík P., Malátová I., Drábová D.: Long Time Observation of ^{137}Cs , ^{7}Be and ^{210}Pb in the Air Aerosol in Prague, Czech Republic, Proceedings, 10th International Congress of The International Radiation Protection Association, Hiroshima, Japan, 14.-19.5.2000.

Rulík P., Bečková V., Burianová J., Filgas R., Schlesingerová E., Světlík I.: Content of some radionuclides in the atmosphere in the Czech Republic, Proceeding of IRPA Regional Congress on Radiation Protection in Central Europe, Dubrovnik, 20-25 May 2001, section 5p04 1-6, ISBN 953-961 33-37.

Rühm W., König K., Malátová I., Doerfel H., Foltánová Š., Sahre P., Schütz R. and Wahl W.: Intercomparison Exercise for the Determination of ^{241}Am in the Human Skeleton. Rad. Prot. Dosim. 79, (1-4), str. 517 – 521 (1998).

Světlík I., Michálek V.: „Development of C-14 Determination Methods“, sborník z konference Radioanalytické metody IAA 02, Praha 2002.

Světlík I., Michálek V., Rulík P., Tomášková L.: Monitoring of Carbon 14 in Atmospheric Carbon Dioxide, XXIV. days of radiation protection, Conference proceedings.,pp.141 -144. Jasná pod Chopkom, Slovakia, November 26 – 29, 2001. ISBN 80 – 88806-26-27.

Tecl J., Mirchi R., Schlesingerová E., Pešková V.: ^{137}Cs in Soils of the Czech Republic. XXV. Days of Radiation Protection, 27.11.-29.11. 2002, Jáchymov, ISBN 80-01-02651-5, str.150 - 153.

Thomas J., Hůlka J.: Radon Programme of the Czech Republic – Situation Report XXV. Days of Radiation Protection Jáchymov, 2002, ISBN 80-01-02651-5, str. 158 – 163.

Thomas J., Hůlka J., Tomášek L., Fojtíková I., Barnett I.: Determination of Radon prone areas by probabilistic analysis of indoor survey results and geological prognostic maps in the Czech Republic. Excerpta Medica International Congress Series 1225, High Levels of Natural Radiation and Radon Areas, Radiation Dose and Health Effects, Elsevier 2002, ISBN 0-444-50863-5.

Tomášek L.: Leukaemia among uranium miners – late effects of exposure to uranium dust. In: Proceedings of IRPA Regional Congress on Radiation Protection in Neighbouring Countries of Central Europe, Bratislava, September 2003.

Tomášek L. and Plaček V.: Radon exposure and lung cancer risk. Radiat Res 152:S59-S63, 1999.

Tomášek L., Placek V., Muller T., et.: Czech studies of lung Cancer from radon. Inf. J. Low Radiat. 1, str. 50-62, 2003.

Tomášek L., Müller T., Kunz E., et al.: Study of lung cancer and residential radon in the Czech Republic. Cent Eur J Publ Health 9:150-153, 2001.

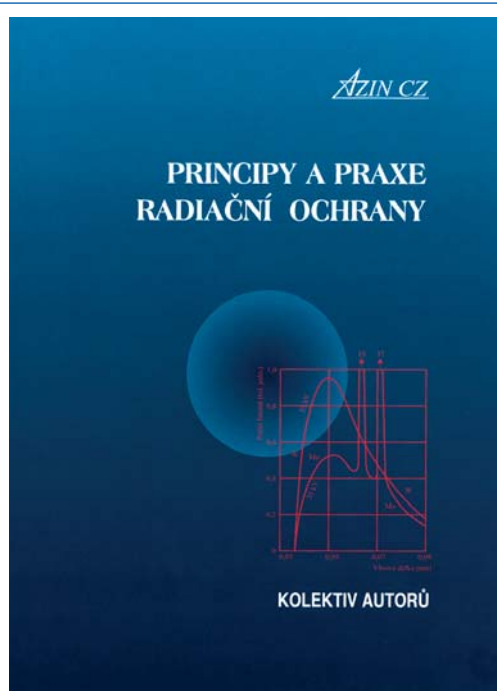
Vlček J., Hůlka J.: Radioactivity of the building materials in the Czech republic and dose estimation, Proceedings of 5th Conference on High Levels of Natural Radiation and Radon Areas, Radiation Dose and Health Effects, Munich, September 4 - 7, 2000.

Žáčková H.: Návrh na řešení problematiky postgraduálního vzdělávání klinických radiofyziků v oborech radioterapie, radiodiagnostika a nukleární medicína, str.19-23, Zpravodaj SROBF ČLS J.E.P. č.1/2001.

Žáčková H., Horáková I.: Quality audit system of radiotherapy installations in the Czech Republic – The impact of clinical praxes, Radiotherapy & Oncology, vol. 64 (Supplement 1), September 2002, p. 202, Proceedings of 21st Annual ESTRO meeting, Praha, 17-21 September 2002, ISSN 0167-8140.

Žáčková H., Horáková I.: Evaluation of the parameters influencing the absorbed dose to patient during brachytherapy – comparison of the data obtained from the on site audits of AFL HDR systems with Ir-192, Proceedings of XXV. Days of Radiation Protection, November, 27. - 29. 2002, ISBN 80-01-02651-5, str. 184 - 187.

Žáčková H., Stankušová H., Horáková I.: Současný stav využití „in vivo“ dozimetrie k ověřování aplikovaných dávek v radioterapii, str. 24-28, Zpravodaj SROBF ČLS J.E.P. č.1/2001.



PRINCIPY A PRAXE RADIAČNÍ OCHRANY

Editor : V. Klener a kolektiv autorů:

Malátová I.:

Přístupy k hodnocení vnitřního ozáření

Prouza Z., Malátová I.:

Monitorování v radiační ochraně

Tomášek L.:

Epidemiologické studie – zdroj informací
o stochastických účincích záření

Kunz E.:

Principy a kritéria radiační ochrany

Žáčková H., Novotný J., Hobzová L., Horáková I.:

Radiační ochrana při lékařském ozáření v radioterapii

Malátová I.:

Zdroje ionizujícího záření v jaderné elektrárně

Malátová I., Matzner J.:

Ochrana obyvatel

Hůlka J.:

Přírodní radioaktivita a její rozdělení

Hůlka J., Vlček J., Fojtík P.:

Inventář terestrálních radionuklidů v prostředí

Thomas J., Hůlka J., Burian I.:

Radon v budovách

Vlček J.:

Přírodní radionuklidy v pitné vodě

Hůlka J., Fojtík P.:

Přírodní radioaktivita uvolněná
do životního prostředí při některých činnostech

AZIN CZ, PRAHA, 2000, ISBN 80-88806-26-27



Hradec Králové - Piletice



Ostrava

Státní ústav radiační ochrany SÚRO
Praha
listopad 2003

