

JIHOČESKÁ UNIVERZITA
V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
ZDRAVOTNĚ SOCIÁLNÍ FAKULTA

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2007

Petr Baran

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH

ZDRAVOTNĚ SOCIÁLNÍ FAKULTA

FYZIKÁLNÍ A BIOLOGICKÁ DOZIMETRIE

URANOVÝCH HORNÍKŮ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Autor: Petr Baran

Vedoucí práce: doc. Dr. Friedo Zölzer, PhD.

2007

ABSTRACT

Physical and biological dosimetry in uranium miners

I am concerned with problems irradiation workers in uranium pits, when on them affects gamma radiation, irradiation from inhalation products conversion radon and irradiation from inhalation mixtures long - term radionuclide uranium – radium series emitting alpha radiation. To metering these stress organism uranium miners employs partly physical method

which measures individual components – metering concentration potential energy voluminous activities daughterly product radon, metering voluminous activities mixtures long - term alpha emitter, metering surface contamination radionuclides and metering personal filming dosimetric external gamma radiation. It is method physical dosimetry against whereby from 60 years twentieth century get on piece of knowledge bio - dosimetry. The exploitation piece of knowledge, that the chromosome aberrations in lymphocytes peripheral blood they may serve as sensitive detector radiating exposition. Comparison peripheral lymphocytes from blood tracked man with spectrum sentinel node irradiated different doses radiation we can after standard curve determine of what doses got examine worker. By the help of chromosome aberration we can detect lowest doses near individuals 0,1 – 0,2 Gy and near insider 0,05 Gy which is in the event of worker in uranium pits biggish tax. Problems physical dosimetry , that the deal out and small tax and after totaled and evaluation of all components incidence keep - alive radiation we get overall picture about receipt organ dose. In both method happen to definite distortion accuracy.

To most exact inquest receipt doses would advantage find out recorded metering physical method from dosimetric personal card and compare gained data by the help of biological method thereby obtain what most exact data about receipt organ dose worker, which be of consequence information for resulting medical care in the event of diseases.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Fyzikální a biologická dozimetrie uranových horníků vypracoval samostatně a použil jenom pramenů, které cituji a uvádím v příložené bibliografii. Souhlasím s použitím práce k vědeckým účelům.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě elektronickou cestou veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočesko univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách.

V Českých Budějovicích 6. května 2007

Petr Baran

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce doc. Dr. Friedo Zölzerovi, PhD, za poskytnuté rady, odbornou pomoc a připomínky, které mi v průběhu zpracování tématu poskytl.

OBSAH

ÚVOD	8
1. Současný stav	9
1.1.1. Historie dobývání uranové rudy v Čechách	11
1.1.2. Naleziště uranové rudy	12
1.1.3. Počty lidí zabývajících se těžbou	12
1.1.4. Riziko vyplývající z těžby uranu	13
1.1.6. Vývoj legislativy pro stanovení expoziční doby	20
pro uranové horníky	
1.1.6. Osobní dozimetrie a monitorování pracovišť	22
2. Cíl práce	24
3. Hypotéza	25
4. Metodika	25
4.1. Popis metod fyzikální dozimetrie	25
4.1.1. Osobní monitorování zaměstnanců	30
4.1.2. Měřené veličiny a jednotky v podzemí důlního závodu Rožná I.....	38
4.1.3. Referenční úrovně	40
4.1.4. Vyhodnocování výsledků měření	42
4.2. Popis metod biologické dozimetrie	45
4.2.1. Detekce nestabilních aberací	47
4.2.2. Test hodnocení mikrojadér	47
4.2.3. Test hodnocení centromer v mikrojádru	48
4.2.4. Využití metody průtokové cytometrie	49
4.2.5. FISH test	50
4.3. Přehled o vývoji ozáření pracovníků uranových dolů.....	51

5. Diskuse	54
6. Závěr	55
7. Seznam použitých zkratk	56
8. Klíčová slova	57
9. Seznam použité literatury	58

ÚVOD

*MOTTO: Kdybychom mohli prodávat uranovou rudu
svobodně, měli bychom se jako nejbohatší
ropné velmoci.*

Bakalářskou práci na téma Fyzikální a biologická dozimetrie uranových horníků jsem si vybral proto, že jsem sám jako horník v uranových dolech sedm let pracoval. Zajímá mě historie, způsob těžby, využití uranové rudy v praxi, vliv důlního prostředí a samotné uranové rudy na zdraví horníků, měření, dozimetrie, biologické účinky ionizujícího záření.

Při mém nástupu na důlní pracoviště Okrouhlá Radouň jsem přemýšlel o tom, jak zvládnu fyzicky náročnou práci, kolik za ní dostanu peněz. O nějakých účincích a vůbec ionizačním záření jsem si letem světem přečetl v brožurce o bezpečnosti práce. Postupem času skončil důl v útlumu a likvidaci a já jsem se díky nové práci ocitl na půdě Jihočeské univerzity při studiu na Zdravotně sociální fakultě katedry radiologie a toxikologie. Zde se mi během mého studia naskytla jedinečná možnost důkladně se seznámit s předměty zabývajícími se mechanikou účinků ionizačního záření, radiační fyzikou, vnitřní a vnější kontaminací radioaktivními látkami, klinickou radiobiologií, radioekologií. Poznatky z těchto předmětů mne přivedli na myšlenku dozvědět se, jak to vlastně tehdy v dole bylo, co a jak mohlo ovlivnit zdraví uranových horníků, jestli a jak vůbec probíhalo nějaké měření účinků uranové rudy na zdraví pracovníků zabývajících se těžbou této strategické suroviny. Odpovědět na tyto otázky se pokusím v mé bakalářské práci.

1. Současný stav

V současné době na území České republiky funguje pouze jediný hlubinný důl na těžbu uranové rudy a to důlní závod Rožná I u Dolní Rožínky. Do jeho podzemí denně fára zhruba tři sta horníků, kteří se vystavují nebezpečí účinků uranové rudy.

Ozáření pracovníků v uranových dolech je způsobeno zevním ozářením gama záření, ozářením z inhalace produktů přeměny radonu a ozářením z inhalace směsí jiných dlouhodobých radionuklidů uran - radiové řady emitujících záření alfa.

Tab.1. Uran-radiová rozpadová řada

Izotop	Poločas přeměny	Přeměna
^{238}U	$4,468 \cdot 10^9$ r	α
^{234}Th	24,10 d	β^-
$^{234\text{m}}\text{Pa}$	1,17 min	β^-
^{234}U	$2,455 \cdot 10^5$ r	α
^{230}Th	$7,538 \cdot 10^4$ r	α
^{226}Ra	1600 r	α
^{222}Rn	3,8235 d	α
^{218}Po	3,10 min	α
^{214}Pb	26,8 min	β^-
^{214}Bi	19,9 min	β^-
^{214}Po	$164,3 \cdot 10^{-6}$ s	α
^{210}Tl	1,30 min	β^-
^{210}Pb	22,20 r	β^-
^{210}Bi	5,012 d	β^-
^{210}Po	138,376 d	α
^{206}Pb	<i>stabilní</i>	

Na měření účinků radiační zátěže se v této době používají metody fyzikální a biologické dozimetrie.

Pomocí fyzikální dozimetrie se v dole měří přístroji dávkový příkon záření gama, příkon fotonového dávkového ekvivalentu, objemová aktivita směsi dlouhodobých radionuklidů U – Ra řady emitující záření alfa, povrchové znečištění radionuklidy, koncentrace latentní energie produktů přeměny radonu. Na měření škodlivosti zátěže pracovního prostředí je vypracována metodika měření dle ČSN, kterou se řídí SZLAB – středisko zkušebních laboratoří při všech měřeních v důlních prostorech. Každý pracovník v podzemí uranového dolu je vybaven osobním dozimetrem ALGADE. Tento typ osobního dozimetru je určen k měření časového integrálu ekvivalentní objemové aktivity radonu (časového integrálu koncentrace latentní energie), příjmu směsi dlouhodobých zářičů alfa uran-radiové řady inhalací a dále dávky dané zevním zářením gama. Systém evidence výsledků monitorování pracovišť, pracovního prostředí a osobního monitorování je zabezpečen prostřednictvím PC programu. Na základě těchto údajů se vypracovává Registrační karta pro radiační pracovníky kategorie A.

V polovině šedesátých let bylo zjištěno, že chromozomální aberace v lymfocytech periferní krve mohou sloužit jako citlivý indikátor radiační expozice. Při podezření na expozici ionizujícímu záření se proto provádí vyšetření pomocí biodozimetrických metod. Změny v chromozomech umožňují detekovat míru expozice, předvídat stupeň poškození. Ionizující záření vyvolává chromozomální aberace ve všech stupních buněčného cyklu a mohou tedy vznikat aberace chromozomové se zlomy na obou chromatidách i aberace chromatinové se zlomy jen na jedné chromatidě.

Chromozomální aberace lze studovat několika metodami. Tradiční metodou je pozorování aberací typu dicentrů a ringů v metafázi při cytogenetické analýze periferních lymfocytů. Další metodou je sledování translokací. Ozářením lymfocytů in vivo a in vitro vyvolá stejnou míru poškození na jednotku dávky, proto lze na základě kalibrační škály určit, jaké dávce byl určitý jedinec při působení záření vystaven. Tato metoda může podat informaci o obdržené dávce bez průběžného sledování. Otázkou je zda a jakou mírou

měření ovlivní čas mezi ozářením a pozorováním, protože aberace dicentrů a ringů se ztrácí s poločasem tři roky, zatím co translokace zůstávají déle než padesát let.

Úkolem bakalářské práce je zhodnotit výhody a nevýhody jednotlivých metod dozimetrie a určit která metoda je vhodnější pro uranové horníky.

1.1.1. Historie dobývání uranové rudy v Čechách

Uran – je z chemického hlediska těžký kov, jedovatý, bílé barvy, kůjný a tažný, s bodem tání 1130°C. V technické praxi se používá jako sklářská přísada, jako stínící materiál a zejména jako jaderné palivo. V uranovém hornictví se setkáváme s přírodními radionuklidy uran - radiové rozpadové řady. Přírodní uran U_{Nat} je tvořen izotopy ^{238}U (99.2831%), ^{235}U (0.7115%) a ^{234}U (0.0054%).

Těžba uranové rudy na území České republiky začala v roce 1820 v Jáchymově, který do té doby byl znám především těžbou stříbra a v menší míře i kobaltu a arsenu. Důvodem k nevelké těžbě uranu, který byl jako prvek objeven v roce 1789, byla jeho chemická vlastnost, že přimísením do skla ho barví fluoreskující žlutozelenou barvou. Kovový uran se podařilo poprvé získat v roce 1841 M. Peliotovy. V roce 1896 byla objevena radioaktivita uranu A. H. Becquerelem. O dva roky později, kdy z jáchymovských rud získali manželé Curieovi dva nové prvky, rádium a polonium, začaly v Jáchymově přípravy na průmyslovou výrobu rádia v tehdejší továrně na uranové barvy. První gram rádia ^{226}Ra byl z uranové rudy získán v Jáchymově v roce 1907. I když byla těžba výnosná, zůstaly její objemy nevýznamné a v provozu byly udržovány až do roku 1945 pouze tři doly - důl Wernerův (pozdější Rovnost), důl Svornost a Štola saských šlechticů (pozdější Bratrství).

Opravdový rozvoj uranového hornictví začal v Čechách až po roce 1945. V tomto roce byla podepsána mezivládní dohoda mezi tehdejší ČSR a SSSR o spolupráci v průzkumu a dobývání radioaktivních surovin. Poznání, že štěpení atomového jádra uranu může být zdrojem ničivé síly a politická situace v tehdejší době vedly k výrobě obrovského arzenálu jaderných zbraní. Surovinou pro jejich výrobu se stal i československý uran.

1.1.2. Naleziště uranové rudy

V této době začal intenzivní radiometrický a geologický průzkum širšího okolí. Studium archivních údajů a mineralogických sbírek vyústilo v rozsáhlý vyhledávací průzkum, při kterém za použití povrchové radiometrie a emanačních metod byla nalezena nová žilná ložiska uranových rud v Horním Slavkově (1946), Příbrami (1947), Rybníčkuradvanicích (1947), Zadním Chodově (1952), a v Rožní – Olší (1954) a postupně se zdokonalováním metod průzkumu další ložiska a rudné výskyty uranu. V letech 1963 – 1968 byla nalezena v severočeské křídové pánvi ložiska nového, pískovcového typu ve Stráži pod Ralskem, Hamru, Řevništi, Osečné-Kotli a Hvězdově. Tak byl zahájen velký rozvoj uranového průmyslu. V průběhu půl století bylo na území České republiky prozkoumáno na 200 ložisek a 74 z nich bylo těženo. Podle přístupné dokumentace bylo mimo jiné vyhloubeno 678 jam a šurfů, vyraženo 391 štol a komínů a otevřeno 16 lomů. Za období let 1946- 1996 byla celková produkce uranu v České republice téměř 105 tisíc tun, což řadilo v té době Českou republiku na páté místo na světě v produkci uranu.

1.1.3. Počty lidí zabývajících se těžbou

S poznáním, že štěpení jádra uranu může být zdrojem energie, kterým lze nahradit ubývající klasická přírodní paliva, a s rozvojem jaderné energetiky se stala těžba a zpracování uranu prvním a základním článkem jaderně-palivového cyklu.

Abychom si udělali představu o jakém vzorku lidí uvažujeme, musíme vzít v potaz, že od roku 1949 prošlo pracovišti v riziku ionizujícího záření v podzemí uranových dolů téměř 100 tisíc pracovníků, nejvíce v oblasti ložisek Jáchymov a Horní Slavkov (40364 horníků) a v oblasti ložiska Příbram (30265 horníků). K tomu je třeba přidat další tisíce pracovníků v úpravkách, v dopravě a na dalších povrchových pracovištích zařazených do rizikové kategorie. Tato čísla, spolu s uvedeným rozsahem prací dotčených území a s objemem získaného nerostu (105000 t uranu), dokladují významné postavení uranového průmyslu v radiační ochraně České republiky.

V roce 1989 začal útlumový program uranového průmyslu a po zavření dolů podniku Zadní Chodov a Příbram zůstaly v provozu jen chemické loužení v lokalitě Hamr s produkcí 300 tun ročně a hlubinný důl Dolní Rožinka se stejnou produkcí při zaměstnání 300 lidí v podzemí. Na tomto území je prozatím počítáno s těžbou do konce roku 2008.

Při počtu zhruba 100 000 lidí, kteří prošli podzemím uranových dolů je důležité zjistit, jakým způsobem toto prostředí ovlivňuje jejich zdraví.

1.1.4. Riziko vyplývající z těžby uranu

Uranové hornictví je provázeno nejen rizikem běžným v hornictví, ale i rizikem ohrožení zdraví horníků radioaktivitou dobývaného nerostu. S rozvojem dobývání uranových rud se stále více přihlíželo k tomuto riziku a byla zpřísnována kritéria a bezpečnostní podmínky pro práci v uranových dolech. Nejdůležitějším faktorem při ochraně zdraví uranových horníků je přívod čerstvého vzduchu větráním.

Ke snížení objemové aktivity radonu v důlním ovzduší se nejdříve používalo větrání přirozeným větrným tahem a od roku 1951 bylo zaváděno umělé větrání. Postupně bylo využíváno všech způsobů umělého větrání – tedy sacího, foukacího i kombinovaného.

Pracovníci v podzemí uranových dolů jsou však vystaveni třem možným způsobům ozáření. Je to zevní záření gama, ozáření z inhalace produktů přeměny radonu a ozáření z inhalace směsi dlouhodobých radionuklidů uran-radiové řady emitujících záření alfa. Minoritní význam má depozice radionuklidů na kůži nechráněných částí těla horníků (používání ochranných pomůcek a povinná hygienická očista po vyfárání). Radiační situace v uranovém dole je silně závislá na složení vzdušného aerosolu. Ovzduší uranového dolu lze z fyzikálního hlediska označit jako heterogenní disperzní systém sestávající ze složek analytických a jemně i hutně disperzních aerosolů. Vlastní aerodisperzní složka je směsný aerosol skládající se z několika komponentů (neaktivní aerosol mine-

rálního prachu vznikající těžbou horniny, neaktivní vysokodisperzní aerosol přiváděný do dolu větráním, kapalný, hrubě disperzní aerosol způsobený technologií dobývání, vysokodisperzní aerosol - kondenzační jádra dieselových motorových spalín, vysoko disperzní aerosol vznikající radiolýzou plynů a aerosol radioaktivně znečištěný, včetně částic nesoucích produkty přeměny radonu). Spektrum a složení aerosolu je ovlivňováno kovnatostí dobývané rudy, množstvím rozpracovaných dobývek a plochou odkrytí zrudnělé horniny, množstvím a kontaminací výronových vod, velikostí důlního pole, barometrickým tlakem a jeho změnami, metodou dobývání včetně užívané mechanizace a celou řadou dalších faktorů, ale v rozhodující míře rozvodem a intenzitou důlního větrání.

Nad dodržováním požadavků radiační ochrany provádí v každé důlní organizaci soustavný dohled pracovník se zvláštní odbornou způsobilostí v radiační ochraně.

Součet efektivních dávek podílející se na ozáření pracovníků v uranovém hornictví je tvořen třemi díly

První díl je vnější záření gama. Rozhodujícím zdrojem záření gama je radium ^{226}Ra , které je současně i výrazným zářičem alfa. Od roku 1961 byly v uranovém hornictví zavedeny osobní filmové dozimetry pro zjišťování tohoto ozáření pracovníků.

Druhý díl, kterému se v uranovém hornictví přisuzoval největší význam je radon 222. Proto byl od samých počátků těžby uranu radon ^{222}Rn monitorován. Je to dozimetricky nejvýznamnější izotop ze tří v přírodě se nacházejících izotopů radonu. Radon je nejtěžší plyn ze skupiny inertních plynů, přirozené radioaktivní. Jeho dozimetrický význam spočívá v tom, že je mateřským prvkem krátké rozpadové řady tvořené tzv. krátkodobými produkty přeměny radonu. Jsou to izotopy ^{218}Po , ^{214}Pb , ^{214}Bi a ^{214}Pb . Tyto radionuklidy s krátkými poločasy rozpadu (od zlomků sekund po desítky minut) mají charakter pevných látek a po svém vzniku se vážou na aerosolových částicích v ovzduší. Při vdechování jsou v závislosti na velikosti aerosolových částic zachyco-

vány v plicích. Samotný radon je většinou vydechnut zpět, takže jeho příspěvek k ozáření plicní tkáně je velmi malý.

Třetí díl ozáření pracovníků v uranovém hornictví představují dlouhodobé radionuklidy uran – radiové řady emitující alfa záření ^{238}U , ^{234}Th , ^{226}Ra a ^{218}Po . Jsou součástí respirabilní a nerespirabilní složky prašného aerosolu v ovzduší. Dlouhodobé radionuklidy jsou v osobní dozimetrii uranového průmyslu systematicky zjišťovány a zaznamenávány až od roku 1997 a to v souvislosti s novou legislativou o radiační ochraně, zákonem č. 18/1997 Sb. a jeho prováděcími vyhláškami SÚJB. Do té doby byly zjišťovány pouze nahodile, nebo pro potřeby různých studií (např. v Ústavu hygieny práce uranovém průmyslu, nebo Vývojové základně uranového průmyslu). Jejich podílu na ozáření horníků se nepřikládá zásadní význam.

1.1.5. Mechanismy účinků záření na živou tkáň

Proces účinku ionizujícího záření na živou tkáň probíhá ve čtyřech význačných etapách lišících se svou rychlostí a druhem probíhajících procesů.

- Fyzikální stádium

Při interakci kvanta ionizujícího záření s hmotou je energie záření předávána elektronům v atomech za vzniku ionizace a excitace. Tento primární proces je velmi rychlý (prakticky okamžitý, rychlost kvant je rovna nebo blízká rychlosti světla), trvá jen cca 10^{-16} - 10^{-14} sekundy.

- Fyzikálně chemické stádium

Zde nastávají sekundární fyzikálně-chemické procesy interakce iontů s molekulami, při nichž dochází k disociaci molekul a vzniku volných radikálů (např. z vody H_2O vznikají

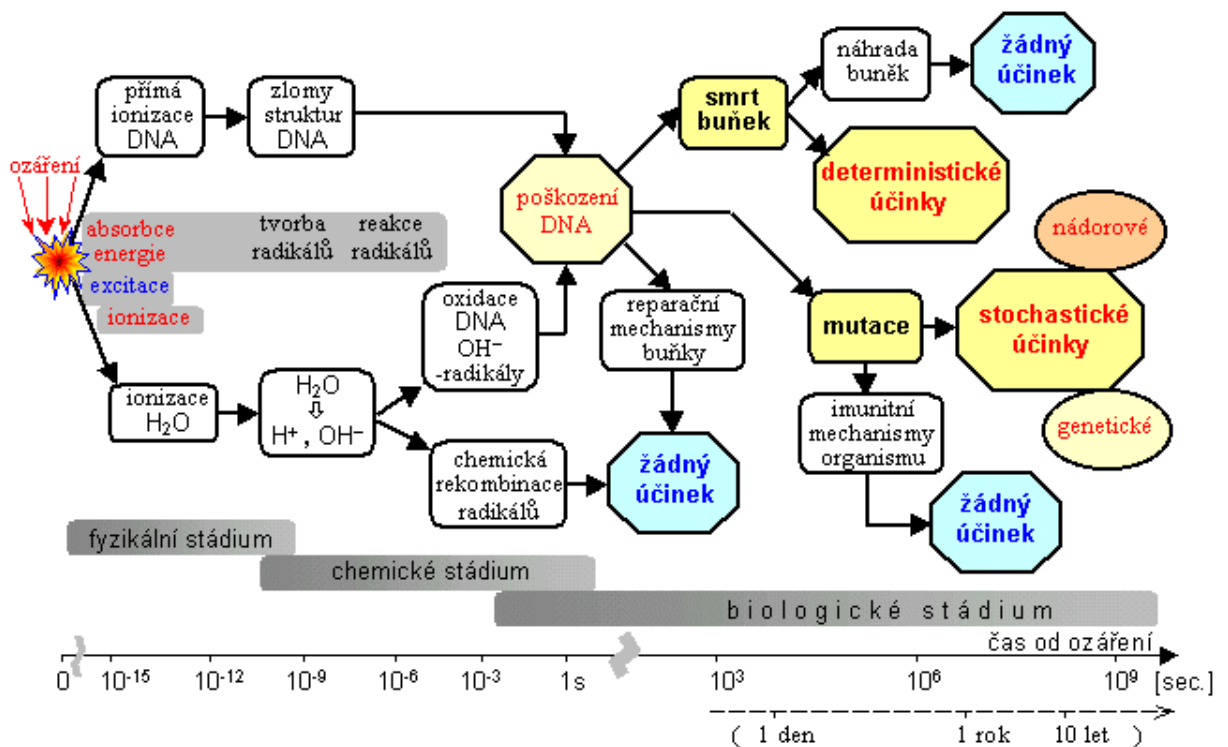
vodíkové kationty H^+ a hydroxylové anionty OH^- a nestabilní produkty schopné oxidace (H_2O_2 , HO_2). I tento proces je velmi rychlý, netrvá déle než 10^{-14} - 10^{-10} sec.

- Chemické stádium

Vzniklé ionty, radikály, excitované atomy a další produkty reagují s biologicky důležitými organickými molekulami ("atakují" molekuly DNA, RNA, enzymů, proteinů) a mění jejich složení a funkci. Typickou poruchou na molekulární úrovni jsou zlomy vláknů v molekule DNA - buď zlom jen jednoho vlákna, nebo úplný zlom dvojvlákna DNA. Dále mohou vznikat atypické vazbové "můstky" uvnitř dvouvlákna DNA a další chemické změny. Jednotlivé procesy tohoto chemického stádia trvají různě dlouhou dobu - od tisícín sekundy do řádově jednotek sekundy, v závislosti na transportní době reaktivních složek z místa svého vzniku do místa lokalizace napadené biomolekuly.

- Biologické stádium

Molekulární změny v biologicky důležitých látkách (v DNA, enzimech, protei -nech) mohou vyústit ve funkční a morfologické změny v buňkách, orgánech i v organismu jako celku. Biologické stádium se při vysokých dávkách záření může projevit již po několika desítkách minut (akutní poškození či nemoc z ozáření), může však zahrnovat dobu latence několika let nebo i desítek let (pozdní stochastické účinky). Konkrétní druhy biologických účinků ionizujícího záření jsou popsány níže.



Obr.1. Schématické znázornění významných procesů a jejich časové posloupnosti při účincích ionizujícího záření na živou tkáň.

Jednotky a definice

Terminologie a jednotky související s radioaktivitou a jejími účinky prošly dlouhým vývojem a používají se bohužel nejednotným způsobem. Ionizující záření je takové záření, které způsobuje při průchodu látkou ionizaci jejích atomů a molekul a to buď přímo, je-li záření tvořeno elektricky nabitými částicemi, nebo nepřímo, jde-li o částice elektricky neutrální, např. neutrony. Jaderné záření je ionizující záření, mající svůj původ v jaderných přeměnách radionuklidů.

Intenzitu zdroje ionizujícího záření popisuje aktivita, definovaná jako počet radioaktivních přeměn radionuklidu za sekundu. Měříme ji v becquerelech (Bq), jednotkou je reciproká sekunda. Aktivitu 1 Bq má zdroj, v němž dochází k jedné přeměně za 1 s. Starší jednotka curie (Ci) vyjadřovala aktivitu radonu, který je v rovnováze s jedním gramem rádia a rovnala se $3,6 \cdot 10^{10}$ Bq. Měrná aktivita je vztažena k jednotce hmotnosti, objemu nebo plo-

chy. Celkové působení ionizujícího záření na látku charakterizuje dávka, definovaná jako poměr střední energie předané ionizujícím zářením objemovému elementu látky a hmotnosti tohoto elementu. Jednotkou dávky je gray (Gy) rovný jednomu joulu energie předané 1kg látky. Přírůstek dávky za jednotku času se nazývá dávkový příkon a měří se (Gy/s). Různé druhy ionizujícího záření mají při shodné dávce rozdílné biologické účinky. Byl proto zaveden dávkový ekvivalent, zahrnující formou bezrozměrného číselného jakostního faktoru Q škodlivý vliv různých druhů záření na lidský organismus. Dávkový ekvivalent měříme v jednotkách zvaných sievert (Sv). Tato jednotka odpovídá jednomu grayi s uvážením jakostního faktoru a není tedy přesně vzato fyzikální jednotkou. Biologický účinek však závisí také na tom, které orgány byly ozářeny. Efektivní dávkový ekvivalent zahrnuje i různou citlivost lidských orgánů na ozáření a umožňuje vyjádřit účinek ionizujícího záření na lidský organismus jedinou veličinou. Při hodnocení rizika obyvatelstva nebo skupin pracovníků se dále setkáme s pojmem kolektivní dávkový ekvivalent (jednotka manSv), což je v podstatě ekvivalent vynásobený počtem osob, které jej obdržely. Úvazek efektivního dávkového ekvivalentu je integrál příslušné veličiny za určitou dobu, bez ohledu na to, kde a kdy k ozáření došlo.

Biologické účinky ionizujícího záření. Již dlouhou dobu je známo, že velké dávky ionizujícího záření mohou poškodit biologickou tkáň. Dokonce i některé přírodní zdroje jaderného záření mohou mít negativní účinky. Špatně větrané štoly uranových dolů bezpochyby již v minulosti způsobily mnohá předčasná úmrtí zaměstnanců.

Při působení ionizačního záření na živou hmotu dochází k ionizaci a excitaci, přičemž je absorbována energie. K popisu procesů, které vedou od absorpce energie záření až ke stabilizovanému poškození molekuly a později k morfologickým a funkčním změnám, zjištěným na buněčné nebo orgánové úrovni, existuje několik vzájemně se doplňujících modelů.

Při zásahu buněčného jádra může dojít ke dvěma procesům:

- Buňka může být buď okamžitě usmrcena, nebo může být poškozena tak, že se již není schopna dělit. Druhá častější forma se projeví hlavně ve tkáních, v nichž probíhá intenzivní buněčné dělení (krvetvorné orgány, výstelka střeva, vyvíjející se plod).

•Poškození buňky nenarušuje její schopnost se dělit, ale projevuje se poruchou genetické informace, uložené v chromozómech. Záření vyvolává změny (mutace), které lze rozdělit na genetické, způsobující genetické změny a na mutace somatické, mající vztah ke vzniku rakoviny.

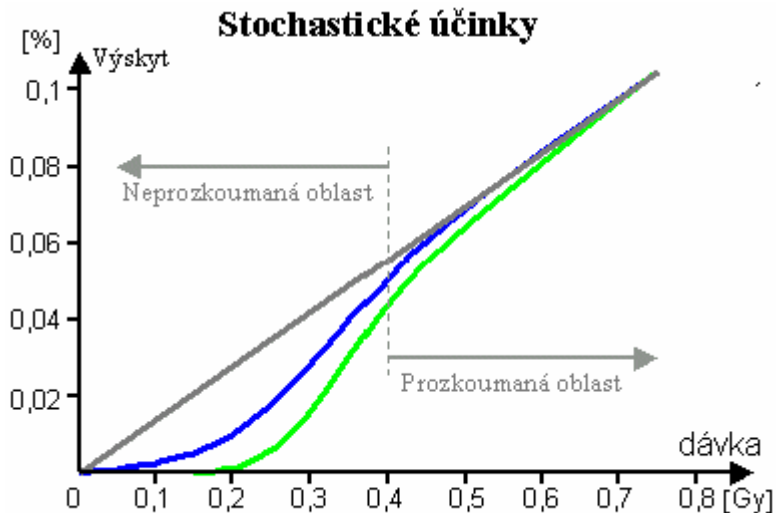
Stochastické účinky - pokud dávka záření není velká, s naprostou většinou poškození biologicky aktivních látek se organismus úspěšně vyrovná svými reparačními mechanismy. I při malých dávkách však existuje určitá pravděpodobnost, že některá poškození se opravit nepodaří a vzniknou pozdní trvalé následky genetického nebo nádorového charakteru. Jelikož takové následky jsou zcela náhodné, individuální a nepředvídatelné, nazývají se účinky stochastické. Mají pravděpodobnostní charakter - u jedinců z ozářeného souboru osob se poškození či onemocnění vyskytují náhodně s určitou pravděpodobností, která roste s dávkou.

U stochastických účinků závažnost postižení a průběh vzniklého onemocnění nejsou závislé na výši dávky; na absorbované dávce závisí pouze pravděpodobnost výskytu nádorového či genetického poškození. Jde přitom o chorobné stavy, které i bez vlivu záření se "samovolně" (bez zjevné příčiny) vyskytují v populaci. V jednotlivých konkrétních případech není možné radiačně indukované nádory a genetické změny odlišit od samovolně vzniklých případů, jejich klinický obraz je stejný.

Pro stochastické účinky se většinou předpokládá, že míra účinku, tj. pravděpodobnost výskytu poškození (nádorových či genetických), je lineárně závislá na dávce přímkovou čáru na obr.1.) a že stochastické účinky jsou bezprahové - mohou být vyvolány i velmi malými dávkami, třeba i na úrovni přírodního radiačního pozadí.

Na tomto předpokladu, tzv. lineární bezprahové teorii stochastických účinků, je založen "konzervativní přístup" k radiační ochraně, který se promítá do řady norem a předpisů pro práci se zdroji záření. Novější radiobiologické studie však ukazují, že závislost stochastických účinků na dávce není lineární, ale že v oblasti velmi nízkých dávek jsou účinky nižší než by odpovídalo lineární závislosti (modrá křivka na obr.1). Pokud by se navíc potvrdily některé alternativní názory (zmiňované v následujícím odstavci), mohla by v budoucnu křivka závislosti stochastických účinků na dávce záření mít tvar zelené

křivky na obr.1 - i pro stochastické účinky by existoval práh(!) (podobně jako je tomu u účinků deterministických), jenže mnohonásobně nižší. Radiobiologické výsledky se budou jistě zpřesňovat, avšak co se týče malých dávek záření, srovnatelných s přírodní hladinou na niž jsou naše organismy "přizpůsobeny", v současné době neexistuje žádný důkaz, že nízká úroveň záření je zdraví škodlivá.



Obr.2. stochastické účinky

1.1.6. Vývoj legislativy pro stanovení expoziční doby pro uranové horníky

Nebezpečí ohrožení zdraví horníků dobývajících radioaktivní rudu bylo poprvé zohledněno v již zmíněném Výnosu revírního báňského úřadu v Karlových Varech z roku 1938. Byla stanovena povinnost nuceného větrání pracovišť ($2\text{m}^3/\text{min}$ na pracovníka) a limit objemové aktivity radonu stanoven na dvě Macheovy jednotky v litru ovzduší ($26940\text{ Bq}/\text{m}^3$).

V poválečné historii uranového hornictví byla legislativa tvořena předpisy a výnosy Státní báňské správy. Předpis Ústředního báňského úřadu (ÚBÚ) pro uranové doly č. 3987/1957 stanovil limitní objemovou aktivitu radonu v ovzduší 100pCi/l (3700Bq/m³). Doplněk předpisu ÚBÚ č. 3987/1957 vydaný v roce 1960 stanovil jako limitní hodnotu pro objemovou aktivitu radonu v ovzduší 30pCi/l (1110Bq/m³). Výnos ÚBÚ v dohodě s hlavním hygienikem ČSSR – Doplnkové předpisy pro doly úpravny s výskytem přírodních radioaktivních látek čj. 4999-Z-1966 uceleně stanovil povinnosti organizací a pracovníků včetně nejvyšších přípustných koncentrací radioaktivních látek v ovzduší. Poprvé byla stanovena limitní hodnota pro koncentraci latentní energie produktů přeměny radonu ($4 \cdot 10^4$ MeV/l).

V roce 1972 vstoupila v platnost vyhláška ministerstva zdravotnictví ČSSR č. 59/1972 Sb., o ochraně zdraví před ionizujícím zářením. Tato vyhláška měla pro uranový průmysl zásadní význam v tom, že zavedla pro hodnocení ozáření pracovníků produkty přeměny radonu limit ročního příjmu latentní energie a stanovila pro něj hodnotu $8 \cdot 10^{10}$ MeV (27,2 mJ). Platnost několika ustanovení této vyhlášky se nevztahovala na uranový průmysl, kde i nadále platily DP č.j. 4999-Z-1966 ve znění pod čj. 6971-Z/1975.

Zásadní změnu v radiační ochraně v uranovém průmyslu představuje zákon č. 18/1997Sb. a jeho prováděcí předpisy ve formě vyhlášek Státního úřadu pro jadernou bezpečnost. Zákon mj. stanovuje, že „ Pokud jsou zdroje přírodního ozáření vědomě a záměrně využívány, včetně těžby a zpracování uranové rudy podle zákona č. 61/1988 Sb., o hornické činnosti, výbušninách a státní báňské správě, ve znění pozdějších předpisů, vztahují se na nakládání s nimi ustanovení tohoto zákona ve stejném rozsahu jako na jiné zdroje ionizujícího záření“ a dále pak, že „ ... ozáření z přírodních zdrojů se nezapočítává do čerpání limitů ozáření, kromě ozáření z těch přírodních zdrojů, které jsou vědomě a záměrně využívány, a z těch přírodních zdrojů, které se vyskytují na pracovištích se zdroji ionizujícího záření stanovených prováděcím předpisem, na nichž není možné ozáření z těchto zdrojů zanedbat“.

1.1.7. Osobní dozimetrie a monitorování pracovišť

Zákon č.18/1997Sb., stanovuje povinnosti držitelů povolení pro využívání jaderné energie a ionizujícího záření. Mezi ně patří i monitorování pracovního prostředí a osobní monitorování. Na těchto pracovištích je v souladu s vyhláškou SÚJB č. 184/1977 Sb., vymezeno kontrolované pásmo. Monitorování na pracovištích a dalších významných místech (zejména v tzv. uzlových bodech větrní sítě dolu) umožňuje průběžné sledování a hodnocení pracovního prostředí. Je zde stanovena četnost měření. V programu monitorování jsou vymezeny referenční úrovně jako hodnoty rozhodné pro určité předem dané stanovené postupy a opatření. V uranovém průmyslu je zaveden institut „Komise pro výsledky osobní dozimetrie a regulaci pracovníků“. Na pravidelných měsíčních jednáních hodnotí komise výsledky osobní dozimetrie a monitorování pracovního prostředí s cílem zabezpečit nepřekročení povolených osobních dávek a jejich rovnoměrné rozložení.

Monitorování pracovního prostředí a osobní dozimetrie pracovníků kategorie A v uranovém průmyslu vychází ze:

- **základního limitu** pro pracovníky se zdroji ionizujícího záření, kterým je celková efektivní dávka 100 mSv za dobu pěti za sebou jdoucích roků (max. 50 mSv/rok),
- **odvozených limitů**, které jsou
 - pro dávkový ekvivalent zevního záření gama 20mSv/rok,
 - pro ozáření směsí dlouhodobých radionuklidů emitujících záření alfa uran-radiové řady (příjem vdechnutím) 1850 Bq/rok,
 - pro příjem latentní energie produktů přeměny radonu 17mJ/rok,

▪ **směrných hodnot pro povrchové znečištění radionuklidů**, které jsou

- pro vnější povrch ochranných pomůcek, provozních zařízení a pracovních ploch v kontrolovaných pásmech 30 kBq/m^2 ,
- pro vnější povrch osobních ochranných pomůcek, provozních zařízení a pracovních ploch mimo kontrolovaná pásma 3 kBq/m^2 .

Odvozené limity platí pro jednotlivé samostatné složky ozáření pracovníků. V praxi jde o kombinaci těchto složek a je třeba aplikovat sumační vzorec podle § 13 odst. 3 vyhlášky č. 184/1997 Sb.

Na podzemních pracovištích uranových dolů jsou voleny **zásahové úrovně**:

- $100 \mu\text{Gy/h}$ pro dávkový příkon zevního záření gama
- 1.54 Bq/m^3 pro objemovou aktivitu směsi dlouhodobých radionuklidů emitujících záření alfa,
- $12.8 \mu\text{J/m}^3$ pro koncentraci latentní energie produktů přeměny radonu,
- 30 kBq/m^2 pro povrchové znečištění radionuklidů.

Expozice pracovníků

Pravidelná měření objemové aktivity radonu na pracovištích uranového průmyslu, jejichž výsledky byly podkladem pro výpočet expozice pracovníků ionizujícímu záření, byla zahájena v roce 1949. Od roku 1961 byly zavedeny osobní filmové dozimetry a v roce 1969 se začalo s měřením koncentrace latentní energie produktů přeměny radonu. Pravidelné měření objemové aktivity směsi dlouhodobých zářičů alfa uran-radiové řady bylo zahájeno až od roku 1997. Pro každého pracovníka v riziku ionizujícího zá-

ření je vedena a archivována osobní **dozimetrická karta**. V souladu s ustanoveními prováděcích předpisů k zákonu č. 18/1997 Sb. jsou nově údaje o osobních dávkách pracovníků v uranovém průmyslu zařazeny do státního systému evidence ozáření. Všichni pracovníci, kteří přicházeli do uranového průmyslu po roce 1949 se podrobovali vstupním lékařským prohlídkám. Původně zdravotní péči zabezpečoval Ústav pracovního lékařství v Karlových Varech. Po zřízení Závodního ústavu národního zdraví v uranovém průmyslu v roce 1954, jehož součástí byl i Ústav hygieny práce v uranovém průmyslu (ÚHP UP), byl zaveden systém pravidelných preventivních prohlídek. V roce 1956 bylo zřízeno lůžkové oddělení pro rozsáhlejší preventivní prohlídky horníků s dobou expozice větší než osm let. Pro horníky, kteří ukončili práci v uranovém průmyslu po odpracování 2100 směn, byly v roce 1977 zavedeny následné preventivní prohlídky.

2. CÍL PRÁCE

V předchozích kapitolách jsme se seznámili s fakty kde, proč a kolik lidí se zabývá, nebo zabývalo těžbou uranové rudy, co ohrožuje zdraví horníků, jaká je legislativa. Vlastní cíl mé bakalářské práce je zjistit a popsat jakým způsobem se provádí sledování radiační zátěže uranových horníků v praxi. Porovnat a vyhodnotit přesnost různých metod dozimetrie. Vyhodnotit jejich využitelnost v praxi, klady, zápory a možnost ovlivnění měření. Popsat jak se provádí měření koncentrace potenciální energie a objemových aktivit dceřinných produktů rozpadu radonu, měření objemové aktivity směsi dlouhodobých zářičů alfa, měření povrchové kontaminace a měření příjmu zevního záření gama, jaké se používají metody, přístroje. Popis metod biologické dozimetrie, její přednosti, nevýhody, možnosti využití v praxi při měření obdržených dávek záření při práci v prostředí uranových dolů.

3. HYPOTÉZA

Biologická dozimetrie je metoda vhodná ke zjišťování dávek ozáření a expozici ionizujícímu záření u horníků uranových dolů.

4. METODIKA

Práce bude zpracována důkladným popisem, prozkoumáním a vyhodnocením doposud známých metod fyzikální a biologické dozimetrie

4.1. Popis metod fyzikální dozimetrie

K detekci ionizujícího záření lze použít různých fyzikálních detektorů. Mezi ně patří například ionizační komory, scintilační a polovodičové detektory. Tyto přístroje se používají k měření koncentrace potenciální energie. Můžeme ji měřit dvěma způsoby : 1) měřením aktivity filtru přes který byl filtrován známý objem vzduchu. 2) měřením objemové aktivity mateřského radonu a přepočtu za použití součinitele narušení radioaktivní rovnováhy. Expozice pracovníků v riziku ionizujícího záření v podzemí se hodnotí na základě stanovení jejich příjmu dceřinných produktů radonu, objemové aktivity směsi dlouhodobých zářičů alfa a povrchové kontaminace.

Pro popis metod měření jednotlivých složek zátěží uranových horníků jsem použil metodiku měření prostředí posledního uranového dolu v České republice, a to v dole Rožná 1 – Karel Havlíček Borovský odštěpný závod GEAM Dolní Rožínka. Tento důl je právním pokračovatelem Československého uranového průmyslu (ČSUP). Předchůdcem těžebního podniku v Dolní Rožince byly n.p. Jáchymovské doly Trutnov, které zahájily otvírku ložiska Rožná hloubením jámy Rožná 1 dne 27.října 1957. Již v roce

1958 byly zahájeny těžební práce a hlubinná těžba probíhá dosud. S ukončením těžby se počítá nejdříve koncem roku 2008

Základními těženými minerály jsou uraninit a coffinit, výsledným produktem je diuranát amonný $(\text{NH}_4)_2\text{U}_2\text{O}_7$ s obsahem 72 – 74 % uranu, produkovaný závodem Chemická úpravna. Tento produkt je určen pro konverzi na UF_6 jako další stupeň procesu výroby jaderného paliva.

Radiační ochrana a větrání v dole

Rozsahem a objemem zásob rudnin je ložisko Rožná bezesporu největším nalezištěm uranu v oblasti Moravy a z historického hlediska patřilo k nejvýznamnějším ložiskům uranových rud v bývalém Československu. Výtěžnost těžebních závodů z ložiska tvořila 15 % produkce uranu v celé republice. V dnešní době, po útlumu těžby v jiných regionech, podíl těžby činí víc jak 50 % .

Hlavní důraz v hlubinném uranovém dole je kladen na větrání. Účelem je dodávka čerstvého vzduchu do podzemí, odvod opotřebovaných větrů spolu se škodlivými důlními plyny a prachy na povrch a dobré mikroklimatické podmínky na pracovištích.

Jednotlivé dobývací bloky jsou připraveny pro vlastní dobývání pomocí blokových komínů, které jsou raženy ze spodního patra směrem k hornímu přímo v zóně, v žíle, nebo v jejich podloží, podle geologických podmínek v konkrétním místě. Celková hloubka dolu je 1200 m pod povrchem (24 pater), hornické práce jsou v současné době prováděny v hloubkách 900 – 1100 m.

K hlavním plynným škodlivinám v uranovém dole patří radon, který vzniká při radioaktivním rozpadu uranu, oxidy dusíku vznikající při trhacích pracích a zplodiny z motorů důlních lokomotiv. Na dole je prováděn denní monitoring všech druhů ionizujícího záření na jednotlivých pracovištích a kromě toho jsou všichni pracovníci v podzemí vybaveni osobními dozimetry firmy ALGADE pro kontinuální osobní monitoring z hlediska příjmu celkových dávek z ionizujícího záření.

Každému pracovníku v dole je veden záznam o pohlceném záření. V případě příjmu větší dávky než je vnitřním předpisem stanoveno pro sledované období (měsíc) je takový pracovník přeřazen na pracoviště s nižší radiací, či dokonce na povrch. Je nutné zajistit, aby v kalendářním roce nepřekročil nikdo ze zaměstnanců limitní hodnoty záření, což se v dole Rožná 1 daří. Expoziční doba pracovníka v podzemí uranových dolů je stanovena ve výši 2100 směn.



Obr.3. důlní chodba s lutnovým větráním

Princip měření pracovního prostředí

Dávkový příkon záření gama : přímé měření radiometrem RP-114, RP-103D + sonda RS-45A

Příkon fotonového dávkového ekvivalentu: přímé měření radiometrem FH 40G, FH 40G-L1



Obr.4. Radiometr FH 40G

Objemová aktivita směsi dlouhodobých radionuklidů U-Ra řady emitujících záření alfa: prosávání známého objemu vzduchu přes membránový filtr odběrovou aparaturou ZMP-11 nebo QuickTake 30 a následné měření nuklidů zachycených na filtru (měřicí souprava MC 2256 + NKQ 323, EMS 3 alfa-beta automat) v laboratoři SZLAB.

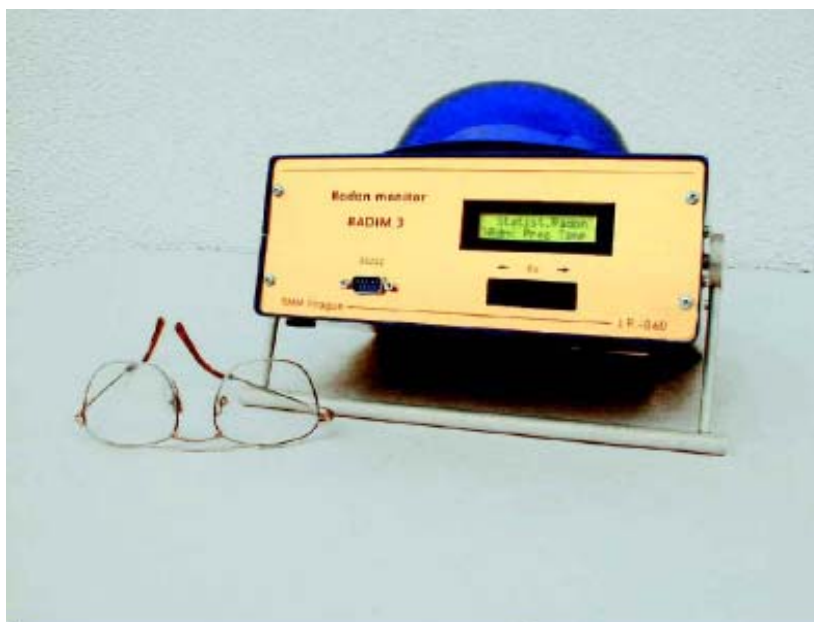
Povrchové znečištění radionuklidy: **a)** měření plošné aktivity povrchu scintilačním detektorem alfa - používá se kruhového scintilátoru o průměru 100 mm ve spojení s přenosným radiometrem (RP- 103D + scintilátor SAK17U06); **b)** přístroj Contamat (alfa, beta); **c)** tříkanálový analyzátor JKA 300 se sondou NS 9502E a scintilátorem Krystal SAK 17U06



Obr.5. Měřicí přístroj JKA 300

Měření koncentrace latentní energie produktů přeměny radonu: přístroj RP 108, nebo sestava (odběrové zařízení ZMP-11, nebo QuickTake 30 a měřič alfa aktivity filtru MAAF)

Měření OAR – objemové aktivity radonu: přístroje RADIM 3, RADIM 3A, RM-1 elektret a přenosný radon monitor AlphaGUARD



Obr. 6. Měřicí přístroj RADIM 3



Obr.7. Měřicí přístroj Sloha Guard

Měření EOAR metodou BUHS – měření ekvivalentní objemové aktivity radonu ve venkovním prostředí: sestava (odběrové zařízení QuickTake 30 a měřič alfa aktivity filtru MAAF).



Obr.8. Měřicí přístroj Quick Take 30

SZLAB při své práci používá normy ČSN, vlastní interní metodiky-Standardní operační postupy (SOP) dle SJ SZLAB nebo metodiky SÚJB. Některé z těchto metodik jsou akreditovány ČIA o.p.s.

SOP 07 - Měření dávkového příkonu záření gama (příkonu fotonového dávkového ekvivalentu)

SOP 08 - Měření K_{LE} p.p. R_n - instantní metoda

SOP 10 - Odběr vzorků ovzduší v pracovním prostředí

SOP 13 - Detekce koncentrace plynů v ovzduší

SOP 12 - Měření povrchového znečištění radionuklidy

SOP 16 - Stanovení objemové aktivity alfa v prachu a aerosolu

SOP 25 - Měření objemové aktivity radonu (OAR) pomocí elektretového systému RM1

SOP 34 - Měření objemové aktivity radonu (OAR)

SOP 38 - Stanovení EOAR ve venkovním prostředí – metoda BUHS

SOP 39 - Stanovení koncentrace latentní energie produktů přeměny radonu - K_{LE} (MAAF)

4.1.1. Osobní monitorování zaměstnanců – radiačních pracovníků kategorie A

Radiační pracovníci kategorie A jsou vybaveni:

Osobními dozimetry Algade



Obr.9. Dozimetr Algade

(zaměstnanci v KP – podzemí RI, areál drtírny a třídírny uranové rudy a přilehlé rudné depo č.1 a rudné depo č.2, sušárna CHKU č.111, sklad CHKU č.108, rudné depo ZCHÚ, společné procesy ÚVU ZCHÚ).

Tento typ osobního dozimetru (dále jen OD) je určen k měření časového integrálu ekvivalentní objemové aktivity radonu (časového integrálu koncentrace latentní energie), dále dávky dané zevním zářením gama a příjmu směsi dlouhodobých zářičů alfa uran-radiové řady inhalací.

Základem OD je kontinuální odběr vzduchu v době, kdy OD není umístěn v nabíjecím stojanu. V době provozu je OD umístěn na opasku zaměstnance, dle protokolu ČMI o technické zkoušce ze dne 21.12.1995 a dle rozhodnutí ČMI o schválení typu měřidla č. 2306/96/1 ze dne 24.1.1996.

Podklady pro vyhodnocení dávek radiačních pracovníků kategorie A – Rožná I zajišťuje úsek dozimetrie SZLAB o. z. GEAM ve spolupráci s odpovědnými pracovníky Rožná I.

Vyhodnocování je prováděno pravidelně měsíčně smluvní organizací - SÚJCHBO Kamená.

S výsledky vyhodnocení jsou všichni zaměstnanci seznamováni formou nástěnných vývěsek, resp. prostřednictvím odpovědných vedoucích zaměstnanců.

I) Radiační pracovníci kategorie A, pracující ve sledovaném pásmu úseku výroby uranu (ÚVU) ZCHÚ jsou vybaveni OD TLD CSOD Praha. Čtvrtina těchto pracovníků pracujících na pracovištích SP ÚVU je vybavena OD Algade.

Tuto čtvrtinu tvoří zpravidla celá osádka jedné směny ÚVU. Po vyhodnocení OD ALGADE této skupiny pracovníků, provede SÚJCHBO výpočet průměrné hodnoty příjmu

p.p.Rn (mJ) a příjmu směsi dlouhodobých nuklidů alfa (Bq). Na základě dodané doby pobytu na pracovišti ostatních radiačních pracovníků kategorie A ÚVU a výsledků vyhodnocení TLD CSOD, provede SÚJCHBO výpočet jednotlivých příjmů a efektivní dávky těchto ostatních radiačních pracovníků kategorie A.

Další měsíc je monitorována další směna respektive další čtvrtina radiačních pracovníků kategorie A - ÚVU.

Podklady pro vyhodnocení dávek radiačních pracovníků kategorie A – ÚVU ZCHÚ zajišťuje úsek dozimetrie SZLAB o. z. GEAM ve spolupráci s odpovědnými pracovníky ZCHÚ.

Vyhodnocování je prováděno pravidelně měsíčně smluvní organizací – SÚJCHBO Kamenná.

S výsledky vyhodnocení jsou všichni zaměstnanci seznamováni formou nástěnných vývěsek a prostřednictvím odpovědných vedoucích zaměstnanců.

Organizační a technické zabezpečení zápočtu efektivních dávek osob a usměrňování ozáření radiačních pracovníků.

O způsobu využití výsledků osobního monitorování a způsobu usměrňování ozáření radiačních pracovníků rozhodují na o. z. GEAM regulační komise závodů.

Regulační komise je poradním a výkonným orgánem pro usměrňování ozáření radiačních pracovníků. Komise se zpravidla řídí tímto řádem:

- svolává ji zástupce vedoucího závodu,
- schází se zpravidla jednou měsíčně,
- složení komise tvoří zástupce vedoucího závodu - předseda komise, pracovník pověřený přípravou podkladů k jednání komise a zapisování, vedoucí příslušných útvarů-úseků závodu, vedoucí SZLAB o. z. GEAM nebo jeho zástupce pro úsek dozimetrie, DO, zástupce příslušného odborového orgánu, zástupce SÚJCHBO, inspektor SÚJB a další přízvaní zaměstnanci, kteří mohou podat informace potřebné pro jednání komise,
- projednává všechny případy překročení referenčních úrovní osobních dávek u radiačních pracovníků kategorie A a B v hodnoceném měsíci a za období od počátku kalendářního roku včetně případů, u kterých by mohlo dojít k překročení v příštím období,

- navrhuje provedení potřebných opatření tak, aby v průběhu kalendářního roku nedošlo k překročení limitů pro radiační pracovníky,

Komise projedná výsledky vyhodnocení OD u jednotlivých radiačních pracovníků pro všechny složky záření a celkovou efektivní dávku a provede porovnání s příslušnou referenční úrovní.

Stanovení osobní efektivní dávky pracovníka kategorie A se provádí v případě, kdy údaje dané osobními dozimetry nejsou dostupné:

a) V případě nepřítomnosti zaměstnance v práci (v měsíčním expozičním období) je pro všechny hodnoty uváděna nula (při nulové době nelze vytisknout efek.dávku).

b) Náhradní výpočet složky efektivní dávky pro případ, kdy údaj poskytovaný osobním dozimetrem ALGADE je nezjistitelný nebo oprávněně zpochybnitelný :

Postupuje se tak v případech, kdy některá složka zjišťovaná pomocí osobního dozimetru je nezjistitelná nebo oprávněně zpochybnitelná. A to u jednoho konkrétního osobního dozimetru.

- jedná se o případ zničení jednoho nebo obou termoluminiscenčních detektorů; dále pak při zničení filtru, v případě silného pokryvu kolimátoru nebo filtru bahnem, kdy je vysoká pravděpodobnost, že se u filtru nejedná o aktivitu obsaženou ve vzduchu (inhalovanou), ale o aktivitu obsaženou např. v bahně.
- další případ je zničení stopového detektoru Kodak LR115 (zleptání citlivé vrstvy atp.).

Ve všech těchto případech SÚJCHBO oznamuje nedosažitelnost údaje (nebo oprávněnou zpochybnitelnost poskytnutého údaje).

Postupuje se tak i v případě ztráty nebo zničení osobního dozimetru.

Výpočet náhradní hodnoty pro agendu osobní dozimetrie je pak řešen regulační komisí za účasti inspektora SÚJB (podléhá schválení SÚJB).

V principu je podklad pro složku efektivní dávky (který nebyl zjištěn pomocí osobního dozimetru) vypočten jako transformovaný průměr podkladů této slož-

ky efektivní dávky zaměstnanců, kteří s inkriminovaným zaměstnancem pracovali na stejném pracovišti (stejných pracovištích).

S inkriminovaným zaměstnancem pracovali na i -tém ($i=1,\dots,k$) pracovišti zaměstnanci $X_{i,j}$ ($j=1,\dots,n_i$). Přitom zaměstnanec $X_{i,j}$ pracoval na i -tém pracovišti po dobu $T_{i,j}$ hodin. Pro zaměstnance $X_{i,j}$ byl pomocí osobního dozimetru zjištěn podklad pro složku efektivní dávky $Y_{i,j}$ (v jednotkách mGy, Bq, mJ - jedná se o průměry fotonové dávky, případně příjmu aktivity směsi dlouhodobých radionuklidů emitujících záření alfa uran-radiové řady, případně příjmu latentní energie). Jsou vypočteny hodinové průměry $Y_{i,j}/T_{i,j}$ (v jednotkách mGy/h, Bq/h, mJ/h).

Pro i -té pracoviště se tedy vytvoří průměr $(Y/T)_{i, \text{stř}} = (1/n_i) \cdot (Y_{i,1}/T_{i,1} + \dots + Y_{i,n_i}/T_{i,n_i})$ a to pro $i=1,\dots,k$ (v jednotkách mGy/h, Bq/h, mJ/h). Posuzované-
mu zaměstnanci (který pracoval na i -tém pracovišti T_i hodin) je pak přiřazen podklad složky efektivní dávky $Y = T_1 \cdot (Y/T)_{1, \text{stř}} + \dots + T_k \cdot (Y/T)_{k, \text{stř}}$ (v jednotkách mGy, Bq, mJ).

Podklad složky efektivní dávky Y (Y_g pro fotonovou dávku, případně Y_s pro příjem aktivity směsi dlouhodobých radionuklidů emitujících záření alfa uran-radiové řady, případně Y_{LE} pro příjem koncentrace latentní energie) je pak transformován na příslušnou složku efektivní dávku E_g, E_s, E_{LE} (mSv) obvyklým postupem - užitím předních faktorů $Q_2 = 1 \text{ mSv/mGy}$, $Q_3 = 0,011 \text{ mSv/Bq}$ a $Q_1 = 1,18 \text{ mSv/mJ}$ (převod provede SÚJCHBO).

Výsledky se zaokrouhlí na setiny mGy (případně jednotky Bq, případně setiny mJ).

Výsledku se přiřadí validita 1.

Pokud je výsledek výpočtu menší než 0,05 mGy (případně 5 Bq, případně 0,05 mJ), na CRPO SÚJB se hlásí hodnota 0,05 mGy (případně 5 Bq, případně 0,05 mJ, případně 0,05 mSv).

Pak $E = E_{LE} + E_g + E_S$, kde jednotlivé složky jsou určeny pomocí osobního dozimetru nebo v případě nedosažitelnosti údaje nebo jeho oprávněné zpochybnitelnosti uvedeným náhradním způsobem.

c) *Náhradní výpočet složky efektivní dávky pro případ, kdy údaje dané osobními dozimetry ALGADE a nejsou dostupné:*

Jedná se o výpočet náhradní hodnoty u jednotlivého zaměstnance, pokud neexistují údaje dané osobními dozimetry o jiných zaměstnancích pracujících na stejném pracovišti. Týká se to havárií při skladování, dopravě a vyhodnocení - zničení dozimetrů, mimořádná událost při chemickém zpracování atp.

Zaměstnanec byl T_i (hodin) na pracovišti i ($i=1, \dots, k$).

Na tomto pracovišti byla v rámci monitorování provedena měření příslušné veličiny (dávkového příkonu, objemové aktivity směsi dlouhodobých radionuklidů emitujících záření alfa uran-radiové řady, koncentrace latentní energie) s průměrem $V_i(x)$. Jednotka x je $\mu\text{Gy/h}$, $\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ a $\mu\text{J}\cdot\text{m}^{-3}$. Pro uvedené části ekvivalentní dávky se tedy jedná o průměry $V_{i,g}$, případně $V_{i,S}$, případně $V_{i,KLE}$.

Pak část podkladu pro určení složky efektivní dávky přináležící i -tému pracovišti je $V_i \cdot T_i$ v jednotkách μGy , $\text{Bq}\cdot\text{h}\cdot\text{m}^{-3}$ a $\mu\text{J}\cdot\text{h}\cdot\text{m}^{-3}$.

Pro případ E_g (efektivní dávka daná fotony v mSv) je pak

$E_g = Q_2 (V_{1,g} \cdot T_1 + \dots + V_{k,g} \cdot T_k)$, kde E_g je v mSv, $V_{i,g}$ jsou průměry výsledků měření dávkového příkonu na i -tém pracovišti ($\mu\text{Gy/h}$)

Pro případ E_S (efektivní dávka daná příjmem směsi dlouhodobých radionuklidů emitujících záření alfa uran-radiové řady fotony v mSv) je pak

$E_S = Q_3 (V_{1,S} \cdot T_1 + \dots + V_{k,S} \cdot T_k)$, kde E_S je v mSv a $V_{i,g}$ jsou průměry výsledků měření objemové aktivity uvedené směsi v $\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ na i -tém pracovišti

Pro případ E_{LE} (efektivní dávka daná příjmem latentní energie v mSv) je pak

$E_{LE} = Q_1 \cdot (V_{1,KLE} \cdot T_1 + \dots + V_{k,KLE} \cdot T_k)$ kde E_{LE} je v mSv a $V_{i,KLE}$ jsou průměry výsledků měření koncentrace latentní energie na i-tém pracovišti ($\mu\text{J} \cdot \text{m}^{-3}$)

Pak $E = E_{LE} + E_g + E_S$, kde jednotlivé složky jsou určeny pomocí osobního dozimetru (preferováno) nebo uvedeným náhradním způsobem.

$$Q_2 = 0,001 \text{ mSv}/\mu\text{Gy}$$

$$Q_3 = 0,0132 \text{ mSv}/(\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{h}) \text{ pro zaměstnance pracujícího v podzemí a jinak } Q_3 = 0,011 \text{ mSv}/(\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{h})$$

$$Q_1 = 0,00142 \text{ mSv}/(\mu\text{J} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{h}) \text{ pro zaměstnance pracujícího v podzemí a jinak } Q_1 = 0,00118 \text{ mSv}/(\mu\text{J} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{h})$$

Výsledky se zaokrouhlí na setiny mGy (případně jednotky Bq, případně setiny mJ).

Výsledku se přiřadí validita 1.

Pokud je výsledek výpočtu menší než 0,05 mGy (případně 5 Bq, případně 0,05 mJ), do CRPO SÚJB se hlásí hodnota 0,05 mGy (případně 5 Bq, případně 0,05 mJ, případně 0,05 mSv).

- d) Při zjištění „neadekvátní“ hodnoty - tzn. atypické hodnoty ve srovnání s ostatními zaměstnanci osádky (atypicky nízké nebo vysoké hodnoty některé ze složek záření), provede regulační komise neprodleně se zaměstnancem pohovor pro zjištění, zda nedošlo k nesprávnému užití nebo neoprávněné manipulaci s osobním dozimetrem. Po zjištění příčin rozhodne regulační komise o přiznání dávek pro celostátní evidenci buď přiřazením průměrné hodnoty (viz. bod c) těchto zásad) nebo zaregistrování hodnoty zjištěné.
- V případě překročení příslušné referenční úrovně ozáření zaměstnance, rozhodne komise o tom, zda zaměstnanec bude nadále na pracovišti zaměstnán, nebo zda bude převeden na jiné vhodné pracoviště.

Řešení případů znehodnocení detekčních hlavic osobních dozimetrů bahnem:

- zaměstnanec, jehož dozimetr spadl do bahna, oznámí tuto skutečnost průkazným způsobem zaměstnanci lampovny; ten neprodleně nahlásí tuto skutečnost pracovníkům úseku dozimetrie,
- pracovník úseku dozimetrie po nahlášení závady pracovníkem lampovny provede fyzickou kontrolu osobního dozimetru a detekční hlavice, a dále měření průtoku; podle průtoku a míry znečištění buď vymění zaměstnanci celý dozimetr, nebo pouze detekční hlavici za novou; pokud pracovník úseku dozimetrie neshledá žádnou závadu, ani znečištění dozimetru či hlavice, ponechá nadále v dozimetru detekční hlavici stávající,
- toto bude řádně dokumentováno a sděleno SÚJCHBO spolu s dobou, po kterou byl zaměstnanec vybaven náhradním osobním dozimetrem. Algoritmus výpočtu příjmu a dávky se bude skládat z hodnoty získané z náhradního osobního dozimetru (detekční hlavice) a odhadu získaného pomocí alikvotní části průměru kolektivu za dané období,
- se zaměstnancem provede jeho nadřizený pohovor a sepíše s ním protokol, který bude sloužit jako podklad pro jednání „regulační komise“ závodu,

Postup řešení situace při měření nebo mimořádném zásahu členů ZBZS, kdy je měření či zásah prováděn v izolačním dýchacím přístroji

Na ZBZS je umístěn digitální osobní dozimetr RAD 50, který bude vždy přidělen pracovníkům při měření ve výdušných důlních dílech nebo při zásahu. Přidělení a odečet naměřené hodnoty provede zodpovědný pracovník ZBZS a hodnotu nahlásí na SZLAB k evidenci. Hodnoty budou na konci sledovaného období (roku) jednorázově započítány do celkové osobní efektivní dávky.

Postup řešení situace, kdy pracovník dosáhl určené vysoké efektivní dávky

- a) Zaměstnanec dosáhl celkové osobní efektivní dávky 90 mSv (ve sledovaném období):
- SZLAB oznámí skutečnost vedoucímu VOJ zaměstnance a DO,

- pověřená osoba (předseda regulační komise) svolá mimořádnou regulační komisi,
- regulační komise projedná osobní efektivní dávku pracovníka a stanoví další postup regulace,
- regulační komise seznámí s rozhodnutím zaměstnance,
- předseda regulační komise vydá příkaz – „zákaz vydávání lampy“ - v případě, že zaměstnanec bude regulován mimo kontrolované pásmo,
- před ukončením regulačního období pracovníka, projedná jeho opětovné zařazení na původní pracoviště regulační komise.

b) Zaměstnanec obdržel úvazek efektivní dávky z vnitřního ozáření převyšující 6 mSv ve sledovaném období:

- SZLAB nahlásí tuto skutečnost odpovědným pracovníkům VOJ a DO,
- po dohodě z odpovědnými pracovníky bude svolána mimořádná regulační komise, která projedná tento případ (dokladem bude protokol z jednání mimořádné regulační komise),
- regulační komise seznámí s rozhodnutím zaměstnance,
- DO o. z. oznámí SÚJB CRPO dle § 84, odst. 5, vyhlášky SÚJB č. 307/2002 Sb. tento případ písemně spolu s vyhodnocením příčin a přijatými závěry

4.1.2. Měřené veličiny a jednotky v podzemí důlního závodu Rožná I

Tab.2. tabulka měřených veličin v podzemí důlního závodu

1.	Koncentrace latentní energie p.p.radonu K_{LE}	$(\mu J/m^3)$
2.	Prašnost P	(mg/m^3)
3.	Objemová aktivita směsi dlouhodobých radionuklidů U- Ra řady emitujících záření alfa A_{VAL}	(Bq/m^3)
4.	Povrchové znečištění radionuklidy A_{SAL}	(Bq/m)
5.	Dávkový příkon záření gama D_g	$(\mu Gy/)$
6.	Příkon fotonového dávkového ekvivalentu H_x	$(\mu Sv/h)$

způsob a rozsah měření:

Měření jednotlivých veličin a odběry vzorků na pracovních místech obsluhy. Z těchto hodnot je vypočítáván aritmetický průměr. U veličiny $D_g (H_x)$ je měření prováděno pochůzkou na místech obsluhy a výsledek je uváděn jako průměrná hodnota. U veličiny A_{SAL} jsou výsledky uváděny jako průměr a maximum naměřených hodnot. frekvence měření:

- a) koncentrace latentní energie p.p.radonu
 - na všech pracovištích - 2x měsíčně
 - na určených měřicích místech - 1x měsíčně
- b) dávkový příkon zevního záření gama (příkon fotonového dávkového ekvivalentu)
 - na všech pracovištích - 2x měsíčně (pochůzkou)
 - na určených měřicích místech – čtvrtletně
- c) prašnost a objemová aktivita směsi dlouhodobých zářičů alfa U-Ra řady v ovzduší
 - na všech pracovištích - 2x měsíčně
 - na určených měřicích místech – čtvrtletně
- d) povrchové znečištění radionuklidy
 - provádí se pouze kontrolní měření přepravní techniky (pulmany)

Osobní monitorování:

- I) Všichni radiační pracovníci kategorie A jsou vybaveni OD Algade.
- II) O všech radiačních pracovnících kategorie B je vedena evidence na závodě RI.
O všech ostatních osobách, které vstupují do kontrolovaného pásma, je vedena evidence v knize návštěv. Tyto údaje jsou předávány odpovědným zaměstnancem závodu RI na SZLAB, úsek dozimetrie.
SZLAB provádí na základě výsledků monitorování měřicích míst a pracovišť KP a době přítomnosti na těchto pracovištích, odhad efektivních dávek a vede příslušnou evidenci.

4.1.3.Referenční úrovně

Záznamové

Pracovní prostředí

- pro koncentraci latentní energie p.p.radonu - $0,16 \mu\text{J}/\text{m}^3$,
- pro objemovou aktivitu směsi dlouhodobých radionuklidů emitujících záření alfa U-Ra řady v ovzduší - $0,134 \text{Bq}/\text{m}^3$,
- pro dávkový příkon záření gama - $0,10 \mu\text{Gy}/\text{h}$,
- pro příkon fotonového dávkového ekvivalentu – $0,10 \mu\text{Sv}/\text{h}$,
- pro povrchové znečištění radionuklidy - $100 \text{Bq}/\text{m}^2$.
- pro objemovou aktivitu radonu – $30 \text{Bq}/\text{m}^3$

Osobní monitorování

- pro příjem latentní energie produktů přeměny radonu - $0,05 \text{mJ}/\text{měsíc}$,
- pro ozáření směsí dlouhodobých radionuklidů emitujících záření alfa U-Ra řady - $5,00 \text{Bq}/\text{měsíc}$,
- pro osobní dávkový ekvivalent - $0,05 \text{mSv}/\text{měsíc}$.

Vyšetřovací

Pracovní prostředí

- pro koncentraci latentní energie p.p.radonu - $7,1 \mu\text{J}/\text{m}^3$,
- pro objemovou aktivitu směsi dlouhodobých radionuklidů emitujících záření alfa U-Ra řady v ovzduší - $0,77 \text{Bq}/\text{m}^3$,
- pro dávkový příkon záření gama - $50 \mu\text{Gy}/\text{h}$,
- pro příkon fotonového dávkového ekvivalentu – $50 \mu\text{Sv}/\text{h}$,
- pro povrchové znečištění radionuklidy - $15 \text{kBq}/\text{m}^2$ (platí pouze pro vozy pro dopravu mužstva DM-12)

Vyšetřovací úroveň koncentrace latentní energie p.p.radonu neplatí pro měřicí místa – body větrné sítě.

OSOBNÍ MONITOROVÁNÍ

- pro individuální efektivní dávku pracovníka kategorie A: 3,0 mSv/měsíc,
- pro individuální efektivní dávku pracovníka kategorie B: 0,9 mSv/měsíc.

Zásahové úrovně pro koncentraci latentní energie p.p.radonu a objemovou aktivitu radonu

Kontrolovaná pásma:

1) Podzemní pracoviště:

- pro koncentraci latentní energie p.p.radonu - 12,8 $\mu\text{J}/\text{m}^3$,

Zásahová úroveň koncentrace latentní energie p.p.radonu neplatí pro měřicí místa – body větrné sítě.

Zásahové úrovně pro dávkový příkon záření gama

Kontrolovaná pásma:

1) Podzemní pracoviště:

- pro dávkový příkon záření gama -100 $\mu\text{Gy}/\text{h}$
- pro příkon fotonového dávkového ekvivalentu – 100 $\mu\text{Sv}/\text{h}$,

Kontrolovaná pásma:

1) Podzemní pracoviště:

- pro objemovou aktivitu směsi dlouhodobých radionuklidů emitujících záření alfa U-Ra řady v ovzduší (A_{VAL}) - 1,54 Bq/m^3 ,
- pro povrchové znečištění radionuklidy (A_{SAL}) - 30 kBq/m^2 - platí jen pro důlní vozy pro dopravu mužstva DM 12

Osobní monitorování:

- pro individuální efektivní dávku pracovníka kategorie A: 4,17 mSv/měsíc,

4.1.4. Vyhodnocování výsledků měření

1. V případě přímého měření je vyhodnocení měřené veličiny prováděno na místě měření, a to především porovnáním s referenčními úrovněmi. Výsledky měření jsou vždy zaznamenány operátorem úseku dozimetrie SZLAB do pochůzkového deníku [Z-01-SPP-GEAM-09-01-05-(číslo)].
2. V případě odběru vzorků pro zkoušky v laboratoři je vyhodnocení provedeno po dokončení všech zkoušek, a to porovnáním s referenčními úrovněmi.
3. Všechny výsledky měření na pracovištích a určených měřicích místech jsou evidovány mimo pochůzkových deníků a formulářů v dozimetrickém programu PC Evidence měření. Tato evidence slouží pro hodnocení monitoringu pracovišť a pro odhady dávek pracovníků kategorie B.
4. Systém vyhodnocování výsledků osobního monitorování je popsán v kapitole 5.1.2.
5. Na konci každého ročního období jsou zpracovány tyto přehledné soubory dat :
Z-02-SPP-GEAM-09-01-05-(rok), Z-03-SPP-GEAM-09-01-05-(rok), Z-04-SPP-GEAM-09-01-05-(rok) a Z-05-SPP-GEAM-09-01-05 - (rok), které slouží pro evidenci a uchování údajů důležitých z hlediska radiační ochrany.

Dozimetrický program PC – Evidence měření

Systém evidence výsledků monitorování pracovišť, pracovního prostředí a osobního monitorování je zabezpečen prostřednictvím PC programu.

Obsluhu zajišťuje Středisko zkušebních laboratoří – úsek dozimetrie – **operátor PC**, který je pověřen vedoucím střediska a má tuto činnost stanovenou v pracovní náplni.

Přístup do systému evidence mají pouze osoby stanovené vedoucím střediska. Vstup do systému je kryt heslem.

Dozimetrický program obsahuje:

A - číselníky:

- 1 - seznam měřicích míst podle číselných indexů
- 2 - seznam skupin pracovišť – okruhy dle pracovišť a profesí
- 3 - převodník místa/skupiny
- 4 - seznam veličin – přehled všech měřených veličin dle monitoringu
- 5 - seznam pracovních operací
- 6 - pracovníci - seznam zaměstnanců o. z. GEAM , kteří se pohybují v kontrolovaném pásmu a nebo přicházejí do styku s ionizujícím zářením (pracovníci kategorie A a B)
- 7- osobní dozimetry - seznam osobních dozimetrů Algade přidělovaných zaměstnancům o. z. GEAM (pracovníci kategorie A)
- 8 - kontrola duplicit (zpětná kontrola zadávání dat)

B - vkládání dat: měření základních veličin, měření ostatních veličin, přítomnost zaměstnanců na monitorovaných pracovištích, výstupy z osobních dozimetrů TLD, tisky naměřených hodnot, import výsledků z osobních dozimetrů Algade.

C - výběr tisku jednotlivých sestav: osobní dozimetrický list (kompletní), efektivní dávka (výpočet z jednotlivých sledovaných složek), efektivní dávka – osobní dozimetry,

D - archivaci dat: sestav, vstupů i číselníků, a dále servis programu.

Výsledky vyhodnocení osobních dozimetrů Algade jsou posílány z SÚJCHBO písemně formou protokolu a dále elektronickou poštou ve formě souboru. Ten se nahrává do dozimetrického programu, oddíl vkládání dat, složka osobní dozimetry, import Kamenná. Soubor se vytiskne ve formě sestavy a provede se kontrola. Po zkontrolování správnosti a úplnosti se soubor přehraje do stavového souboru. V případě nutnosti je provedena oprava dat, a poté je vytištěn protokol opravy. Tento schvaluje **vedoucí SZLAB** a protokol je uložen spolu s podklady pro jednání regulační komise. V oddíle sestavy se vytváří pro jednotlivé VOJ a VOÚ tiskové sestavy za určené období. Tyto podklady (sestavy) se předávají jednotlivým odpovědným pracovníkům VOJ a VOÚ o. z., DO, a dále inspektorovi SÚJB. Mimo tiskové sestavy se pro VOJ Rožná I vytváří soubor obsahující všechna data potřebná pro vyhodno-

cení a přípravu podkladů pro jednání regulační komise. Odesílá se elektronickou poštou na určenou adresu vedení závodu R I.

Zpracování podkladů pro CRPO

System státní evidence ozáření pracovníků se ZIZ v České republice je zabezpečován prostřednictvím Centrálního registru profesionálních ozáření (dále jen CRPO) SÚJB.

O. z. GEAM v rámci systému státní evidence ozáření pracovníků se ZIZ zpracovává a předává osobní data o pracovnících, včetně přidělení osobního kódu, pod kterým je každý zaměstnanec o. z. GEAM u CRPO Praha registrován. Skupinu osobních kódů a kód pracoviště pro přidělování pracovníkům o. z. GEAM poskytuje CRPO.

Výsledky osobních dávek pracovníků jsou předávány CRPO na základě „Dohody o provádění osobní dozimetrie zaměstnanců o. z. GEAM“ mezi o. z. GEAM Dolní Rožinka a SÚJCHBO Kamenná, který provádí vyhodnocování osobní dozimetrie.

Vypracování registrační karty: Registrační karta pro radiační pracovníky kategorie A se používá jak pro úvodní hlášení, tak pro hlášení jakýchkoliv změn v průběhu sledování profesionálních expozic pracovníků včetně ukončení sledování.

Vypracování provádí **oprávněný zaměstnanec SI** na základě podkladů od **určených odpovědných zaměstnanců VOJ a VOÚ o. z.** pomocí PC programu DOZ.APP, který byl pro tento účel na **SI o. z. GEAM** vytvořen. Doplní veškerá osobní data a přidělí osobní kód zaměstnanci. Následně provede kontrolu registrační karty vedoucí úseku dozimetrie SZLAB. Následuje vytištění registrační karty (+ 1 kopie) a tato je zaslána **odpovědným zaměstnancům VOJ a VOÚ**. Ti provedou seznámení zaměstnance s registrační kartou a zajistí její podepsání. Odpovědný zaměstnanec VOJ a VOÚ pak předá registrační kartu + 1 kopii ke schválení vedoucímu SZLAB. Po schválení vedoucím SZLAB je originál registrační karty zaslán na CRPO SÚJB Praha a kopie je založena do osobního spisu radiačního pracovníka.

Monitorování v případech překročení vyšetřovacích úrovní při mimořádných událostech

Monitorování v případech překročení vyšetřovacích úrovní při mimořádných událostech je zpracováno v havarijních plánech VOJ a VOÚ o. z. GEAM.

Zkušební metody včetně používaných přístrojů jsou schváleny rozhodnutím SÚJB.

Nejistota měření (přesnost měření) je složena z jednotlivých příspěvků nejistot (přístroj, pracovník, prostředí a jiné). Bývá odhadnuta buď z Shewartových regulačních diagramů, nebo z údajů ověřovacích listů přístrojů, naměřených AMS nebo ČMI. Přesnost měřidla je dána výrobcem.

Nejistota měření je uváděna v protokolech.

4.2. Popis metod biologické dozimetrie

Jedním z důležitých směrů, jak zjistit obdrženou dávku záření až v období po ozáření, je tzv. biologická dozimetrie či biodozimetrie. Biodozimetrii lze charakterizovat jako subdisciplínu oboru radiobiologie, která pomáhá určit velikost absorbované dávky podle intenzity a druhu postradiační odpovědi organismu. Dosud jsou detailně popsány postradiační děje a biodozimetrické ukazatele na úrovni organismu a orgánů samotných. Avšak jejich použití v praxi má řadu úskalí, počínaje jejich nízkou citlivostí a relativně dlouhou latencí, nebo vysokou finanční či edukační náročností. Již v polovině šedesátých let se při podezření na expozici ionizujícímu záření provádí vyšetření pomocí biodozimetrických metod. Tyto metody spočívají v tom, že chromozomální aberace v lymfocytech periferní krve mohou sloužit jako indikátor radiační expozice. Změny v chromozómech umožňují detekovat míru expozice, předvídat stupeň poškození a rozhodnout o léčení

Ionizující záření vyvolává chromozomální aberace ve všech stádiích buněčného cyklu, mohou tedy vznikat aberace chromozómové se zlomy na obou chromatidách („dicentry“, „ringy“, párové fragmenty) i aberace chromatidové se zlomy jen na jedné chromatidě (nepárové fragmenty a zlomy, chromatinové výměny). Protože cirkulující lymfocyty jsou převážně v klidové fázi G_0 , po expozici ionizujícímu záření vznikají zejména dicentrické chromozómy. Jejich spontánní úroveň v lidské populaci je asi 0,5 – 2 promile z vyšetřovaných buněk.

Chromozomální aberace lze studovat několika metodami. Již tradiční metodou je pozorování aberací typu „dicentrů“ a „ringů“ v metafázi při cytogenetické analýze periferních lymfocytů. Ozáření lymfocytů *in vivo* a *in vitro* vyvolá stejnou míru poškození na jednotku dávky, proto lze na základě kalibrační křivky určit, jaké dávce byl určitý jedinec vystaven.

Do několika týdnů od expozice lze pomocí chromozomálních aberací detekovat nižší dávku:

- u jednotlivce 0,1 – 0,2 Gy

- u skupiny 0,05 Gy

Chromozomální aberace se dělí na strukturální aberace a translokace. Pod strukturálními aberacemi rozumíme zásadní změny ve tvaru chromozómů pozorovatelné ve světelném mikroskopu. Nově vzniklé struktury mohou obsahovat dvě centromery (dicentry, ringy) nebo centromeru nemají (fragmenty), protože je narušeno dělení buňky v anafázi. V důsledku toho tyto aberace zanikají, protože nejsou zahrnuty do dceřiného jádra. Proto jsou také nazývány aberace nestabilní a jsou detektorem nedávné expozice klastogenům.

Jako translokace jsou označovány aberace představující vzájemné výměny částí chromozómů tak, že základní tvar chromozómů není nápadně změněn. Jejich spontánní frekvence je vyšší než dicentrů. Také po expozici ionizujícímu záření jsou proti dicentrům 1,5 – 2 x častější, jsou však zjistitelné jen speciálními barvicími technikami (např. FISH).

Poněvadž není dělení buňky porušeno, přenášejí se tyto aberace do dceřiných buněk a v organismu přetrvávají desítky let. Jde tedy o změny stabilní, které jsou detektorem i starších změn a ukazují na kumulativní expozici klastogenům. Jejich frekvence stoupá s věkem. Dále uvádím přehled metod zjišťování chromozomálních aberací jejich přednosti, nevýhody a nutné materiální vybavení k jejich provedení.

4.2.1. Detekce nestabilních aberací

Obecná charakteristika: Test detekuje nestabilní chromozomální aberace (dicentrické chromozómy, párové a nepárové fragmenty; hodnotí se též ring-chromozómy). Tyto aberace se během dělení ztrácejí, test ale počítá s detekcí i v tzv. paměťových lymfocytech, které zůstávají v periferní krvi po mnoho let. Minimální dávka, která může být stanovena tímto testem (v prvním roce po expozici) je okolo 100mSv.

Protokol: Buňky periferní krve jsou kultivovány v médiu stimulujícím proliferaci T-lymfocytů, kultivace probíhá 48 hodin (jen první dělení), buňky jsou blokovány v mitóze, po zpracování kultury se preparát barví G-barvením.

Hodnocení: Je již dlouhodobě standardizováno. Výsledky se vyjadřují buď jako procento buněk s aberacemi nebo průměrný počet aberací na buňku.

Vybavení a personál: Standardní vybavení cytogenetické laboratoře – lednice, mrazák, kultivační box, centrifugy, světelný mikroskop, zařízení pro digitalizaci a archivaci obrazu.

Možné další zlepšení: Identifikace buněk v metafázi může být automatizována, takže test by se stal méně časově náročným.

4.2.2. Test hodnocení mikrojader

Obecná charakteristika: Test detekuje genetický materiál, který se během mitózy vyčlení (v důsledku zlomů na DNA, popř. v následných přestavbách blokujících dělení)

a nepřejde do žádného z dceřiných jader. Citlivost tohoto testu je podobná jako u analýzy nestabilních aberací.

Protokol: Buňky periferní krve jsou kultivovány v médiu stimulujícím proliferaci T-lymfocytů, kultivace probíhá 72 hodin, po 48 hodinách je přídatkem cytochalazinu B blokována postmitotická cytokineze, po zpracování kultury se preparát barví G-barvením.

Hodnocení: Výsledky se vyjadřují buď jako procento dvojjaderných buněk s mikrojádry nebo průměrný počet mikrojader na dvojjadernou buňku.

Vybavení a personál: Standardní vybavení cytogenetické laboratoře – lednice, mrazák, kultivační box, centrifugy, světelný mikroskop, zařízení pro digitalizaci a archivaci obrazu.

Možné další zlepšení: Identifikace dvojjaderných buněk i mikrojader může být automatizována, což by významně snížilo časovou náročnost a současně zvýšilo citlivost testu. Předpokládaná minimální detekovatelná dávka u takto upraveného testu je okolo 50 mSv.

4.2.3. Test hodnocení centromer v mikrojádrech

Obecná charakteristika: Tento test může být považován za zlepšenou verzi „klasického“ testu hodnocení mikrojader. Navíc zahrnuje imunofluorescenční značení centromer, a je tedy možno rozlišit mikrojádra vzniklá spontánně (mikrojádra obsahující celé chromozómy) a mikrojádra radiačně indukovaná (mikrojádra obsahující chromozomové fragmenty)

Protokol: V zásadě stejný jako u testu hodnocení mikrojader s přidáním imunofluorescenčního značení centromer a analýzy vzorků pod fluorescenčním mikroskopem.

Hodnocení: Odečítá se počet mikrojader s centromerami a bez centromer ve dvojjaderných buňkách. Jejich poměr je v přímém vztahu k dávce.

Vybavení a personál: Totéž jako u testu hodnocení mikrojader, navíc fluorescenční mikroskop.

4.2.4. Využití metody průtokové cytometrie (flowcytometrie)

Obecná charakteristika: Flowcytometrie je metoda s velmi širokým záběrem použití. Obecně umí jednak provádět mnohoparametrové analýzy a zároveň identifikovat a třídít kterékoli buňky v dané kapalně směsi (např. krve) na základě biochemických a genotypických znaků díky navázané protilátce s fluorescentním značením na povrchu nebo uvnitř buňky.

Pro biodozimetrické účely se nejčastěji dva typy technik průtokové cytometrie

- detekce mikrojader v nezralých retikulocytech (MN-Tf-Ret-Test). Test zachycuje radiační poškození jen v prvních dnech po expozici, ale je velmi citlivý, podle autorů testu 20-50 mSv.

- detekce mutací somatických buněk jako je TRC (T-cell receptor) locus lymfocytů a GPA (glycophorine A) locus erytrocytů. Tyto testy jsou méně citlivé, ale mohou být použity i několik let po expozici.

Protokol: Odebrané vzorky periferní krve se zpracují a připraví na kultivaci s protilátkou, označenou fluorescentní látkou. Přesný postup se liší podle typu protilátky – druhu značení. Vzorky se poté v náležitých zkumavkách vkládají do přístroje. Zpracování signálu probíhá na detektorech přístroje, odkud je signál přiváděn k počítači, kde je dále analyzován.

Hodnocení: Počítačová analýza dovoluje kvantifikaci jevů s určitými parametry, např. vyjádří počet mikrojader na retikulocyt nebo procento mutovaných erytrocytů.

Vybavení a personál: flowcytometr BD LSRII s přídatným laserem pro UV excitaci, magnetický separátor buněk, standardní vybavení cytogenetické laboratoře – lednice, mrazák, kultivační box, centrifugy, fluorescenční mikroskop, zařízení pro digitalizaci a archivaci dat, proškolení personálu firmou.

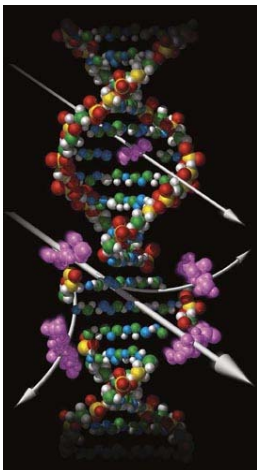
4.2.5.FISH test (fluorescentní in situ hybridizace)

Obecná charakteristika: Test detekuje chromozomální aberace vzniklé zlomem a znovuspojením (vícebarevné chromozómy). Tyto aberace jsou stabilní a mohou být detekovány dokonce léta po expozici na rozdíl od nestabilních aberací uvedených výše.

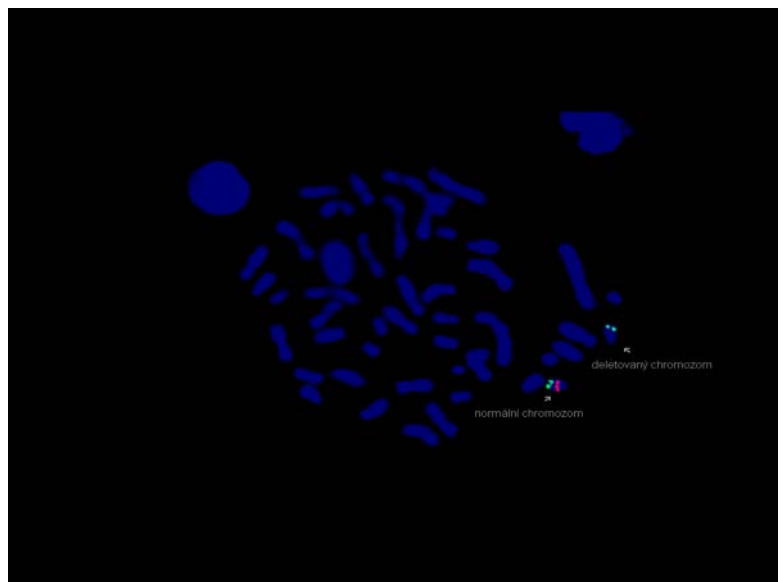
Protokol: Buňky periferní krve jsou kultivovány v médiu stimulujícím proliferaci T-lymfocytů, kultivace probíhá 72 hodin, buňky jsou blokovány v mitóze, po zpracování kultury je provedena hybridizace celochromozomových DNA sond specifických pro vybraný pár lidských chromozómů. Citlivost této metody je menší než u detekce nestabilních aberací, kolem 200 mSv.

Hodnocení: Hodnotí se 500 – 1000 mitóz, jako výsledek se prezentuje vypočítaná genomická frekvence translokací.

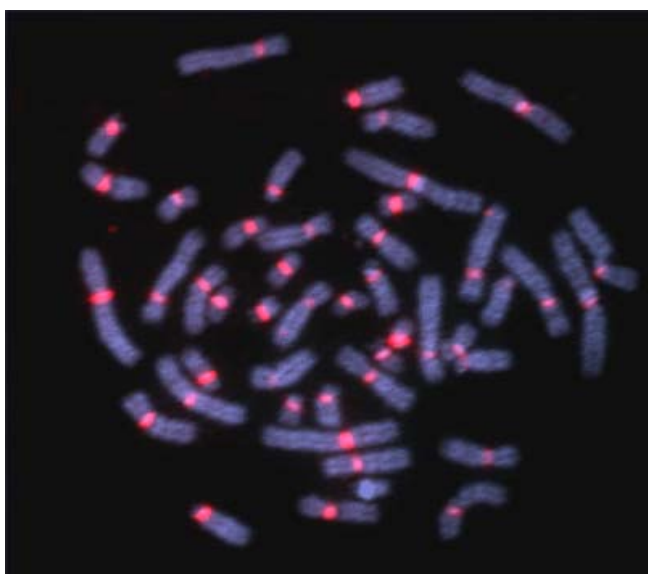
Vybavení a personál: Lednice, mrazák, kultivační box, centrifugy, fluorescenční mikroskop, počítačová analýza obrazu.



Obr.9. šroubovice DNA



Obr.10. chromozómové aberace



Obr.11. centromera



Obr.12. FISH test

Radon a jeho dceřinné produkty

Radon v přírodě vzniká jako meziprodukt přirozeného radioaktivního rozpadu izotopu uranu ^{238}U , nebo izotopu thoria ^{232}Th . S poločasem přeměny 3,8 dne přechází radon v krátkodobé dceřinné produkty, emitující částice alfa a záření beta. Poločas přeměny těchto zářičů je několik minut. Jako plyn proniká radon z pevných přírodních materiálů obsahujících produkty zmíněných rozpadových řad do ovzduší a je nebezpečný při vdechování. V uzavřených prostorách, jako jsou málo větrané šachty rudných dolů nebo i budovy ze stavebních materiálů obsahující přírodní radionuklidy, může být jeho koncentrace mnohonásobně vyšší než v přírodě. Nepříznivé účinky ionizujícího záření na lidský organismus byly zjištěny prakticky již v době, kdy W.K. Roentgen ohlásil svůj objev. Je proto nutné sledovat míru ozáření uranových horníků.

4.3. Přehled o vývoji ozáření pracovníků uranových dolů

V následující tabulce uvádím přehled o vývoji ozáření pracovníků uranových dolů. Jsou zde uvedeny hodnoty z historického období, kdy se měřila objemová aktivita radonu na

pracovištích. Výrazný pokles objemových aktivit dokladuje účinnost opatření zaváděných ve větrání.

Tab.3. průměrná objemová aktivita radonu 222 na pracovištích uranových dolů v České republice

Rok	Průměrné hodnoty objemové aktivity ²²² Rn	
	($1 \cdot 10^{-10}$ Ci/l)	(kBq/m ³)
1949	14,0	51,8
1950	10,7	39,6
1951	8,1	30,0
1952	7,9	29,2
1953	5,2	19,2
1954	4,1	15,2
1955	4,5	16,6
1956	4,8	17,7
1957	2,2	8,1
1958	3,0	11,1
1959	2,9	10,7
1960	2,9	10,7
1961	2,7	10,0
1962	3,0	11,1
1963	2,1	7,8
1964	1,9	7,0
1965	1,9	7,0
1966	1,7	6,3
1967	1,8	6,7
1968	1,7	6,3
1969	1,3	4,8

Až do zavedení osobních integrálních dozimetrů všech tří složek ozáření (v roce 1997) byla efektivní dávka pracovníků stanovována výpočtem z monitorování pracovního prostředí a z doby pobytu na pracovišti. V současné době je efektivní dávka počítána z výsledků osobních integrálních dozimetrů všech tří složek ozáření pracovníků v uranových dolech.

Tab.4. průměrná hodnota příjmu produktů přeměny radonu (1.10^{10} MeV)

Rok	Počet hor- níků	Průměrná hodnota příjmu produktů přeměny radonu (1.10^{10} MeV)
1975	9 954	3,07
1980	8 481	2,36
1985	8113	2,15
1990	4 744	1,76
1995	1 422	0,87

Jako ilustraci současných podmínek lze uvést výsledky osobního monitorování horníků v Dolní Rožince v roce 1998. Ze 428 pracovníků v podzemí obdržel jeden 38,90 mSv (limit je 50mSv), což je nejvyšší efektivní dávka. Největší počet pracovníků (142) je v první skupině do 4,17 mSv a více než polovina pracovníků je ve skupině do 8,34 mSv. Kolektivní dávka všech pracovníků byla 4090 mSv a průměrná efektivní dávka 9,56 mSv

5. Diskuse

Každá z metod měření ionizujícího záření má své výhody a nevýhody. Postupy fyzikální dozimetrie se používají v uranových dolech od počátku těžby. Postupem doby, jejich zdokonalováním dokážeme průběžně změřit i nepatrné dávky ozáření (např. jedna návštěva podzemí uranového dolu představuje hodnotu 4 μSv). Z měření osobním dozimetrem jsou uvedenými způsoby eliminovány možnosti zkreslení údajů, ať už se jedná o neodebrání dozimetru ze stojanu, zapomenutí dozimetru v dole, znečištění dozimetru aktivním bahnem a podobně.

Většina měření se provádí 2x v měsíci a tím máme dokonalý, průběžný přehled o obdržení dávkách ozáření všech pracovníků podzemí uranového dolu. Tyto údaje jsou nutné ke sledování překročení mezních limitů. V případě, že dojde k překročení přípustné dávky, organizace převede pracovníka na tzv. regulaci na pracoviště s nižším zářením, případně bez jeho výskytu.

Metody biologické dozimetrie dokáží prokázat ozáření ze vzorku krve a určit dávku ozáření porovnáním s vytvořenou škálou vzorků, kdy se sleduje počet nápadných chromozomálních změn. Na základě zjištěné četnosti těchto změn lze určit efektivní celotělovou dávku. Zvláště pak metoda FISH pracující na principu chromozomální aberace vzniklé zlomem a znovuspojením. Tyto aberace jsou stabilní, a protože se přenášejí do dceřiných buněk v organismu, dají se zjistit i desítky let po expozici ionizujícím záření. Tato metoda má ale smysl pouze u odhadu efektivní celotělové dávky po jednorázovém zevním ozáření, tedy při havarijních situacích (dolní mez detekovatelnosti v řádu desetin Gy).

Uranoví horníci se pohybují v prostředí s roční dávkou v desítkách mGy a biologická dozimetrie dokáže detekovat až dávku mnohokrát větší. Proto není biologická dozimetrie metoda vhodná pro měření dávek ozáření pracovníků uranových dolů. Metody biologické dozimetrie jsou však vhodné k prokázání zda došlo, nebo nedošlo k ozáření organismu, což potvrzuje například studie A. Kryscicio a W. U. Mülera¹ z Institutu pro lékařskou radiobiologii univerzitní kliniky v Essenu. Ta se zabývá skupinou uranových horníků wismutových dolů v bývalé NDR , na které prováděli pozorování centromer v mikrojádrech (MnC+) bu-

něk periferní krve. Byly prokázány rozdíly mezi skupinou zdravých mužů, skupinou zdravých uranových horníků a skupinou uranových horníků s karcinomem plic.

6. Závěr

Závěr z mé bakalářské práce je proto takový, že obě metody dozimetrie fungují vedle sebe. Biologická dozimetrie dokáže nahradit fyzikální dozimetrii pouze v případě potřeby pouze určit zda došlo k expozici ionizujícímu záření či ne.

Výzkumem v této oblasti se zabývají katedry radiobiologie vysokých škol v České republice i v zahraničí. K porovnání a vyhodnocení přesnosti slouží záznamy z fyzikální dozimetrie nejen pracovníků v uranových dolech, ale i pilotů dopravních letadel.

V naší republice máme dostatečné údaje fyzikální dozimetrie o sledování ozáření pracovníků v uranových dolech, které lze použít ke srovnání výsledků biodozimetrie, a dá se říci, že tyto materiály nám může závidět celý svět. V současné době však dochází k útlumu posledního uranového dolu v ČR a tak se možná blíží i konec jedné z disciplin měření účinků ionizujícího záření na pracovníky v uranových dolech.

6. Seznam použitých zkratek

AMS – Autorizované metrologické středisko,

CRPO – Centrální registr profesionálních ozáření,

CSOD – Celostátní služba osobní dozimetrie

ČMI – Český metrologický institut

DO – dohlížející osoba dle vyhlášky č.307/2002 Sb.,

DS – dekontaminační stanice,

ELDA – provoz elektrodialýzy, organizační jednotka v rámci CHÚ,

EMAR – elektro měření a regulace, organizační jednotka v rámci závodu CHÚ,

EOAR – ekvivalentní objemová aktivita radonu

IZ – ionizující záření

KLE p.p.Rn – koncentrace latentní energie produktů přeměny radonu

KP – kontrolované pásmo

OAR – objemová aktivita radonu,

OD – osobní dozimetr,

SÚJB – Státní úřad pro jadernou bezpečnost

SÚJCHBO Kamenná – Státní ústav jaderné, chemické a biologické ochrany

SOP – Standardní operační postup (metodika),

SP - sledované pásmo

ZIZ – zdroje ionizujícího záření

7. Klíčová slova

Fyzikální dozimetrie

Biologická dozimetrie

Dozimetrie v uranových dolech

Osobní dozimetr

Koncentrace latentní energie

Dávkový příkon zevního ozáření

Ionizující záření

8. Seznam použité literatury

KLENER A SPOL., *Hygiena záření*. Avicenum, 1987. Kapitola 6 (str.275 - 297)

KOLEKTIV AUTORŮ: *Principy a praxe radiační ochrany*, Praha: SÚJB, 2000, ISBN 80-238-3703-6

KUNA , P., NAVRÁTIL , L. A KOLEKTIV. *Klinická radiobiologie*. 1. vyd. Praha: Manus, 2005. 222 s. ISBN 80-86571-09-2

KRYSCIO, A., ULRYCH, M., WOJCIK, A. *Micronuclei in lymphocytes of uranium miners of the former Wismut* [cit. 11/2001]. Dostupné na World Wide Web: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov> / PMID: 11683979/

TOMÁŠEK, L., Czech miner studies of lung cancer risk from radon. *Journal of Radiological Protection*, 2002, roč. 22, A107-A112

VANCL, V. *Dozimetrie ionizujícího záření v ČR uranovém průmyslu*. 1. vyd. Příbram: ČSUP, 1982.

Zákon č. 18/1997 Sb. Zákon o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření (atomový zákon) a o změně a doplnění některých zákonů ve znění pozdějších předpisů

Zákon č. 61/1988 Sb. České národní rady o hornické činnosti, výbušninách a o státní báňské správě ve znění pozdějších předpisů