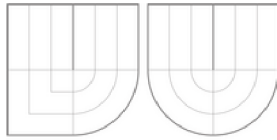


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ÚSTAV PROCESNÍHO A EKOLOGICKÉHO  
INŽENÝRSTVÍ



FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF PROCESS AND ENVIRONMENTAL  
ENGINEERING

## RADIOAKTIVNÍ ODPAD V NEMOCNIČNÍCH ZAŘÍZENÍCH

RADIOACTIVE WASTE IN HOSPITAL FACILITIES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE:  
AUTHOR

Antonín Bradáč

VEDOUCÍ PRÁCE:  
SUPERVISOR

Ing. Andrea Tabasová, Ph.D.

BRNO 2013

---

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav procesního a ekologického inženýrství

Akademický rok: 2012/13

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

student(ka): Antonín Bradáč

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

### **Radioaktivní odpad v nemocničních zařízeních**

v anglickém jazyce:

#### **Radioactive Waste in Hospital Facilities**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Práce je věnována radioaktivnímu odpadu, který vzniká mimo jadernou energetiku i v nemocničních zařízeních. Je zaměřena na vybraná nemocniční zařízení, produkci radioaktivního záření na vybraných odděleních, analýzu způsobu nakládání s tímto odpadem, potřebnost zaškolení personálu nakládajícím s tímto odpadem a návrh dalších možností zlepšení využití radioaktivního odpadu.

Cíle bakalářské práce:

1. Přehled historického využití radioaktivního záření ve zdravotnictví, účinky radioaktivního záření na lidský organizmus.
2. Produkce radioaktivního odpadu v nemocničních zařízeních (kde vzniká a v jakém množství), odbornost obsluhy.
3. Analýza současných způsobů nakládání s radioaktivním odpadem na vybraných odděleních a další možnosti využití radioaktivního odpadu.

---

Seznam odborné literatury:

1. ALEXANDRE, E.; BAKER, R.; KOHOUT, R.; MAREK, J. 1993. Low and Intermediate Level Radioactive Waste Management. In Volume 1 Proceedings of the International Conference of Nuclear Waste Management and Environmental Remediation. 1993, ISBN: 0-7918-0691-X.
2. AHLSTROEM, P.-E.; CHAPMAN, C. C.; KOHOUT, R.; MAREK, J. 1993. High Level Radioactive Waste and Spent Fuel Management. In Volume 2 Proceedings of the International Conference of Nuclear Waste Management and Environmental Remediation. 1993, ISBN: 0-7918-0691-X.
3. BASCHWITZ, R.; KOHOUT, R.; MAREK, J.; RICHTER, P. I.; SLATE, S. C. 1993. Environmental Remediation and Environmental Management Issues. In Volume 3 Proceedings of the International Conference of Nuclear Waste Management and Environmental Remediation. 1993, ISBN: 0-7918-0691-X.
4. Kizlink, J. 2007. Nakládání s odpady 2007. ISBN: 978-214-3348-9.
5. Interní předpisy nemocničních zařízení.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Andrea Tabasová, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2012/13.

V Brně, dne 24.10.2012



prof. Ing. Petr Stehlík, CSc.  
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.  
Děkan

---

## **ABSTRAKT**

Bakalářská práce je zaměřena na málo známou problematiku institucionálního odpadu produkovaného nemocničními zařízeními, jeho vzniku, shromažďování a následné likvidace. V práci je uvedeno základní rozdělení těchto odpadů z různých hledisek, především dle charakteristických vlastností a jejich následném využití při jeho efektivní eliminaci. Práce se zabývá nejen touto otázkou, ale snaží se přiblížit i veškeré negativní dopady ionizujícího záření na lidský organismus nejenom v současném měřítku radiační ochrany, ale i z hlediska historického vývoje různých záříčů a práce s nimi, zejména ve spojení s užíváním ionizujícího záření v běžné lidské činnosti, ale i prostřednictvím výčtu jaderných havárií.

Praktická část bakalářské práce porovnává 3 typy nemocničních zařízení především na základě osobního setkání s vedoucími jednotlivých pracovišť zabývajících se nakládáním s institucionálním odpadem a materiály získanými jejich návštěvou. Konkrétně se jedná o nemocnici Atlas a Krajskou nemocnici Tomáše Bati (obě ve Zlíně) a specializované pracoviště Masarykova onkologického ústavu v Brně.

## **KLÍČOVÉ SLOVA**

Institucionální odpad, nukleární medicína, radioaktivita, ionizující záření, biologické účinky, radiační ochrana, nakládání s odpadem.

## **ABSTRACT**

The thesis is focused on a little-known issue of institutional waste produced by hospitals, the creation, collection and subsequent disposal. This thesis described the distribution of waste from various aspects, especially the characteristics and their subsequent use in the effective elimination. This thesis deals with not only this issue, but trying to get closer to negative impact of ionizing radiation on the human body, not only in the current level of radiation protection, but also in terms of the historical development of different sources and work with them, especially in connection with the use of ionizing radiation in normal human activity but also through the list of nuclear accidents.

The practical part of this thesis compares the three types of hospitals primarily on the basis of a personal meeting with the heads of various departments involved in the management of institutional waste, and materials derived their visit. Specifically, the hospital Atlas and Tomas Bata Regional Hospital (both situated in Zlin) and specialized workplace Masaryk cancer institute in Brno.

## **KEYWORDS**

Institutional waste, nuclear medicine, radioactivity, ionizing radiation, biological effects, radiation protection, waste management.

---

## **Bibliografická citace:**

BRADÁČ, A. Radioaktivní odpad v nemocničních zařízeních. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013. 62 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Andrea Tabasová, Ph.D.

---

## ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Radioaktivní odpad v nemocničních zařízeních, jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. Díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne: **24. 5. 2013**

.....  
podpis autora

---

## PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucí bakalářské práce Ing. Andrey Tabasové, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

V Brně dne: **24. 5. 2013**

.....  
podpis autora

---

# OBSAH

<b>1. Úvod</b> .....	<b>10</b>
<b>2. Základní pojmy a definice</b> .....	<b>12</b>
<b>3. Jaderné havárie</b> .....	<b>15</b>
<b>4. Účinky radioaktivního záření na lidský organizmus</b> .....	<b>17</b>
4.1 Přehled veličin a jednotek ionizujícího záření.....	17
4.2 Biologické účinky ionizujícího záření .....	18
4.3 Deterministické účinky.....	20
4.4 Stochastické účinky .....	20
4.5 Aktivní prvky radiační ochrany.....	21
<b>5. Přístroje využívající ionizující záření</b> .....	<b>24</b>
5.1 Rozdělení zdrojů ionizujícího záření.....	24
5.2 Kategorizace pracovišť.....	24
<b>6. Jaderný a institucionální odpad</b> .....	<b>26</b>
6.1 Klasifikace jaderného odpadu .....	26
6.2 Poločas rozpadu.....	28
6.3 Radioaktivní prvky používané ve zdravotnictví.....	28
6.4 Nakládání s institucionálním radioaktivním odpadem .....	29
6.5 Evidence a doprava institucionálního radioaktivního odpadu.....	31
<b>7. Nemocnice Atlas Zlín</b> .....	<b>33</b>
7.1 Základní popis nemocnice.....	33
7.2 Přístroje pracující se zdroji ionizujícího záření .....	33
7.2.1 Skiografie .....	33
7.2.2 Skioskopie.....	34
7.2.3 Mamografie .....	34
7.2.4 Operativní C rameno .....	35
7.3 Nakládání s institucionálním radioaktivním odpadem .....	35
7.4 Nároky na zaměstnance pracující s ionizujícím zářením .....	36
<b>8. Krajská nemocnice Tomáše Bati</b> .....	<b>38</b>
8.1 Základní popis nemocnice.....	38
8.2 Oddělení nukleární medicíny.....	38
8.3 Nakládání s institucionálním radioaktivním odpadem .....	38
<b>9. Masarykův onkologický ústav</b> .....	<b>44</b>
9.1 Základní popis nemocnice.....	44



---

9.2 Nakládání s institucionálním radioaktivním odpadem .....	44
<b>10. Zajímavosti z oblasti radioaktivních výrobků .....</b>	<b>47</b>
10.1 Medicínské aplikace .....	47
10.2 Obuvnický průmysl .....	47
10.3 Kosmetické doplňky.....	48
<b>11. Závěr.....</b>	<b>49</b>
<b>12. Seznam použité literatury .....</b>	<b>51</b>
<b>13. Seznam použitých zkratk.....</b>	<b>53</b>
<b>14. Seznam použitých veličin.....</b>	<b>53</b>
<b>15. Seznam obrázků .....</b>	<b>54</b>
<b>16. Seznam tabulek .....</b>	<b>55</b>
<b>17. Seznam příloh.....</b>	<b>55</b>

---

# 1. Úvod

Jádro, jaderná energie, havárie nezměrného rozsahu, nemocní a umírající lidé, zdevastované životní prostředí. Tyto a mnohé další pojmy dnes slyšíme především v souvislosti s výrobou energie v jaderných elektrárnách a s provozy přímo manipulujícími s radioaktivními materiály. Radioaktivita je skutečně tichým a mocným zabijákem, nicméně, je potřeba se opravdu obávat nejhoršího? Mohou nepříznivé a mnohdy i smrtelné vlivy ionizujícího záření správně aplikovaným postupem pomáhat?

Přesně na tuto otázku našel jako první před více než 115 lety (konkrétně 8. listopadu 1895 na univerzitě ve Würzburgu) odpověď německý fyzik Wilhelm Conrad Röntgen, když experimentoval s katodovou trubicí (později označovanou jako „Rentgenka“), kterou obalil černým papírem, aby ho při pozorování světelných jevů vyvolaných katodovými paprsky vystupujícími z trubice tenkým hliníkovým okénkem nerušilo světlo výboje. Podíváme-li se zpět do historie, zjistíme, že mnoho převratných objevů dnešní doby je doprovázeno velkou mírou náhody (mikrovlnná trouba, bramborové chipsy, penicilin apod.). A jinak tomu nebylo i v případě Röntgena. Přestože neprůsvitný černý kus papíru nemohl žádné viditelné ani ultrafialové záření z výbojky emitovat, krystalky platnatokyanidu barnatého, ležícího na experimentátorově stole, se ve tmě laboratoře rozzářily. V místě dopadu urychlených elektronových částic na anodu se začala vyzařovat tepelná energie (asi 99% výsledné kinetické energie elektronů) a jen nepatrné množství energie fotonů, prozatím neznámého záření. Röntgen svůj objev pojmenoval „paprsky X“ a položil tak základy moderní lékařské medicíny nazývané Radiologie [1].

V současnosti se pro práci s ionizujícím zářením používá moderní pojem *Nukleární medicína*. Jedná se o obor, zabývající se diagnostikou a léčbou pomocí otevřených radioaktivních zářičů aplikovaných do organismu. Toto odvětví stále upevňuje svoji přední pozici na poli medicíny a stává se z něho jeden z nejvýznamnějších lékařských oborů dnešní doby. Mnoho let již uplynulo od objevu prvních rentgenových paprsků, díky nimž se mohla v medicíně rozvíjet široká škála léčebných postupů, které dnes a denně zachraňují mnoho lidských životů díky včasné diagnostice problému nebo samotným zásahem do organismu.

Z hlediska níže uvedených statistických údajů musím v první řadě poukázat na významný fakt, že každá hodnota reprezentuje konkrétního člověka. Nejedná se tedy o pouhé číslo, které navíc svou důležitostí v porovnání s celosvětovým obyvatelstvem hraje pramalou roli v populační sféře! Ze souhrnné statistiky Worldometers [2] vyplývá, že k dnešnímu dni na následky rakoviny (7. listopad 2012) zemřelo 7 004 857 lidí a každé 3,5 vteřiny přibývají další a další. Nukleární medicína dnes umožňuje naprosto vyléčit přes 33% všech případů rakoviny a ostatním dokáže prodloužit život a zpříjemnit průběh nemoci. Zemře-li na rakovinu ročně 8 194 615 lidí, tak právě dalších 2 704 000 je díky příznivým účinkům ionizujícímu záření zachráněno.

Z tohoto důvodu jsem si jako téma své bakalářské práce zvolil problematiku institucionálního radioaktivního odpadu, který vzniká při léčbě pomocí ionizujícího záření a radioterapie v nemocničních zařízeních. Cílem první části mé bakalářské práce je zmapovat všechny způsoby využívání ionizujícího záření ve zdravotnictví, analyzovat interakci živých tkání s dopadajícími částicemi ionizujícího záření (účinky radioaktivního záření na jednotlivé orgány) a podrobně rozebrat postupy a bezpečnostní nařízení pro pracovníka s jaderným materiálem v souvislosti s platnými mezinárodními směrnici.

Ve druhé části jsem se zaměřil na porovnání tří nemocničních zařízení v nakládání s institucionálním odpadem, z nichž první bude malá soukromá privatizovaná nemocnice

---

Atlas ve Zlíně, druhá Krajská nemocnice Tomáše Bati s větším počtem oddělení a zaměstnanců a třetím zařízením bude specializovaný Masarykův onkologický ústav, který vzdělává mladé lékaře v nejmodernějších lékařských postupech na nejnovějších přístrojích.

Závěrem bych si dovolil zmínit citát Ernesta Rutherforda, držitele Nobelovy ceny za chemii, který navrhl koncept poločasu rozpadu a definoval základní druhy záření. V originálním znění: “When we have found how the nucleus of atoms is built up we shall have found the greatest secret of all — except life,” tedy „Když jsme objevili, jak je jádro atomů stavěné, můžeme nalézt největší tajemství všeho – s výjimkou života.“ Zde bych si dovolil mírně oponovat. Základní prioritou života je zdraví a dnes, díky práci všech, kteří se podíleli na rozvoji nukleární medicíny, přežívá mnoho stovek pacientů. A právě s moderním rozvojem radiologie by si pan Rutherford určitě rozmyslel svůj dovětek except life. Ale pozor! S velkou mocí přichází i velká zodpovědnost [3]!

---

## 2. Základní pojmy a definice

Současný stav nukleární medicíny je výsledkem série mnoha dílčích objevů, a proto je potřeba k úplnému pochopení všech principů porozumět základním pojmům zejména v oblasti kvantové fyziky a mechaniky a stavbě a chování elementárních částic.

*Atom – je základním stavebním kamenem veškerého známého světa kolem nás. Jeho vnitřní stavba se skládá z atomového jádra (neutrony a kladné protony), které drží pohromadě jaderná síla, a obalu ve kterém jsou umístěny záporně nabitě elektrony, které přitahuje k jádru elektrostatická síla [4].*

*Ionizace – je proces přeměny klidného, elektricky neutrálního atomu v nabitou částici [4].*

*Ionizující záření – označuje druhy záření (Alfa, Beta, Gamma), které způsobují při průchodu látkou ionizaci jejich atomů a molekul. Pro vyjádření energetické hodnoty záření používáme jednotku eV (elektronVolt), která není specifikována základní fyzikální soustavou jednotek SI. Existuje jednoduchý přepočítání na Joulovu energii dle vztahu  $1\text{ eV}=1,602 \times 10^{-19}\text{ J}$  [5].*

### **Základní pojmy a definice z medicínské aplikace různých forem ionizujícího záření na člověka:**

*Diagnostika – do postiženého organismu jsou aplikovány kontrastní látky s vhodným lékařským radioizotopem. Rozhodujícím kritériem pro diagnostiku problému je stupeň jejich absorpce různými tkáněmi a orgány (diferenciál pohlcení látky orgánem za určitý čas) [6].*

*Radiofarmaka – do organismu je aplikován přípravek, který obsahuje jeden nebo více radionuklidů (radioaktivních izotopů) včleněných speciálně pro lékařské účely. Účinek přípravku je omezen pouze na lokální postižené místo [7].*

*Radioterapie – zhoubné nádory se ozařují externími zdroji ionizujícího záření. Používá se buď několik nepohyblivých zdrojů (paprsky z nich jsou soustředěny do místa nádoru), nebo jednoho zdroje pohybujícího se po kružnici (ozařovaný nádor je ve středu této kružnice) [6].*

*Radiochirurgie – jak už napovídá název, jedná se o různé chirurgické zákroky (konkrétně například operace mozku). Využívá se zde pronikavého záření. Znamý Leksellův gama nůž má v hlavici zabudováno 201 zářičů, jejichž paprsky jsou soustředěny do operovaného místa [6].*

*Balneologie – jsou mírně přirozeně radioaktivní léčivé zdroje, které se používají v místě výskytu pod lékařským dohledem. Prostředkem balneologické terapie může být minerální voda, zředěný plyn (oxid uhličitý), tzv. peloidy (rašeliny, slatiny, bahna) a přirozené klima (přírodní pozadí v místě výskytu). Asi nejznámější české balneologické středisko s dlouholetou tradicí leží v lázních Jáchymov, kde se léčí převážně nemoci pohybového ústrojí [8].*

*Sterilizace materiálu – ionizující záření se používá pro likvidaci choroboplodných zárodků z nástrojů např. před operačním zákrokem (odpadá zde nutnost zahřívání nástroj na vysokou teplotu). Dalším možným využitím sterilizace materiálu je získání sterilní stravy, zejména důležité pro pacienty s omezenou funkcí imunitního systému, kde může každá nežádoucí příměs smrtelně ohrozit zdraví člověka [6].*

## Legislativa

Zákon č. 18/1997 Sb., o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření (atomový zákon) a o změně a doplnění některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů: komplexní legislativa aplikace jaderné energie a ionizujícího záření. Tento zákon definuje:

- minimální požadavky na osobu vykonávající činnost s tímto zařízením,
- formuluje podmínky při využívání jaderné energie a ionizujícího záření,
- předepisuje bezpečné nakládání s radioaktivním odpadem,
- nařizuje přesné nouzové postupy v případě zvláštní jaderné události,
- určuje práva a povinnosti státních kontrolních a dozorcích orgánů [9].

## Definice radioaktivního odpadu

Radioaktivní odpad – je definován jako odpadní látka, předmět a zařízení, které vlastník již dále nemůže využívat, a v nich obsažené radionuklidy překračují hodnoty umožňující uvedení do životního prostředí a musí být tedy bezpečně uložen v hlubinném uložišti přímo určeném ke skladování jaderného odpadu [9].

## Mezinárodní stupnice pro hodnocení jaderných havárií

INES – je mezinárodní stupnicí (*The International Nuclear Event Scale*) pro hodnocení jaderných událostí v osmi stupních rozsahu od běžné odchylky až po velmi těžkou havárii např. Černobylského rozsahu, po které byla Mezinárodní agenturou pro atomovou energii (MAAE) ustanovena [10].



Obrázek 1 – Mezinárodní stupnice pro hodnocení jaderných havárií INES [10]

---

## **Organizace**

*SÚJB (Státní úřad pro jadernou bezpečnost)* – vykonává státní správu a dozor při využívání jaderné energie a ionizujícího záření, v oblasti radiační ochrany a v oblasti jaderné, chemické a biologické ochrany [11].

*SURAO (Správa úložišť radioaktivních odpadů)* – je institucí, která zajišťuje bezpečné ukládání radioaktivních odpadů v souladu s požadavky na ochranu člověka i životního prostředí před jejich negativními účinky [12].

---

### 3. Jaderné havárie

Havárie jakéhokoli rozsahu, obzvláště jedná-li se o pracoviště s ionizujícím zářením, představují značný společenský problém, který může vést k degradaci oboru. Ve spojitosti s masovou celosvětovou medializací (příkladem je havárie v jaderné elektrárně Fukušima Daiichi) vedou k úplnému zániku sektoru, jak jsme byli toho svědky v Německu v souvislosti s odstavením všech jeho 18 jaderných elektráren. Nicméně, každá z havárií má za následek i integraci nových bezpečnostních prvků. Tento způsob vývoje událostí je přirozeným rozvojem charakteristickým pro lidskou společnost. Od dob, kdy bratři Wrightové poprvé vzletli s vůbec prvním reálným prototypem letadla, minulo už mnoho leteckých katastrof. Dnes se ovšem díky systematické práci mnoha lidí můžeme proletět největším letadlem světa (Airbus A-380) s pocitem naprostého bezpečí. V následujícím textu uvádím stručný výčet jaderných havárií způsobených nedbalostí, selháním lidského faktoru a novým uvědoměním nad stávajícími bezpečnostními předpisy až do dnešní podoby.

#### **Turecko, Ankara, 1993**

3 nepoužívané zdroje radioaktivního  $^{60}\text{Co}$  byly zabaleny na zpětný vývoz do USA. Nebyly však exportovány okamžitě. 2 balíčky byly převezeny do Istanbulu a uloženy v nestřeženém prostoru. Nový majitel nepopsané balíčky objevil a prodal je 2 bratrům, kteří je vzali domů a začali odstraňovat ochranný kryt. V konečné fázi bylo hospitalizováno 18 lidí s radiačním syndromem. Úřadům se nakonec povedlo nalézt jen jeden ze dvou zdrojů.

#### **Francie/China, 2000**

Pracovník vycházející ze svého pracoviště v jaderné elektrárně ve Francii byl zachycen sérií detekčních měření při pravidelné výstupní kontrole. Na jeho hodinkách byly nalezeny stopy radioaktivního Cobaltu. Tato informace zdiskreditovala věrohodnost a zabezpečení jaderných elektráren. Později se zjistilo, že hodinky byly dovezeny z Hong - Kongu a samotný zdroj byl následně lokalizován v malé čínské továrně, která dodávala ocel na hodinky. Zařízení pro radioterapii rakoviny bylo v rámci recyklace přetaveno na šrot. Hodinky byly na prodej po celém světě.

#### **Thajsko, 2000**

Jedná se o podobnou havárii jako v Turecku v roce 1993. 10 lidí bylo hospitalizováno, 3 zemřeli na následky ozáření. Celkově se odhaduje, že bylo ozářeno 1870 lidí a thajské ministerstvo zdravotnictví nařídilo neustále sledovat 258 z nich [13].

#### **Goiânia, 1985**

Radioterapeutická klinika „Institute Goiano de Radioterapia“ se stěhovala do nového modernějšího působiště, avšak ve staré budově zanechala jednotku  $^{137}\text{Cs}$  užívanou k teleterapii. Dva lidé se do zapomenuté budovy vloupali a získali z ní zdroj velmi nebezpečného záření, který doma začali rozebírat. Výsledkem byli 4 mrtví lidé, 112 000 lidí vystavených radioaktivní kontaminaci a u 249 lidí byly významně překročeny dovolené hladiny radiace na jejich těle. Některé domy musely být zbourány. Veřejnost tuto událost klasifikovala jako nejhorší havárii v dějinách lidstva. IAEA ji kategorizovala jako světově nejhorší havárii [14].



**Obrázek 2 – Havárie Goiânia [14]**



## 4. Účinky radioaktivního záření na lidský organismus

S přihlédnutím k faktům zmíněným v kapitole 2, může konstatovat nenahraditelnost a širokospektrální využití ionizujícího záření v medicíně. Jedno je však jisté – všechno má své výhody a nevýhody. Pacient je vystaven účinkům ionizujícího záření jen po velmi krátkou dobu, nicméně obsluha provozující konkrétní zařízení je téměř denně po celou dobu své pracovní doby vystavena jeho účinkům. Mluvím-li o škodlivých dopadech ionizujícího záření, jedná se zde především o akutní radiační syndrom (nemoc z ozáření), který každopádně nepředstavuje jediný negativní průvodní jev. Jak tedy maximalizovat prospěšný účinek ionizujícího záření a zároveň omezit dlouhodobé nežádoucí účinky?

V následujícím textu popisují vlivy, které nemají za následek okamžitou smrt člověka, avšak v prvotní fázi narušují celistvost struktury molekuly DNA a v konečné fázi mohou vést až ke změnám genetické informace buňky.

### 4.1 Přehled veličin a jednotek ionizujícího záření

Hovořím-li o účincích ionizujícího záření na lidský organismus, musím nejprve definovat veličiny, které určují různé parametry (aktivita, poločas rozpadu, absorbovaná dávka atd.) dané radioaktivní látky nebo míru interakce s živou tkání. V následující tabulce uvádím výčet nejběžněji používaných veličin vztahených k jaderné fyzice a ionizujícímu záření, které jsou normalizovány dle ČSN ISO 31-9 a ČSN ISO 31-10 [15]. Norma obsahuje další veličiny, jako jsou např. Kerma, Dávkový příkon, Kermový příkon, Expozice X a Expoziční příkon X, každopádně nejedná se o běžně používané veličiny, a proto se jimi dále nebudu zabývat.

Tabulka 1 – Veličiny a jednotky charakterizující ionizující záření [15]

Veličina	Jednotka			Definice a vztahy
	Název	Značka	Rozměr	
<b>Aktivita</b> - charakterizuje množství radioaktivní látky	becquerel	Bq	$s^{-1}$	Podíl středního počtu samovolných radioaktivních přeměn za jednotku času
<b>Hmotnostní aktivita, měrná aktivita</b>	becquerel na kilogram	Bq/kg	$1/s \cdot kg$	Aktivita vztažená na celkovou hmotnost radioaktivní látky
<b>Objemová aktivita, hustota aktivity</b>	becquerel na krychlový metr	Bq/m <sup>3</sup>	$1/s \cdot m^3$	Aktivita vztažená na celkový objem radioaktivní látky

Tabulka 1 – Veličiny a jednotky charakterizující ionizující záření [15] – pokračování

Veličina	Jednotka			Definice a vztahy
	Název	Značka	Rozměr	
<b>Poločas přeměny</b> (rozpadu)	sekunda	$T_{1/2}$	s	Střední doba, za kterou dojde k přeměně poloviny atomů radionuklidu
<b>Absorbovaná dávka D</b>	gray	Gy	J/kg	Podíl střední energie ionizujícího záření předané látce
<b>Dávkový ekvivalent H</b>	sievert	Sv	J/kg	Součin absorbované dávky D v uvažovaném bodě tkáně a jakostního činitele Q, platí tedy $H=D*Q$ - Charakterizuje biologické účinky různých druhů záření
<p>Pozn. k jakostní veličině Q (lineárnímu přenosu energie), je dán vztahem <math>Q(LPE) = (dE \text{ (ztráta energie)} / dx \text{ (vzdálenost v látce)})</math> a vyjadřuje míru ztracené energie při průchodu jedním metrem látky (koeficient zahrnující vlastnosti daného prostředí, např. tkáň). Za předpokladu <math>Q = 1</math>, je absorbovaná látka zároveň dávkovým ekvivalentem.</p>				

## 4.2 Biologické účinky ionizujícího záření

Při vzájemném působení fotonů Gama (resp. Rentgenového záření) na živou tkáň, mohou nastat dva typy událostí v závislosti na míře interakce, která nastane mezi živou tkání a aktivní částicí [16]:

- bez absorpce,
- s absorpcí.

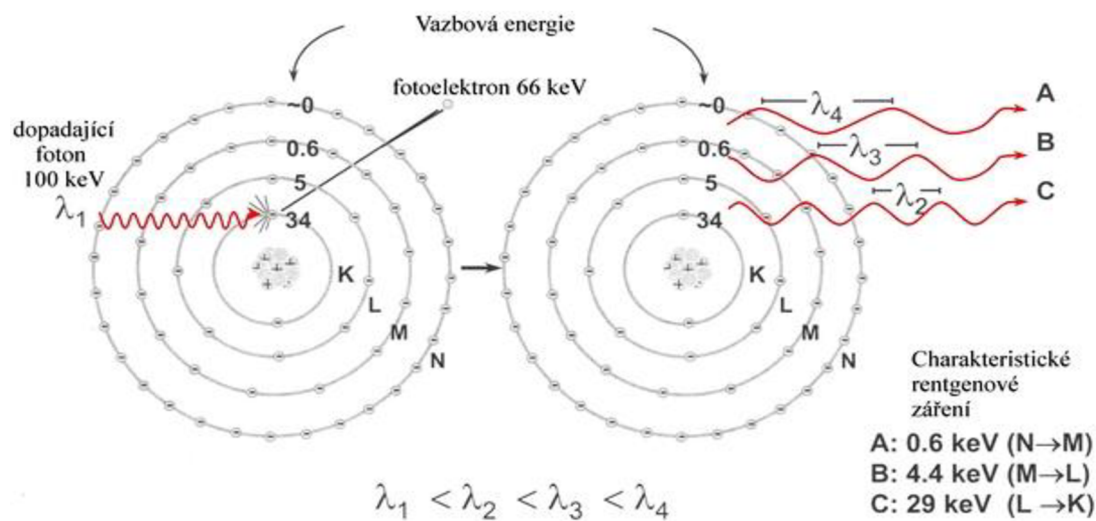
### Bez absorpce

Nejpříznivějším jevem je, když projdou částice živou tkání bez interakce, a tedy nezanechávají a nijak nenarušují strukturu molekuly DNA.

### S absorpcí

Částice jsou na své dráze zastaveny hmotou v prostředí a veškerou svou energii předají elektronům v atomovém obalu. Tento jev se nazývá „fotofekt.“

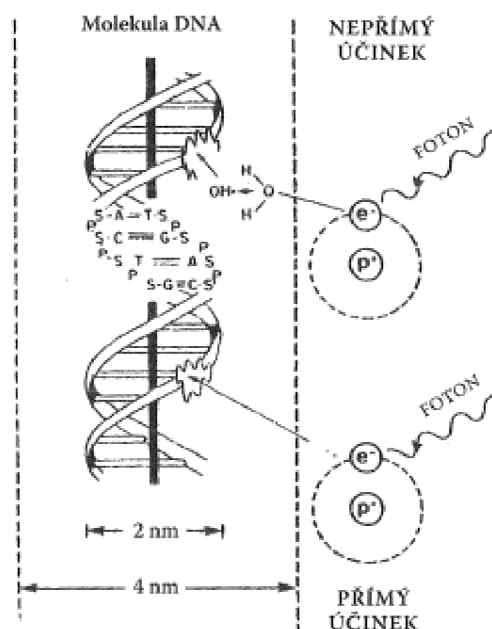
V důsledku výše zmíněného principu fotoefektu ztratí na své cestě jen část energie, zbytek záření putuje prostorem, dokud není zcela pohlceno (může tedy reagovat a ionizovat další tkáň v těle).



Obrázek 3 – Příklad fotoefektu [16]

Oba tyto jevy se dají fyzikálně vyjádřit pomocí veličiny s názvem *Absorbovaná dávka*, jejíž jednotkou je Joule na kilogram (tedy míra pohlcené energie na kilogram látky). V moderní medicíně se však používá jednotka 1 Gy (Gray), která je ekvivalencí Absorbované dávky.

Pro běžnou praxi je však tato jednotka příliš velká, proto se používají její zlomkové hodnoty (mili, mikro Gray).



Obrázek 4 – Vlivy ionizace na molekulu DNA [7]

Z obrázku 4 jsou patrné 2 hlavní rysy poškození molekuly DNA, Můžeme je rozdělit na:

- přímé poškození,
- nepřímé poškození.

---

## **Přímé poškození**

Ionizace proběhne přímo v molekule kyseliny deoxyribonukleové (resp. jiné molekule), naruší její souvislý řetězec a znehodnotí informaci.

## **Nepřímé poškození**

Při dopadu záření probíhá interakce za vzniku volných radikálů, které mění díky reakci chemické složení řetězce DNA.

Z předchozích dvou vlivů poškození DNA je patrné, že nepřímé dělení je z hlediska buněčné úrovně nebezpečnější. Pro organismus je jednoduché vyřadit mrtvý řetězec DNA, nicméně složitější zachytit poškozenou buňku s částečně změněnou genetickou informací. Jak dobře víme už od základní školy, buňky se dále dělí na další a další. Ovšem každá nová buňka přichází na svět s pozměněnou genetickou informací. Tento typ poškození je samozřejmě nežádoucí již na buněčné úrovni, nicméně může se dále šířit až k orgánům a organismu jako celku.

## **4.3 Deterministické účinky**

Tyto účinky nastávají bezprostředně po ozáření. Projevují se v krátkém časovém intervalu v závislosti na míře absorbované dávky. Popisují je tyto základní vlastnosti:

- iniciační dávkový práh deterministických účinků je rozdílný pro různé typy tkání,
- míra absorbované dávky je ekvivalencí míry poškození,
- s nízkou mírou poškození si tělo dokáže poradit, při vysokých expozičních dávkách je regenerační efekt nedostatečný a účinky získávají progresivní nárůst.

### **Projevy deterministických účinků [7]:**

- akutní nemoc z ozáření,
- akutní lokalizované postižení (práce se zářičem),
- katarakta (šedý zákal),
- potlačení krvetvorby (ztráta krevních destiček) atd.

## **4.4 Stochastické účinky**

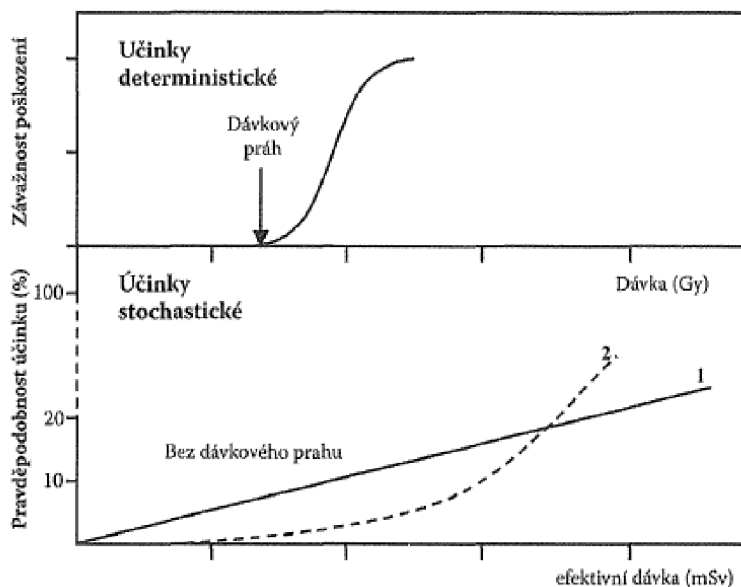
Mají charakter pravděpodobnostní veličiny a jejich účinky se projevují až po několika letech (někdy i po desítkách let) od doby expozice. Na rozdíl od deterministických účinků, které jsou absolutně nežádoucí při práci se zdroji ionizujícího záření, stochastické účinky nemůžeme plně vyloučit a hrají tedy významnou roli v současné radiační hygieně pracovníka s ionizujícím zářením. Charakter stochastických účinků:

- nemají iniciační práh (čím vyšší míra dlouhodobé absorbované dávky, tím vyšší pravděpodobnost výskytu),
- účinek opakovaných dávek je aditivní (má kumulativní charakter),
- nelze je předpovědět a zpětně diagnostikovat podnět, který je vyvolal.

## Projevy stochastických účinků [7]:

Projevy těchto účinků jsou různé vzhledem k dlouhodobým genetickým změnám způsobeným dlouhodobou expozicí ionizujícího záření. Převážně se jedná o vznik nádorového onemocnění.

Na *obrázku 5* uvádím grafické srovnání obou zmíněných nepříznivých vlivů.



Obrázek 5 – Srovnání deterministických a stochastických účinků [7]

**Deterministické účinky** – iniciační dávka není nulová, každopádně při překročení hraniční míry dávkového prahu nastává progresivní růst.

**Stochastické účinky** - lineární křivka (č. 1) uvádí současný koncept radiační ochrany dle platných směrnic. Exponenciální křivka (č. 2) popisuje koncept bez radiační ochrany (v dnešní rozvojové společnosti nepřijatelné).

## 4.5 Aktivní prvky radiační ochrany

Při uvážení stochastických a deterministických účinků je zřejmé, že jakákoli míra ionizujícího záření může představovat potenciální zdravotní riziko vzniku karcinomu. Prakticky všechny odborné literatury, zabývající se problematikou radiační ochrany, uvádějí na prvních stránkách svých obsáhlých a propracovaných textů 2 základní principy:

- princip zdůvodnění,
- princip optimalizace.

Princip zdůvodnění říká, že ozáření nesmí být praktikováno, pakliže z něj neplyne ekvivalentní prospěch pro člověka nebo společnost a princip optimalizace uvádí, že výše dávek by měla být na nejnížší možné hranici v rámci transparentnosti vyšetření. Formulace těchto principů nejlépe vymezuje první a nejdůležitější pravidlo v rámci radiační ochrany. Podstata dalších předpisů vychází z aktivních prvků radiační ochrany uvedených v *následující tabulce*.

**Tabulka 2 – Způsoby ochrany před ionizujícím zářením**

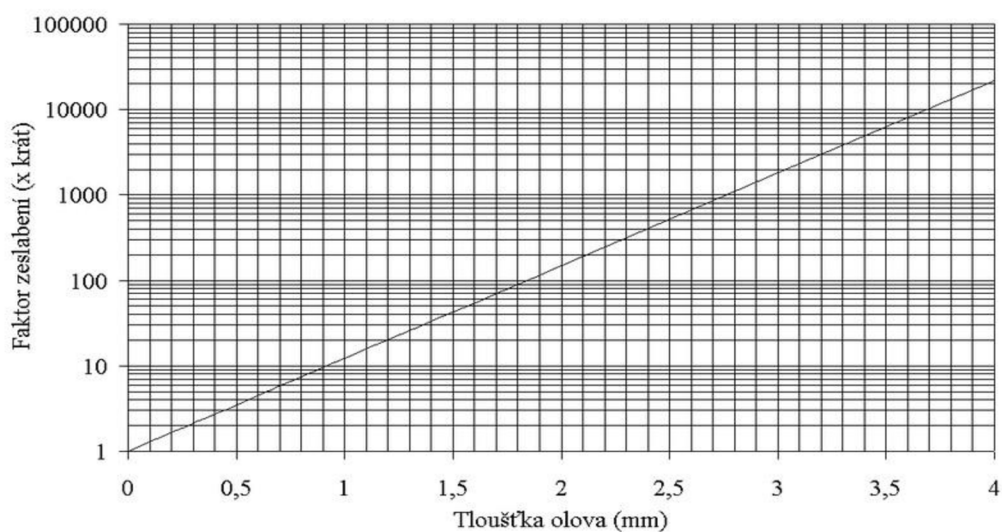
<b>Faktory a prostředky ochrany</b>	<b>Popis</b>	<b>Reálná aplikace</b>
Čas	Míra poškození buňky závisí na délce expozice	Nezbytná doba potřebná k provedení vyšetření, střídání pracovníků
Vzdálenost	Intenzita účinku ionizujícího záření klesá s druhou mocninou vzdálenosti od zdroje	Dálkové řídicí systémy
Stínění	Absorpce ionizujícího záření vhodně zvoleným materiálem	Olovo, Beton, Baryt
Vhodně zvolený režim	Aktivace ionizujícího záření v určitých intervalech při vyšetření v reálném čase	Pulsační režim
Speciální technicko-fyzikální úsek	Odborný pracovník, který se stará o technické zázemí a bezpečnost práce	Specializované pracoviště
Dozimetry	Indikace množství dopadajícího ionizujícího záření na lidský organismus	Osobní a prstové dozimetry
Informační tabulky	Důkladné značení zamezí neoprávněné a nedbalé manipulaci se zdroji ionizujícího záření	Přehledné a čitelné tabulky na důležitých a nebezpečných místech
Monitorování pracoviště-sledovaná a kontrolovaná pásma	Vymezení prostoru s omezeným pohybem nekvalifikovaných osob a neustálým monitorováním radiační aktivity	Gamakamera, Dozimetry
Speciální oděvy	Oblečení z absorpčního materiálu pro odstínění záření	Olověné vesty
Důkladné odvětrání	Omezení vlivu přírodního radioaktivního Radonu ve vzduchu	Systém ventilace
Kvalifikace obsluhy	Pravidelná rekvalifikace a systematická příprava pracovníků jako prevence vzniku výjimečné události a její případné minimalizace.	Pravidelná školení a certifikace
Osvědčení přístrojů	Pravidelná kontrola stavu přístrojů	Zkoušky provozní stálosti

V tabulce 2 jsou uvedeny obecné prvky radiační ochrany, které jsou všeobecně platné pro každé pracoviště s ionizujícím zářením. Nicméně práce s radioaktivním materiálem je velmi komplexní systém, který vyžaduje i speciální předpisy pro jednotlivá pracoviště, uvedené ve vyhlášce SÚJB č. 307/2002 Sb. pro zřizovatele těchto míst [17].

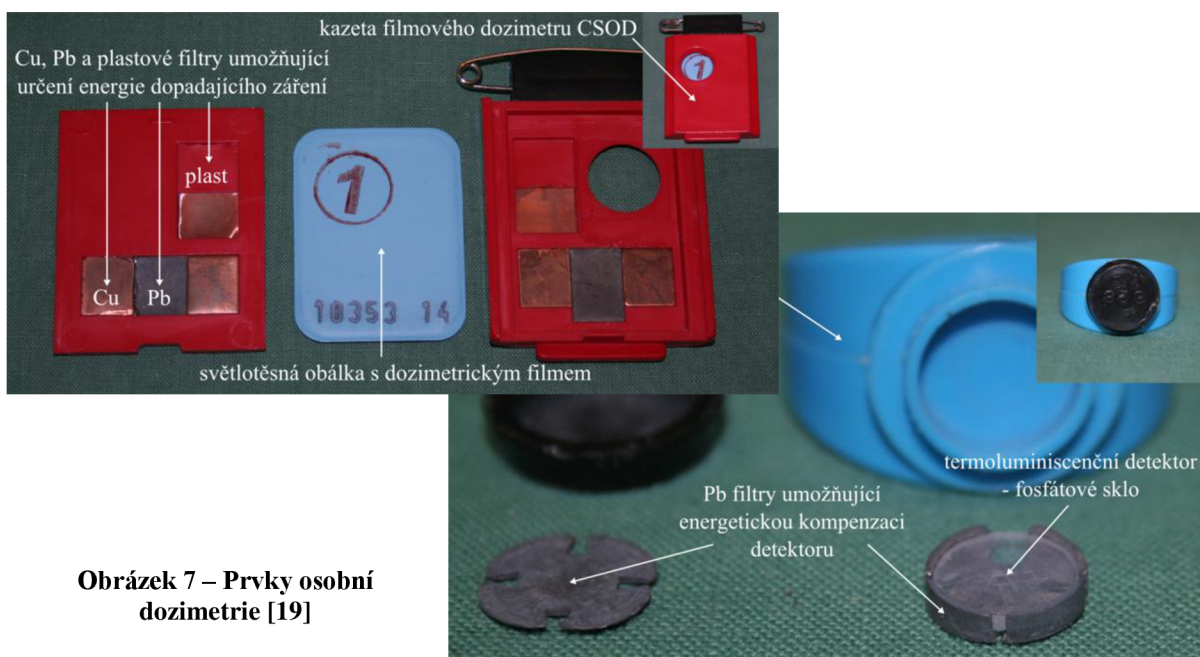
Polovrstvou vybraného materiálu rozumíme takovou vrstvu materiálu, která dokáže zeslabit konkrétní záření na polovinu jeho aktivity. V tabulce 3 uvádím jednotlivé polovrstvy pro vybrané materiály a hodnoty záření.

Tabulka 3 – Polovrstvy [mm] [18]

E [keV]	voda	beton	železo	olovo
200	51	21	6,6	1,4
500	78	30	11,1	4,2
1000	102	45	15,6	9
2000	144	59	21	13,5
5000	231	99	28,8	14,7



Obrázek 6 – Efektivita olova jako absorpčního materiálu [18]



Obrázek 7 – Prvky osobní dozimetrie [19]

---

## 5. Přístroje využívající ionizující záření

Z medicínského hlediska můžeme přístroje využívající ionizující záření klasifikovat v souvislosti s daným typem vyšetření, které pacient podstupuje, tedy Skiografie, Skiaskopie, Angiografie, CT, Radionuklidové metody (PET, Scintigrafie), Radioterapie (brachyterapie, teleterapie).

Nicméně, jako techniky nás zajímá především rozdělení, které definuje vyhláška Státního úřadu pro jadernou bezpečnost: *Vyhláška č. 307/2002 Sb., o radiační ochraně ze dne 13. června 2002*. Ta se zaměřuje na označení různých zdrojů ionizujícího záření. Dále klasifikuje pracoviště z hlediska nároků na bezpečnost a kontrolovaný pohyb osob.

### 5.1 Rozdělení zdrojů ionizujícího záření

Nejprve je potřeba uvést, že Vyhláška č. 307/2002 Sb. o radiační ochraně ze dne 13. června 2002 obsahuje další podrobnější specifikace jednotlivých zdrojů, nicméně pro náš účel postačí toto jednoduché rozdělení. SÚJB rozděluje zdroje ionizujícího záření převážně dle jejich aktivity na okolní prostředí [17]:

**Nevýznamný zdroj** – elektrické zařízení emitující ionizující záření v přístupných částech maximálně 1  $\mu\text{Sv/h}$  do 0,1m.

**Drobný zdroj** – zařízení emitující ionizující záření v nepřístupných místech do 250  $\mu\text{Sv/h}$  dávkového ekvivalentu.

**Jednoduché zdroje** – jsou všechny zdroje ionizujícího záření, které nejsou nevýznamnými, drobnými, významnými a velmi významnými.

**Významné zdroje** – generátor záření určený k radioterapii nebo radiodiagnostice v humánní medicíně, kromě jednoduchých rentgenových zařízení (kabinových, zubních). Příkladem je lineární urychlovač částic (zařízení pro urychlení elektronů pomocí elektrického pole sloužící převážně k cílenému terapeutickému ozařování orgánů).

**Velmi významné zdroje** – představuje např. jaderný reaktor.

### 5.2 Kategorizace pracovišť

Klasifikace pracovišť se zavádí především pro určení stupně ochrany personálu, pacientů navštěvujících dané oddělení, ostatních osob a životního prostředí. Dle vyhodnocení možných rizik a umístění různých zdrojů ionizujícího záření je navrženo technologické a konstrukční řešení daného místa v budově. Toto pracoviště je vždy schvalováno pověřeným pracovníkem SÚJB, který zhodnotí naplnění veškerých požadavků z hlediska radiační ochrany. Konkrétní rozdělení pracovišť s ionizujícím zářením uvádím v následující tabulce:



Tabulka 4 – Pracoviště se zdroji ionizujícího záření [17, 20]

<b>Kategorie pracoviště</b>	<b>Popis daného pracoviště</b>
I	Jedná se o zařízení s drobnými zdroji ionizujícího záření, výsledná celková aktivita radionuklidů obsažených na pracovišti je velmi nízká. Z hlediska stavebních a technologických úprav není vyžadováno žádné speciální zázemí.
II	Pracoviště s převážně středně aktivními radionuklidy. Z hlediska ochrany je vyžadováno umístění v kontrolovaném pásmu a zajištění důkladným systémem ventilace. Jedná se především o jednoduché zdroje ionizujícího záření (např. pro radiodiagnostiku a radioterapii)
III	Vysoké aktivity ionizujícího záření nebezpečného pro člověka a z něj plynoucí značné konstrukční a technologické požadavky jak z hlediska běžného provozu, tak havarijního stavu celého objektu. Především oddělení s lineárními urychlovači.
IV	Pracoviště s nadnárodní kontrolou MAAE. Konstrukčně a technologicky nejnáročnější. Jedná se o jaderné zařízení a úložiště jaderného odpadu

## 6. Jaderný a institucionální odpad

V rámci celosvětového odpadového hospodářství jsou produkovány nejrůznější druhy nebezpečného odpadu. Každý z nich je díky svým specifickým vlastnostem (materiálovým, fyzikálně-chemickým, biologickým atd.) nadále členěn do nejrůznějších kategorií dle individuálního nebezpečí pro okolí, jednotlivého způsobu shromažďování a s ním následně spojené likvidace v příslušných certifikovaných průmyslových provozech.

Záměrně jsem v úvodním textu odpad označil výstižným přívlastkem nebezpečný. Všechny druhy odpadu jsou de facto nežádoucím výstupním prvkem každého procesu nejen s příchodem moderní lidské civilizace. Už od dávných dob se první náznaky lidské společnosti musely vypořádat s odpadem v nejrůznějších formách a s postupným rozvojem civilizace přicházely nové a nové druhy rozličných odpadů. Daň za jejich přehlížení a nedostatečné zabezpečení byla vysoká. Mor a různé epidemie byly jen důsledky špatného veřejného nakládání a zpracování odpadů. V dnešní době umožňuje lidský pokrok a neustále se rozvíjející moderní postupy značnou část z nich postoupit k dalšímu technologickému přepracování, souhrnně nazývanému slovem recyklace. Ovšem, tento postup zpracování se netýká specifické skupiny odpadů, kterým musí být věnována speciální pozornost a technologické zázemí. Jedná se především o chemické, biologické a jaderné odpady. Tyto podskupiny tvoří jen nepatrné procento všech produkováných odpadů na naší planetě, avšak představují přední příčky v tabulkách úmrtí způsobených jejich špatnou manipulací a nedbalým zacházením. V následujících kapitolách uvádím dělení radioaktivního odpadu vznikajícího v nemocničních zařízeních. Tento Odpad vznikající v nemocničních zařízeních se nazývá institucionální radioaktivní odpad.

### 6.1 Klasifikace jaderného odpadu

Správné určení jednotlivých vlastností jaderného odpadu je primárním cílem pro jeho využití, skladování a následnou přepravu, resp. eventuální přepracování a zneškodnění. V následující tabulce uvádím rozdělení podle různých stupňů aktivity, tedy nejdůležitější vlastnosti radioaktivity z hlediska interakce na okolí a dle jeho formy, konkrétně skupenstvím za normálních pokojových teplot. Záměrně neuvádím rozdělení z hlediska doby poločasu rozpadu, o kterém bude řeč v další podkapitole.

Tabulka 5 – Klasifikace jaderného odpadu [21]

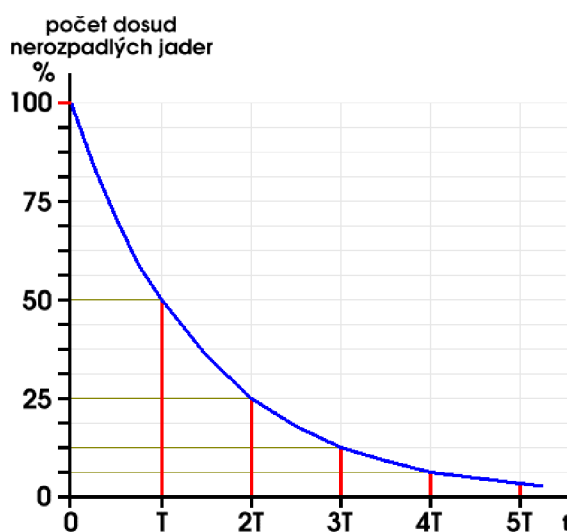
Aktivita	Deskripce
Zanedbatelná a velmi nízká	Jedná se o druh radioaktivního materiálu, který není nijak nebezpečný a škodlivý pro osoby v jeho blízkosti a nemá žádný negativní vliv na environmentální prostředí. Nepodléhá zvýšené bezpečnostní kontrole a jeho likvidace je možná s klasickými konvenčními druhy odpadů bez jakékoli evidence a dodržování zvláštních provozních opatření. Jedná se například o různé zdivo v průmyslových provozech, které pracují se zdroji ionizujícího záření.
Nízká	Tato skupina zahrnuje třídu odpadů, jejichž aktivita už není vzhledem k bezprostřednímu okolí zanedbatelná a vyplývá z ní potenciální riziko při dlouhodobějším působením na osoby v jeho blízkosti. Podléhá speciálním předpisům, zejména evidenci jeho celkového množství a průměrné aktivity. V celosvětovém statistickém měřítku tvoří zhruba 90% objemu všech odpadů, klasifikovaných jako „radioaktivní,“ ale představuje pouze 1% veškeré radioaktivity. Jde především o odpad z nemocnic a jaderného průmyslu. Do této skupiny se řadí i INSTITUCIONÁLNÍ RADIOAKTIVNÍ ODPAD.

Tabulka 5 – Klasifikace jaderného odpadu [21] – pokračování

Aktivita	Deskripce
Střední	Středně-aktivní odpad obsahuje vyšší množství radionuklidů, které jsou svou aktivitou nebezpečím pro široké okolí. Jejich manipulace vyžaduje přísná bezpečnostní opatření, speciální skladovací prostory, které jsou od ostatních prostor hermeticky izolovány odpovídající vrstvou stínícího materiálu, která v dostatečné míře eliminuje ionizující záření. Příslušný radionuklid musí mít svůj individuální průvodní list, do kterého se zaznamenává veškerá manipulace až do jeho bezpečné likvidace ve speciálním hlubinném úložišti. Jedná se cirká o 7% jaderného odpadu se 4% podílem radioaktivity. Konkrétními příklady jsou například mechanické komponenty a součásti z jaderného reaktoru
Vysoká	Nejnebezpečnější druh odpadu s výraznou aktivitou vůči rozsáhlému okolí od zdroje. Při interakci se živou tkání vyvolá okamžitou degradaci zasažených buněk a ve většině případů způsobuje brzkou smrt. Společně s jeho využitím jsou vyžadovány nejmodernější bezpečnostní prvky a postupy a jeho správa podléhá nejen přísnému firemnímu dozoru, ale i státním a mezinárodním organizacím. Samozřejmostí je komplexní evidence celého cyklu a náležitá opatření ochrany jak pro okolí, tak pro pracovníky. Vzniká především při štěpné reakci v jaderných elektrárnách a v primární (aktivní) zóně jaderného reaktoru. Svým celkovým objemem zaujímá nepatrné 3% veškerého radioaktivního odpadu, nicméně 95% veškeré radioaktivity!
Forma	Deskripce
Pevná	Pevná forma odpadu je charakteristická především svou celistvou strukturou. Jestliže zamezíme různým nežádoucím mechanickým vlivům (poškození, degradace) v jeho porušení, odpad se nadále nedělí a zaujímá neměnný stav. Riziko úniku spojené se špatnou manipulací a případnou havárií je díky této vlastnosti minimální. V rámci celosvětové produkce jde o největší část jaderného odpadového hospodářství. Jedná se zejména o radioaktivní prvky a o předměty, které byly přímo vystaveny kontaktu nebo vlivu ionizujícího záření. V medicíně např. injekční stříkačky, jehly, ošacení, roušky, papíry, nádoby, atd.
Kapalná	Z definice mechaniky kontinua můžeme formulovat jeho základní vlastnosti. Částice dané kapaliny jsou relativně blízko sebe a v klidovém stavu je váže malá vazebná síla. Při narušení integrity vnějším činitelem se vazby poruší a vznikne neuspořádaný stav. Tento rys umožňuje kapalinám téci. Riziko kontaminace určitého prostoru je tedy mnohem vyšší, než u odpadu pevnolátkového. Při havárii se kapalina dostane do různých spár a kontaminuje rozlehlý pracovní prostor. Příkladem jsou různé kontrastní radionuklidy používané v nukleární medicíně, reaktorová voda (chlazení), voda používaná pro údržbu a opravy.
Plynná	Na rozdíl od dvou předešlých kategorií je jeho stav absolutně neuspořádaný a nekontrolovatelný v otevřeném prostoru. Tato vlastnost mu dává značně nebezpečný potenciál při šíření prostorem. Látka se při narušení ochranného obalu okamžitě rozptýlí do ovzduší (disperze) a je unášena vířivými proudy do různých směrů zejména, jedná-li se o volné otevřené venkovní prostranství. Následná kontaminace může při příznivých povětrnostních podmínkách dosáhnout až celosvětového významu. Nicméně, vzhledem k poměru celkového objemu vzduchu a radioaktivní látky se koncentrace čistého radionuklidu limitně blíží nule. Následky plynné formy radioaktivního odpadu byly patrné hlavně po havárii JE Černobyl, kdy byly radionuklidy z reaktoru zaznamenány nezávislými detekčními stanicemi po celém světě. Plynný radioaktivní odpad je spojen převážně s průmyslem zpracovávajícím uranovou rudu pro jadernou energetiku a se samotnou výrobou energie v jaderných elektrárnách. Dalším faktorem je radioaktivita přírodního pozadí, zejména radon.

## 6.2 Poločas rozpadu

Jedná se o důležitou veličinu charakterizující pokles aktivity radioaktivní látky na polovinu původní hodnoty, tedy snížení celkového počtu jader, které se rozpadnou za jednotku času. V jaderném průmyslu a jaderné energetice má spíše informativní charakter vzhledem ke skutečnosti, že se používají radionuklidy s poločasem rozpadu v řádech stovek a tisíců let. Nicméně jeho skutečné opodstatnění je právě v souvislosti s nízkoaktivním radioaktivním odpadem produkovaným převážně ve zdravotnických zařízeních. Zde se používají radioizotopy z velké části s krátkým poločasem rozpadu. Ty je výhodné nechat v kontrolovaném pásmu samovolně degradovat až na zlomek své počáteční aktivity a následně je zneškodnit jako prakticky neaktivní s klasickým odpadem. Proto se u určitých způsobů nakládání s jaderným odpadem uvádí časové prodlevy v násobcích standardní doby poločasu rozpadu, konkrétně 10 poločasů rozpadů apod. Vhodným matematickým aparátem, kterým lze celý proces poločasu rozpadu popsat, je geometrická posloupnost.



Obrázek 8 – Poločas rozpadu vyjádřený geometrickou posloupností [22]

Jak je patrné z *obrázku 8*, následující člen geometrické posloupnosti je násobkem předchozího členu. To znamená, že jestliže se za určitý čas sníží aktivita na polovinu hodnoty, pak se s každým dalším intervalem poločasu rozpadu sníží opět na polovinu a v nekonečnu se jeho aktivita asymptoticky blíží nule. Nicméně podstatné je, že za dobu  $10T$ , tedy 10 poločasů rozpadů se aktivita sníží až na desetitisícinu původní aktivity což představuje nepatrný zlomek oproti původní hodnotě. Této charakteristiky se využívá v tzv. vymírárnách, které slouží právě k uchovávání a monitorování aktivity nízkoaktivního odpadu.

## 6.3 Radioaktivní prvky používané ve zdravotnictví

Pro léčebné účely se na odděleních nukleární medicíny a radioterapie používají různé druhy radionuklidů s různým stupněm aktivity dle požadovaného typu vyšetření. Tyto jsou buď na bázi přírodní látky, nebo syntetickým produktem, tedy uměle vyrobené člověkem. V souvislosti s předešlou kapitolou uvádím za každým prvkem jeho poločas rozpadu.

**Tabulka 6 – Radioaktivní prvky [15]**

Radioaktivní prvek	Poločas rozpadu
Tritium (H-3)	12,3 let
Technecium (Tc-99m)	6 hodin
Jód (I-131)	8 dní
Fluor (F-18)	110 minut
Kobalt (Co-60)	5 271 let

## 6.4 Nakládání s institucionálním radioaktivním odpadem

K nakládání s institucionálním radioaktivním odpadem patří:

- shromažďování,
- evidence,
- třídění,
- úprava,
- přeprava,
- skladování,
- ukládání.

Nakládání s většinou institucionálních radioaktivních odpadů vzniklých na území ČR zabezpečuje Ústav jaderného výzkumu Řež, a. s. (ÚJV), který je zároveň největším producentem tohoto druhu odpadu v ČR – produkuje zhruba 60 % z celkového množství [23]. V souvislosti s nakládáním s institucionálním odpadem je potřeba si uvést dvě kategorie, které samotný problém konečné fáze celého odpadového cyklu předcházejí. S příchodem moderní doby a s neustále se rozvíjející současnou technikou vznikl jistý precedens v oboru odpadového hospodářství. A tím je závazek snížit odpad na maximální možné minimum, tedy udělat vše pro to, aby výsledná zátěž přírodního prostředí byla co nejnižší! V návaznosti na tuto hlavní myšlenku se pojí dvě již zmíněné základní kategorie:

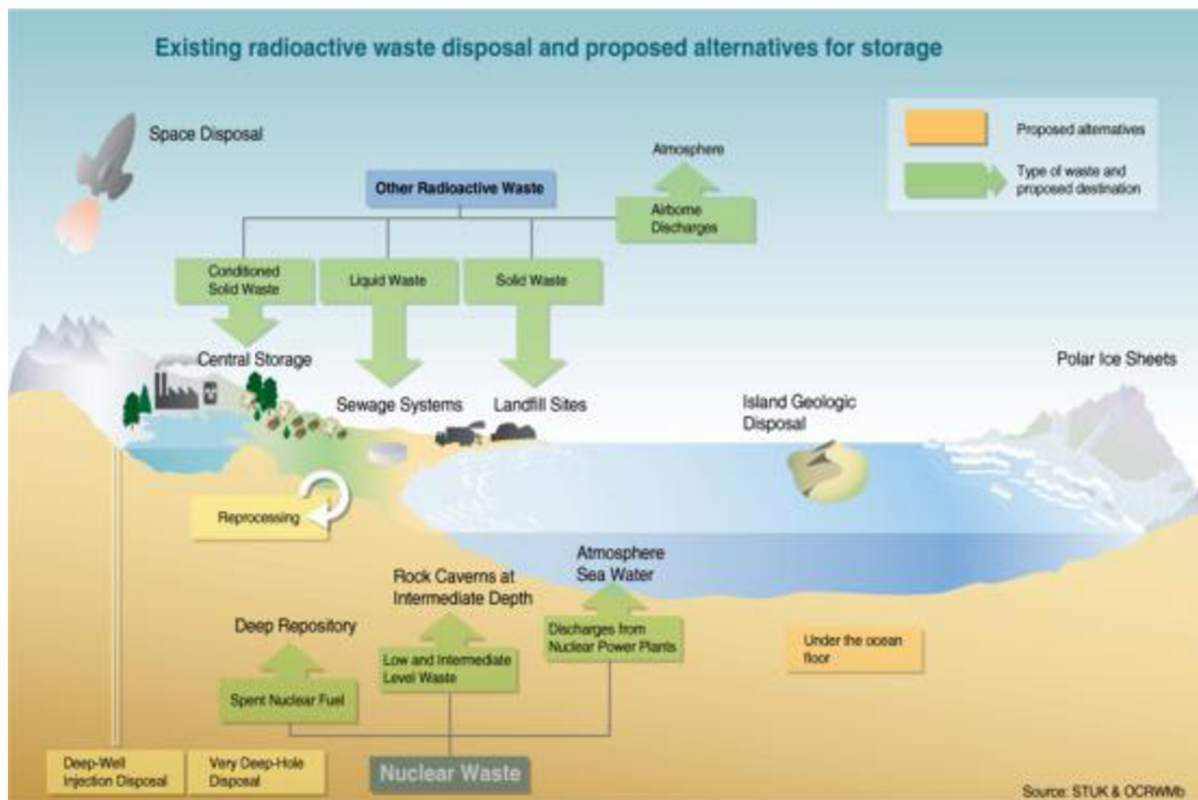
- předcházení vzniku odpadu,
- omezování vzniku odpadu.

Předcházení vzniku institucionálního radioaktivního odpadu udává jasný cíl použít nejmodernější technologie nové generace, je-li to finančně možné a jsou-li z hlediska distribuce volně dostupné. Omezování vzniku odpadu rozumíme kvalitní rozplánování různých výměn (např. palivového cyklu), abychom dosáhli maximálního možného využití jeho konstrukčního potenciálu. Bohužel jsou výše zmíněné principy pouze ideálním postupem a jistým alibismem výročních zpráv různých podniků. Ať už z finančního, neznalostního či nezájmového hlediska je dodržování těchto základních zásad oproti jiným zemím prozatím nesrovnatelné. Při myšlence na nakládání s institucionálním odpadem si mnoho lidí řekne, že stačí odpad jen zakopat pod zem a žádný problém s jeho ukládáním (vyjma radioaktivity) neexistuje. Toto definitivní řešení je sice možné a lze aplikovat na všechny druhy vysloužilých záříčů a s ním spojených odpadů, nicméně je zapotřebí mít dostatečný počet úložišť (povrchových, hlubinných) které podléhají legislativním normám, jako jsou například dostatečná hloubka, izolace od spodních vod, zabezpečení, nepřetržitý monitorovací systém,

izolace od okolního půdního prostředí apod. Každopádně právě vhodným plánováním a sledováním různých vlastností spojených s radioaktivním materiálem a radioaktivitou obecně můžeme dosáhnout mnohem komplexnějšího systému, který umožňuje v souladu s jistým postupem minimalizovat výsledný jaderný odpad na minimum.

Tabulka 7 – Možné způsoby nakládání s institucionálním odpadem [21]

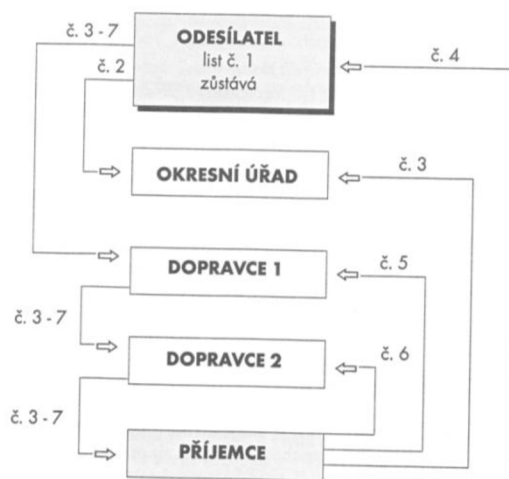
Skupenství odpadu	Ředění a disperze	Prodleva v závislosti na poločasu rozpadu	Shromáždění a uložení v hlubinných úložištích	Nízkoaktivní nerozpustné kapalné odpady
Pevné	Odpad v pevné formě může být zlikvidován jako standardní nemocniční odpad, jestliže jeho celková aktivita nepřesáhne 50 kBq.	Jak již bylo zmíněno v kapitole 6.2, dalším možným způsobem je nechat látku samovolně degradovat na zlomek původní hodnoty její výsledné aktivity na okolí. Tento postup lze aplikovat pouze na prvky s krátkým poločasem rozpadu a s patřičně monitorovaným a odstíněným pracovištěm. Pro tento účel se využívají speciálně upravené místnosti, tzv. vymírárny	Daný radioaktivní materiál je na speciálních místech k tomu určených nejprve shromážděn ve větším množství a následně je uložen do specificky stíněných nádob určených k likvidaci jaderného odpadu a uložen do hlubinného, resp. povrchového úložiště v závislosti na jeho aktivitě. Úložiště určená pro příjem jaderného odpadu z nemocnic jsou v ČR Dukovany, Richard a Bratrství	-
Kapalné	Kapalná forma odpadu, jejíž aktivita nepřesáhne stanovenou mez, může být po důkladném rozředění jinou neaktivní kapalinou (voda) vypuštěna do normálního odpadového systému			Tyto mohou být likvidovány pomocí spaloven. Tento postup je spíše zastaralý a vzhledem k ekologické zátěži se od něj upouští
Plynné	U plynné formy lze aplikovat stejný princip jako u předešlých dvou případů. Výsledné zneškodnění se provádí formou disperze do okolí.			-



Obrázek 9 – Ilustrované nakládání s jaderným a institucionálním odpadem [24]

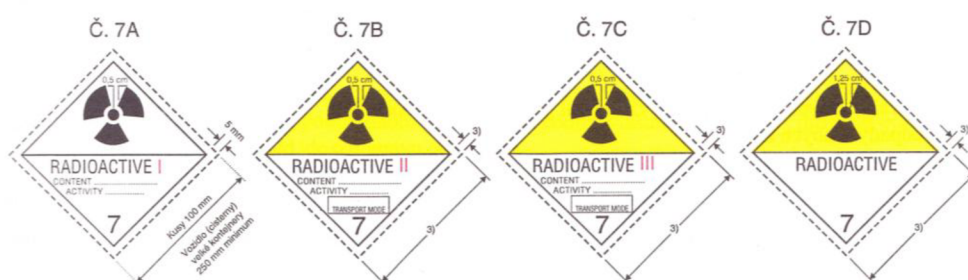
## 6.5 Evidence a doprava institucionálního radioaktivního odpadu

Evidence a přeprava institucionálního radioaktivního odpadu je komplexní systém, který vyžaduje kvalifikované zaměstnance při každé jeho manipulaci. Veškeré zacházení s ním musí být pečlivě zaevidováno na příslušných formulářích, které se předávají nejen mezi odesílatelem, tedy nemocnicí, která institucionální radioaktivní odpad vyprodukovala a příjemcem, firmou, která se smluvně zaváže vzniklý institucionální radioaktivní odpad bezpečně zneškodnit pomocí odpovídající technologie, ale i třetí straně, státnímu úřadu, který je nutné zpětně o této skutečnosti písemně na zvláštním formuláři informovat, že byl institucionální odpad bezpečně zlikvidován. Další tiskopisy se ponechají dopravci, který v plném rozsahu v průběhu dopravy zodpovídá za zásilku nebezpečného odpadu. Celý tento rozsáhlý systém s několika stupni zpětné kontroly má zamezit neoprávněnému a nedbalému ponechání nebezpečného materiálu na veřejných místech a jeho případnému zneužití nebo nevědomému užití jak se tomu stalo například v Turecké Ankaře (viz. Kapitola 3.).



Obrázek 10 – Přehled pohybu výtisků jednotlivých evidenčních listů [25]

Z obrázku je patrné, že původce institucionálního radioaktivního odpadu musí v první fázi vyhotovit 7 stejných kopií Evidenčního listu pro přepravu nebezpečných odpadů po území ČR (příloha č. 2) a přesně dle instrukcí je odeslat na příslušná místa, tedy okresnímu úřadu, u kterého je evidován jako původce institucionálního radioaktivního odpadu a dopravci, který zajišťuje převoz. Samotná evidence a povolení k nakládání a manipulaci s nebezpečným odpadem pro původce se skládá z několika částí. Nejprve je potřeba vymezit všechny nebezpečné odpady, které bude pracoviště generovat. Pro každý odpad musí být pořízen samostatný individuální identifikační list nebezpečného odpadu. (příloha č. 3). Dále je potřeba vytvořit formulář pro vedení průběžné evidence (příloha č. 4), kde se zapisují veškeré přírůstky institucionálního odpadu vzniklé například po léčbě pacienta. Jako poslední bod je nutné přesně označit sklad nebezpečného odpadu a k němu přiřadit provozní řád ((příloha č. 5), ve kterém je uveden kompletní záznam o obsahu příslušného skladu, maximálních skladovacích prostorách a havarijního postupu v případě neplánované události. Složitost celého systému má v praxi velký význam. Nebezpečný radioaktivní odpad je pod neustálým dohledem a kontrolou různých pracovníků a to minimalizuje přirozený lidský chybový faktor.



Obrázek 11 – Značky ADR pro označení vozidel převážející radioaktivní materiál [25]



---

## 7. Nemocnice Atlas Zlín

### 7.1 Základní popis nemocnice

Nemocnice Atlas leží v centru Zlína v srdci bývalého Baťovského továrního areálu SVIT a jejím zřizovatel je soukromý vlastník v rámci holdingu Euroclinicum. Dříve státní nemocnice byla před téměř deseti lety privatizována, díky čemuž přišla o bohaté státní dotace a kompenzaci neuhrazených výkonů zdravotní pojišťovnou. Z hlediska velikosti se jedná o středně velké zdravotnické zařízení, které v posledních letech prochází dílčími rekonstrukcemi a přibližuje se tak pomalu Evropskému standardu. Nicméně, pochopitelná tendence soukromého sektoru vydělat co nejvíce peněz pojí k nemocnici spíše statut kapitálového inkubátoru a mnohdy upřednostňuje příjmy nad lidskými zdroji (hodnota mezd, benefity). Nemocnice si vzhledem ke svému omezenému rozpočtu nemůže dovolit různá drahá specializovaná oddělení technického zázemí. Právě proto se mnoho činností řeší pomocí v dnešní době populární outsourcové metody, kdy jsou určité závazky převedeny na externí firmu zabývající se danou oblastí, do níž spadá i servis a údržba zařízení pracujících s ionizujícím zářením.

### 7.2 Přístroje pracující se zdroji ionizujícího záření

Nemocnice Atlas disponuje pouze oddělením pro radiodiagnostiku se zaměřením na základní lékařské úkony, jako je Skiografie, Skiaskopie a Mamografie a hraje důležitou roli zejména pro stanovení prvotní diagnózy a následného doporučení dalšího možného postupu na specializovaných pracovištích.

#### 7.2.1 Skiografie

Jedná se o proces zobrazení lidských tkání, který využívá rozdílnou hodnotu absorpce procházejícího svazku rentgenového záření různými tkáněmi v závislosti na jejich vnitřní stavbě. Odborník dokáže výsledný obraz vyhodnotit z hlediska míry poškození dané tkáně a přítomnosti cizích nežádoucích novotvarů. Nemocnice Atlas využívá nový skiagraf od společnosti Philips.



Obrázek 12 – Skiagraf Philips-lůžková část



Obrázek 13 – Skiagraf Philips- kompletní sestava

### 7.2.2 Skiaskopie

Jedná se o radiodiagnostickou metodu, která dokáže pomocí kontrastní látky a rentgenového záření zobrazit činnost určité části lidského těla (např. zažívací trakt apod.) v reálném čase. Kontrastní látka zde reprezentuje absorbér, který pohltí velkou část rentgenového záření.



Obrázek 14 – Skiaskop „ Superix 164“

### 7.2.3 Mamografie

Radiodiagnostické zařízení sloužící k rozpoznání rakoviny prsu. Principem zařízení je opět změna hustoty tkáně v různých místech, tedy různá míra pohlcení ionizujícího záření.



Obrázek 15 – Mamograf „Hologic“

### 7.2.4 Operativní C rameno

Posledním prvkem užívajícím rentgenové záření je „Operativní C rameno“ umístěné na operačním sále chirurgického oddělení. Přístup podléhá několika stupni hygienické kontroly a nepovolaným osobám je zde vstup zakázán.

### 7.3 Nakládání s institucionálním radioaktivním odpadem

Vzhledem k omezeným dispozičním prostorám a zajištěným finančním prostředkům vyhrazeným pro chod všeobecné soukromé zdravotní nemocnice a nutnosti pokrýt širokou škálu diagnostických vyšetření zacílených na jakýkoli pacientův problém, se kterým se na nemocnici obrátí, je prostor pro medicínu na bázi ionizujícího záření značně omezen. Za takové situace se nedají vytvořit ideální podmínky pro specializované pracoviště z hlediska kontrolovaného pásma a naplnění přísnějších bezpečnostních režimů a předpisů, jak je stanoví Státní úřad pro jadernou bezpečnost. Všechny tyto aspekty určují hranice, ve kterých se může nemocnice operativně pohybovat. Z toho v konečné fázi vyplývá i množství jaderného odpadu a s ním spojené jeho bezpečné zneškodnění.

Jak bylo uvedeno v kapitole 7.2, nemocnice disponuje čtyřmi přístroji na bázi rentgenového záření (Skiaskop, Skiagraf, Mamograf, C-rameno). Z hlediska klasifikace radioaktivního odpadu nepodléhá žádné zařízení ani materiál, který přijde do kontaktu se zářičem nebo emitovanou radiací přísnějšímu režimu kontroly a zvláštnímu způsobu zacházení. Žádný odpad, který v této nemocnici vzniká, není tedy klasifikován jako radioaktivní. Spolu s provozem rentgenových zářičů ale vzniká množství dílčích odpadů, které jsou uvedeny v následující tabulce:

**Tabulka 8 – Odpady spojené s provozováním rentgenových záříčů**

Skupenství	Odpad	Množství	Způsob zneškodnění
Pevné	Zaříč	Cca 2/rok dle intenzity užívání	Probíhá smluvní formou s firmou. Pověřený pracovník přijede na místo, vyndá záříč, nainstaluje nový a starý znehodnotí
	Zdravotnický materiál (rukavice, tampóny, injekční stříkačky, ošacení)	Nespecifikováno	Společně se zdravotnickým odpadem
Kapalné	Prostředky pro běžnou údržbu (voda, desinfekce, emulze)	Více jak 100 l/den vzhledem k hygienickým předpisům	Kanalizační systém
	Vývojka	30 l/ 14 dní/ přístroj	Nakládání jako s chemikálií
Plynné	-	-	-

Další odpady jsou z hlediska svého množství pouze zanedbatelným artiklem a není tedy potřeba je blíže specifikovat a uvádět. Množství a typ generovaného odpadu přesně odpovídá situaci celého radiologického pracoviště v nemocnici Atlas ve Zlíně. Dle posledních informací se prozatím nechystá rozšíření kapacity stávajícího oddělení, resp. výstavba úplně nového oddělení specializovaného na radioterapii a nukleární medicínu, a tak se prozatím nemocnice nezařadí mezi původce radioaktivního odpadu.

## 7.4 Nároky na zaměstnance pracující s ionizujícím zářením

V předcházející kapitole jsem uvedl, že v celém objektu nevzniká žádný institucionální radioaktivní odpad, nicméně pracoviště obsahuje několik významných zdrojů ionizujícího záření, které mohou být pro své okolí nesprávným použitím velmi nebezpečné. Vzhledem k tomu, že veškerá zařízení emitující ionizující záření spadají do kompetence Státního úřadu pro jadernou bezpečnost, je i jejich provozovatel povinen dodržovat všechny nařízení a vyhlášky od této vyšší instance. S ní se pojí i základní rozdělení pracovníků se zdroji ionizujícího záření, které nemocnice bezvýhradně dodržuje. Tento systém je dle mého názoru i přes svou jednoduchost naprosto dostačující a pracovníci každé kategorie si jsou vědomi svých povinností vyplývajících z příslušné skupiny, do které jsou na základě svého vzdělání a produkované činnosti zařazeni. V následující tabulce uvádím souhrn získaných informací z radiodiagnostického oddělení nemocnice Atlas ve Zlíně:

**Tabulka 9 – Kategorizace pracovníků**

Skupina	Popis	Dozimetrická kontrola	Potřebné vzdělání
A	Obsluha zdroje ionizujícího záření	Osobní dozimetr je zaslán 1x měsíčně na Pražské středisko celostátní služby osobní dozimetrie ke kontrole	Současná norma vyžaduje minimálně bakalářský titul v daném oboru
B	Pracovník se zdrojem ionizujícího záření	Osobní dozimetry jsou zasílány v delším intervalu 3. měsíců	Správné vyplnění testu uvedeného v <i>Příloze 1.</i>

Od všech pracovníků se obecně vyžaduje používání speciálních ochranných oděvů, zejména oblečení obsahující dostatečnou vrstvu olova, která je schopna absorbovat ionizující záření, nebo přítomnost ve stíněných prostorách při době expozice. Dále je povinností nosit svůj řádně označený osobní dozimetrický přístroj, který zaznamenává veškerý radiační spád na pracovníka a je v příslušných intervalech zasílán ke kontrole dávek dle *tabulky 9*. Pracovník kategorie A má jakožto vedoucí pracovník celého úseku na starosti všechny zaměstnance skupiny B, ti jsou povinni bezpodmínečně dbát jeho pokynů. V jeho kompetenci je i pravidelná kontrola svěřeného zařízení (nikoli údržba) za účelem provozní stálosti. Údržbu smí provádět pouze odborná firma. Tento pracovník rozhoduje o maximální době expozice, expozičních dávkách pacienta v souladu s potřebami vyšetření a je přímo odpovědný za agendu spojenou s užíváním ionizujícího záření.

poř. číslo	datum	jméno pacienta	hodnota (kg)	vyšetření	projekce	celková filtrace	kV	mAs	formát filmu					vyšetření provedl	poznámka	
									13x18	18x24	24x30	30x40	35x35			jiný

**Obrázek 16 – Kniha skiagrafických vyšetření**

---

## 8. Krajská nemocnice Tomáše Bati

### 8.1 Základní popis nemocnice

Jedná se o nemocnici v centru Zlína, jejímž zřizovatelem a finančním patronem je Zlínský kraj. V Krajské nemocnici Tomáše Bati (KNTB) pracuje více jak 2000 odborných a pomocných zaměstnanců, kteří ročně hospitalizují přes 40 000 pacientů. Nemocnice má všeobecné zaměření s rozšířenou působností v rámci Zlínského kraje. To znamená, že jsou speciální případy z okolních menších měst přijímány právě odděleními KNTB. Oproti nemocnici Atlas je KNTB modernějším a finančně lépe zajištěným subjektem. Najdeme zde řadu specializovaných oddělení pro celou škálu diagnóz. Pro nás bude hlavně především oddělení Nukleární medicíny, které přímo pracuje se zdroji ionizujícího záření.

### 8.2 Oddělení nukleární medicíny

Nukleární medicína je lékařský obor používající k diagnostice a terapii chorob zavedení radioaktivních látek (radiofarmak) do těla nemocného a následnou detekci jejího rozložení pomocí gamma kamery. Nejčastěji používanými radioizotopy jsou technecium-99, indium-111, jód-123, jód-131 a krypton-81. Nukleární medicína je schopna zobrazit funkci orgánů, metabolismus, buněčnou aktivitu a receptory, avšak zobrazení anatomických detailů je při použití této techniky omezené. Jde tedy o tzv. funkční zobrazovací metodu. Hlavním zobrazovacím přístrojem je tzv. gamma kamera. Je schopna zachytit radiaci indikátoru aplikovaného do žilního systému pacienta [26].



Obrázek 17 – Gamma kamera na pracovišti nukleární medicíny

### 8.3 Nakládání s institucionálním radioaktivním odpadem

V rámci své bakalářské práce jsem požádal o spolupráci oddělení Nukleární medicíny. Díky vstřícnosti zaměstnanců, kteří mají na starosti technické zázemí jednotlivých oddělení, se mi podařilo získat údaje potřebné k vyhodnocení celého procesu nakládání s institucionálním odpadem v nemocnici Tomáše Bati. Za zdůraznění stojí smysl radioterapie a užívání radioaktivního záření ve zdravotnictví všeobecně. Tím je, že výsledná léčba musí mít ekvivalentní přínos pro pacienta a společnost a konečná dávka vyšetření by měla být na minimální možné hranici v rámci daného vyšetření. A to přímo souvisí s institucionálním odpadem produkovaným zdravotnickými zařízeními. Radiační zátěž pacienta je při cílené

---

léčbě např. nádorového onemocnění zářičem vysoká nejen v oblasti kolem léčeného místa, ale i v určitém okruhu kolem samotného zářiče. To znamená, že tělo dostane cílovou dávku do postiženého místa, blízkého okolí a vedlejší radiaci od neodstíněné radioaktivity zářiče. To je sice v souladu se základními principy optimalizace a zdůvodnění, nicméně v souvislosti s vědeckým pokrokem se zavádí nové postupy a technologie, které se snaží tyto vedlejší efekty nanejvýš eliminovat. Výsledkem je, že používání starých uzavřených radionuklidových zářičů, jakým byl třeba uzavřený zářič  $^{60}\text{Co}$ , je dnes již prakticky minulostí a tím odpadá problém s převážně středně aktivním institucionálním odpadem, který by bylo nutné zneškodnit zalitím do betonu do speciální nádoby a předáním do jednoho z úložišť pro institucionální odpad. Namísto nich se využívají tzv. lineární urychlovače, které neprodukují institucionální odpad a léčba je cílená přesně do postiženého místa. Nicméně oddělení nukleární medicíny je reprezentativním v eliminaci vzniklého radioaktivního odpadu, který vytváří každý den po návštěvě cca 20 pacientů, a proto se budu blíže zabývat právě tímto oddělením.

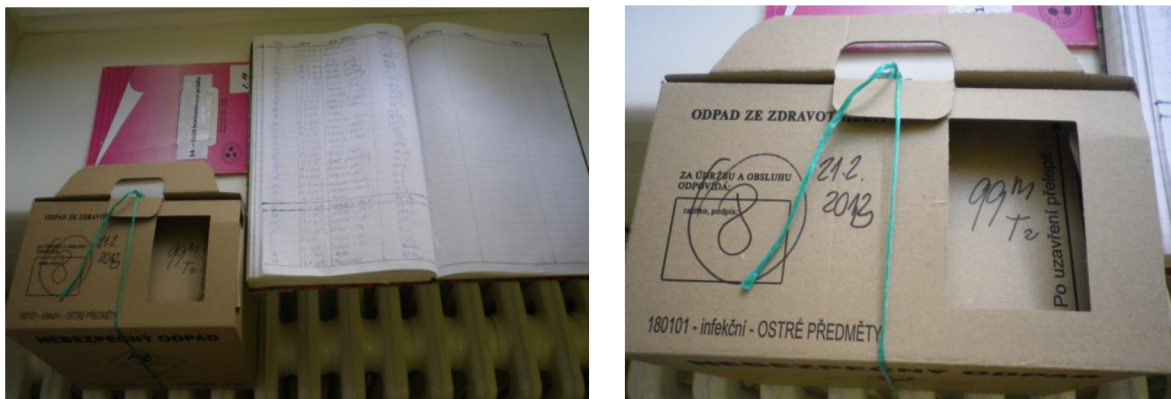
### Oddělení nukleární medicíny

Oddělení nukleární medicíny se nachází ve 22 budově v areálu nemocnice. Každý den je na jeho pracovištích vyšetřeno cca 20 lidí a při každém vyšetření je radiofarmakon připravován na míru, tedy v závislosti na typu vyšetření a tělesných dispozicích pacienta dle unifikovaných tabulek. Každá připravená látka je zaznamenána do speciálního katalogového listu.



Obrázek 18 – Ochranné prvky

Institucionální radioaktivní odpad na tomto oddělení vzniká v několika různých formách, pro které neexistují žádné souhrnné váhové statistiky o množství jeho produkce. Jediným dohledatelným údajem je pouze konkrétní kartonová krabice, která je označena pořadovým číslem, datem jejího umístění do vymírací komory a popisem radionuklidu, který obsahuje. Vzhledem k tomu, že se využívá principu poločasu rozpadu a jedná se o radioaktivní látku (převážně Technecium) s poločasem rozpadu kolem 6 hodin, není potřeba konkrétní množství nijak evidovat.



Obrázek 19 – Speciální krabice na institucionální odpad a evidenční kniha

Shromažďování institucionálního radioaktivního odpadu probíhá právě prostřednictvím papírových krabic, jejichž primárním účelem je hlavně snadná a bezpečná manipulace z hlediska zabezpečení biologického materiálu (injekční stříkačky, tampony, jehly, atd.) K odstínění samotného ionizujícího záření z institucionálního radioaktivního odpadu slouží speciální kontejner s dostatečnou absorpční vrstvou, který je přímo konstruován na velikost speciální krabice a ta se do něj dá lehce zasunout. Tyto nádoby jsou rozmístěny na všech přidružených pracovištích.



Obrázek 20 – Kontejnery se stíněním

Po shromáždění veškerého dílčího pevného institucionálního radioaktivního odpadu z různých pracovišť oddělení nukleární medicíny se krabice pečlivě zaevidují a popíší. Institucionální radioaktivní odpad se v uzavřených krabicích umístí do speciálních stíněných boxů v tzv. vymírací místnosti, která je součástí kontrolovaného pásma. V ní je několik oddělených lóží pro různě aktivní materiály v souvislosti s dobou, kdy byly umístěny do příslušného boxu. Období ponechání v jednotlivých boxech se stanoví jako  $n$ -násobek poločasu rozpadu (převážně užíváno Technecium- 6 hodin) pro dosažení cílového dávkového ekvivalentu pod  $0,1 \mu\text{Sv}$ . Pod touto hranicí se odpad nadále nepovažuje za radioaktivní a je nadále



---

klasifikován již jen jako biologický, pro který také platí speciální předpisy. A zde je právě jeden paradox v nakládání s institucionálním radioaktivním odpadem. Ten je současně také odpadem biologickým a pro oba typy odpadů platí samostatné vyhlášky, které přesně určují postupy a procesy vedoucí k jeho zneškodnění. Vyhláška pro biologický odpad mimo jiné stanoví, že odpad, který není po vyprodukování znehodnocen do 48 hodin, musí být nadále skladován v chladícím zařízení o určité teplotě, což však není z hlediska hermetičnosti vymíracího boxu možné. Nejedná se však o žádné riziko.



**Obrázek 21 – Vymírací místnost a box pro uložení jaderného odpadu**

Prozatím jsem se zabýval pouze pevným institucionálním radioaktivním odpadem. Ten tvoří asi 35% veškerého institucionálního radioaktivního odpadu produkovaného oddělením Nukleární medicíny. Kapalný institucionální radioaktivní odpad je produkován převážně jako dvě rozdílné frakce. Tou první jsou speciální nádoby pro přípravu konkrétního radiofarmaka, tzv. penicilinky. Jsou to speciální skleněné lahvičky, které přesně svými rozměry pasují do malé modré válcovité stíněné nádoby. Celou sadu můžeme vidět na *obrázku 21* v horní lóži. Opět zde funguje stejný princip zneškodňování jako u pevné formy institucionálního radioaktivního odpadu. (ponechání po určitou dobu v souvislosti s poločasem rozpadu) s tím rozdílem, že výsledná cílová aktivita se pohybuje v rozmezí od absolutně neaktivního materiálu až po aktivitu ekvivalentní s maximální hodnotou aktivity přírodního pozadí. Při testování jedné z těchto náhodně vybraných penicilinek jsme naměřili hodnotu 27 kBq (oproti přírodnímu pozadí s hodnotou aktivity 60kBq). V případě tohoto konkrétního objektu se tedy nadále nejedná o institucionální radioaktivní odpad a může být zneškodněný standardním způsobem nemocničního odpadu.



**Obrázek 22 – Měřící Geigerův-Müllerův přístroj a pracoviště pro přípravu radiofarmak**

Druhou frakcí kapalného institucionálního radioaktivního odpadu produkovaného oddělením nukleární medicíny je asi nejrizikovější druh odpadu bez možnosti zpětné kontroly. Jedná se převážně o moč a různé tělní tekutiny pacientů vyloučené bezprostředně po vyšetření na oddělení nukleární medicíny. Při denní návštěvě není v lůžkových možnostech oddělení a ani zájmu pacienta držet ho na jednom místě, dokud hodnota aktivity v jeho těle neklesne pod určitou mez. Pacient se tedy z oddělení nukleární medicíny dostává ven mimo sledované pásmo a při návštěvě dalších oddělení může dojít k eventuální kontaminaci dalších pracovišť. Je nutno dodat, že se pacient na dobu, kdy má v sobě radioaktivní izotop, nestává nebezpečným pro své okolí. Všechny ošetřované osoby jsou řádně poučeny o této skutečnosti a v návaznosti na tento fakt je vybudována infrastruktura speciálních nádob po celém areálu nemocnice, jejichž svoz a likvidaci zajišťuje speciální oddělení odpadového hospodářství nemocnice. V případě samostatného oddělení nukleární medicíny se při přestavbě původní budovy s tímto faktem kalkulovalo a tak zde existuje jednoduchý systém kontrolované vymírací jímky a toalety, která do ní přímo ústí. V této jímce se kapalný institucionální radioaktivní odpad ředí vodou a stejným principem se vyčkává na dosažení cílové vypouštěcí aktivity do běžného odpadového potrubí. Aktivita výsledného odpadu je však velmi nízká.



**Obrázek 23 – Stíněný kontejner se speciálním odpadovým boxem**

Posledním institucionálním radioaktivním odpadem vznikajícím na oddělení nukleární medicíny jsou poskvrněné lůžkoviny a oblečení pacientů. Opět se jedná o ten stejný systém jako v případě veškerého institucionálního radioaktivního odpadu. Je aplikován princip vymíracích místností a po dosažení cílové aktivity se posílá všechn tento materiál do běžné

nemocniční prádlny k vyčištění a separování biologického odpadu a následnému zpětnému vrácení do celého nemocničního systému.

**Tabulka 10 – Shrnutí institucionálního radioaktivního odpadu produkovaného oddělením nukleární medicíny v KNTB**

Skupenství	Odpad	Popis	Způsob zneškodnění
Pevné	Prádlo a lůžkoviny	Nejedná se přímo o radioaktivní odpad vzhledem k tomu, že bude prádlo vráceno zpět do systému. Spíše jde o dekontaminační proces po styku s radioaktivní kapalinou	Speciální vymírací místnosti a následný odvoz do prádlny.
	Zdravotnický materiál	Jde především o prostředky související s intravenózní aplikací konkrétního radiofarmaka (jehly, injekční stříkačky, tampóny, bandáže, obvazy, štětičky, rukavice)	Kartonové boxy v neprostupném absorpčním olověném kontejneru. Shromáždění ve vymíracích místnostech a setrvání na tzv. uvolňovací úrovni, tedy aktivity, kdy se nejedná o jaderný odpad, ale pouze biologický, následné zneškodnění převážně ve spalovnách s dalším použitím zdravotnickým materiálem
Kapalné	Moč	Moč je velmi specifickým odpadem pro místa s vysokou koncentrací lidí. Radiofarmakon se po určité době standardním biologickým procesem vstřebává do organismu, který jej následně vylučuje v různých formách, převážně močí. V ní je obsažen radionuklid	Speciální nádoby na distancovaných odděleních, následné vypuštění do vymíracích jímek a při dosažení nízké požadované vypouštěcí aktivity i do odpadového kanalizačního systému
	Penicilinky	Lahvičky sloužící k přípravě radiofarmaka. Obsahují kapalný radioizotop, který se dále aplikuje pacientovi k vyšetření gamakamerou. Konkrétní odpad vytváří zbytky nespotřebovaného izotopu	Samotná penicilinka je skleněná nádoba, která se uloží do speciálního olověného stínícího přípravku a ten se vloží do vymírací komory, kde se sleduje výsledná emitovaná aktivita oproti přírodnímu pozadí. Následně se penicilinka zneškodní jako běžný odpad a olověný obal je opět využíván.
Plynné	Nevyskytuje se	Plynný radioaktivní odpad je záležitostí spíše jaderného průmyslu. Radon v rámci běžného přírodního pozadí se neuvažuje.	-

---

## 9. Masarykův onkologický ústav

### 9.1 Základní popis nemocnice

Již z názvu je patrné, že se jedná o specializované zařízení, které zaměstnává přední odborníky v oblasti onkologie a příbuzných oborů spojených právě s léčbou nádorových onemocnění. Za zmínku z historie stojí počátky a smysl celého ústavu. Dříve dům útěchy s množstvím sociálních pracovníků se díky intervenci T. G. Masaryka a s finančním přispěním státního fondu mění na moderní a špičkové onkologické centrum s vlastními vědeckovýzkumnými ambicemi. Následně se do celého projektu angažují banky, průmyslové podniky a další instituce, a tak se z malého ústavu postupem času stává jedno z nejmodernějších center pro boj s rakovinou v České republice. V současnosti se Masarykův onkologický ústav (MOU) pyšní hodnotným zahraničním renomé a nabízí komplexní služby pro pacienty v oblasti diagnostiky zdravotního problému, léčbě nádorového onemocnění, převozu pacienta do ambulantní péče, psychologickou podporu a pomoc, dostupnost předepisovaných specifických medikamentů a zajištění individuálních potřeb hospitalizovaných pacientů. Rozsah onkologické péče a prevence je tak promyšlený, že nabízí dokonce i preventivní dárkové certifikáty, díky nimž může člověk darovat i život a novou naději při včasné lokalizaci a diagnostice problému

Z hlediska porovnání s nemocnicí Atlas a KNTB je potřeba brát v úvahu několik aspektů. Za prvé je to specifický druh zaměření. Obě zmíněné nemocnice jsou všeobecným zařízením a oproti zacílenému MOU se musí postarat o všechny druhy indikovaných chorob. Materiálové a přístrojové vybavení je zaměřeno pouze jedním směrem, což snižuje náklady na celkový provoz z hlediska eliminace množství dodavatelů. Dále není nezbytné vytvářet prostředí pro urgentní příjem, kde se mnohdy ocitnou osoby s platební indispozicí (bezdomovci, lidé bez platného pojištění) a z toho plynoucí finanční ztrátou. Jednotlivé oddělení všeobecně zaměřené nemocnice mají různou míru návštěvnosti. V praxi to znamená, že jedno oddělení má neustálý příjem pacientů, zato druhé jen občasné nahodilou práci a jeho provoz je z hlediska provozních faktorů ztrátový. Pojišťovny financují především konkrétní zákroky. Rakovina se v současnosti stává jednou z největších hrozeb lidstva. Společně se soudobým životním stylem, stravováním a prostředím v našem okolí se riziko vzniku karcinomu zvyšuje každým dnem. A přesně to je důvodem delších čekacích dob na diagnostických odděleních MOU. Dalším faktorem je především dispozice podmínek pro vzdělávání nových lékařů s nejmodernějšími přístroji. Celému ústavu to přináší nejen finanční kapitál od univerzity, ale i akademické zázemí pro nejuznávanější pracovníky v oboru, jakožto různé granty na výzkum a vývoj nových metod, postupů a léků pro boj s rakovinou. Celý systém financování, odbornosti, zázemí a metodiky je v oblasti práce s ionizujícím zářením na absolutně vyšší úrovni než u obou všeobecných nemocnic. A s ním je spojené i vytváření institucionálního radioaktivního odpadu a jeho systematické shromažďování a zneškodňování. Pro institut toto zázemí zajišťuje speciální oddělení radiologické fyziky, které je po celém areálu rozmístěno jako detašované pracoviště na příslušných klinikách.

### 9.2 Nakládání s institucionálním radioaktivním odpadem

Jak již bylo zmíněno v předešlé kapitole, současný trend v ozařování nádorů směřuje právě k technologii lineárních urychlovačů, které jsou sice významným zdrojem ionizujícího záření, ale v rámci jejich provozu není generován žádný institucionální odpad. V rámci své návštěvy jsem se tedy zajímal o institucionální radioaktivní odpad převážně z oddělení nukleární medicíny, která zajišťuje především diagnostiku rozsáhlosti nádorového objektu v těle pacienta. Vzhledem k obecným předpisům v provozování oddělení nukleární medicíny se

zaměřím na diferenci mezi oddělením KNTB a MOU. Jedná-li se o institucionální radioaktivní odpad, jako v případě KNTB se zde aplikuje stejný princip s jeho nakládáním. Stěžejním prvkem jsou vymírání dvou typů, ve kterých se musí veškerý institucionální radioaktivní odpad ponechat, než dosáhne tzv. uvolňovací úrovně, což je hodnota aktivity po 10 poločasech rozpadu. Následně je veškerý odpad klasifikován pouze jako biologický a jako takový putuje ke zneškodnění. Konkrétně z vymírání místnosti (pevný odpad) do spalovny SAKO v Brně, Líšni a z vymírání jímek (kapalný odpad) do kanalizačního systému. MOU všechny tyto nároky splňuje na vyšší technologické úrovni. Komplexně se tedy jedná o efektivnější systém nakládání s institucionálním radioaktivním odpadem. Všechny podstatné rozdíly jsou popsány v *následující tabulce*:

**Tabulka 11 – Institucionální radioaktivní odpad v MOU a rozdíl v nakládání oproti KNTB**

Skupenství	Odpad	Způsob zneškodnění	Rozdíl oproti KNTB
Pevné	Prádlo a lůžkoviny	Uložení ve speciálních pytlích označených pro elektronickou kontrolu. Pytle jsou ponechány ve vymíráních místnostech, dokud nedosáhnou konečné aktivity (10x PR), následný odvoz do spalovny odpadů.	Elektronický systém registrace veškerých odpadových nádob. Počítačem zaznamenávané údaje o průběžné aktivitě a kontrola výsledné uvolňovací úrovně. Rozsáhlejší systém vymíráních místností.
	Zdravotnický materiál		
Kapalné	Moč	Veškerá moč je z celého areálu svedena do dvou speciálně upravených kontrolovaných jímek. Systém automaticky kontroluje hladinu a po překročení stanovené hodnoty přepne na vedlejší jímku. Následně samočinně dle hodnot aktivity upouští do kanalizačního systému.	Plně automatizovaný systém dvou jímek. Monitorování aktivity spodních vod.
	Penicilinky	Uložení do stínícího pouzdra a ponechání ve vymíráních místnostech. Zneškodnění jako komunální odpad.	Elektronická registrace
Plynné	Nevyskytuje se	-	-

Kontrola veškerého odpadu odesílaného do spaloven nekončí jen v nemocničním prostředí. Všechny odpad prochází ve spalovně detekčním rámem, který zaznamenává i nepatrné

---

hodnoty ionizujícího záření a v případě zjištění větší hodnoty aktivity než je běžná míra od přírodního pozadí systém automaticky zastaví konkrétní úsek spalovny. Následně je problémový objekt manuálně vyjmut a celý proces se opakuje až do nápravy nastalé situace. V minulosti se často stávalo, že byl provoz zastavován při detekci záření od fosforu např. na ciferníku hodinek, což dokazuje citlivost detekčních rámců umístěných ve spalovnách. Z hlediska stále přísnějších hygienických norem se neustále diskutuje o vypouštění vymřelého institucionálního odpadu do běžného odpadového potrubí. I když se ze zákona pod určitou úroveň aktivity již nejedná o institucionální odpad, někteří lidé přesto zpochybňují jeho absolutní bezpečnost vzhledem k životnímu prostředí. MOU je díky svému specifickému zaměření na vyšší technologické úrovni oproti KNTB. Nejedná se o rozdílný přístup k nakládání s institucionálním odpadem, tato idea je pevně daná. Jde spíše o samotnou bezpečnost práce a systém zpětné kontroly celého procesu. Počítačem prováděné úkony budou vždy přesnější než chybný lidský faktor.

## 10. Zajímavosti z oblasti radioaktivních výrobků

Paradoxně, ne vždy byla považována radioaktivita za nebezpečnou! V dobách, kdy ještě nebyly přesně známy negativní účinky ionizujícího záření na lidský organismus, vzniklo pár zajímavých vynálezů využívajících zdánlivé a mylné vlastnosti radioaktivity. Lidská vynalézavost spojená s potenciálním nebezpečím se jednu dobu dokonce stala vyhledávaným módním výstřelkem (konkrétně ve 20. a 30. letech minulého století). Následující výčet by se dal shrnout částečně pozměněnou parafrází známého přísloví: „Odborník žasne, laik jde s dobou“.

### 10.1 Medicínské aplikace

Nejvíce pochybných vynálezů se pojí právě v souvislosti s medicínským odvětvím. Dnes již překonaná paradigmatata v minulosti zapříčinila sérii statisíců zbytečných a nevidovaných ozáření. Radioaktivita byla dokonce tak populární, že se často používala jako základní medikament pro různé typy nemocí. Chybný lidský úsudek nad neznámou věcí dal vzniknout těmto vynálezům:

- radiové soli do koupele,
- radiové obklady,
- studnice trvalého domácího zdraví,
- radonová aditiva do pitné vody.



Obrázek 24 – Radiofarmaka – zleva (sůl do koupele, obklady, studnice trvalého domácího zdraví) [27]

### 10.2 Obuvnický průmysl

Strohým záznamům z obuvnického průmyslu dominuje měrka na nohy na bázi fluoroskopu (rentgen). Ten se stal běžnou součástí desetitisíců obchodů s obuví po celém světě. Byl dokonce tak populární a žádaný, že donutil několikrát týdně maminky s dětmi navštěvovat prodejce s obuví, aby zjistili, zda-li botička jejich dítěte opravdu správně sedí a nedeformuje rozvíjející se dětskou nožičku.



Obrázek 25 – Příklad fluoroskopu [27]

### 10.3 Kosmetické doplňky

Poslední z řady výstředností zakončuje skupina kosmetických zušlechťovacích přípravků určených převážně pro ženy. Na levém obrázku je znázorněn luxusní krémový pudr s příměsí radia. Na pravém je zvláštní lahvička s léčivou vodou. Tento koncentrát měl údajně sloužit k zevnímu užití a udržování permanentního zdraví celého lidského organismu a s tím souvisejícího mladistvého vzhledu. V případě obou řešení se jednalo o zbytečnou dávku záření a nemělo až na kosmetický efekt v prvním případě žádný zvláštní prospěšný účinek.



Obrázek 26 – Kosmetické přípravky na bázi radioaktivity [27]



---

## 11. Závěr

Radioaktivita vždy vyvolávala u lidí smíšené pocity. Nejprve se v počátcích jejího objevu stala vyhledávaným společenským trendem, poté však byla prokázána její pravá a pro člověka neviditelná tvář a lidstvo záhy po tomto objevu kompletně přehodnotilo názor na, do té doby, nejvyhledávanější artikl. V průběhu let byly postupně prokazovány vedlejší účinky interakce lidské tkáně a ionizujícího záření a začaly se sumarizovat první pravidla, jak se nové hrozbě vyvarovat. Lidstvo nakonec díky 2. světové válce dokázalo najít i prospěšné a užitečné využití ionizujícího záření a tak se začala do tehdejší přenosové soustavy dodávat první jaderná energie. Nicméně, od objevu Roentgenových paprsků společnost fascinovala ještě jedna vlastnost spojená s ionizujícím zářením a tou je prostupnost pevnými materiály. Po průmyslových objevech a inovacích se na řadu možné aplikace dostala i medicína. Už nic nebránilo postupnému vzniku nukleární medicíny a dalších příbuzných oborů pracujících právě s ionizujícím zářením.

S každou lidskou činností je ovšem úzce spjat i odpad, který je v různých formách generován jako důsledek procesu uspokojování aktuálních lidských potřeb. Každopádně, prozatím se v historii jednalo pouze o nepodstatný odpad a na nic tak nebezpečného nebyla společnost s aktuálními vědomostmi připravena. Jak moc dobře víme, tento problém po tolika letech trápí lidstvo i nadále. Efektivita zpracování a následného procesu zneškodňování institucionálního odpadu se ovšem neustále rozvíjí a s vývojem přichází stále nové myšlenky a nápady až do současné podoby podrobně uvedené v bakalářské práci.

Při hodnocení kompletního nemocničního systému likvidace institucionálního radioaktivního odpadu můžeme směle konstatovat, že je nakládání s institucionálním radioaktivním odpadem na velmi vysoké úrovni. Lidé se naučili efektivně a důmyslně využívat základní vlastnosti radionuklidů, tedy poločasu rozpadu, a na základě tohoto jednoduchého principu postavili celou strategii institucionálního odpadového hospodářství. Celý systém záleží především na důkladné kontrole a dostatečných vhodných skladovacích prostorech, což je minimum požadavků vzhledem k tomu, že se bavíme o emitoru nebezpečného a neviditelného ionizujícího záření, které bez problémů projde pevným materiálem. Vše je navíc pod kontrolou nezávislého Státního úřadu pro jadernou bezpečnost, který si je vědom mediálního tlaku v případě selhání celého procesu, zvláště, jedná-li se o tak diskutované téma, jako je jaderný odpad a bezpečnost pacientů v nemocnicích.

Každý lidský objev je přínosem i rizikem zároveň a společnost zaplatila v průběhu dějin nemalou cenu v zájmu vědy a lepších zítřků pro ostatní. Nemá smysl omezovat něco s tak vysokým potenciálem a vyhlídkami do budoucna jen kvůli mediální blamáži a překonávání hranic people metru. Lidé si v současné době musí uvědomit, že veškeré přínosy ve spojitosti s využíváním ionizujícího záření mají mnohem vyšší hodnotu než negativní dopady ve formě různých podob jaderného odpadu. Mediálně hodně diskutované téma je často po odborné stránce nesprávně interpretováno a divák získává mylnou představu o celé záležitosti. Vliv médií se asi nejvíce projevil právě v Německu, kde ukončilo provoz všech 17 jaderných zařízení. Přitom je výroba energie pomocí jádra nejefektivnějším způsobem získávání této nejdůležitější současné společenské komodity. Medicínský přínos aplikovaného ionizujícího záření je dalším neoddiskutovatelným aktivem pro budoucnost společnosti. V souvislosti s touto myšlenkou je potřeba zmínit, že je institucionální odpad po nějaké době již zcela neškodný a identický s běžnou aktivitou přírodního pozadí.

I přes zaměření své práce a zjištěné výsledky jsem moc rád, že si obzvláště radioterapie razí individuální cestu navzdory překážkám spojeným s institucionálním radioaktivním odpadem. Tím samozřejmě narážím na nejnovější technologické možnosti lineárních urychlovačů.

---

Společnost se bude vždy dívat negativně na zařízení produkující jaderný a institucionální radioaktivní odpad, nicméně lineární urychlovače, jakožto čistá forma ionizujícího záření, budou vždy plnit rozsáhlé závazky vůči pacientům. A těch neustále přibývá!

---

## 12. Seznam použité literatury

- [1] Ernest Rutherford. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2012-11-07]. Dostupné z: [http://cs.wikipedia.org/wiki/Wilhelm\\_Conrad\\_Röntgen](http://cs.wikipedia.org/wiki/Wilhelm_Conrad_Röntgen)
- [2] *Worldometers: statistika v reálném čase* [online]. 2012, 08:12 7.11.2012 [cit. 2012-11-07]. Dostupné z: <http://www.worldometers.info/cz/>
- [3] Röntgen Wilhelm Conrad. In: *Wikiquote* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2012-11-07]. Dostupné z: [http://en.wikiquote.org/wiki/Ernest\\_Rutherford](http://en.wikiquote.org/wiki/Ernest_Rutherford)
- [4] DUŠEK, Jiří a Jan PÍŠALA. *Jaderné zbraně*. 1.vyd. Brno: Computer press, a. s., 2006. Stručná historie. 88 s. ISBN 80-251-0817-1.
- [5] MAREK, Jiří. *Jaderná energetika, člověk a životní prostředí*. 1. vyd. Praha: Panorama Praha, 1987. 105 s. ISBN (není k dispozici)
- [6] ČEZ, a.s. *Radioaktivita slouží* [online]. 2004 [cit. 2012-11-07]. Dostupné z: <http://www.cez.cz/edee/content/microsites/nuklearni/k23.htm>
- [7] KUPKA, Karel, Jozef KUBINYI a Martin ŠÁMAL. *Nukleární medicína*. 1. vyd. Praha: P3K, c2007, 200 s. ISBN 978-809-0358-492.
- [8] JANDOVÁ, Dobroslava. Balneologie: česká lázeňská medicína na počátku třetího tisíciletí. *Zdraví E15* [online]. 2010 [cit. 2012-11-21]. Dostupné z: <http://zdravi.e15.cz/clanek/priloha-lekarske-listy/balneologie-ceska-lazenska-medicina-na-pocatku-tretiho-tisicileti-453754>
- [9] Zákon č. 18/1997 Sb., o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření (atomový zákon) a o změně a doplnění některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů. In: *Sbírka zákonů*. 24. 1. 1997.
- [10] MAIRS, J. INES: The international nuclear and radiological event scale. *Factsheets of the International Atomic Energy Agency (IAEA): Safety and Security* [<http://www.iaea.org/Publications/Factsheets/>]. 1998-2012, s. 4 [cit. 2012-11-20]. Dostupné z: [www.iaea.org/Publications/Factsheets/English](http://www.iaea.org/Publications/Factsheets/English)
- [11] STÁTNÍ ÚŘAD PRO JADERNOU BEZPEČNOST. *Úvod - O SÚJB - Úvod - SÚJB* [online]. 1997 [cit. 2012-11-21]. Dostupné z: <http://www.sujb.cz/o-sujb/uvod/>
- [12] SPRÁVA ÚLOŽIŠŤ RADIOAKTIVNÍCH ODPADŮ. *O SÚRAO* [online]. [cit. 2012-11-21]. Dostupné z: <http://www.rawra.cz/cze/O-SURAO>
- [13] Lessons Learned The Hard Way. *IAEA Bulletin volume 47* [online]. © 2003-2004 [cit. 2013-02-13]. Dostupné z: [http://www.iaea.org/Publications/Magazines/Bulletin/Bull472/htmls/lessons\\_learned.html](http://www.iaea.org/Publications/Magazines/Bulletin/Bull472/htmls/lessons_learned.html)
- [14] *The Radiological accident in Goiania* [online]. [Lanham, MD: UNIPUB, distributor], 1988, 132 p., [16] p. of plates [cit. 2013-02-13]. ISBN 92-012-9088-8. Dostupné z: [http://www-pub.iaea.org/mtcd/publications/pdf/pub815\\_web.pdf](http://www-pub.iaea.org/mtcd/publications/pdf/pub815_web.pdf)
- [15] DIENSTBIER, Zdeněk. *Hirošima a zrod atomového věku: cesta od atomových zbraní k nukleární medicíně a jaderným elektrárnám*. 1. vyd. Praha: Mladá fronta, 2010, 308 s., [8] s. barev. obr. příl. Kolumbus (Mladá fronta). ISBN 978-80-204-2224-8.

- 
- [16] UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI. *Interakce rentgenového a gama záření s prostředím* [online]. 2012 [cit. 2012-11-21]. Dostupné z: <http://www.lf.upol.cz/menu/struktura-lf/kliniky/klinika-nuklearni-mediciny/pedagogicka-cinnost/fyzikalni-zaklady-zobrazovani-v-nuklearni-medicine-a-radiacni-ochrana/fyzikalni-zaklady/interakce-rentgenoveho-a-gama-zareni-s-prostredim/>
- [17] Vyhláška č. 307/2002 Sb., *o radiační ochraně* ze dne 13. června 2002. In: Vyhlášky SÚJB. 13. 6. 2002.
- [18] LUSTIG, F., P. BROM a J. DVOŘÁK. Závislost radioaktivity na druhu a tloušťce vrstvy stínícího materiálu. <i>Matematicko fyzikální fakulta univerzity Karlovy</i> [online]. 2011 [cit. 2013-02-13]. Dostupné z: <http://kdt-38.karlov.mff.cuni.cz/shielding/theory.html>
- [19] Radiační ochrana pracovníků. *Klinika nukleární medicíny lékařské fakulty UP* [online]. 2012 [cit. 2013-02-13]. Dostupné z: <http://www.lf.upol.cz/menu/struktura-lf/kliniky/klinika-nuklearni-mediciny/pedagogicka-cinnost/fyzikalni-zaklady-zobrazovani-v-nuklearni-medicine-a-radiacni-ochrana/radiacni-ochrana/radiacni-ochrana-pracovniku/>
- [20] ULLMANN, Vojtěch. Radiační ochrana při práci se zdroji ionizujícího záření. *Astronuklfyzika* [online]. 2012 [cit. 2013-05-02]. Dostupné z: <http://astronuklfyzika.cz/RadOchrana.htm>
- [21] *Radioactive waste management* [online]. 2012 [cit. 2013-03-20]. Dostupné z: <http://www.world-nuclear.org/info/Nuclear-Fuel-Cycle/Nuclear-Wastes/Radioactive-Waste-Management/#.UUjxnpZXxf1>
- [22] *3pól - Torricelli a poločas přeměny* [online]. 2010 [cit. 2013-03-20]. Dostupné z: <http://3pol.cz/867-torricelli-a-polocas-premeny>
- [23] KOVAŘÍK, Petr a Josef PODLAHA. Intitucionální radioaktivní odpady. *ODPADY.IHNED.CZ* [online]. 2007 [cit. 2013-05-12]. Dostupné z: [http://odpady.ihned.cz/1-10078640-20893840-E00000\\_d-29](http://odpady.ihned.cz/1-10078640-20893840-E00000_d-29)
- [24] *Treatment of radioactive nuclear waste* [online]. 2012 [cit. 2013-05-12]. Dostupné z: <http://trussty-jasmine.blogspot.cz/2012/12/treatment-of-radioactive-nuclear-waste.html#axzz2O3raED00>
- [25] NEUGEBAUER, Tomáš. *Každá firma produkuje odpad: komplexní průvodce odpadovým hospodářstvím pro původce veškerého odpadu : obsahuje evidenční sešit, který ze zákona vedou všichni podnikatelé!*. 1. vyd. Praha: Newsletter, 1999, 120, 40 s. De iure. ISBN 80-859-8543-8.
- [26] KNTB. *Oddělení nukleární medicíny KNTB* [online]. 2012 [cit. 2013-04-23]. Dostupné z: <http://www.kntb.cz/oddeleni-nuklearni-mediciny>
- [27] DRÁBOVÁ, Dana. *Potřebujeme jaderné technologie?*. In: *Science Café* [online]. 2012 [cit. 2013-03-03]. Dostupné z: <http://slideslive.com/w/38889609>

---

## 13. Seznam použitých zkratek

<b>zkratka</b>	<b>význam</b>
ADR	Přeprava nebezpečných věcí
CT	Počítačová tomografie
ČR	Česká republika
DNA	Deoxyribonukleová kyselina
IAEA	Mezinárodní agentura pro atomovou energii
INES	Mezinárodní stupnice pro hodnocení jaderných událostí
IZ	Ionizující záření
KNTB	Krajská nemocnice Tomáše Bati
LPE	Lineární přenos energie
MAAE	Mezinárodní agentura pro jadernou bezpečnost
MOU	Masarykův onkologický ústav
PET	Pozitronová emisní tomografie
PR	Poločas rozpadu
RAO	Radioaktivní odpad
SAKO	Spalovny a komunální odpady
SI	Mezinárodní základní soustava fyzikálních veličin
SÚJB	Státní úřad pro jadernou bezpečnost
SÚRAO	Správa úložišť radioaktivních odpadů

## 14. Seznam použitých veličin

<b>symbol</b>	<b>význam</b>	<b>jednotka</b>
m	Hmotnost	[kg]
A	Aktivita	[Bq]
eV	Energie	[eV]
V	Objem	[m <sup>3</sup> ]
T <sub>1/2</sub>	Poločas rozpadu	[s]
D	Absorbovaná dávka	[G]
H	Dávkový ekvivalent	[Sv]
Q	Lineární přenos energie	[-]
E	Energie	[J]
x	Vzdálenost	[m]
t	Čas	[s]

---

## 15. Seznam obrázků

<b>Obrázek 1.</b> Mezinárodní stupnice pro hodnocení jaderných havárií INES [10].....	13
<b>Obrázek 2.</b> Havárie Goiânia [14].....	16
<b>Obrázek 3.</b> Příklad fotoefektu [16].....	19
<b>Obrázek 4.</b> Vlivy ionizace na molekulu DNA [7].....	19
<b>Obrázek 5.</b> Srovnání deterministických a stochastických účinků [7].....	21
<b>Obrázek 6.</b> Efektivita olova jako absorpčního materiálu [18].....	23
<b>Obrázek 7.</b> Prvky osobní dozimetrie [19].....	23
<b>Obrázek 8.</b> Poločas rozpadu vyjádřený geometrickou posloupností [22].....	28
<b>Obrázek 9.</b> Ilustrované nakládání s jaderným a institucionálním odpadem [24].....	31
<b>Obrázek 10.</b> Přehled pohybu výtisků jednotlivých evidenčních listů [25].....	32
<b>Obrázek 11.</b> Značky ADR pro označení vozidel převážející radioaktivní materiál [25].....	32
<b>Obrázek 12.</b> Skiagraf Philips-lůžková část.....	33
<b>Obrázek 13.</b> Skiagraf Philips- kompletní sestava.....	34
<b>Obrázek 14.</b> Skiaskop „ Superix 164“ .....	34
<b>Obrázek 15.</b> Mamograf „ Hologic“ .....	35
<b>Obrázek 16.</b> Kniha skiagrafických vyšetření.....	37
<b>Obrázek 17.</b> Gamma kamera na pracovišti nukleární medicíny .....	38
<b>Obrázek 18.</b> Ochranné prvky.....	39
<b>Obrázek 19.</b> Speciální krabice na institucionální odpad a evidenční kniha.....	40
<b>Obrázek 20.</b> Kontejnery se stíněním.....	40
<b>Obrázek 21.</b> Vymírací místnost a box pro uložení jaderného odpadu.....	41
<b>Obrázek 22.</b> Měřicí Geigerův-Müllerův přístroj a pracoviště pro přípravu radiofarmak.....	42
<b>Obrázek 23.</b> Stíněný kontejner se speciálním odpadovým boxem.....	42
<b>Obrázek 24.</b> Radiofarmaka- zleva (sůl do koupele, obklady, studnice trvalého domácího zdraví) [21].....	47
<b>Obrázek 25</b> Příklad fluoroskopu [27].....	48
<b>Obrázek 26.</b> Kosmetické přípravky na bázi radioaktivity [27].....	48

---

## 16. Seznam tabulek

<b>Tabulka 1.</b> Veličiny a jednotky charakterizující ionizující záření [15].....	17, 18
<b>Tabulka 2.</b> Způsoby ochrany před ionizujícím zářením.....	22
<b>Tabulka 3.</b> Polovrstvy [mm] [18].....	23
<b>Tabulka 4.</b> Pracoviště se zdroji ionizujícího záření [17, 20].....	25
<b>Tabulka 5.</b> Klasifikace jaderného odpadu [21].....	26, 27
<b>Tabulka 6.</b> Radioaktivní prvky [15].....	29
<b>Tabulka 7.</b> Možné způsoby nakládání s institucionálním odpadem [21].....	31
<b>Tabulka 8.</b> Odpady spojené s provozováním rentgenových zářičů.....	36
<b>Tabulka 9.</b> Kategorizace pracovníků.....	37
<b>Tabulka 10.</b> Shrnutí institucionálního odpadu produkovaného oddělením nukleární medicíny v KNTB.....	43
<b>Tabulka 11.</b> Institucionální odpad v MOU a rozdíl v nakládání oproti KNTB.....	45

## 17. Seznam příloh

<b>Příloha 1.</b> Test odborné způsobilosti pro pracovníka s rentgenovým zářičem
<b>Příloha 2.</b> Evidenční list pro přepravu nebezpečných odpadů po území ČR
<b>Příloha 3.</b> Identifikační list nebezpečného odpadu
<b>Příloha 4.</b> Formulář pro vedení průběžné evidence
<b>Příloha 5.</b> Provozní řád pro sklad nebezpečných odpadů

## Příloha 1 - Test odborné způsobilosti pro pracovníka s rentgenovým zářičem

Jméno : *MUDr. VAŇKOVÁ IVOANA*

Prověření znalostí zák. 18 / 97 Sb., ve znění  
zák. 13 / 2002 Sb., vyhl. 307 / 2002 Sb. , dokumentace vyhl. 499/2006Sb.  
bezpečnostní předpisy

U správné odpovědi zakroužkujte odpovídající písmeno

1. Radiační činnost je:  
 a) činnost s umělými zdroji ionizujícího záření, která může zvýšit ozáření fyzických osob  
 b) řešení mimořádné radiační situace  
 c) plnění opatření havarijního plánu
2. Radiační nehodou je :  
 a) nepřipustné ozáření osob  
 b) porucha rentgenky  
 c) opakované rtg. Vyšetření
3. Radiační pracovník je :  
 a) pracovník nemocnice (zdravotnického zařízení) vlastníci rentgen  
 b) osoba vystavená profesnímu ozáření  
 c) servisní pracovník, opravující zdravotnické prostředky v rtg. oddělení
4. Jaký je rozdíl mezi sledovaným a kontrolovaným pásmem ?  
 a) žádný  
 b) je dán výkonem instalovaného rtg. zařízení  
 c) v regulovaném přístupu do tohoto pásma
5. Co představuje optimalizaci radiační ochrany ?  
 a) postupy k dosažení a udržení takové RO, aby riziko ohrožení života a prostředí bylo minimální a náklady rozumné, společensky a hospodářsky únosné  
 b) splnění a dodržení všech norem CR, včetně norem EU  
 c) dovybavení osob doplňujícími zdravotnickými ochrannými prostředky
6. Zdravotní újmou se rozumí :  
 a) zvýšení expozice (dávky) vykázané při osobním monitorování  
 b) pravděpodobnost poškození zdraví způsobeného somatickými účinky záření ionizujícího záření  
 c) nález odborného lékaře v rámci preventivní lékařské prohlídky
7. Kdo vykonává státní dozor nad radiační ochranou, vydává, eviduje a ověřuje osobní radiační průkazy ?  
 a) SÚJB  
 b) UNMZ  
 c) SURO
8. Radiační pracovník se zařazuje do kategorie:  
 a) pracovník kategorie A nebo B  
 b) pracovník kategorie C  
 c) pracovník kategorie 1.
9. Lékařské ozáření se smí použít :  
 a) v odůvodněném přínosu pro pacienta, vyvažujícím rizika, která vznikají nebo mohou vzniknout při jeho aplikaci  
 b) ke zvýšení výkonnosti pacienta  
 c) pro vyhledání plodu v těle ženy
10. Obecné limity pro obyvatelstvo jsou :  
 a) 15 mSv za rok, v oční čočce 5 mSv za rok  
 b) 6 mSv za rok



## Příloha 1 - Test odborné způsobilosti pro pracovníka s rentgenovým záříčem

- c) 1 mSv za rok, v oční čočce 15 mSv, v 1 cm<sup>2</sup> kůže 50 mSv za rok
11. Limity pro pracovníky jsou :
- a) 50 mSv za rok, v oční čočce 150 mSv  
b) 5 mSv za rok  
c) 15 mSv za rok, v oční čočce 150 mSv
12. Kdo smí používat ZIZ v KP ?
- a) pracovníci v kategorii A a B  
b) vedoucí ( mistr )  
 c) pouze pracovníci v kategorii A
13. Kritéria pro klasifikaci ZIZ :
- a) podle ohrožení zdraví a prostředí  
b) podle hmotnosti  
c) zda jsou ZIZ multipulzní nebo 2-4-6-12-pulzní
14. Jakou dokumentací se řídí práce v KP z hlediska RO ?
- a) vnitřním havarijním plánem, provozními pokyny pro bezpečné nakládání se ZIZ  
b) vyhláškou č.499/2006Sb.  
c) vyhláškou č.184/1997Sb.
15. Jak postupuje radiační pracovník (rtg. lékař, rtg. laborant) při vzniku poruchy, která může způsobit neřízené (nekontrolovatelné) rtg. záření?
- a) poruchu nahlásí přímému nadřízenému a podle charakteru závady dohlížející osobě  
b) vyrozumí bezpečnostního technika  
 c) ihned odpojí rtg. generátor od přívodu elektrické energie a oznámí událost přímému nadřízenému
- c) Generátor záření určený k radiodiagnostice v humánní medicíně je:
- a) nevýznamný zdroj ionizujícího záření  
b) velmi významný zdroj ionizujícího záření  
 c) významný zdroj ionizujícího záření
17. Mezi stochastické účinky ionizujícího záření patří:
- a) zákal oční čočky  
b) poškození fertility  
 c) genetické změny

Tento dokument slouží jen pro vnitřní potřebu dohlížejícího pracovníka.

Byl(a) jsem seznámena s vnitřním havarijním plánem, jeho umístění na rtg. pracovišti.

V případě nehody okamžitě odpojim hlavní přívod napájení rtg. zařízení s jehož umístěním jsem byla seznámena.

Datum :

14. 3. 2008

Podpis radiačního pracovníka :

Hodnocení :

Hodnocení a prověření znalostí provedl :

## Příloha 2 – Evidenční list pro přepravu nebezpečných odpadů po území ČR

### Nebezpečné odpady

## 8.6 EVIDENČNÍ LIST PRO PŘEPRAVU NEBEZPEČNÝCH ODPADŮ PO ÚZEMÍ ČR

<b>1. Odesílatel</b>		Číslo dokladu:	
Firma (název)		<b>6. Dopravce 1</b>	
Ulice		Firma (název)	
Místo a PSČ		Ulice	
Telefon/Fax		Místo a PSČ	
IČO	DIČ	Telefon/Fax	
<b>2. Příjemce</b>		IČO	
Firma (název)		DIČ	
Ulice		Kód druhu dopravy <sup>1)</sup>	
Místo a PSČ		SPZ taž. vozu	
Telefon/Fax		Užit. hm. taž. vozu (t)	
IČO	DIČ	SPZ návěsu	
<b>3. Místo nakládky</b>		Užit. hm. návěsu (t)	
Firma (název)		SPZ přívěsu	
Ulice		Užit. hm. přívěsu (t)	
Místo a PSČ		Číslo želez. vagónu	
Telefon/Fax		Číslo vodní, letecké zásilky	
IČO	DIČ	<b>7. Dopravce<sup>2)</sup></b>	
<b>3. Místo vykládky</b>		Firma (název)	
Firma (název)		Ulice	
Ulice		Místo a PSČ	
Místo a PSČ		Telefon/Fax	
Telefon/Fax		IČO	
IČO	DIČ	DIČ	
<b>4. Připojené doklady</b>		Kód druhu dopravy <sup>1)</sup>	
Pokyny pro příp. nehody		SPZ taž. vozu	
Další doklady		Užit. hm. taž. vozu (t)	
		SPZ návěsu	
		Užit. hm. návěsu (t)	
		SPZ přívěsu	
		Užit. hm. přívěsu (t)	
		Číslo želez. vagónu	
		Číslo vodní, letecké zásilky	

Pol.	Název nebezpečného odpadu dle Katalogu odpadů	Kód odpadu dle Katalogu odp.	Třída nebezp.	Číslice Písmeno	UN číslo	Druh obalu Počet ks	Brutto (t)	Množství odpadu (t)	Objem (m <sup>3</sup> )
8.	9.	10.***)	11.	12.	13.	14.	15.	16.***)	17.

<b>18. Náklad předán dopravci</b>	<b>19. Náklad předán příjemci</b>	<b>20. Náklad přijal</b>
dne ..... 199... .. hodin	dne ..... 199... .. hodin	dne ..... 199... .. hodin
Odesílatel	Dopravce	Příjemce
Razítko a podpis	Razítko a podpis	Razítko a podpis

### 21. Poznámky

<sup>1)</sup> 1 - silniční, 2 - železniční, 3 - vodní, 4 - letecká, 5 - kombinovaná  
<sup>2)</sup> Vypisuje se jen při více dopravních při překládce nákladu  
<sup>3)</sup> Vypisuje se, jen je-li náklad klasifikován jako odpad

## Příloha 3 – Identifikační list nebezpečného odpadu

Nebezpečné odpady									
<b>8.2</b>									
<b>IDENTIFIKAČNÍ LIST NEBEZPEČNÉHO ODPADU</b>									
<b>1. Název odpadu (podle Katalogu odpadů):</b>									
<b>2. Kód odpadu (podle Katalogu odpadů):</b>	<table border="1"><tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr></table>								
<b>3. Kód podle ADR<sup>9)</sup> nebo COTIF:<sup>9)</sup></b>									
<b>4. Původce odpadu nebo oprávněná osoba:</b>									
Firma (název):									
Ulice:									
Místo a PSČ:									
IČO:									
Osoba oprávněná jednat jménem původce odpadu nebo oprávněné osoby:									
Telefon/Fax:									
<b>5. Fyzikální a chemické vlastnosti odpadu:</b>									
<b>6. Nebezpečné vlastnosti odpadu:</b>									
<b>7. Bezpečnostní opatření při manipulaci, skladování a přepravě odpadu:<sup>9)</sup></b>									
<b>7.1 Technická opatření:</b>									
<b>7.2 Doporučené osobní ochranné pracovní prostředky</b>									
- dýchací orgány:									
- oči:									
- ruce:									
- ostatní části těla:									
<b>7.3 Protipožární vybavení:</b>									

<sup>9)</sup> Zákon č. 111/1994 Sb., o silniční dopravě, ve znění zákona č. 38/1995 Sb., Evropská dohoda o mezinárodní silniční dopravě nebezpečných věcí - ADR (Ženeva 1957), vyhlášená ve Sbírce zákonů pod č. 64/1987.

<sup>9)</sup> Zákon č. 266/1994 Sb., o drahách. Příloha I. k vyhlášce ministra zahraničních věcí č. 8/1985 Sb., o Úmluvě o mezinárodní železniční přepravě (COTIF).

### Příloha 3 – Identifikační list nebezpečného odpadu

#### Nebezpečné odpady

##### 8. Opatření při nehodách, haváriích a požárech:

8.1 Lokalizace:

8.2 První pomoc:

8.3 Další pokyny:

8.4 Telefonické spojení:

Hasiči	150
Zdravotní služba	155
Policie	158

##### 9. Ostatní důležité údaje:

9.1 Toxikologické údaje:

9.2 Ekologické údaje:

9.3 Další údaje:

##### 10. Za správnost údajů uvedených v Identifikačním listu odpovídá:

Firma (název):

Ulice:

Místo:

PSČ:

IČO:

Osoba oprávněná jednat jménem firmy:

Telefon/Fax:

Datum vyhotovení:

Podpis a razítko:

**Příloha 4 – Formulář pro vedení průběžné evidence**

**Průběžná evidence**

**8.3**

**FORMULÁŘ PRO VEDENÍ PRŮBĚŽNÉ EVIDENCE**

<b>Původce:</b>				<b>List tohoto odpadu č.:</b>			
<b>Adresa původce:</b>				<b>IČO:</b>			
<b>Název provozovny:</b>				<b>Telefon:</b>			
<b>Adresa provozovny:</b>				<b>FAX:</b>			
<b>Oprávněná osoba k jednání:</b>				<b>Rok produkce:</b>			
Název odpadu: .....				Kategorie odpadu (označte zakroužkováním): O          N          N - zpřísněný režim			
Kód odpadu:				O/N          N/O číslo rozhodnutí změny:			
Poř. čís. zázn.	Datum	M.j.	Množství vzniklého nebo přijatého odpadu	Množství předaného (využitého, zneškodněného) odpadu	Způsob naložení s odpadem (kódem)	IČO a název oprávněné osoby, které byl odpad předán nebo od které byl odpad přijat	Cena

## Příloha 5 – Provozní řád pro sklad nebezpečných odpadů

### Nebezpečné odpady

## 8.5 PROVOZNÍ ŘÁD PRO SKLAD NEBEZPEČNÝCH ODPADŮ (VZOR)

### 1. Datum uvedení skladu do provozu

*Stávající skladový prostor těchto druhů odpadů.*

### 2. Seznam skladovaných odpadů

kód a název odpadu:	způsob skladování:	způsob manipulace:
130202 nechlorovaný motorový převodový a mazací olej	v kovových sudech	shromažďování a předávání odpadu k likvidaci
150201 sorbent, upotřebená čisticí tkanina, filtrační materiál	v kovových uzavíratelných nádobách	shromažďování a předávání odpadu k likvidaci

### 3. Maximální množství jednotlivých druhů skladovaných odpadů

130202 nechlorovaný motorový, převodový a mazací olej	400 l
150201 sorbent, upotřebená čisticí tkanina, filtrační materiál	50 kg

### 4. Způsob vedení evidence skladovaných odpadů

*Průběžnou evidenci vede vedoucí zaměstnanec na interním formuláři, který obsahuje všechny náležitosti stanovené vyhláškou ministerstva životního prostředí č. 338/1997 Sb.*

### 5. Postup v případě havárie

*Rozlité ropné produkty zasypat VAPEXem.*

### 6. Zajištění bezpečnosti a hygieny práce

*Při práci s odpady dodržovat pravidla bezpečnosti a hygieny práce stanovené pro látky, výrobky a přípravky mající stejné nebezpečné vlastnosti.*

### 7. Identifikační listy skladovaných odpadů

*Identifikační listy nebezpečných odpadů tvoří přílohu tohoto řádu č. 1 a 2.*

V                      dne

Zpracoval:

Údaje a hodnoty zde uvedené jsou ilustrativní.