



PIONÝŘI RADIČNÍ OCHRANY

První léta po objevu záření X a radioaktivity byla vskutku pozoruhodná. Byla to doba rychlého technického a hospodářského rozvoje na přelomu 19. a 20. století. Paprsky X se staly fascinující novou možností, jak zkoumat strukturu, funkce a kondici jednotlivých „součástí“ lidského těla. První generace rentgenologů dosahovaly ohromujícího pokroku a přispívaly tím k záchraně dříve beznadějných případů. Bohužel velmi rychle došlo i k prvním poškozením, jak u rentgenologů, tak u pacientů. Do roku 1937 položilo na oltář poznání a služby pacientům život přes dvě stovky rentgenologů, připomínají je jména vytesaná na památníku v Nemocnici svatého Jiří v Hamburku. Rentgenologové tedy nejen zkoumali a do praxe zaváděli nové diagnostické metody. Často doslova na vlastní kůži pozorovali a ve svých článkách popisovali časně účinky vysokých dávek záření. Zapálení vědci, praktičtí lékaři, sestry i technici nám bez ohledu na své vlastní zdraví pomohli pochopit nový a velmi užitečný fenomén a umožnili nám jeho využití. A na svých chybách nám ukázali, jak se účinně chránit před riziky a škodlivými účinky záření, které jsou odvrácenou stranou užitku, který nám vědomě využívání zdrojů záření přináší.

**Ing. Dana Drábová, Ph. D.,
předsedkyně Státního úřadu
pro jadernou bezpečnost**

Profesní ozáření radičních pracovníků ve zdravotnictví

SLEDOVÁNÍ, HODNOCENÍ, REGULACE

Hodnocení a usměrňování ozáření radičních pracovníků je jedním ze základních úkolů radiční ochrany a souhrnné údaje o ozáření těchto pracovníků jsou jedním z významných podkladů pro řízení ochrany před ionizujícím zářením. Ve sdělení **Ing. Karly Petrové**, náměstkyně pro radiční ochranu Státního úřadu pro jadernou bezpečnost (SÚJB), jsou uvedeny informace k dané problematice.



Limity ozáření v legislativě

Radiční pracovníci jsou vedle obyvatelstva a pacientů skupinou, na kterou je zaměřena primární pozornost radiční ochrany rozpracovaná v základních dokumentech mezinárodních organizací (ICRP, IAEA) a v neposlední řadě v legislativě EU, kterou Česká republika implementuje do své národní legislativy. Základem při tvorbě legislativy je stanovení příslušných limitů velikosti ozáření, na jejichž dodržování je potom zaměřena pozornost v rámci regulace ozáření. Specifické limity ozáření pro radiční pracovníky jsou díky mezinárodním dokumentům, zejména dokumentu IAEA BSS (Basic Safety Standards), stanoveny víceméně jednotně, ale v praxi jednotlivých zemí lze sledovat odchylky. V ČR je v současné době pro součet efektivních dávek ze zevního ozáření a úvazků efektivních dávek z vnitřního ozáření aplikován limit o hodnotě 100 mSv za 5 po sobě jdoucích kalendářních let a 50 mSv za kalendářní rok. V rámci Evropských zemí se již připravuje novela Direktivy 29/96, tzv. EU BSS, kde se nově objevuje limit 20 mSv za rok, bez průměrování za 5 let. V národní legislativě by pak bylo možné stanovit výjimku pro některé profese, pro které bude limit 100 mSv za 5 let a 50 mSv za rok zachován. Takový postup však bude muset být velmi dobře zdůvodněn zejména optimalizační studií.

Pro zachování rovnosti v limitování ozáření pracovníků jsou zavedeny tzv. dávkové optimalizační meze (DOM, „dose constraints“), které jsou vztahy k danému zdroji, jsou vždy nižší než příslušné limity a mají být aplikovány prospektivně. Cílem je zabránit, aby určitá skupina pracovníků nebyla ozařována neúměrně více než ostatní pracovníci. Přestože institut DOM není nový, objevil se již v doporučení ICRP 26 z roku 1977, je v současné době

významně posílen požadavek optimalizace radiční ochrany. Představa je taková, že DOM stanoví příslušný držitel povolení na základě určitých doporučení dozorného orgánu. Ten svá doporučení opře o analýzy dobré praxe a o hodnocení profesních ozáření na národní i mezinárodní úrovni.

Databáze údajů o profesním ozáření

Databáze profesních ozáření, které jsou v jednotlivých zemích systematicky budovány, jsou důležitým nástrojem regulace. Evropská unie iniciovala projekt ESOREX, který měl za cíl zhodnotit velikost profesních ozáření ve specifikovaných profesích v jednotlivých zemích EU. Tyto analýzy byly provedeny pro období let 1995–2005 a byly jedním ze základů pro zpracování doporučení EU č. 160 z roku 2009 (http://ec.europa.eu/energy/nuclear/radiation_protection/doc/publication/160.pdf). V současné době vypsala EU projekt na vytvoření platformy pro profesní ozáření, která by dlouhodobě v této oblasti zajišťovala určitým způsobem sjednocení postupů a přístupů k hodnocení profesního ozáření a pokračovala i ve statistických analýzách. Ty mohou do budoucna sloužit k porovnání profesního ozáření v jednotlivých zemích a k identifikaci a stanovení dobré praxe. Jistě bude zajímavé zjistit příčinu rozdílů např. v průměrných dávkách kardiologů ve dvou evropských zemích na srovnatelném stupni vyspělosti. Zde však je nutno upozornit i na úskalí takovýchto statistických hodnocení bez znalosti bližších údajů, které by vedly jen k dosažení určitých čísel. Je nutné bezpodmínečně vědět, jak jsou průměrné dávky počítány – zda jsou započteny dávky i pod MDL (minimální detekovatelnou úroveň), nebo pouze nad (Pokračování na straně 2)

Profesní ozáření radiačních pracovníků ve zdravotnictví

(Dokončení ze strany 1)

touto úrovní, a kteří pracovníci jsou do evidence zahrnuti (mohou to být pouze pracovníci kategorie A, nebo obě kategorie A i B). Záleží také na tom, jak je kategorizace pracovníků prováděna, protože i tím je statistika ovlivněna. V oblasti zdravotnictví je také nezbytné vědět, kde je umístěn osobní dozimetr - zda nad nebo pod ochrannou zástěrou a jak jsou započítávány hodnoty měřené na zástěře. V ČR je dozimetr nošen na referenčním místě na zástěře a naměřené hodnoty jsou započítávány až do 20 mSv v takové výši, jak jsou vyhodnoceny. Při překročení hodnoty 20 mSv jsou přepočteny na zeslabení zástěrou. Důvod je ten, že Centrální registr profes-

ních ozáření (CRPO), ve kterém jsou dávky pracovníků v ČR registrovány, je primárně zřízen a udržován za účelem kontroly dodržování limitů, ne pro vytváření statistik, i když i ty jsou samozřejmě jedním z validních a využitelných výstupů této evidence. CRPO je funkční od roku 1997 a jeho zřízení je opřeno o požadavek atomového zákona na vedení centrální evidence ozáření pracovníků. V průměru je ročně evidováno asi 21 tisíc aktivních radiačních pracovníků (za celou historii se celkový počet blíží 35 tisícům). Radiační pracovníci jsou po účely evidence tříděni do profesních skupin v šesti oblastech – průmysl, jaderná energetika, lékařství, výzkum a školství, uranový průmysl, servis a služby.

Přehled dávek radiačních pracovníků

Průměrná dávka radiačních pracovníků za rok 2011 byla vyhodnocena na 0,79 mSv na pracovníka, kolektivní dávka 16,1 Sv. Zhruba 60% pracovníků vykazuje dávku nižší než MDL, to znamená, že realizovaná dávka je pak rozdělena mezi mnohem menší počet pracovníků a jejich průměrná dávka je pak asi 1,8 mSv. V roce 2010, resp. 2011 bylo evidováno 32, resp. 28 případů jednorázového ozáření osobního celotělového dozimetru dávkou vyšší než 20 mSv a 2 případy ozáření osobního prstového dozimetru dávkou nad 150 mSv (přičemž tyto hodnoty byly 744 mSv a 668 mSv – tedy významně překračující stanovený limit 500 mSv).

V rámci přešetření (přepočet osobní dávky se zohledněním vlivu ochranné stínící zástěry příslušného ekvivalentu olova) žádný pracovník provádějící lékařské ozáření nepřekročil roční a pětiletý limit efektivní dávky.

Hodnocení výsledků osobní dozimetrie pracovníků ve zdravotnictví

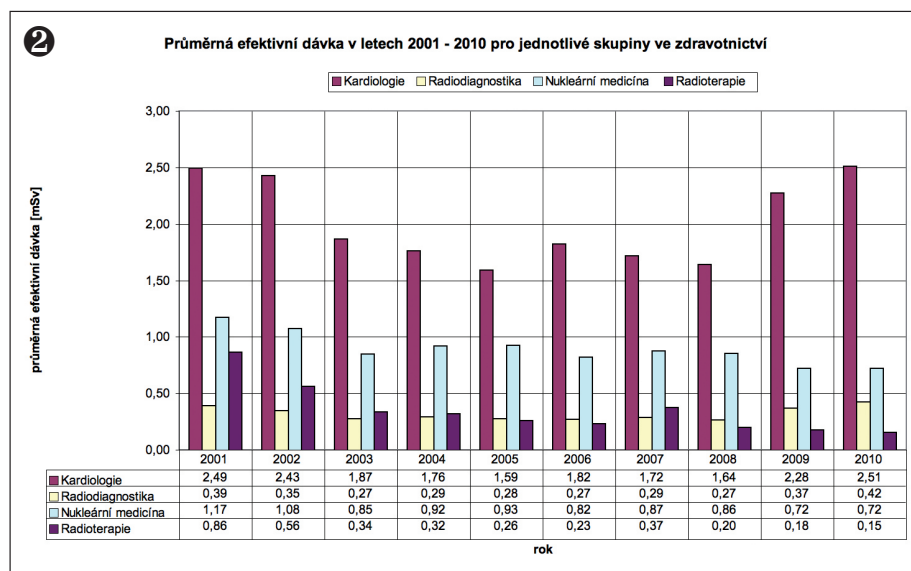
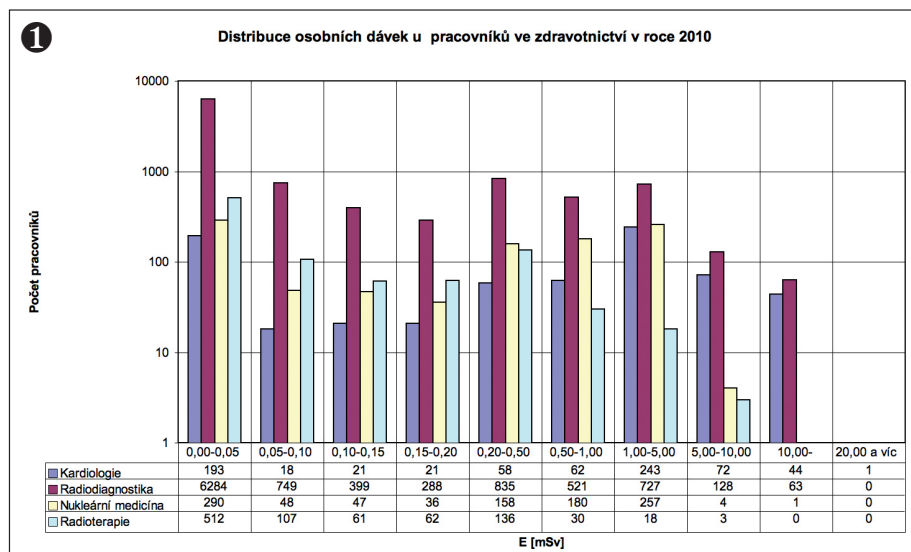
Zdravotnictví je jednou z významných oblastí využití zdrojů IZ, kde je v současné době evidováno zhruba 12 tisíc radiačních pracovníků – tedy více jak polovina z celkového počtu. Distribuce osobních dávek pracovníků ve zdravotnictví ilustruje graf č. 1.

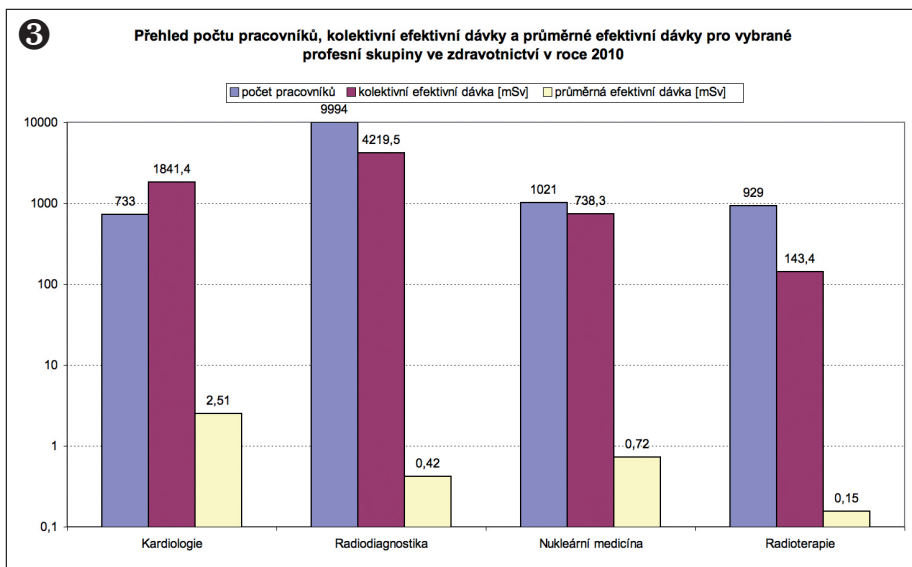
Pro tři hlavní oblasti – radiodiagnostiku, nukleární medicínu a radioterapii - CRPO vede 10 500 (z toho cca 800 v kardiologii), resp. 1000, resp. 900 pracovníků.

Vývoj průměrné efektivní dávky radiačních pracovníků v těchto oblastech včetně kardiologie je uveden na grafu č. 2. Na něm je vidět, že vývoj průměrné efektivní dávky v čase měl od roku 2001 do roku 2006 výrazně klesající trend zejména v oblasti nukleární medicíny a radioterapie. V radiodiagnostice je trend v podstatě stabilní. Avšak jako dlouhodobě problematickou se z hlediska regulace ozáření se jeví omezená skupina lékařů vykonávajících složité a časově náročné úkony a zákroky zejména v oblasti kardiologie a intervenční radiologie. Přestože tyto pracovníci tvoří pouze asi 8 % z celkového počtu pracovníků v radiodiagnostice, podílí se jejich dávky až 30% na celkové kolektivní dávce v této oblasti. Toto dokumentuje také graf č. 3 na další stránce.

Význam optimalizace

U výše uvedené specifické skupiny pracovníků naráží radiační ochrana na zásadní problém regulace a optimalizace. Tito lékaři často zachraňují lidské životy za cenu toho, že jejich osobní dávky efektivní (tedy celotělové) nebo





ekvivalentní (tedy na určité části těla – např. ruce) se pohybují na úrovni stanovených limitů. Takový stav není z hlediska dlouhodobé perspektivy žádoucí a akceptovatelný. Přestože limity nejsou překročeny, snahou radiační ochrany je snižovat ozáření osob hluboko pod

stanovené limity s pomocí optimalizace. Je ovšem poměrně obtížné poučovat lékaře – specialistu tzv. „od stolu“, jak by měl pracovat a z jeho pohledu mu komplikovat, ne-li bránit, v jeho již tak nelehké práci. SÚJB proto vypsál v roce 2010 projekt, který je zaměřen

na hledání způsobů, jak lze v intervenční radiologii a pro některá specifická vyšetření snižovat dávky lékařů a potažmo i pacientů, neboť toto jsou vždy spojené nádoby. Řešitelé úzce spolupracují s lékaři na vybraných pracovištích a své výsledky v podobě návrhů optimálních postupů ověřují pilotně v praxi. Volíme cestu diskuse a hledání společného řešení. Restrikce necht zůstanou jako krajní řešení v případě, že ani navržené a ověřené způsoby nebudou ze strany držitelů povolení respektovány a aplikovány. Dalším krokem ze strany SÚJB budou diskuse inspektorů s lékaři, ať už na pracovištích nebo na seminářích a pracovních setkáních. Snahou bude seznámit co největší počet dotčených lékařů s výsledky projektu, přesvědčit je ke spolupráci a v následujícím období vyhodnotit zpětnou vazbu tak, aby se doporučené postupy pro tuto specifická vyšetření nebo intervence mohly být stát závaznými, např. ve formě národního radiologického standardu. Doufáme, že se v nejbližších letech tento přístup projeví i ve významném snížení osobních dávek lékařů-kardiologů či intervenčních radiologů a že budeme moci v některém z dalších čísel bulletinu Rentgen tento pozitivní trend na výsledcích osobní dozimetrie dokumentovat.

Osobní dozimetrie



K profesnímu ozáření osob pracujících ve zdravotnictví dochází převážně ze zdrojů rentgenového záření, lineárních urychlovačů elektronů a radionuklidových zářičů používaných v diagnostice i terapii. Osobní dozimetrie je jedním z nejdůležitějších nástrojů pro limitování ozáření pracovníků se zdroji ionizujícího záření. Hlavním cílem osobní dozimetrie je kontrola dávek radiačních pracovníků vzhledem ke stanoveným limitům.

Ing. Daniela Ekdahl, SÚRO, v.v.i.

intervalech (obvykle 1 měsíc) centrálně vyhodnocovány službami osobní dozimetrie..

Typy osobních dozimetrů

Celosvětově nejpoužívanějšími osobními dozimetry jsou termoluminiscenční (TL) dozimetry. Tyto dozimetry lze navrhnout podle konkrétních potřeb a podmínek daného pracoviště. Mohou být koncipovány buď

Veličiny a limity

Základními veličinami radiační ochrany, v kterých jsou udány limity pro radiační pracovníky, jsou **efektivní dávka** a **ekvivalentní dávka**. Efektivní dávka umožňuje hodnocení zdravotní újmy ve vztahu ke stochastickým účinkům záření, tj. bezprahovým účinkům, jejichž pravděpodobnost stoupá s rostoucí dávkou (např. karcinogeneze, leukemogeneze). Ve vztahu k deterministickým účinkům, ke kterým dochází po překročení prahové dávky s intenzitou závislou na velikosti dávky (např. erytém, katarakta), byla zavedena veličina ekvivalentní dávka pro konkrétní orgán nebo tkáň.

V legislativě ČR jsou zavedeny limity pro veličiny efektivní dávka (úvazek efektivní dávky v případě vnitřního ozáření), ekvivalentní dávka v oční čočce, ekvivalentní dávka v 1 cm² kůže a na končetinách. K jejich konzervativnímu odhadu byla na základě určitých modelových předpokladů zavedena **operační veličina osobní dávkový ekvivalent H_p(d)**, což je dávkový ekvivalent v daném bodě pod povrchem těla v měkké tkáni v hloubce d (mm). Pro tuto veličinu, kterou lze měřit, byly zavedeny odvozené limity pro radiační pracovníky. Pokud nejsou překroče-

Veličiny osobní dozimetrie a odvozené limity

Základní veličina	Operační veličina H _p (d)	Odvozený limit pro H _p (d)
Efektivní dávka	H _p (10)	20 mSv za kalendářní rok, resp. 100 mSv za 5 následujících let s maximem 50 mSv během 1 roku
Ekvivalentní dávka pro oční čočku	H _p (3)	150 mSv za kalendářní rok v legislativě ČR nezaveden, neboť jeho nepřekročení lze dostatečně přesně hodnotit pomocí H _p (10) a H _p (0.07)
Ekvivalentní dávka v 1 cm ² kůže, ekvivalentní dávka na ruce od prstů až po předloktí a na nohy od chodidel až po kotníky	H _p (0.07)	500 mSv za kalendářní rok

ny tyto odvozené limity, nejsou překročeny ani stanovené limity základních veličin.

V tabulce jsou shrnuty veličiny osobní dozimetrie spolu s odpovídajícími odvozenými limity.

Měření osobních dávkových ekvivalentů pro hodnocení vnějšího ozáření se provádí pomocí **osobních dozimetrů**, které pracovníci nosí během všech prací s ionizujícím zářením a při pobytu v kontrolovaném pásmu. Tyto dozimetry jsou ve stanovených časových

jako komplexní celotělové dozimetry měřící H_p(10), H_p(3) i H_p(0.07) nebo jako různé jednodušší dozimetry podávající informaci o vybrané veličině H_p(d) v daném místě lidského těla. V České republice jsou však nejvíce rozšířeny filmové dozimetry a v posledních několika letech se uplatňují i dozimetry na principu opticky stimulované luminescence (OSL) a elektronické dozimetry s přímým odečtem. Jaký je princip a specifiky těchto dozimetrů?

(Pokračování na straně 4)

TL a OSL osobní dozimetry

Tyto dozimetry obsahují detektory z krystalické látky, která vykazuje radiačně podmíněné luminiscenční vlastnosti. V případě TL je na výběr z několika vhodných krystalických látek, např. LiF:Mg,Ti, LiF:Mg,Cu,P, CaSO₄:Dy, CaF₂:Mn, v případě OSL je k dispozici pouze Al₂O₃:C. Pro dozimetrii má význam, že tyto materiály mají určitou schopnost zakonzervování energie ionizujícího záření. Ozáříme-li takový materiál, dojde k ionizaci, a tedy přeskupení nosičů náboje v rámci energetických hladin v krystalu. Elektrony mohou být zachyceny v tzv. záchytných centrech, kde setrvávají tak dlouho, dokud nezískají dodatečnou energii k úniku. V případě TL je tato energie dodána zvenčí formou vyhřátí materiálu, v případě OSL osvětlením materiálu. Vyhodnocení dozimetru spočívá v řízeném vyhřátí, respektive osvětlení, detektorů spojeném s kvantitativním zachycením uvolněného světla a jeho následným přepočtem na H_p(d). Důležitou součástí osobního dozimetru jsou filtry z různých materiálů, které jsou zabudovány ve vnější kazetě a jsou voleny tak,

ho signálu (obr. 2). Minimální detekovatelná úroveň (MDL) těchto TL dozimetrů je 0,02 mSv.

Filmové dozimetry

Základem filmového dozimetru je fotografická emulze, v níž při ozáření vzniká latentní obraz, který se vyvoláním zviditelní. Míra zčernání filmu, resp. změny propustnosti emulze, je úměrná dávce ionizujícího záření. Vyhodnocení filmu spočívá v měření optické hustoty a jejím následném přepočtu na dozimetrickou veličinu. Podobně jako v případě luminiscenčních detektorů je film uložen v kazetě s filtry optimalizovanými pro stanovení H_p(d). Vystavení ozářeného filmu dennímu světlu před jeho zpracováním vede ke ztrátě dozimetrické informace. Další nevýhodou oproti TLD je delší a náročnější laboratorní zpracování.

Elektronické osobní dozimetry s přímým odečtem

Většina současných elektronických osobních dozimetrů pracuje na principu křemíkové diody. Zatímco luminiscenční a filmové dozimetry poskytují informace o dávce retro-

Aktuální téma osobní dozimetrie PROBLEMATIKA DÁVKY NA OČNÍ ČOČKU

Až dosud se předpokládalo, že katarakta oční čočky je deterministický účinek ionizujícího záření spojený s prahovou dávkou 0,5 Gy. Některé novější epidemiologické studie však naznačují, že se katarakta může pozvolna rozvíjet již pro podstatně nižší hodnoty dávek. V důsledku těchto zjištění bylo nedávno organizací ICRP (International Commission on Radiological Protection) vydáno doporučení, aby byl výrazně snížen limit pro oční čočku, a to z dosavadních 150 mSv na 20 mSv za kalendářní rok. Je známo, že nejvýznamnější skupinou radiačních pracovníků, u kterých by v podmínkách běžné praxe mohlo docházet k překračování navrhovaného limitu 20 mSv, jsou především pracovníci v intervenční kardiologii a pracovníci provádějící některé specifické aplikace nukleární medicíny (například radionuklidová synovektomie). Postupy používané v rámci současné praxe osobní dozimetrie však nemusí být dostatečné z hlediska možností co nejpresnějšího monitorování dávky v oční čočce, pokud by došlo k tak výraznému snížení limitu. V některých zemích již proběhly nebo probíhají pilotní studie, v jejichž rámci byly analyzovány možnosti stanovení těchto dávek v praxi, dále byly zmapovány typické dávky na oční čočku a zároveň je diskutována opodstatněnost zavedení nového limitu. Například ve Velké Británii bylo zjištěno, že v případě intervenční kardiologie se typické dávky na oční čočku pohybují od 10 do 90 μSv na jednu proceduru, nicméně byly zaznamenány i případy dávek až 400 μSv. Takto vysoké dávky jsou spojeny s případy, kdy pracovníci nepoužívají žádné ochranné pomůcky. Bylo konstatováno, že důsledkem zavedení nového limitu by bylo omezení množství procedur prováděných jednotlivými lékaři na 15 až 20 měsíčně. Lékařům v intervenční kardiologii lze tedy každopádně zatím doporučit používání ochranných pomůcek. Bylo zjištěno, že dobře padnoucí ochranné brýle mohou snížit dávku na oční čočku 3 až 8 krát. Ke snížení dávky faktorem 1,5 až 4 může přispět i stropní závěsné stínění. Problematika stanovení dávky na oční čočku tedy v současné době představuje velmi aktuální odborné téma, které je řešeno i v České republice.

Ing. Daniela Ekenhdahl, SÚRO, v.v.i



aby umožňovaly optimální měření veličiny H_p(d), případně i analýzu spektra dopadajícího záření. Vlastnosti TL a OSL dozimetrů jsou ve většině parametrů obdobné, avšak praktickou nevýhodou OSL dozimetrů je jejich citlivost na světlo. Vystavení detektorů Al₂O₃:C dennímu světlu před jejich vyhodnocením vede k nevratné ztrátě dozimetrické informace.

Jako příklad je zobrazen systém osobní TL dozimetrie používaný ve Státním ústavu radiační ochrany v. v. i., jehož dozimetrická služba má statut akreditovaného laboratoře.

Na obr. 1 jsou části osobního dozimetru. Do hliníkové karty jsou zabudovány čtyři detektory typu LiF:Mg,Cu,P. Tato karta se vkládá do plastové kazety s filtry z různých materiálů (měď, plast, mylar, cín). Dozimetr je optimalizován pro měření veličin H_p(10), H_p(3) i H_p(0,07). K měření dozimetrů se používá automatická čtečka umožňující řízenou termální stimulaci a záznam světelné-

spektivně, elektronické dozimetry poskytují průběžně aktuální informaci o dávce včetně možnosti nastavení alarmu při překročení nastavené úrovně. Díky této výhodě se elektronické dozimetry uplatňují především jako doplňkové operativní dozimetry na pracovištích, kde příkon dávkového ekvivalentu může překročit 1 mSv/h. Nevýhodou těchto dozimetrů naproti tomu je závislost na bateriích, vyšší pořizovací cena, horší přesnost měření při nízkých dávkových příkonech a dále fakt, že jejich odezva může být ovlivněna vysokofrekvenčním elektromagnetickým polem.

SDĚLENÍ REDAKCE

Více informací získáte:

- v českém jazyce na stránkách <http://www.sujb.cz>, <http://www.suro.cz>
- v anglickém jazyce: <http://rpap.iaea.org>