

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH  
ZDRAVOTNĚ SOCIÁLNÍ FAKULTA

**Způsoby detekce ionizujícího záření výpustí z JE**

Bakalářská práce

Vypracovala: Milena Korandová

Vedoucí práce: Ing. Jan Singer, CSc.

2007

## **Methods of detection of ionizing radiation egress of nuclear power station**

### **Abstract**

The approaches to the draining measurements and to the surroundings of nuclear power stations as well as the nuclear machinery changed depending on the development and the availability of measurement hardware as well as the development of models of radionuclide diffusion in the atmosphere and biosphere. In general, it is demanded to monitor systematically the draining of the radionuclides from nuclear reactors.

Monitoring of the draining serves for the inspection of permitted draining observance and for detection and estimation of possible evasions and their impact on the inhabitants in the workplace neighbourhood and on the environment.

I aimed my study at tritium. Tritium is determined by using a liquid scintillation spectrometry. It is a very effective method of detection and spectrometry of ionizing particles. The liquid scintillation spectrometry is aimed at low energetic beta emitters and this method can be also used when measuring alpha emitters.

Tritium in the drainings to the drainage channels is measured by the same type of measuring equipment both in the Nuclear power station Dukovany and in the Nuclear power station Temelín. Setting of tritium in these nuclear power stations differentiates in sample preparations for measuring and consequently the measured values are not fully comparable.

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci jsem vypracovala samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě – v úpravě vzniklé vypuštěním vyznačených částí archivovaných .... fakultou elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách.

Datum.

Podpis studenta

Poděkování:

Děkuji vedoucímu mé bakalářské práce panu Ing. Janu Singerovi, CSc. a také panu Mgr. Marku Kurfírtovi, Ing. Janu Matznerovi a Ing. Jiřímu Pospíchalovi za odborné vedení, poskytnutí materiálů, podnětných rad a trpělivosti při zpracování.

## Obsah

ÚVOD .....	7
<b>1 SOUČASNÝ STAV .....</b>	<b>8</b>
<b>1.1 Legislativní požadavky .....</b>	<b>8</b>
1.1.1 <i>Autorizované limity stanovené SÚJB</i> .....	9
1.1.1.1 <i>JE Dukovany</i> .....	9
1.1.1.2 <i>JE Temelín</i> .....	11
1.1.2 <i>Monitorování výpustí</i> .....	14
<b>1.2 Definice pojmů .....</b>	<b>14</b>
<b>1.3 Program monitorování .....</b>	<b>15</b>
1.3.1 <i>Radionuklidy vypouštěné do vodotečí</i> .....	15
<b>1.4 Tritium .....</b>	<b>20</b>
<b>2 CÍL PRÁCE A HYPOTÉZA .....</b>	<b>23</b>
<b>2.1 Cíl práce .....</b>	<b>23</b>
<b>2.2 Hypotéza .....</b>	<b>23</b>
<b>3 METODIKA .....</b>	<b>24</b>
<b>3.1 Stanovení objemové aktivity tritia - kapalně výpustí .....</b>	<b>24</b>
<b>3.2 Princip kapalinové scintilační spektrometrie .....</b>	<b>24</b>
<b>3.3 Metrologie zařízení .....</b>	<b>25</b>
<b>4 VÝSLEDKY .....</b>	<b>27</b>
<b>4.1 Monitorování radiační situace okolí Jaderné elektrárny Dukovany .....</b>	<b>27</b>
<b>4.2 Monitorování výpustí z Jaderné elektrárny Temelín .....</b>	<b>31</b>
<b>5 DISKUSE .....</b>	<b>35</b>
<b>6 ZÁVĚR .....</b>	<b>39</b>
<b>7 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....</b>	<b>40</b>

<b>7.1</b>	<b>Internetové odkazy .....</b>	<b>41</b>
<b>8</b>	<b>KLÍČOVÁ SLOVA .....</b>	<b>42</b>

## **Úvod**

Jaderná elektrárna Dukovany a Jaderná elektrárna Temelín jsou naše dvě jaderné elektrárny. Při provozu jaderných elektráren vzniká v jejich reaktorech řada radionuklidů, které mají větší či menší vliv na člověka a životní prostředí. Tyto radionuklidy jsou řízeně vypouštěny do okolního prostředí kapalnými a plynnými výpustmi. Z toho vyplývá potřeba monitorovat tyto výpusti a samozřejmě i okolí jaderné elektrárny.

Ve své práci jsem se zaměřila na tritium, vypouštěné kapalnými výpustmi, a jeho vlivu na životní prostředí.

## 1 Současný stav

### 1.1 Legislativní požadavky

Přístupy k měření výpustí a okolí jaderných elektráren a jaderných zařízení se měnily v závislosti na vývoji a dostupnosti měřící techniky i na vývoji modelů šíření radionuklidů v atmosféře a v biosféře. Obecně se vyžaduje, aby výpusti radionuklidů z jaderných reaktorů byly soustavně monitorovány tak, aby aktivita vypouštěných radionuklidů mohla být porovnána se stanoveným autorizovaným limitem. Tento požadavek je zakotven v zákoně č. 18/1997 Sb., o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření (atomový zákon) ve znění pozdějších zákonů. Podrobné požadavky kladené na Program monitorování jsou uvedeny ve vyhlášce Státního úřadu pro jadernou bezpečnost (SÚJB) č. 307/2002 Sb., o radiační kontrole.

V této vyhlášce se v § 56 stanovuje, že toto uvádění je možné pouze na základě, v rozsahu a za podmínek stanovených v povolení SÚJB k uvádění radionuklidů do životního prostředí.

Řízené vypouštění radionuklidů do životního prostředí je možné pouze za splnění podmínky, že u příslušné kritické skupiny obyvatel nepřekročí roční efektivní dávka v důsledku kapalných výpustí z jaderně energetických zařízení do hydrosféry optimalizační mez 50  $\mu\text{Sv}$  (pro výpusti do atmosféry je stanovena optimalizační mez 250  $\mu\text{Sv}$ ).

Tato vyhláška současně v § 17 stanovuje směrné hodnoty ozáření, které se považují za dostatečné prokázání rozumně dosažitelné úrovně radiační ochrany. Pro oblast uvolňování radionuklidů do životního prostředí je touto rozumně dosažitelnou úrovní radiační ochrany považováno u příslušné kritické skupiny obyvatel nepřekročení roční efektivní dávky v důsledku kapalných a plyných výpustí 50  $\mu\text{Sv}$ .



### 1.1.1 Autorizované limity stanovené SÚJB

#### 1.1.1.1 JE Dukovany

SÚJB stanovil autorizovaný limit pro uvádění radionuklidů do životního prostředí ve formě kapalných výпустí z Jaderné elektrárny Dukovany do řeky Jihlavy v profilu nádrží Mohelno, a to v míře nepřesahující za kalendářní rok pro jednotlivce z kritické skupiny obyvatelstva autorizovaný limit **6  $\mu\text{Sv}$** , který se vztahuje na součet efektivních dávek ze zevního ozáření a úvazků efektivních dávek z vnitřního ozáření. Povolení je vydáno za předpokladu dodržení těchto podmínek:

- I. Roční bilancování (porovnání skutečnosti s hodnotou výše uvedeného autorizovaného limitu) se provádí pomocí výpočetního programu RDEDU V 2.0.1. Provádí se výpočet pro skutečnou hodnotu výпустí a pro skutečné poměry v recipientu v bilancovaném roce. Kritickou skupinou jsou obyvatelé nacházející se v zóně č. 41 do vzdálenosti 9 až 10 km od místa výпустí odpadních vod do recipientu.
- II. Pro účely kontroly a regulace výпустí v průběhu kalendářního roku se odhad součtu efektivních dávek ze zevního ozáření a úvazků efektivních dávek z vnitřního ozáření jednotlivce kritické skupiny stanovuje jako součet součinů aktivit jednotlivých radionuklidů vypuštěných do recipientu za sledované období a převodních koeficientů  $h$ , které jsou stanoveny takto:

Tab. 1 – Konverzní faktory

pořadové číslo	radionuklid	$h_{50,j}$ [Sv/Bq]	pořadové číslo	radionuklid	$h_{50,j}$ [Sv/Bq]
1	$^3\text{H}$	1,23E-19	17	$^{134}\text{Cs}$	4,53E-15
2	$^{14}\text{C}$	1,14E-16	18	$^{137}\text{Cs}$	5,88E-15
3	$^{51}\text{Cr}$	3,52E-18	19	$^{141}\text{Ce}$	9,14E-18
4	$^{54}\text{Mn}$	7,40E-16	20	$^{144}\text{Ce}$	2,37E-17
5	$^{57}\text{Co}$	1,09E-16	21	$^{238}\text{Pu}$	4,18E-17
6	$^{58}\text{Co}$	2,02E-16	22	$^{239}\text{Pu}$	4,26E-17
				$^{240}\text{Pu}$	1,79E-16
7	$^{59}\text{Fe}$	1,08E-17	23	$^{241}\text{Am}$	1,66E-20
8	$^{60}\text{Co}$	1,27E-14	24	$^{242}\text{Cm}$	1,13E-21

9	<sup>65</sup> Zn	3,71E-16	25	<sup>244</sup> Cm	8,53E-22
10	<sup>75</sup> Se	3,11E-19	26	<sup>89</sup> Sr	1,22E-17
11	<sup>95</sup> Zr	1,38E-16	27	<sup>90</sup> Sr	1,35E-16
12	<sup>95</sup> Nb	7,41E-16	28	<sup>131</sup> I	1,35E-16
13	<sup>103</sup> Ru	6,93E-17	29	<sup>140</sup> Ba	8,12E-19
14	<sup>110m</sup> Ag	5,22E-17	30	<sup>76</sup> As	2,52E-19
15	<sup>124</sup> Sb	3,57E-18	31	<sup>140</sup> La	3,43E-18
16	<sup>125</sup> Sb	2,82E-19	32	<sup>184</sup> Hf	3,84E-19

Autorizovaný limit 6  $\mu\text{Sv}$  (efektivní dávka) je univerzální. Zároveň zohledňuje vliv libovolné směsi radionuklidů (včetně tritia), které se vypouštějí do povrchových vod. Nemusíme proto stanovovat odděleně limit pro tritium a limity pro ostatní radionuklidy. Výpočet ozáření v důsledku vypusti odpadních vod je prováděn radionuklidově specificky. Výpočetním programem RDEDU bylo prokázáno, že kritickou skupinou z hlediska kapalných výpustí jsou obyvatelé žijící v zóně č. 41 do vzdálenosti 10 km od místa vypusti do recipientu pro roční výpust aktivity tritia  $2,0 \cdot 10^{13}$  Bq a roční výpust sumární aktivity ostatních radionuklidů  $1,9 \cdot 10^8$  Bq do recipientu s průtokem  $1,7 \text{ m}^3/\text{s}$  a při zohlednění všech v úvahu přicházejících expozičních cest vychází odhad efektivní dávky pro jednotlivce z kritické skupiny obyvatel v závislosti na jeho věku 2,0 až  $4,5 \mu\text{Sv}$ . Stanovený autorizovaný limit zaručuje ochranu celé kritické skupiny, bez ohledu na věk jejích jednotlivců. Na efektivní dávce se v dané směsi radionuklidů z 99% podílí tritium. Z expozičních cest uvažovaných ve výpočtu zcela převažuje ozáření v důsledku příjmu vody, a to podílem vyšším než 99%.



Obr. 1 Jaderná elektrárna Dukovany

### 1.1.1.2 JE Temelín

Pro Jadernou elektrárnu Temelín, která uvádí radionuklidy do životního prostředí ve formě kapalných výpustí do řeky Vltavy v profilu Kořensko, stanovuje SÚJB autorizovaný limit **3  $\mu$ Sv** za kalendářní rok pro jednotlivce kritické skupiny obyvatelstva, který se vztahuje na součet efektivních dávek ze zevního ozáření a úvazků efektivních dávek z vnitřního ozáření. Povolení se vydává za předpokladu dodržení následujících podmínek:

- I. Roční bilancování (porovnání skutečnosti s hodnotou výše uvedeného autorizovaného limitu) se provádí pomocí výpočetního programu RDETE, autorizovaného SÚJB procesem daným VDS 030. Výpočet se provádí pro skutečnou hodnotu výpustí a pro skutečné poměry recipientu v bilancovaném roce. Kritickou skupinou jsou lidé nacházející se do vzdálenosti 3 km od místa výpustí odpadních vod do recipientu.
- II. Pro účely kontroly a regulace výpustí v průběhu kalendářního roku se odhad součtu efektivních dávek ze zevního ozáření a úvazků efektivních dávek z vnitřního ozáření jednotlivce z kritické skupiny stanovuje jako součet součinů aktivit jednotlivých radionuklidů vypuštěných do recipientu za sledované období a převodních koeficientů  $h$ , které jsou stanoveny takto:

Tab. 2 – Konverzní faktory

pořadové číslo	radionuklid	$h$ [Sv/Bq]	pořadové číslo	radionuklid	$h$ [Sv/Bq]
1	$^3\text{H}$	4,0E-20	19	$^{99}\text{Mo}$	6,5E-19
2	$^{24}\text{Na}$	9,5E-19	20	$^{103}\text{Ru}$	6,9E-18
3	$^{51}\text{Cr}$	4,9E-19	21	$^{106}\text{Ru}$	2,0E-17
4	$^{54}\text{Mn}$	6,9E-17	22	$^{110\text{m}}\text{Ag}$	4,2E-17
5	$^{59}\text{Fe}$	1,7E-18	23	$^{113}\text{Sn}$	1,6E-19
6	$^{57}\text{Co}$	1,1E-17	24	$^{124}\text{Sb}$	4,3E-19
7	$^{58}\text{Co}$	2,0E-17	25	$^{134}\text{Cs}$	2,7E-16
8	$^{60}\text{Co}$	1,2E-15	26	$^{137}\text{Cs}$	4,5E-16
9	$^{65}\text{Zn}$	4,7E-17	27	$^{140}\text{La}$	3,0E-19
10	$^{89}\text{Sr}$	1,1E-17	28	$^{141}\text{Ce}$	1,4E-18

11	<sup>90</sup> Sr	1,7E-16	29	<sup>143</sup> Cs	4,9E-19
12	<sup>92</sup> Sr	7,1E-22	30	<sup>154</sup> Eu	9,5E-16
13	<sup>95</sup> Zr	1,3E-17	31	<sup>175</sup> Hf	5,2E-20
14	<sup>97</sup> Zr	5,3E-19	32	<sup>238</sup> Pu	2,4E-18
15	<sup>131</sup> I	1,0E-16	33	<sup>239</sup> Pu	2,4E-18
16	<sup>133</sup> I	4,8E-18	34	<sup>240</sup> Pu	2,0E-17
17	<sup>95</sup> Nb	9,3E-19	35	<sup>241</sup> Am	2,1E-18
18	<sup>97</sup> Nb	4,6E-20	36	<sup>243</sup> Am	3,0E-20

Stanovený autorizovaný limit je univerzální a zohledňuje vliv libovolné směsi radionuklidů (včetně tritia) vypuštěné do povrchových vod. Není tudíž nutno odděleně stanovovat limit pro tritium a limity pro ostatní radionuklidy. Výpočet ozáření v důsledku odpadních vod je prováděn radionuklidově specificky. Kritickou skupinou obyvatel z hlediska kapalných výpustí jsou lidé žijící do vzdálenosti 3 km od místa výpusti do recipientu, což bylo prokázáno výpočetním programem RDETE. Pro předpokládanou roční výpust aktivity tritia  $6,6 \cdot 10^{13}$  Bq a roční výpust sumární aktivity ostatních radionuklidů  $4,0 \cdot 10^8$  Bq do recipientu s průtokem  $9,6 \text{ m}^3/\text{s}$ , při zohlednění všech v úvahu přicházejících expozičních cest (expoze z požití kontaminované vody a ryb, expoze z potravin kontaminovaných zavlažováním, expoze při koupání či jízdě člunem, expoze z kontaminovaných pobřežních naplavenin a expoze z pobytu na zavlažované půdě) vychází odhad efektivní dávky pro jednotlivce z kritické skupiny obyvatel v závislosti na věku 1,5 až 2,7  $\mu\text{Sv}$ . Tudíž stanovený autorizovaný limit 3  $\mu\text{Sv}$  zaručuje ochranu celé kritické skupiny, bez ohledu na věk jejích jednotlivců. Na efektivní dávce se v dané směsi radionuklidů podílí z 99 % tritium. Z expozičních cest uvažovaných ve výpočtu zcela převažuje ozáření v důsledku příjmu vody podílem vyšším než 99%.



Obr. 2 Jaderná elektrárna Temelín

Z uvedených údajů vyplývá stejný přístup SÚJB pro stanovení autorizovaných limitů pro vypusti do vodotečí z obou jaderných elektráren, přičemž:

- a) Dodržení autorizovaného limitu je pro konkrétní kalendářní rok prokazováno použitím stanoveného výpočetního modelu zohledňujícího model šíření radionuklidů hydrosférou v dané lokalitě a pro určenou kritickou skupinu obyvatel. Jako vstupní hodnoty výpočtu pak jsou skutečná aktivita radionuklidů vypuštěná do vodoteče a skutečné hydrologické poměry ve vodoteči v hodnoceném roce. Výsledek výpočtu tudíž představuje nejhodnověrnější odhad zátěže kritické skupiny obyvatel.
- b) Rozdíl hodnot stanovených autorizovaných limitů pro obě lokality je dán především objektivními poměry ve vodoteči – průměrný roční průtok v řece Jihlava je několikanásobně menší než v řece Vltava – a s ohledem k míře ozáření (jednotky  $\mu\text{Sv}$ ) je nevýznamný.
- c) Kontroverzní faktory pro účely kontroly a regulace v průběhu roku jsou stanoveny konzervativním přístupem, tj. zohledňují i situaci, kdy by plánovaný obsah radionuklidů byl vypuštěn do méně příznivých průtoků ve vodoteči.

### *1.1.2 Monitorování výpustí*

Monitorování výpustí slouží ke kontrole dodržování povolených výpustí a k včasnému zjištění a zhodnocení případných úniků a jejich důsledků na obyvatelstvo v okolí pracoviště a na životní prostředí.

Monitorování výpustí se uskutečňuje sledováním, měřením, hodnocením a zaznamenáváním veličin a parametrů charakterizujících výpusti radionuklidů do okolí pracoviště jaderné elektrárny. Zahrnuje, jak soustavné bilanční měření všech radionuklidů, které závažně přispívají k ozáření obyvatelstva, tak i nepřetržitá měření reprezentativních radionuklidů, schopných rychle signalizovat odchylky od běžného provozu.

(Klener, 2000; vyhl. č. 307/2002 Sb.; zákon č. 18/1997 Sb.; Rozhodnutí SÚJB čj. 12136/2007 ze dne 25.4.2007 a čj. 8096/2005 ze dne 5.4.2005)

### *1.2 Definice pojmů*

Monitorování – cílené měření veličin charakterizujících ozáření, pole záření nebo radionuklidy a hodnocení výsledků těchto měření pro účely usměrňování ozáření.

Výpust – látka vypouštěná z pracoviště se zdroji ionizujícího záření do životního prostředí, které obsahují radionuklidy v množství nepřesahující podmínky povolení k uvádění radionuklidů do životního prostředí.

Radionuklid – druh atomů (které mají stejný počet protonů a stejný počet neutronů, stejný energetický stav), který podléhá samovolné změně ve složení či stavu atomových jader.

Limity – limity ozáření jsou závazné kvantitativní ukazatele, jejichž překročení není z hlediska radiační ochrany přípustné.

Referenční úroveň – hodnota, popř. kritérium, rozhodná pro určité předem stanovené postupy nebo opatření. Rozeznáváme tři druhy:

- a) Záznamová úroveň – referenční úroveň, při jejímž překročení je údaj podrobněji zaznamenáván a evidován, odděluje hodnoty zasluhující pozornost od hodnot bezvýznamných.

- b) Vyšetřovací úroveň – referenční úroveň, jejíž překročení je podnětem k následnému šetření o příčinách a důsledcích zjištěného výkyvu sledované veličiny radiační ochrany.
- c) Zásahová úroveň – referenční úroveň, jejíž překročení je podnětem k zahájení určité činnosti nebo zavedení opatření ke změně zjištěného výkyvu sledované veličiny radiační ochrany.

Sumární (objemová) aktivita – (objemová) aktivita směsi radionuklidů bez možnosti rozlišení, jaký díl připadá na jaký radionuklid.

Sumární metody – jsou metody, které postihovaly dohromady jako jednu skupinu vzácné plyny, další skupinou byly radioizotopy jódu v různých chemických formách a tzv. dlouhodobé aerosoly. Tyto metody však většinou nebyly dost citlivé a měřené aktivity výпустí byly velmi často pod mezí citlivosti metody.

Bilanční metody – celková bilance jednotlivých radionuklidů.

Efektivní dávka – součet součinů tkáňových váhových faktorů a ekvivalentní dávky v ozářených tkáních nebo orgánech.

### ***1.3 Program monitorování***

Program monitorování kapalných a plyných výпустí stanovuje, které výпустí, jakými technickými prostředky, jak často a jaké radionuklidy v nich obsažené se mají sledovat. Uvádí další parametry související s monitorováním výпустí (rozsahy měření, způsoby a množství odběrů vzorků). Rovněž definuje referenční úrovně a činnosti, které je nutno provést při jejich překročení.

#### ***1.3.1 Radionuklidy vypouštěné do vodotečí***

Zdroje radionuklidů dostávající se do kapalných výпустí jsou, kromě tritia, principiálně stejné jako zdroje radionuklidů, které se vypouštějí do ovzduší (př. vzácné plyny, radioizotopy jódu, aerosoly, ...). Tritium je vypouštěno do vodotečí řízeně v aktivitách, které odpovídají předpisům. Z optimalizačních studií se odvozují

objemové aktivity tritia pro přípustné vypouštění v definovaném časovém období, obvykle 1 rok.

Data o radionuklidovém složení výpustí z jaderných elektráren i celkové vypuštěné aktivity jednotlivých radionuklidů za definované časové období se uvádějí ve zprávách o radiační situaci. Tyto zprávy vydávají pravidelně obě naše jaderné elektrárny (Dukovany, Temelín) a obdobné povinnosti mají jaderné elektrárny po celém světě. (Klener, 2000)

V následujících tabulkách je přehled jaké měřené radionuklidy a veličiny se monitorují na jaderných elektrárnách Temelín a Dukovany, jakou metodou a na jakém místě: (EDU 1, ETE 2)

Tab. 3 - Jaderná elektrárna Dukovany – výpusti do vodotečí

<b>Měřená látka</b>	<b>Metoda</b>	<b>Náhradní způsob měření</b>	<b>Místo měření</b>
Povolení k vypuštění – aktivita radionuklidů gama	Stanovení aktivity radionuklidů gama polovodičovou spektrometrií gama	laboratorní spektrometrie gama	kontrolní nádrže, nádrže odpadních vod, rozvody pitné vody, požární vody, ústředního topení a stabilního skrápěcího zařízení
Povolení k vypuštění – aktivita tritia	Stanovení aktivity tritia kapalinovou scintilační spektrometrií beta	Opačný HVB, TriCarb – kapalinový scintilační spektrometr RKO	Kontrolní nádrže
Bilancování – aktivita radionuklidů gama	Stanovení aktivity radionuklidů gama polovodičovou spektrometrií gama	- Alpha server 1 + MCA CANBERRA GENIE ESP + spektrometrické trasy s HPGe detektorem - PC + MCA CAMBERRA GENIE 2000 + spektrometrické trasy s HPGe detektorem	1) kontrolní nádrže v BAPP 2) - kontrolní nádrže v PB - kontrolní nádrž v MSVP - neutralizační nádrže v BAPP - kontrolní jímky URAO
Bilancování – aktivita	Stanovení aktivity	TriCarb – kapalinový	kontrolní nádrže



triticia	triticia kapalinovou spektrometrií beta	scintilační spektrometr chemické kontroly (radiační kontrola okolí)	
Bilancování – aktivita stroncia ( $^{89}\text{Sr}$ , $^{90}\text{Sr}$ )	Stanovení aktivity $^{89}\text{Sr}$ , $^{90}\text{Sr}$ spektrometrií beta	TriCarb – kapalinový scintilační spektrometr RKO	Kontrolní nádrže BAPP, PB, kontrolní jímky URAO – pouze $^{90}\text{Sr}$
Bilancování – aktivita radionuklidů alfa	Stanovení aktivity radionuklidů alfa spektrometrií alfa	dodavatelsky	Kontrolní nádrže BAPP, PB
Kontrola systémů nevypouštějících RA látky – aktivita radionuklidů gama	Stanovení aktivity radionuklidů gama chladících vod polovodičovou spektrometrií gama	- Alpha server 1 + MCA CANBERRA GENIE ESP + spektrometrické trasy s HPGe detektorem - PC + MCA CAMBERRA GENIE 2000 + spektrometrické trasy s HPGe detektorem	Bazény chladicích věží skupin I (1. a 2. blok), II (3. a 4. blok)
Kontrola systémů nevypouštějících RA látky – aktivita triticia	Stanovení aktivity triticia kapalinovou scintilační spektrometrií beta	TriCarb – kapalinový scintilační spektrometr chemické kontroly (RKO)	- bazény chladicích věží - průmyslová zaolejovaná kanalizace v šachtách při ústí do hlavní stoky, - sběrač dešťové vody u šachty průmyslové zaolejované kanalizace
Kontrola celkové výpusti z areálu EDU – aktivita radionuklidů gama	Stanovení aktivity radionuklidů gama polovodičovou spektrometrií gama	- Alpha server 1 + MCA CANBERRA GENIE ESP + spektrometrické trasy s HPGe detektorem - PC + MCA CAMBERRA GENIE 2000 + spektrometrické trasy s HPGe detektorem	Stanice odpadních vod na odpadním kanále z EDU
Kontrola celkové výpusti z areálu EDU	Stanovení aktivity triticia kapalinovou	TriCarb – kapalinový scintilační spektrometr	Stanice odpadních vod na odpadním

– aktivita tritia	scintilační spektrometrií beta	chemické kontroly (RKO)	kanále z EDU
Kontrola celkové výpusti z areálu EDU – celková aktivita radionuklidů gama	Stanovení aktivity radionuklidů gama	Odběr vzorků a vyhodnocení spektrometrií gama	Stanice odpadních vod na odpadním kanále z EDU
Aktivita stabilizovaného kalu z ČOV	Polovodičová spektrometrie gama	- Alpha server 1 + MCA CANBERRA GENIE ESP + spektrometrické trasy s HPGe detektorem - PC + MCA CAMBERRA GENIE 2000 + spektrometrické trasy s HPGe detektorem	a) ČOV – stabilizovaný odvodněný kal jako produktprovozu ČOV b) Retenční nádrže v areálu ČOV – vysušený nebo zatvrdlý kal vzniklý při čištění retenčních nádrží

Tab. 4 - Jaderná elektrárna Temelín – výpusti do vodotečí

Měřené radionuklidy a veličiny	Metoda	Místo měření
Povolení k vypouštění - aktivita radionuklidů gama	Odběr vzorků z nádrží a měření objemové aktivity radionuklidů emitujících záření gama polovodičovou spektrometrií	Kontrolní a sběrné nádrže
Povolení k vypouštění – aktivita tritia	Odběr vzorku z nádrží, příprava vzorku na měření a měření objemové aktivity tritia kapalnou scintilační spektrometrií	Kontrolní a sběrné nádrže
Kontrolní měření na společných vypouštěcích větvích	Měření objemové aktivity	1) společná vypouštěcí větev z kontrolních nádrží systému SVO, poplachových vod ionexů a chemické kanalizace 2) společná vypouštěcí větev z kontrolních nádrží systému SVO a neaktivní kanalizace
Bilanční měření radionuklidů gama	Odběr vzorků z nádrží a měření objemové aktivity radionuklidů	Kontrolní a sběrné nádrže

	emitujících záření gama polovodičovou spektrometrií, stanovení vypuštěné aktivity a provedení bilančního výpočtu	
Bilanční měření tritia	Odběr vzorku z nádrží, příprava vzorku na měření a měření objemové aktivity tritia kapalnou scintilační spektrometrií, stanovení vypuštěné aktivity a provedení bilančního výpočtu	Kontrolní a sběrné nádrže
Bilanční měření stroncia 89 (Sr <sup>89</sup> ) stroncia 90(Sr <sup>90</sup> )	Odběr vzorku z nádrží, vytvoření slévaného vzorku za periodu měření, příprava vzorku na měření, měření objemové aktivity Sr <sup>89</sup> a Sr <sup>90</sup> , stanovení vypuštěné aktivity Sr <sup>89</sup> a Sr <sup>90</sup> za požadované období a provedení bilančního výpočtu	Kontrolní a sběrné nádrže
Bilanční měření radionuklidů alfa	Odběr vzorku z nádrží, vytvoření slévaného vzorku za periodu měření, příprava vzorku na měření, spektrometrické měření objemové aktivity radionuklidů alfa za požadované období a provedení bilančního výpočtu	Kontrolní a sběrné nádrže
Kontrola celkové výpusti z areálu ETE – kontinuální měření objemové aktivity vod	Přímé měření ekvivalentní objemové aktivity	Odpadní kanál
Kontrola celkové výpusti z areálu ETE – aktivita radionuklidů gama	Polovodičová spektrometrie gama	Stanička odběrů vzorků z odpadního kanálů
Kontrola celkové výpusti z areálu ETE – aktivita tritia	Kapalinová scintilační spektrometrie beta	Stanička odběrů vzorků z odpadního kanálů
Kontrola celkové výpusti z areálu ETE – celková objemová aktivita alfa	Měření záření alfa	Stanička odběrů vzorků z odpadního kanálů
Kontrola celkové výpusti z areálu ETE – celková objemová aktivita beta	Měření záření beta	Stanička odběrů vzorků z odpadního kanálů
Povolání k vypouštění – aktivita tritia	Vypočte se předpokládaná hodnota objemové aktivity tritia v sběrné jímce	Sběrná jímka odpadních vod

v odpadním kanále	odpadních vod, která se porovná s hodnotou zásahové úrovně (odvozené od emisního limitu)	
-------------------	--	--

**Použité zkratky:**

BAPP – budova aktivních pomocných provozů

HVB – hlavní výrobní blok

ČOV – čistička odpadních vod

EDU – elektrárna Dukovany

ETE – elektrárna Temelín

MSVP – mezisklad vyhořelého paliva

PB – provozní budova

RA – radioaktivní

RKO – radiační kontrola okolí

SVO – čisticí stanice vod

URAO – úložiště radioaktivního odpadu

VK – ventilační komín

ZRAO – zpracování radioaktivního odpadu

#### **1.4 Tritium**

Tritium patří mezi přírodní radionuklidy vyskytující se v našem životním prostředí. Tyto přírodní radionuklidy se podle původu dají rozdělit do tří skupin:

- a) kosmogenní radionuklidy, které vznikají průběžně jadernými reakcemi při interakci kosmického záření se stabilními prvky zejména ve vnějším obalu Země (př.  $^{14}\text{C}$ ,  $^3\text{H}$ ,  $^7\text{Be}$ ,  $^{22}\text{Na}$ , ...)
- b) původní primordiální radionuklidy, které vznikly v raných stádiích vesmíru, díky velmi dlouhému poločasu přeměny se dosud vyskytují na naší planetě ve významném množství (př.  $^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$ ,  $^{87}\text{Rb}$ , ...)
- c) radionuklidy, které vznikají v přeměnových řadách

Poslední dvě skupiny přírodních radionuklidů jsou přímo z naší planety, a proto se označují jako terestrální.

Tritium patří mezi nejdůležitější nekovy z hlediska radioaktivity v životním prostředí. Přírozenou formou vzniku tritia je interakce kosmického záření s jádry dusíku a kyslíku v atmosféře. Také vzniká při jakémkoliv štěpení uranu či plutonia, při explozích jaderných zbraní a provozu jaderně energetických zařízení. V jaderném reaktoru vzniká při záchytu neutronů na lehkých prvcích, které jsou obsaženy v jaderném palivu a chladivu. Obvykle tritium vzniká v plynné formě, brzy oxiduje a tvoří tritiovou vodu (HTO, T<sub>2</sub>O). Takto se stává součástí normálního koloběhu vody, v atmosféře se vyskytuje ve formě vodní páry.

Tritium zachovává metabolismus vody. K migraci tohoto radionuklidu dochází v důsledku větru, vypařování, molekulové výměny, gravitačního proudění a srážek v troposféře. Díky tomuto pohybu najdeme tritium všude tam, kde je voda. Vzhledem k tomu, že tritium je izotop vodíku, jsou chemické vlastnosti tritiové vody v podstatě stejné jako vody.

Tento radionuklid je výborným radioaktivním indikátorem pro průkaz komunikace mezi podzemními a povrchovými vodami – podzemní vody, jež nikdy nekomunikovaly s povrchovými, mají obsah tritia nulový, v povrchových vodách je přírodní obsah tritia maximálně v jednotkách (Bq/l).

Tab. 5 - Data nuklidu

jméno	tritium, triton
symbol	T, <sup>3</sup> H
počet neutronů	2
počet protonů	1
poločas rozpadu	12,3 roku
relativní atomová hmotnost	3,016
teplota varu	- 248,1 °C
hustota	0,281 g . dm <sup>3</sup> (0°C)
zářič	β -
energie	18,6 keV

Míra radiotoxicity tritia po jeho příjmu člověkem je dána tzv. konverzními faktory uvedenými v přílohách vyhlášky o radiační ochraně. Konverzní faktor je číselně rovný úvazku efektivní dávky připadajícího na příjem jednotkové aktivity (1 Bq) a je tabelován pro druh příjmu (ingesce nebo inhalace), pro populační skupinu (obyvatelstvo

nebo radiační pracovníci) a pro věkovou skupinu. Např. pro dospělého obyvatele a pro požití tritiové vody činí konverzní faktor  $1,8 \cdot 10^{-11}$  Sv/Bq – jeho hodnota je nejméně 100krát menší než např. pro  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{60}\text{Co}$  a  $^{90}\text{Sr}$ .

(<http://www.cez.cz>; <http://simopt.cz>; <http://astronuklfyzika.cz>; Klener, 2000; Kuna, 2005)

## **2 Cíl práce a hypotéza**

### **2.1 Cíl práce**

Jaderná elektrárna Dukovany i Jaderná elektrárna Temelín stanovuje radionuklidy, které vypouští plynnými a kapalnými výpustmi, rozdílnými způsoby.

Rozhodla jsem se porovnávat metody měření tritia v kapalných výpustech. Tento radionuklid se v přírodě vyskytuje jen ve stopách, a proto je výborným radioindikátorem pro vodu. Je dobře detekovatelný a má jednu z nejvyšších aktivit ze všech měřených radionuklidů.

Měření tritia je založeno na kapalinové scintilační spektrometrii, která je jednou z účinných metod detekce a spektrometrie ionizujících částic. Tato metoda je zaměřena na nízkoenergetické zářiče beta, ale lze i touto metodou měřit zářiče alfa.

### **2.2 Hypotéza**

Detekce kapalných radioaktivních výpustí jsou i přes poněkud rozdílné monitorovací metody na Jaderné elektrárně Dukovany a Jaderné elektrárně Temelín na požadované úrovni.

### 3 Metodika

#### 3.1 Stanovení objemové aktivity tritia - kapalné výpusti

Tritium se stanovuje metodou kapalinové scintilační spektrometrie. Vzorek se predestiluje, aby se z něj odstranily interferující radionuklidy a rušící chemické složky. Destilát se smíchá s kapalným scintilátorem a provede se měření v kapalinovém scintilačním spektrometru.

(ETE 1)

#### 3.2 Princip kapalinové scintilační spektrometrie

Při kapalinovém scintilačním měření je převedena energie částic na elektrické impulsy. Kinetická energie těchto částic je přímo úměrná velikosti impulsů (fotonové záření ve viditelné oblasti).

Letící částice předává svou kinetickou energii médiu, ve kterém se pohybuje. V kapalinách mající relativně velkou hustotu je dráha letící částice, než ztratí veškerou svou kinetickou energii, krátká. Tato energie je v daném prostředí absorbována ve třech formách: teplo, ionizace a excitace molekul látky, ve které se částice pohybuje. Kapalinová scintilační spektrometrie využívá excitace molekul média.

Vzorek umístíme do optické měřicí kyvety spolu s scintilačním koktejlem (složka rozpouštědla a složka scintilační). Ze vzorku emitované částice excitují molekuly rozpouštědla, které dále předávají tuto energii molekulám scintilační složky, které se uvedou do excitovaného stavu. Při návratu do základního energetického stavu mohou molekuly scintilační složky emitovat foton. Tomuto procesu říkáme luminiscence.

K efektivní detekci emitovaných fotonů je použit jeden nebo několik fotonásobičů umožňujících pozorované emise fotonů převést na elektrické impulsy. Nejčastěji se využívá dvou protilehlých fotonásobičů, kde se vzorek umístí mezi ně. Četnost impulsů je úměrná aktivitě měřeného vzorku. Součástí těchto přístrojů je elektronická jednotka, která provádí potřebná zpracování impulsů z fotonásobičů



do formy spektra měření. Spektrum dále je vyhodnoceno a přepočteno na objemovou aktivitu. (ETE 5, <http://www.jaderne.info>)



Obr. 3 Ilustrační obrázek přístrojů TriCarb (<http://www.jaderne.info>)

Tab. 6 - Přehled měření tritia v kapalných výpustech

Elektrárna	Kapalné výpusti
Dukovany	Povolení k vypouštění – aktivita tritia
	Bilancování – aktivita tritia
	Kontrola systémů nevypouštějících radioaktivní látky – aktivita tritia
Temelín	Povolení k vypouštění – aktivita tritia
	Bilanční měření tritia
	Kontrola celkové výpusti z areálu ETE – aktivita tritia

### 3.3 Metrologie zařízení

Podle zákona 505/1990 Sb., o metrologii jsou měřidla pro ochranu životního prostředí ověřována..

Vyhláška 345/2002 Sb. určuje, která měřidla se ověřují a s jakou periodou (2 roky). Jedná se mimo jiné i o měřidla používaná pro kontrolu limitů aktivity a

objemové aktivity výpustí z jaderných zařízení, ze zařízení pro těžbu nebo úpravu radioaktivních surovin, zpracování nebo aplikaci radioaktivního materiálu a z úpraven radioaktivních odpadů a pro stanovení radiační zátěže okolí v důsledku výpustí. Za ověřování měřidel zodpovídá Český metrologický institut (ČMI). ČMI kontroluje zda měřidlo neztratilo své vlastnosti, které mělo při svém prvním ověřování, vydává ověřovací listy a úřední značku měřidlům.

Tato vyhláška zároveň také stanovuje druhy měřidel, které podléhají povinnosti schvalování jejich typu před zahájením výroby. Schvalování typů měřidel se provádí podle zákona o metrologii ČMI. Při tomto procesu ČMI zjišťuje, zda bude měřidlo schopno plnit funkci, pro kterou je určeno. Na základě technických zkoušek a dalších zjištění vydá ČMI certifikát a přidělí značku schválení typu, kterou musí výrobce umístit na každém exempláři předmětného typu měřidla. (<http://www.cmi.cz>, vyhl. č. 345/2002 Sb.)

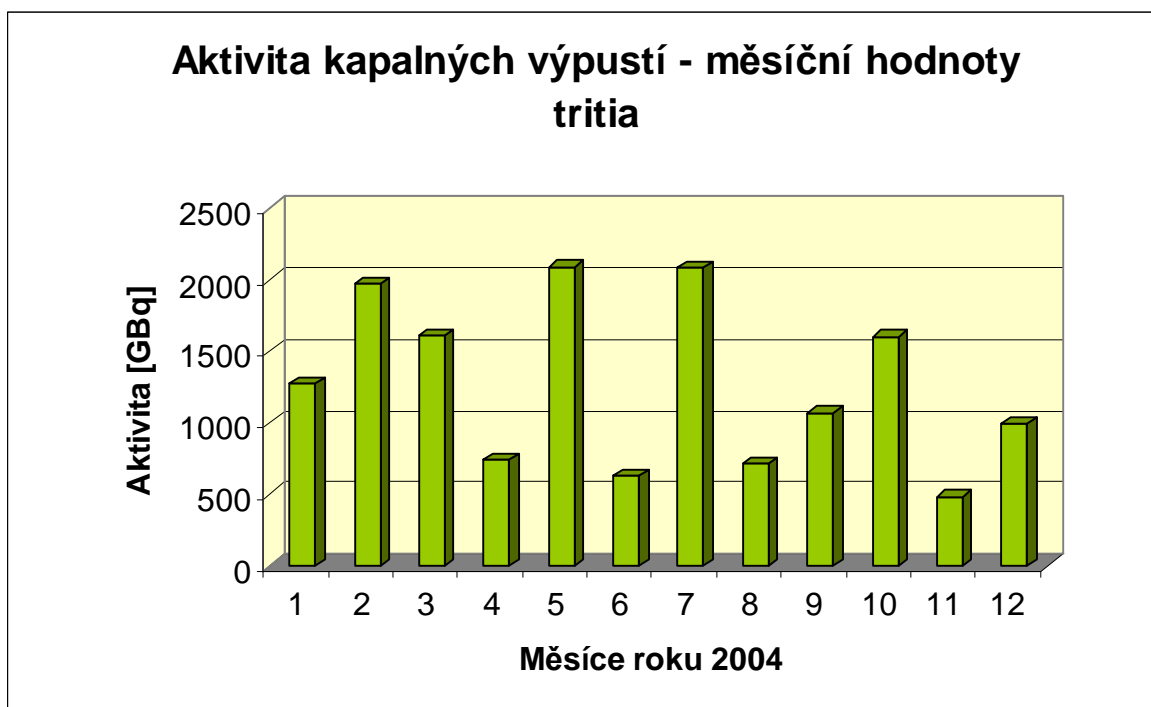
Postup při měření musí odpovídat normě ČSN ISO 9698, která specifikuje metodu stanovení objemové aktivity tritia ve formě tritiované vody ve vodě s použitím kapalinové scintilační techniky. Metoda se v této formě vztahuje k nejčastěji používaným kapalinovým scintilačním měřícím zařízením s měřícími kyvetami o obsahu 20 ml. (norma ČSN ISO 9698)

## 4 Výsledky

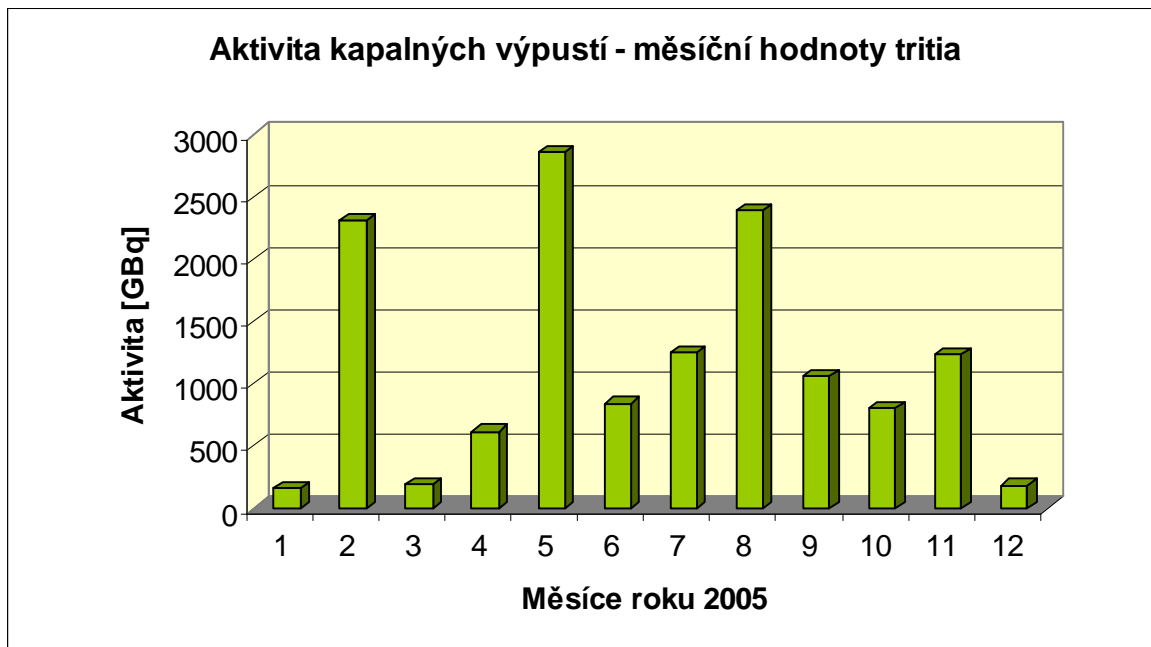
### 4.1 Monitorování radiační situace okolí Jaderné elektrárny Dukovany

Pod zaústěním odpadního kanálu z Jaderné elektrárny Dukovany do řeky Jihlavy je měřen zvýšený obsah tritia oproti přirozenému pozadí, což je v souladu s očekávanými hodnotami. Zvýšená aktivita tritia je i v nádrži Dalešice, protože je tam přečerpávána odpadní voda z nádrže Mohelno, kam ústí odpadní vody z Jaderné elektrárny Dukovany.

Také je trvale zvýšený obsah tritia v pitných vodách v blízkosti řeky Jihlavy vůči přirozenému pozadí v důsledku průsaku vody z řeky do těchto studní. Tyto hodnoty objemových aktivit tritia jsou závislé od množství vypuštěného radionuklidu vypouštěného v daném období do přehradní nádrže Mohelno. Naměřené hodnoty jsou v souladu s očekávanými hodnotami a jsou srovnatelné s hodnotami z předchozích let. Příjem tritia pitím těchto vod představuje zcela zanedbatelný příspěvek k ozáření člověka ve srovnání s ostatními zdroji ozáření.



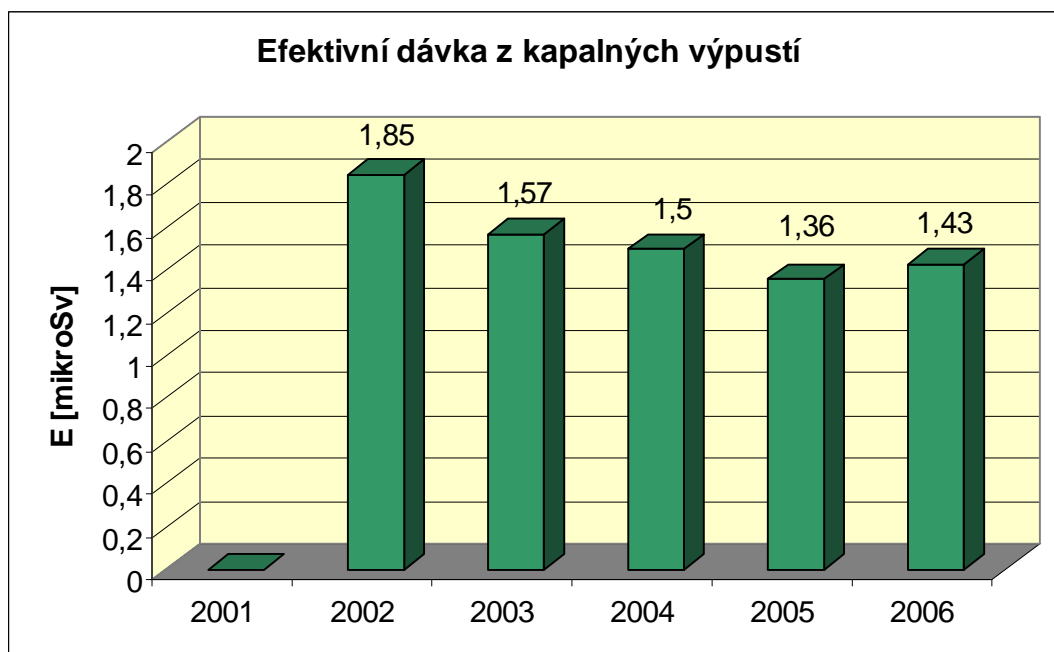
Obr. 4 Graf aktivity kapalných výpustí – měsíční hodnoty tritia za rok 2004, Jaderná elektrárna Dukovany



Obr. 5 Graf aktivity kapalných výpustí – měsíční hodnoty tritia za rok 2005, Jaderná elektrárna Dukovany

Tritium z výpustí Jaderné elektrárny Dukovany je ve vzorcích z okolí měřitelné ve vodách řeky Jihlavy, kam ústí v profilu Mohelno-nádrž odpadní vody z elektrárny. Dále je tento radionuklid měřitelný i ve vzorcích vod ze studní, které jsou ovlivněny průsaky z řeky Jihlavy. Za předpokladu, že by vodovod v obci Moravské Bránice, kde je nejvyšší obsah tritia v pitných vodách, byl jediným zdrojem tekutin pro obyvatele, nedošlo by v žádném případě k překročení limitu 6  $\mu\text{Sv}$ .

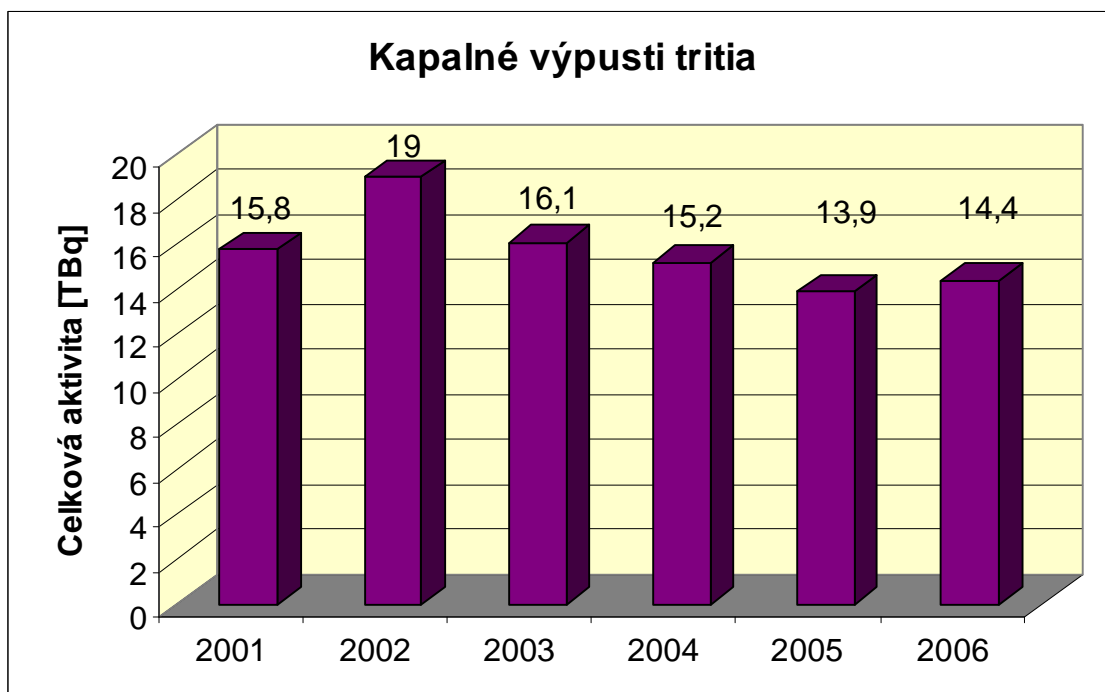
Přehled čerpání tohoto autorizovaného limitu za roky 2002 až 2006 je v následujícím grafu:



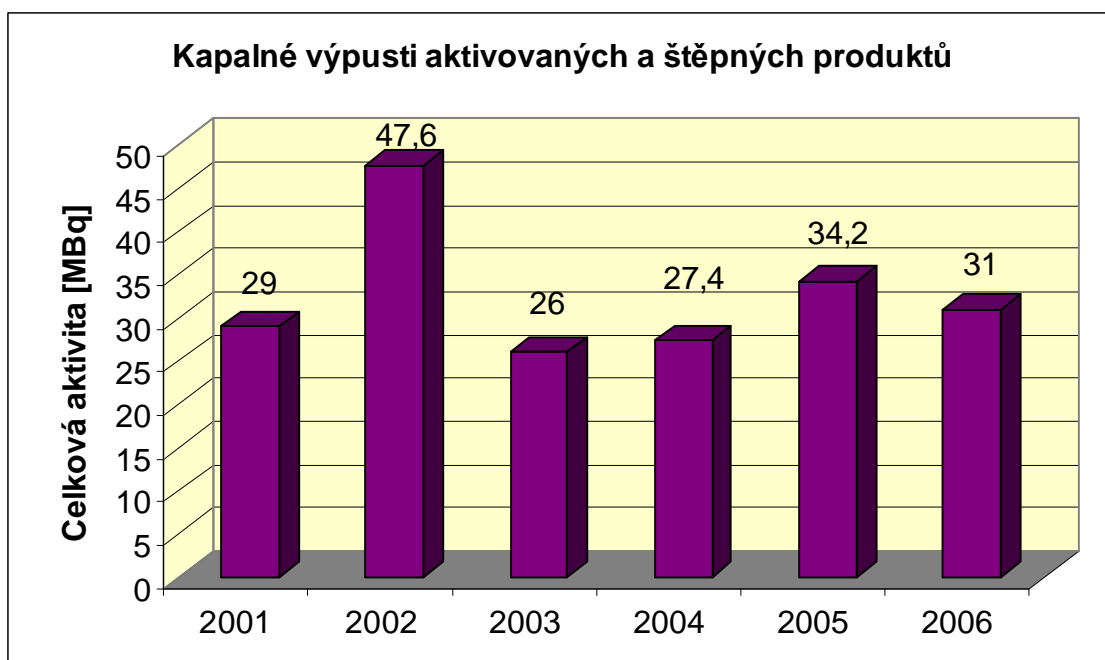
Obr. 6 Graf efektivní dávky u jednotlivce z obyvatelstva vznikající z radioaktivních kapalných výpustí

Z údajů vyplývá, že v posledních čtyřech letech není autorizovaný limit čerpán více jak z 25%, např. v r. 2006 byl čerpán z 23,8%.

Na čerpání autorizovaného limitu se převážně podílí tritium v kapalných výpustech, jednotlivé vypuštěné aktivity tritia a ostatních radionuklidů jsou uvedeny v následujících grafech:



Obr. 7 Graf celkové aktivity výpustí kapalného tritia



Obr. 8 Graf celkové aktivity kapalných výpustí aktivovaných a štěpných produktů

#### 4.2 Monitorování výpustí z Jaderné elektrárny Temelín

Monitorování kapalných výpustí z Jaderné elektrárny Temelín je založeno na bilančním měření obsahu jednotlivých radionuklidů v jednotlivých kontrolních nádržích před jejich vypuštěním do sběrné jímky odpadních vod a následně do ponořeného stupně Kořensko.

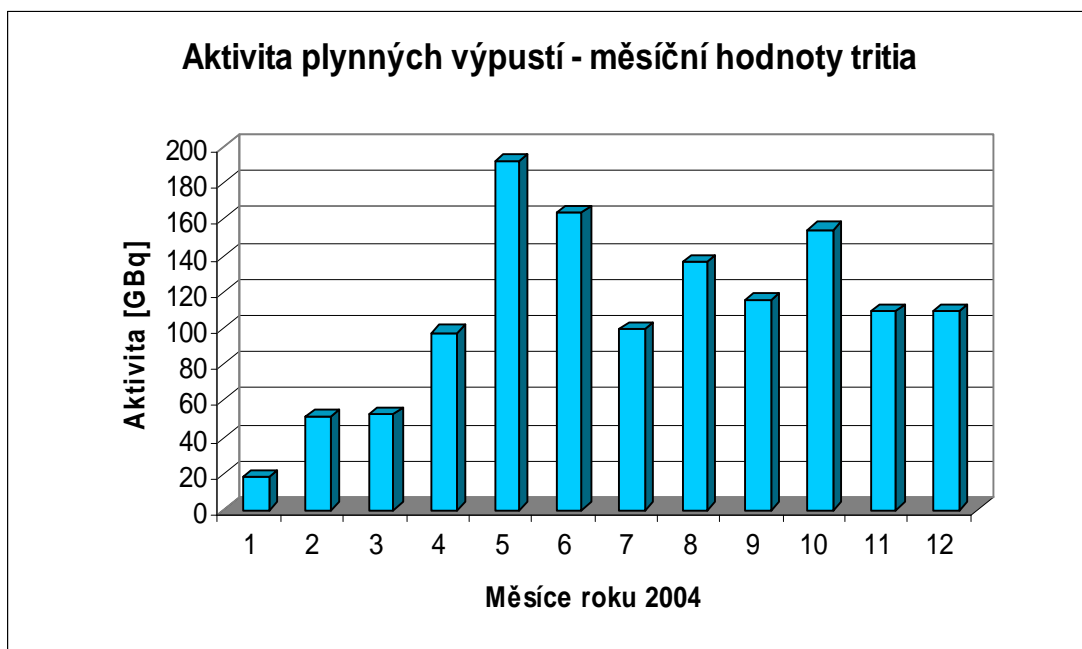
Vypouštění těchto nádrží je automaticky kontrolováno měřicími systémy radiační kontroly a je možné jen se souhlasem směnového inženýra. Automatické měřicí systémy umožňují v případě zjištění překročení nastavených referenčních úrovní aktivity kapalných výpustí automatické uzavření příslušných armatur a tím i zastavení jejich vypouštění.

Aktivita vod ve sběrné jímce odpadních vod na odpadním kanálu z elektrárny je kontinuálně monitorována pomocí zařízení, které zároveň zabezpečuje získávání proporcionalně nakapávaného vzorku za účelem provádění následné spektrometrické či radiometrické analýzy vypouštěných vod.

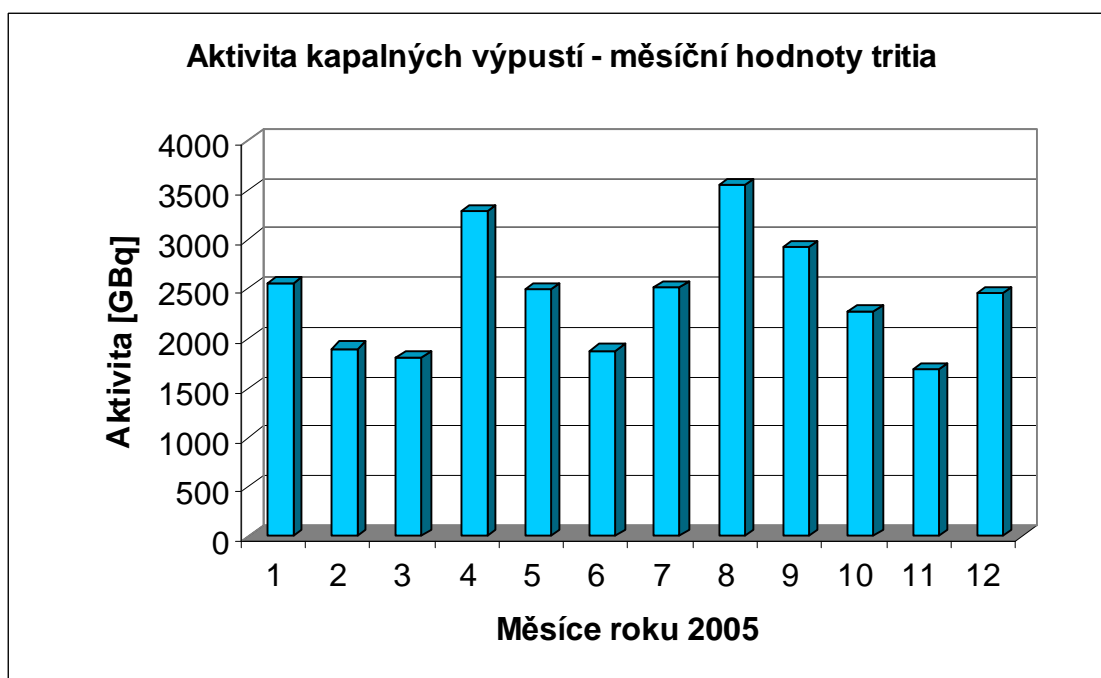
Koncentrační a bilanční limity aktivity určené Vodohospodářským rozhodnutím Referátu životního prostředí pro odpadní vody vypouštěné z Jaderné elektrárny Temelín do řeky Vltavy jsou stanoveny bez příspěvku aktivit radionuklidů, které jsou obsažené v surové vltavské vodě, která se čerpá na elektrárnu přes čerpací stanici Hněvkovice. Od zjištěných hodnot celkové beta aktivity vypouštěné odpadní vody se odečítá průměrná roční hodnota celkové aktivity beta vzorku surové vltavské vody v profilu Hněvkovice bez příspěvku tritia.

Tab. 7 – Koncentrační a bilanční aktivity určené Vodohospodářským rozhodnutím čj. KUJCK 18 378/20/2005 ze dne 22.1.2007 pro odpadní vody vypouštěné při provozu Jaderné elektrárny Temelín do Vltavy jsou pro provoz dvou bloků tyto:

Ukazatel radioaktivity	max. Bq/l	max. Bq/rok
Celková aktivita beta (bez tritia)	27	$1 \cdot 10^9$
Tritium	$3,33 \cdot 10^5$	$6,6 \cdot 10^{13}$



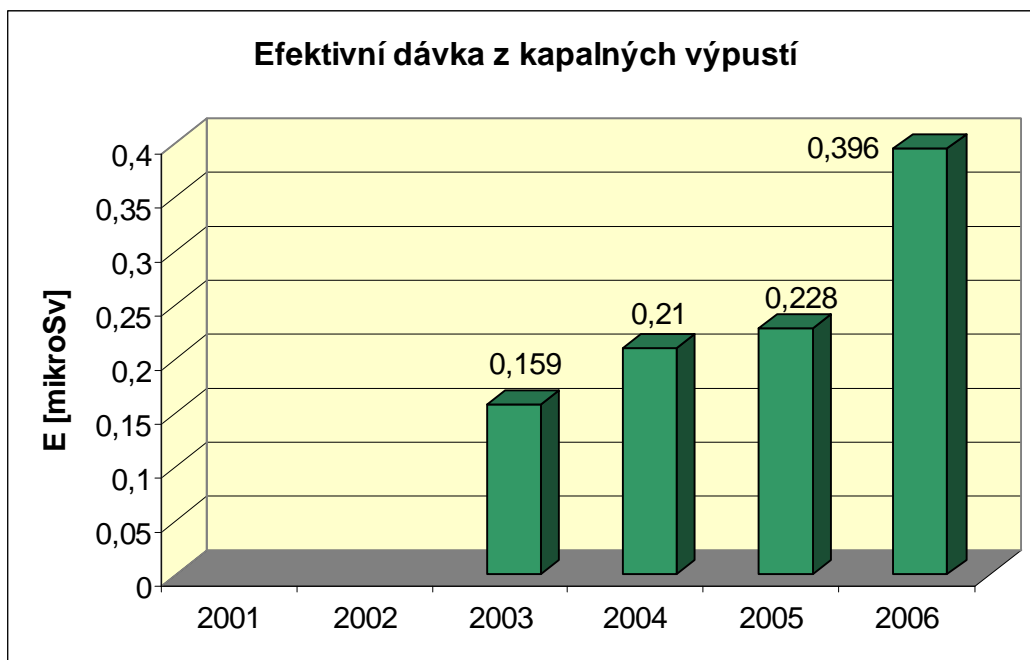
Obr. 9 Graf aktivity kapalných výpustí – měsíční hodnoty tritia za rok 2004, Jaderná elektrárna Temelín



Obr. 10 Graf aktivity kapalných výpustí – měsíční hodnoty tritia za rok 2005, Jaderná elektrárna Temelín



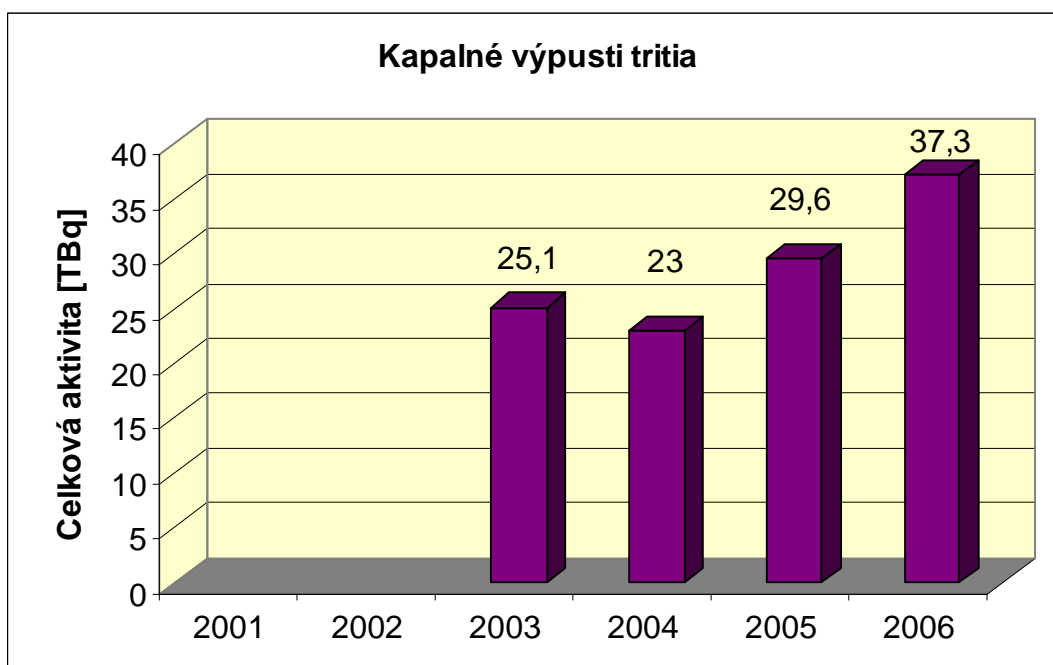
Přehled čerpání autorizovaného limitu ( $3 \mu\text{Sv}$ ) od r. 2003 až 2006 je v následujícím grafu:



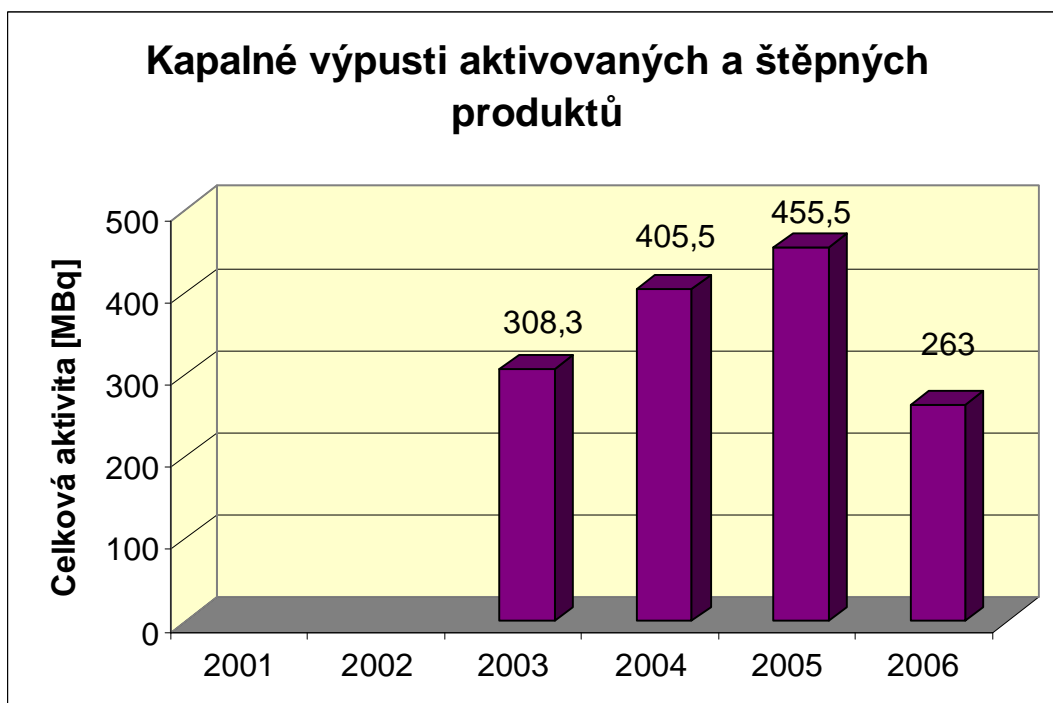
Obr. 11 Graf efektivní dávky u jednotlivce z obyvatelstva vznikající z radioaktivních kapalných výpustí

Z údajů vyplývá, že v posledních čtyřech letech není autorizovaný limit čerpán více jak z 15%, např. v r. 2006 byl čerpán z 13,2%.

Na čerpání autorizovaného limitu se převážně podílí tritium v kapalných výpustech, jednotlivé vypuštěné aktivity tritia a ostatních radionuklidů jsou uvedeny v následujících grafech:



Obr. 12 Graf celkové aktivity výpustí kapalného tritia



Obr. 13 Graf celkové aktivity kapalných výpustí aktivovaných štěpných produktů  
(EDU 2; EDU3; ETE 3; ETE 4; <http://www.sujb.cz>)

## 5 Diskuse

Tab. 8 - Srovnání bilancování aktivity tritia na EDU a ETE (výpusti do vodotečí)

Metoda	Parametry	EDU	ETE	
Bilancování aktivity tritia	Oblast měření	Výpusti do vodotečí		
	Cíl	Dodržení autorizovaných limitů		
	Autorizované limity	6 $\mu\text{Sv}$	3 $\mu\text{Sv}$ 3,33.10 <sup>5</sup> Bq/l – vodohospodářské rozhodnutí	
	Metoda	Kapalinová scintilační spektrometrie beta		
	Měřená veličina	Objemová aktivita		
	Perioda měření	Měsíc	Před vypuštěním	
	Vzorek sléváný	Ano	Ne	
	Způsob odběru, případně slévání	Před vypuštěním nádrže se odebere 1 litr do PE láhve, slévání vzorku se provádí v průběhu měsíce odlitím části z 1 litrového vzorku úměrné objemu nádrže	Jednorázový odběr	
	Objem odebraného vzorku, Objem části vzorku pro slévání (množství)	1 litr  BAPP 1, 2 100 ml PB 1, 2 90 ml (nádrže V=45 m <sup>3</sup> ) 20 ml (nádrže V=10 m <sup>3</sup> )	1 litr	
	Zařízení	TriCarb 2900 TR		
	Rozsah měření	11 – 1E7 Bq/l	10 – 2E7 Bq/l	
	Energetický rozsah	2 – 20 keV	5 – 20 keV	
	Geometrie měření	20 ml skleněná lahvička	20 ml PE lahvička	
	Výpočet	$a_v = \frac{A_{vz}}{V}$		
	Doba měření	300 minut	120 minut	
	Objem vzorku do analyzátoru	10 ml vzorku + 10 ml scintilátoru	5 ml vzorku + 10 ml scintilátoru	
	Destilace	Ano	Ne	

Jaderná elektrárna Dukovany, při bilancování aktivity tritia, odebírá vzorek slévaný. Odebírá 1 litr z příslušné nádrže a úměrně podle objemu příslušné nádrže z tohoto 1 litru odlije do slévaného vzorku. Toto odlévání se provádí v průběhu jednoho měsíce. Tento slévaný vzorek se poté destiluje a destilát se měří. Jaderná elektrárna Temelín oproti tomu slévaný vzorek neprovádí, ale vždy před vypuštěním nádrže provede jednorázový odběr vzorku, nedestiluje ho a rovnou vzorek měří. Dukovany měří zhruba třikrát déle než Temelín, proto tyto rozsahy měření nemohou mít stejnou hodnotu.

Tab. 9 - Srovnání povolení k vypouštění aktivity tritia na EDU a ETE (výpusti do vodotečí)

Metoda	Parametry	EDU	ETE
Povolení k vypouštění – aktivita tritia	Oblast měření	Výpusti do vodotečí	
	Cíl	Povolení k vypouštění	
	Metoda	Kapalinová scintilační spektrometrie beta	
	Měřená veličina	Objemová aktivita	
	Perioda měření	Před vypuštěním do životního prostředí	
	Vzorek slévaný	Ne	
	Způsob odběru	Jednorázový odběr 1 litru z nádrže	
	Množství	10 ml	5 ml
	Zařízení	TriCarb 2900 TR	
	Rozsah měření	50 – 1E7 Bq/l	10 – 2E7 Bq/l
	Energetický rozsah	5 – 20 keV	
	Geometrie měření	20 ml skleněná lahvička	20 ml PE lahvička
	Výpočet	$a_v = \frac{A_{vz}}{V}$	
	Doba měření	5 minut	120 minut
	Objem vzorku do analyzátoru	10 ml vzorku + 10 ml scintilátoru	5 ml vzorku + 10 ml scintilátoru
Destilace	Ne		

V tomto stanovení tritia se elektrárny Dukovany a Temelín liší jen množstvím vzorku, které se dává do měřícího zařízení a dobou stanovení. Dukovany měří krátkou dobu, proto je zde dolní mez měření vyšší než u Temelína. Vyšší horní mez u měření v Temelíně je způsobena použitím menšího množství vzorku.

Tab. 10 - Srovnání kontroly celkové výpusti z areálu EDU a ETE (výpusti do vodotečí)

Metoda	Parametry	EDU	ETE
Kontrola celkové výpusti z areálu – aktivita tritia	Oblast měření	Výpusti do vodotečí	Výpusti do vodotečí – odpadní kanál
	Cíl	Dodržení imisních limitů	
	Metoda	Kapalinová scintilační spektrometrie beta	
	Měřená veličina	Objemová aktivita	
	Perioda měření	Týden	24 hodin
	Vzorek slévavý	Ano	
	Způsob odběru	Nepřetržitý (odkapávaný) vzorek	Odlévání množství vzorku monitorované kapaliny proporcionalně průtoku odpadním kanálem
	Množství	250 ml	
	Zařízení	TriCarb 2900 TR	
	Rozsah měření	11 – 1E7 Bq/l	3 – 3E6 Bq/l
	Energetický rozsah	0 – 20 keV	4 – 20 keV
	Geometrie měření	20 ml skleněná lahvička	20 ml PE lahvička
	Výpočet	$a_v = \frac{A_{vz}}{V}$	
	Doba měření	300 minut	
	Objem vzorku do analyzátoru	10 ml vzorku + 10 ml scintilátoru	11 ml vzorku + 11 ml scintilátoru
Destilace	Ano		

Perioda měření vzorku je na Jaderné elektrárně Dukovany jeden týden a na Jaderné elektrárně Temelín 24 hodin, tritium se na Temelíně měří častěji. Vzorky na obou elektrárnách se odebírají nepřetržitě, ale na Temelíně je tento odběr vzorku proporcionalní k průtoku odpadním kanálem. V rozsahu měření je rozdílná dolní mez. Je to proto, že i zde se liší doba měření a výpočet mezí.

**Zkratky:**

EDU – Jaderná elektrárna Dukovany

ETE – Jaderná elektrárna Temelín

**Definice pojmů:**

Oblast měření - bližší určení objektu (předmětu, osoby nebo prostoru) podléhajícího měření

Cíl - důvod, pro který je tato oblast měřena

Metoda - postup, jehož použití vede k naplnění cíle

Měřená veličina - přímo měřitelná veličina, použitá v metodě

Perioda měření - četnost s jakou mají být získávány hodnoty měřené veličiny

Způsob odběru - bližší určení způsobu odběru

Množství - bližší určení odebíraného množství, uvedeno v jednotkách hmotnosti, objemu, průtoku, ...

Zařízení - jednoznačné označení typu zařízení, nestačí-li jedno měřící zařízení, jsou uvedena všechna zařízení

Rozsah měření - rozsah hodnot měřené veličiny poskytovaný tímto použitým měřícím zařízením

Energetický rozsah - rozsah energií ionizujícího záření poskytovaný tímto použitým měřícím zařízením

Geometrie měření - vzájemné uspořádání měřeného zdroje (vzorku) či pole ionizujícího záření a detektoru

**Vzorce:**

$$a_v = \frac{A_{vz}}{V} \quad [\text{Bq/l}]$$

$a_v$  ..... objemová aktivita (Bq/l)

$A_{vz}$  ..... aktivita vzorku (Bq)

$V$  ..... objem vzorku (l)

## 6 Závěr

Obsah radioaktivních látek ve výpustech do vodotečí, na Jaderné elektrárně Dukovany a na Jaderné elektrárně Temelín, nepřekročil limitní hodnoty stanovené Státním úřadem pro jadernou bezpečnost.

Na Jaderné elektrárně Dukovany je autorizovaný limit 6  $\mu\text{Sv}$ . V posledních čtyřech letech není tento autorizovaný limit čerpán více jak z 25%.

Jaderná elektrárna Temelín má autorizovaný limit v oblasti kapalných výpustí 3  $\mu\text{Sv}$ . Tento autorizovaný limit není v posledních čtyřech letech čerpán více jak z 15%.

V kapalných výpustech se na čerpání autorizovaného limitu převážně podílí tritium.

Stanovení tritia ve výpustech do vodotečí, co se týká měřicího zařízení, je srovnatelné. Obě elektrárny vlastní stejný typ. Rozlišují se ve způsobu odebrání vzorků, v dobách měření a stanovení mezí měření. Z uvedené diskuse je zřejmé, že metody nastavené v JE Temelín umožňují monitorovat nižší hodnoty aktivit než v JE Dukovany. Potvrzením hypotézy však je že i v JE Dukovany je citlivost (viz. dolní meze měření) dostatečná pro účely dodržení autorizovaných limitů a optimalizaci výpustí tritia do vodotečí.

## 7 Seznam použité literatury

- (EDU 1) KAUFMANOVÁ, M., STRIEGLER, R. *Monitorovací program radiační ochrany část výpust*. Jaderná elektrárna Dukovany: 2003. 60 s.
- (EDU 2) STRIEGLER, R. *Radiační situace v okolí JE Dukovany rok 2004*. Jaderná elektrárna Dukovany: 2004. 62 s.
- (EDU 3) STRIEGLER, R. *Radiační situace v okolí JE Dukovany rok 2005*. . Jaderná elektrárna Dukovany: 2005. 64 s.
- (ETE 1) RYDLO, P. *Metodika 331 rev01 Stanovení radionuklidů ve výpustech JE Temelín*. Jaderná elektrárna Temelín: 2005. 22 s
- (ETE 2) POSPÍCHAL, J. *Program monitorování výpustí*. Jaderná elektrárna Temelín: 2005. 39 s.
- (ETE 3) KURFIŘT, M. *Výsledky monitorování výpustí a radiační situace v okolí Jaderné elektrárny Temelín za rok 2004*. Jaderná elektrárna Temelín: 2004. 193 s.
- (ETE 4) ) KURFIŘT, M. *Výsledky monitorování výpustí a radiační situace v okolí Jaderné elektrárny Temelín za rok 2005*. Jaderná elektrárna Temelín: 2005. 147 s.
- (ETE 5) KURFIŘT, M. *Standardní zkušební postup*. Jaderná elektrárna Temelín: 2005. 34 s.
- (Klener, 2000) KOLEKTIV AUTORŮ. *Principy a praxe radiační ochrany*. SÚJB. Praha: 2000. 619 s. ISBN 80-238-3703-6. editor Klener V.
- (Kuna, 2005) KUNA, P., NAVRÁTIL, L. *Klinická radiobiologie*. 1. vyd. Praha: Manus, 2005. 222 s. ISBN 80-86571-09-2
- (norma ČSN ISO 9698) DALEŠICKÝ, J. *Jakost vod stanovení objemové aktivity tritia kapalinová scintilační měřící metoda ČSN ISO 9698*. Český normalizační institut. Praha: 1995. 12 s.
- (Rozhodnutí SÚJB čj. 8096/2005 ze dne 5.4.2005) MATZNER, J. *Rozhodnutí SÚJB čj. 8096/2005*. SÚJB. Praha: 2005. 4 s.
- (Rozhodnutí SÚJB čj. 12136/2007 ze dne 25.4.2007) MATZNER, J. *Rozhodnutí SÚJB čj. 12136/2007*. SÚJB. Praha: 2007. 3 s.
- (vyhl. č. 307/2002 Sb.) Vyhláška č. 307/2002 Sb., o radiační ochraně



(vyhl. č. 345/2002 Sb.) Vyhláška č. 345/2002 Sb., stanovení měřidel k povinnému ověřování a měřidla podléhající schválení typu

(zákon č. 18/1997 Sb.) Zákon č. 18/1997 Sb., o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření (atomový zákon)

### **7.1 Internetové odkazy**

(<http://astronuklfyzika.cz>) Ullmann, Vojtěch. Ionizující záření

<http://astronuklfyzika.cz/JadRadFyzika6.html>, 7. srpna, 2007

(<http://www.cez.cz>)

[http://www.cez.cz/presentation/static/encyklopedie/vykladovy\\_slovník\\_energetiky/hesla/tritium.html](http://www.cez.cz/presentation/static/encyklopedie/vykladovy_slovník_energetiky/hesla/tritium.html), 7. února, 2007

(<http://www.cmi.cz>) <http://www.cmi.cz>, 4. dubna, 2007

(<http://www.jaderne.info>) Šimek, Ondřej. Kapalinová scintilační spektrometrie

[http://www.jaderne.info/fileadmin/jinfo/odb\\_prisp/K\\_Rov/kapalinovka.pdf](http://www.jaderne.info/fileadmin/jinfo/odb_prisp/K_Rov/kapalinovka.pdf), 16. února, 2007

(<http://www.simopt.cz>)

[http://www.simopt.cz/energyweb/web/index.php?display\\_page=2&subitem=2&slovník\\_page=tritium.html](http://www.simopt.cz/energyweb/web/index.php?display_page=2&subitem=2&slovník_page=tritium.html), 28. července, 2007

(<http://sujb.cz>) <http://sujb.cz/docs/U2006.pdf>, 26. srpna, 2007

## **8 Klíčová slova**

Kapalinová scintilační spektrometrie

Tritium

Výpusti do vodotečí