



## **Středoškolská technika 2015**

**Setkání a prezentace prací středoškolských studentů na ČVUT**

### **Měření ionizujícího záření**

*(Measurement of ionising radiation)*

**Autor: Jiří Zeman**

#### **Konzultanti:**

**Mgr. Markéta Řeháková, Ph.D. (PSJG)**

**RNDr. Jan Šlégr, Ph.D. (PřF UHK)**

První soukromé jazykové gymnázium,  
Brandlova 875, Hradec Králové 3

### **Prohlášení**

Prohlašuji, že při vypracování tohoto projektu jsem pracoval samostatně, pod dohledem mých konzultantů a v seznamu použité literatury jsem uvedl všechny zdroje, ze kterých jsem tvorbě práce čerpal.

Prohlašuji, že tištěná forma práce jest totožná s formou elektronickou.

Nemám závažný důvod proti zpřístupňování této práce v souladu se zákonem č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) v platném znění.

V Opatovicích nad Labem dne ..... 2015

.....

Jiří Zeman

### **Poděkování**

Mé poděkování za pomoc při tvorení této práce patří mé interní konzultantce Mgr. Markétě Řehákové, Ph.D. a externímu konzultantovi RNDr. Janu Šlégrovi, Ph.D. Dále též Mgr. Miroslavu Ouhrabkovi, CSc.; Mgr. Petru Špínovi; Mgr. Jaroslavu Kolbabovi a Mgr. Petře Poláčkové za poskytnuté rady, konzultace a podporu.

V Opatovicích nad Labem dne ..... 2015

Jiří Zeman

## **Anotace**

Tématem projektu je ionizující záření a jeho měření, rozdělené na teoretické seznámení se s danou problematikou a praktické fyzikální měření.

K měření byl použit Geiger Müllerův čítač GC10 od japonské společnosti NetIO Devices Co., Ltd. a měření probíhalo na několika různých místech a bylo soustředěno hlavně na srovnání radiační zátěže v blízkosti uhelné elektrárny Opatovice nad Labem a jaderné elektrárny Dukovany a také na několika dalších místech.

Měřením byla potvrzena hypotéza o větší radiační zátěži v blízkosti uhelné elektrárny.

Klíčová slova: ionizující záření, GM čítač, radiační zátěž UE Opatovice nad Labem, JE Dukovany

## **Annotation**

The main subject of this project is ionising radiation and its measurement, separated into theoretical summary of the subject and practical physical measurement.

A Geiger-Muller's counter GC10 made by the Japanese company NetIO Devices Co., Ltd. was used as a measuring sensor. The measurement was carried out on different places, but concentrated on the comparison of radiation pollution between the coal power plant Opatovice nad Labem and the nuclear power plant Dukovany.

A hypothesis of bigger radiation pollution in the proximity of coal power plant was confirmed.

Keywords: ionising radiation, GM counter, radiation pollution, coal power plant Opatovice nad Labem, nuclear power plant Dukovany

## Obsah

1	Úvod .....	7
2	Ionizující záření, ionizace, radioaktivita aj.....	8
2.1	Vymezení pojmů .....	8
2.2	Druhy radioaktivních rozpadů a přeměn.....	10
2.3	Rozpadové řady.....	12
2.4	Veličiny a jednotky .....	15
2.5	Detekce.....	17
2.6	Radiační monitorování v ČR.....	19
2.7	Zdroje záření .....	21
2.8	Objev záření .....	23
2.9	Účinky záření a ochrana.....	25
3	Praktická část – technické vybavení.....	26
3.1	Geiger-Müllerův čítač GC10 (NetIO Devices Co., Ltd.).....	26
4	Vlastní měření a zpracování výsledků.....	28
4.1	Měření bismutu .....	28
4.2	Měření u uranových dolů Březinka a Licoměřice (okres Chrudim) .....	28
4.3	Srovnání JE Dukovany s radiační zátěží v Opatovicích nad Labem ....	29
5	Dotazník .....	32
6	Diskuze .....	34
7	Zdroje .....	36
8	Přílohy .....	I

# 1 Úvod

Tato práce začala myšlenkou:“ Ve světě probíhají diskuze o tom, že ropa a uhlí již brzy dojdou a hledají se různé alternativy pro získávání energie. Přitom ale je znám zhruba 100 let zdroj, kterého se společnost straní, i přes jeho účinnost.“ Tím zdrojem je samozřejmě využití tepla vzniklého při řízeném jaderném štěpení k pohonu turbín, či stručněji jaderná energetika.

Získávání energie touto cestou není dokonalé, ale je mnohem účinnější než ostatní. Je tu však jiný problém: radiofobie. Většina globální společnosti nepodporuje jaderné elektrárny, či je přímo zavrhuje. Mají pro svůj strach opodstatnění? Určitě ano. Kdo neslyšel o havárii v Černobylu, nebo o celkem nedávné Fukušimě?

Není však potřeba chodit do přílišných extrémů. Příčinou této fobie je dost možná složitost principu jaderného štěpení. Ve srovnání s uhelnou nebo plynovou elektrárnou, kde je principem jednoduché spalování, které člověk mistrně ovládá už statisíce let, je pravděpodobně štěpení jádra pro průměrného člověka něco těžce pochopitelného, neznámého a stále relativně nového.

Hlavní náplní této práce je praktické měření ionizujícího záření nukleárního původu, a to v blízkosti uhelné elektrárny Opatovice nad Labem (2,5 km), měření uvnitř elektrárny Opatovice n/L, experiment monitorování krystalu bismutu ohledně určení jeho případné nestability, měření ionizujícího záření v blízkosti dvou bývalých uranových dolů Licoměřice a Březinka a také měření telefonů, během probíhajícího hovoru.

## 2 Ionizující záření, ionizace, radioaktivita aj.

### 2.1 Vymezení pojmů

#### 2.1.1 Ionizující záření

- Elektromagnetické (s vlnovou délkou menší než UV-C) nebo částicové záření, které při průchodu látkou způsobuje ionizaci.
  - Přímě ionizující – tvořeno nabitými částicemi. (proton,  $\alpha$ , aj.)
  - Nepřímě ionizující – tvořeno neutrálními částicemi nebo vlněním ( $\gamma$ , neutron, neutrino, aj.), jejichž interakcí s prostředím vzniká přímě ionizující částice. (většinou elektron)

#### 2.1.2 Nukleární záření

- Ionizujícího záření týkající se radioaktivních rozpadů a přeměn.
- Vzniká pouze v jádrech atomů.

#### 2.1.3 Ionizace

- Vznik iontu (kladného nebo záporného) z neutrálního atomu nebo molekuly působením ionizujícího záření.

#### 2.1.4 Radioaktivita

- Schopnost jader atomů emitovat nukleární záření, tzn. podléhat radioaktivnímu rozpadu nebo přeměně ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  aj.), po kterém se změní chemické vlastnosti látky.

#### 2.1.5 Poločas rozpadu / přeměny

- Čas, za který se rozpadne polovina atomů daného prvku na prvek následující v rozpadové řadě.
- Hodnoty jsou pro větší počty částic, menší počet se rozpadá / mění chaoticky.



### 2.1.6 Radioaktivní rozpad

- Rozpad jednoho atomu na vícero atomů.

### 2.1.7 Radioaktivní přeměna

- Atom vyzáří subatomární částici

### 2.1.8 Radiace

- Proud atomů, subatomárních částic či vlnění.

(Štoll, 1994) (Centrum výzkumu Řež s.r.o., 2012)



Obrázek 1 - Mezinárodní značení pro přítomnost ionizujícího záření (SATRA Technology Centre Ltd, 2013)

## 2.2 Druhy radioaktivních rozpadů a přeměn

### 2.2.1 $\alpha$

- Přeměna těžkého a nestabilního izotopu na stabilnější izotop.
- Zářením je jádro atomu helia. ( ${}^4_2\text{He}^{2+}$ )
- Zdrojem například  ${}^{235}\text{U}$ ,  ${}^{238}\text{U}$ ,  ${}^{222}\text{Rn}$  nebo  ${}^{226}\text{Ra}$ .
- Příkladem reakce:  ${}^{238}_{92}\text{U} \rightarrow {}^{234}_{90}\text{Th} + {}^4_2\text{He}^{2+}$ .
- Průměrná kinetická energie = 5 MeV. ( $8,011 \cdot 10^{-13}$  J)
- Silně ionizující, nízká průbojnost (5 MeV 4 cm vzduchu / list papíru).

### 2.2.2 $\beta^-$

- Přeměna neutronu v jádru nestabilního atomu na proton, elektron a antineutrino.
- Pro 5 MeV 115 mm papíru nebo 15 mm olova. (proniká pokožkou)
- Zdrojem například  ${}^3\text{H}$ ,  ${}^{40}\text{K}$  nebo  ${}^{234}\text{Th}$ .
- Příkladem reakce:  ${}^{137}_{55}\text{Cs} \rightarrow {}^{137}_{56}\text{Ba} + e^- + \nu$ .

### 2.2.3 $\beta^+$

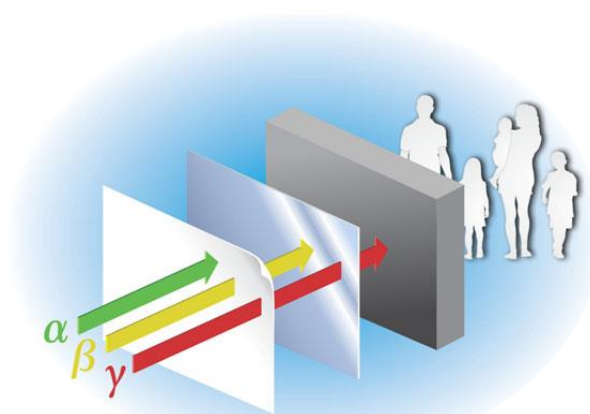
- Přeměna protonu v jádru nestabilního atomu na neutron, positron a neutrino.
- Zdrojem například  ${}^7\text{Be}$  nebo  ${}^{11}\text{C}$ .
- Příkladem reakce:  ${}^{23}_{12}\text{Mg} \rightarrow {}^{23}_{11}\text{Na} + e^+ + \nu^e$ .

### 2.2.4 $\gamma$ (deexcitace)

- Přeměna nestabilního jádra v excitovaném stavu do stavu s nižší energií, také přechod nestabilního isomeru, často následkem jiného rozpadu.
- Vyzářen je foton – elektromagnetické vlnění s frekvencí  $>10^{20}$  Hz a vlnovou délkou  $<10^{-12}$  m.
- Zdrojem například  ${}^{222}\text{Rn}$ ,  ${}^{88}\text{Kr}$  nebo  ${}^{232}\text{Th}$ .
- Příkladem reakce  ${}^{60m}_{27}\text{Co} \rightarrow {}^{60}_{27}\text{Co} + \gamma$

### 2.2.5 Elektronový záchyt

- Přeměna zachyceného elektronu a protonu v jádře atomu na neutron.
- Přebytková energie vyzářena jako Roentgenovo záření.
- Zdrojem například  ${}^{41}\text{Ca}$ ,  ${}^{243}\text{Bk}$  nebo  ${}^{72}\text{Se}$ .



Obrázek 2 - Pronikavost záření (Images SI Inc, 2009)

- Příklad reakce:  ${}^7_4\text{Be} \rightarrow {}^7_3\text{Li} + \nu$ .

#### 2.2.6 Spontánní štěpení

- U velmi těžkých prvků. (protonové číslo  $> 90$ )
- Rozpad na několik menších jader a volných neutronů, přičemž přebytečná energie je vyzářena. Např.  ${}^{254}_{104}\text{Rf}$ ,  ${}^{155}_{81}\text{Ta}$  nebo  ${}^{257}_{103}\text{Es}$
- Příklad reakce:  ${}^{252}_{98}\text{Cf} \rightarrow {}^{140}_{54}\text{Xe} + {}^{108}_{44}\text{Ru} + 4 {}^1_0\text{n} + \gamma$

#### 2.2.7 Protonová emise

- Následuje po přeměnách  $\beta$  a neprobíhá u přírodních nuklidů.
- Zdrojem například  ${}^{171}_{83}\text{Ir}$ ,  ${}^5_4\text{Be}$  nebo  ${}^{185}_{83}\text{Bi}$ .
- Příklad reakce:  ${}^{11}_7\text{N} \rightarrow {}^{10}_6\text{C} + \text{p}^+$

#### 2.2.8 Neutronová emise

- Probíhá u nestabilních excitovaných atomů.
- Příklad reakce:  ${}^5_2\text{He} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^1_0\text{n}$
- Zdrojem například  ${}^6_1\text{H}$ ,  ${}^{13}_4\text{Be}$  nebo  ${}^{39}_{12}\text{Mg}$ .

#### 2.2.9 Emise těžkých jader

- Rozpad jádra za vzniku atomu většího  ${}^4_2\text{He}$ , ale stále relativně malého.
- Odděluje se např.:  ${}^{14}_6\text{C}$ ,  ${}^{20}_8\text{O}$ ,  ${}^{24}_{10}\text{Ne}$ ,  ${}^{28}_{12}\text{Mg}$  nebo  ${}^{34}_{14}\text{Si}$ .
- Zdrojem například  ${}^{223}_{88}\text{Ra}$ ,  ${}^{114}_{56}\text{Ba}$  nebo  ${}^{230}_{90}\text{Th}$
- Příklad reakce  ${}^{223}_{88}\text{Ra} \rightarrow {}^{14}_6\text{C} + {}^{209}_{82}\text{Pb}$  (1  ${}^{14}_6\text{C}$  na 1 000 000 000  $\alpha$ )

(SÚRO, v.v.i., 2013) (Veltman, 2007) (Ullmann, 2009) (Rudstam, a další, 1979)  
(IAEA, 2012)

## 2.3 Rozpadové řady

- Tři pro přírodní radionuklidy, jedna (neptuniová) pro umělé.
- Jakýkoli radionuklid z jedné řady se stane na konci řady stabilním atomem.

### 2.3.1 Uran-radiová

Nuklid	Druh přeměny	Poločas rozpadu	Uvolněná energie v MeV
<sup>238</sup> U	α	4.468·10 <sup>9</sup> let	4.26975
<sup>234</sup> Th	β-	24.10 dní	0.273088
<sup>234</sup> Pa	β-	6.70 h	2.194285
<sup>234</sup> U	α	2.455·10 <sup>5</sup> let	4.8598
<sup>230</sup> Th	α	7.54·10 <sup>4</sup> let	4.76975
<sup>226</sup> Ra	α	1600 let	4.87062
<sup>222</sup> Rn	α	3.8235 dní	5.59031
<sup>218</sup> Po	β <sup>-</sup> 0.02% α 99.98%	3.098 min	0.259913 6.11468
<sup>218</sup> At	β <sup>-</sup> 0.1% α 99.9%	1.5 s	2.881314 6.874
<sup>218</sup> Rn	α	35 ms	7.26254
<sup>214</sup> Pb	β-	26.8 min	1.019237
<sup>214</sup> Bi	β <sup>-</sup> 99.979% α 0.021%	19.9 min	3.269857 5.62119
<sup>214</sup> Po	α	164.3 μs	7.83346
<sup>210</sup> Tl	β-	1.30 min	5.48213
<sup>210</sup> Pb	β <sup>-</sup> 99.9999981% α 0.0000019%	22.20 let	0.063487 3.7923
<sup>210</sup> Bi	β <sup>-</sup> 99.999868% α 0.000132%	5.012 dní	1.161234 5.03647
<sup>210</sup> Po	α	138.376 dní	5.40745
<sup>206</sup> Hg	β-	8.32 min	1.307649
<sup>206</sup> Tl	β-	4.202 min	1.532221
<sup>206</sup> Pb	-	Stabilní	-

Tabulka 1 - Uran-radiová rozpadová řada

(Guerin, 2008) (IAEA, 2012) (Hála, 2013)

### 2.3.2 Thoriová

Nuklid	Druh přeměny	Poločas rozpadu	Uvolněná energie v MeV
<sup>252</sup> Cf	$\alpha$	2.645 let	6.1181
<sup>248</sup> Cm	$\alpha$	$3.4 \cdot 10^5$ let	5.162
<sup>244</sup> Pu	$\alpha$	$8 \cdot 10^7$ let	4.589
<sup>240</sup> U	$\beta^-$	14.1 h	1.39
<sup>240</sup> Np	$\beta^-$	1.032 h	2.2
<sup>240</sup> Pu	$\alpha$	6561 let	5.1683
<sup>236</sup> U	$\alpha$	$2.3 \cdot 10^7$ let	4.494
<sup>232</sup> Th	$\alpha$	$1.405 \cdot 10^{10}$ let	4.081
<sup>228</sup> Ra	$\beta^-$	5.75 let	0.046
<sup>228</sup> Ac	$\beta^-$	6.25 h	2.124
<sup>228</sup> Th	$\alpha$	1.9116 let	5.520
<sup>224</sup> Ra	$\alpha$	3.6319 dní	5.789
<sup>220</sup> Rn	$\alpha$	55.6 s	6.404
<sup>216</sup> Po	$\alpha$	0.145 s	6.906
<sup>212</sup> Pb	$\beta^-$	10.64 h	0.570
<sup>212</sup> Bi	$\beta^-$ 64.06% $\alpha$ 35.94%	60.55 min	2.252 6.208
<sup>212</sup> Po	$\alpha$	299 ns	8.955
<sup>208</sup> Tl	$\beta^-$	3.053 min	4.999
<sup>208</sup> Pb	-	Stabilní	-

Tabulka 2 - Thoriová rozpadová řada

(Guerin, 2008) (IAEA, 2012) (Hála, 2013)

### 2.3.3 Aktiniová

Nuklid	Druh přeměny	Poločas rozpadu	Uvolněná energie v MeV
<sup>239</sup> Pu	$\alpha$	2.41.10 <sup>4</sup> let	5.244
<sup>235</sup> U	$\alpha$	7.04.10 <sup>8</sup> let	4.678
<sup>231</sup> Th	$\beta^-$	25.52 h	0.391
<sup>231</sup> Pa	$\alpha$	32 760 let	5.150
<sup>227</sup> Ac	$\beta^-$ 98.62% $\alpha$ 1.38%	21.772 let	0.045 5.042
<sup>227</sup> Th	$\alpha$	18.68 dní	6.147
<sup>223</sup> Fr	$\beta^-$ 99.994% $\alpha$ 0.006%	22.00 min	1.149 5.340
<sup>223</sup> Ra	$\alpha$	11.43 dní	5.979
<sup>219</sup> At	$\alpha$ 97.00% $\beta^-$ 3.00%	56 s	6.275 1.700
<sup>219</sup> Rn	$\alpha$	3.96 s	6.946
<sup>215</sup> Bi	$\beta^-$	7.6 min	2.250
<sup>215</sup> Po	$\alpha$ 99.99977% $\beta^-$ 0.00023%	1.781 ms	7.527 0.715
<sup>215</sup> At	$\alpha$	0.1 ms	8.178
<sup>211</sup> Pb	$\beta^-$	36.1 min	1.367
<sup>211</sup> Bi	$\alpha$ 99.724% $\beta^-$ 0.276%	2.14 min	6.751 0.575
<sup>211</sup> Po	$\alpha$	516 ms	7.595
<sup>207</sup> Tl	$\beta^-$	4.77 min	1.418
<sup>207</sup> Pb	-	Stabilní	-

Tabulka 3 - Aktiniová rozpadová řada

(Guerin, 2008) (IAEA, 2012) (Hála, 2013)

## 2.4 Veličiny a jednotky

### 2.4.1 Dávkový ekvivalent H

- Účinnost ionizujícího záření podle radiačního váhového
- o faktoru, popisuje biologický účinek. (nestochastický účinek – s dávkou narůstá závažnost, např.: nemoc z ozáření nebo stochastický účinek – náhodně, např.: nádory a poškození DNA)

Sv – Sievert, nejpoužívanější

rem – (Roentgen Equivalent in Man),

1 rem = 0,01 Sv

$H = w * D$  ; ( $w$  – radiační váhový faktor,  $D$  – absorbovaná dávka)

Záření	w
fotonové	1
beta	1
neutrony (< 10 keV)	5
neutrony (> 20 MeV)	5
neutrony (10 – 100 keV)	10
neutrony (2 – 20 MeV)	10
neutrony (0,1 – 2 MeV)	20
alfa	20
protony	25

Tabulka 4 - Přehled faktorů w (Švec, 2005)

### 2.4.2 Efektivní dávka H<sub>E</sub>

- Účinnost ionizujícího záření podle tkáňového faktoru.

Sv, rem

$H_E = \sum w_t * H_t$  ; ( $w_t$  – tkáňový váhový faktor,  $H_t$  – dávkový ekvivalent v dané tkáni)

Tkáň nebo orgán	w <sub>t</sub>
kůže	0,01
povrch kostí	0,01
játra	0,05
mléčná žláza	0,05
ostatní tkáň	0,05
štítná žláza	0,05
červená kostní dřeň	0,12
plice	0,12
tlusté střevo	0,12
žaludek	0,12
gonády	0,20

Tabulka 5 - Přehled faktorů w<sub>t</sub> (Švec, 2005)

### 2.4.3 Intenzita záření A

Bq – Becquerel, nejpoužívanější, počet rozpadů za vteřinu

Ci – Curie, 1 Ci = 37 \* 10<sup>9</sup> Bq (≈ 1 g <sup>226</sup>Ra)

$A = \frac{\Delta N}{\Delta t}$  ( $\Delta N$  – počet dosud nepřeměněných jader,  $\Delta t$  – čas)

$A = \lambda * N$  ( $\lambda$  – přeměnová konstanta,  $N$  – počet nepřeměněných jader)

### 2.4.4 Absorbovaná dávka záření D

Gy – Gray, nejpoužívanější

rad – (Radiation Absorbed Dose), 1 rad = 0,01 Gy

R – Roentgen, také jednotka expozice  $X = \Delta Q / \Delta m$  ( $\Delta Q$  – celkový elektrický náboj iontů v dané hmotnosti vzduchu  $\Delta m$ )

- $1 \text{ R} = 2,58 \cdot 10^{-4} \text{ C} \cdot \text{kg}^{-1} = 0,01 \text{ Gy}$

$D = \Delta E / \Delta m$  ; ( $\Delta E$  – absorbovaná střední energie v dané hmotnosti  $\Delta m$ )

$D = \Gamma * t * A / r^2$  ; ( $\Gamma$  – dávkový příkon,  $t$  – doba expozice,  $A$  – aktivita zářiče,  $r$  – vzdálenost od zářiče)

#### 2.4.5 KERMA K

(Kinetic Energy Released in Material = kinetická E uvolněná v materiálu)

Gy – Gray

$K = D$  pouze v případě přímo ionizujícího záření

$K = \Delta E / \Delta m$  ( $\Delta E$  – součet počáteční kinetické energie v dané hmotnosti  $\Delta m$ )

#### 2.4.6 TERMA T

(Total Energy Released per unit Mass = celková E uvolněná v jednotce hmotnosti)

Gy – Gray

$T = D$  pouze v případě rovnovážného stavu nabitých částic

$T = \Delta E / \Delta m$  ( $\Delta E$  – absorbovaná celková energie v dané hmotnosti  $\Delta m$ )

(J.K., 2011) (Valášek, 2003) (Centrum výzkumu Řež s.r.o., 2012) (Ullmann, 2009)



## 2.5 Detekce

### 2.5.1 Geiger–Müllerův čítač

- Základem je kovová trubice se zředěným plynem, jehož vodivost se vždy nakrátko změní průletem ionizující částice.
- Měří se CPS (počet za vteřinu), CPM (počet za minutu) nebo CPH (počet za hodinu), ale neměří energii záření a nerozezná jednotlivé druhy.
- Většina GM trubic nepropustí  $\alpha$  částice (či další s malou pronikavostí).



Obrázek 3 - GM trubice

### 2.5.2 Dozimetr filmový

- Základem je speciální fotografický film ve světle nepropustném obalu, jehož části jsou překryty kovovými destičkami (tzv. kompenzačními filtry) z plastu, olova a mědi různých tlouštěk.
- Pro znatelné výsledky je třeba expozice po dobu týdnů až měsíců.
- Zpětně lze zjistit dávkový ekvivalent, druh a energii záření.
- Nízká přesnost. (podle doby použití, či celkové energie záření) ale vysoká



Obrázek 4 - Filmový dozimetr (SÚRO, v.v.i, 2014)

citlivost a nízké náklady.

### 2.5.3 Prstenový dozimetr

- Princip termoluminiscence, kdy nerostné krystaly pohlcují ionizující záření, které opět vyloučí jako viditelné světlo po zahřátí na danou teplotu, jehož intenzita je úměrná expozici X (viz. 2.4.4)

#### 2.5.4 Ionizační komora

- 2 elektrody v plynové náplni (např. vzduch) pod napětím cca 200 V (mohou být nahrazeny polovodičem).
- Každý průchod ionizující částice vytvoří napěťový impuls.
- Měření dávky, expozice a kermy.

#### 2.5.5 Scintilační detektor

- Dopad ionizujícího záření na některé látky (ZnS, naftalen) vyvolává záblesky světla (scintilace).
- Měření dávky a expozice.



Obrázek 5 - Scintilační detektor (LaBrake, 2013)

#### 2.5.6 Mlžná (Wilsonova) a bublinková komora

- Komora naplněna sytou parou (ethanol) a každý průlet ionizující částice zkondenzuje okolí svého průletu.
- Moderní komory naplněny tekutým vodíkem, těsně pod bodem varu a každý průlet ionizující částice vypaří okolí svého průletu.
- Zaznamenává trajektorii, hybnost a energii částic.



Obrázek 6 - Mlžná komora (Grozier, 2014)

## 2.6 Radiční monitorování v ČR

- Pravidelné sledování úrovně ionizujícího záření v okolním prostředí.
- Měření obsahu umělých radionuklidů ve složkách životního prostředí a potravních řetězců.
- Sledování radioaktivity v lidském těle a zátěže způsobenou inhalací (vdechnutím) a ingescí (v potravě) umělých radionuklidů.
- V ČR systematické plošné měření od začátku dubna r. 1986.
- Provozovateli jsou: Státní ústav radiační ochrany, v.v.i., Státní úřad pro jadernou bezpečnost, Český hydrometeorologický ústav, ČEZ, a.s. a Armáda ČR.

### 2.6.1 Síť včasného zjištění (SVZ)

- Kontinuální měření příkonu fotonového dávkového ekvivalentu (PFDE) v Sv/h na 135 místech (z toho polovina soustředěna v okolí JE Dukovany a Temelín).
- Data z měření jsou veřejně přístupná v systému [MonRaS](#).
- Vybrané stanice doplněné spektrometry pro detekci jednotlivých radionuklidů.



Obrázek 7 - Měřicí místo SVZ a obrázek 8 - Měřicí místo TLD (SÚJB, 2013)

### 2.6.2 Měření integrální (TLD a ELD)

- Okolo 350 termoluminiscenčních a elektronických dozimetrů, umístěných v terénu i budovách.
- Měření PFDE.

### 2.6.3 Letecké monitorování

- Letecké monitorování PFDE z vrtulníku ve výšce asi 100 m nad terénem.
- Lze změřit i spektrometrické rozložení radionuklidů.
- Cvičné měření jednou až dvakrát ročně. (určeno pro kritické situace)

#### 2.6.4 Pozemní monitorování

- Měření PFDE za jízdy po určené trase autem jedoucím rychlostí cca 40 km/h.
- Cvičné měření jednou za měsíc. (určeno opět pro kritické situace)

#### 2.6.5 Ostatní

- Měření obsahu radionuklidů v aerosolech a spadů.
- Spektrometrické měření vzorků vody a zeminy.

(Centrum výzkumu Řež s.r.o., 2012) (SÚJB, 2013) (SÚJB, 2014)



Obrázek 9 – Odběr aerosolů (SÚJB, 2013)



Obrázek 10 - Odběr spadů (SÚJB, 2013)

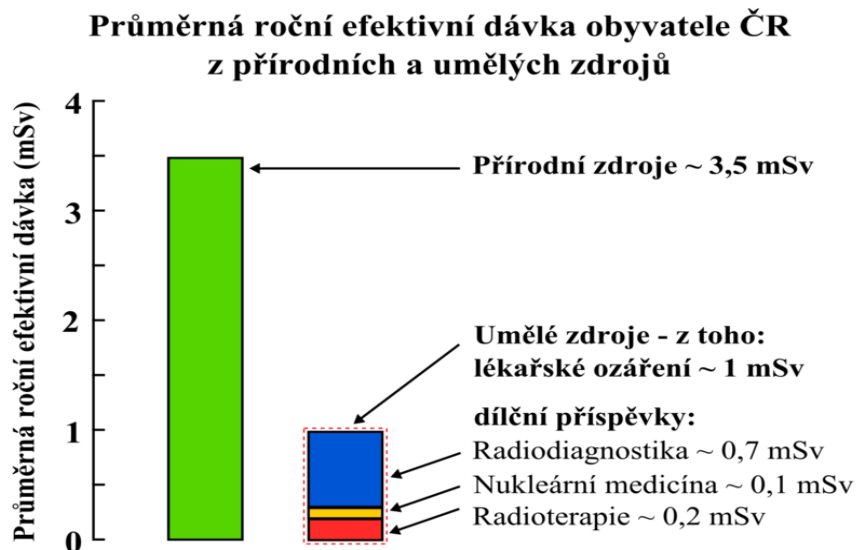
## 2.7 Zdroje záření

### 2.7.1 Přírodní

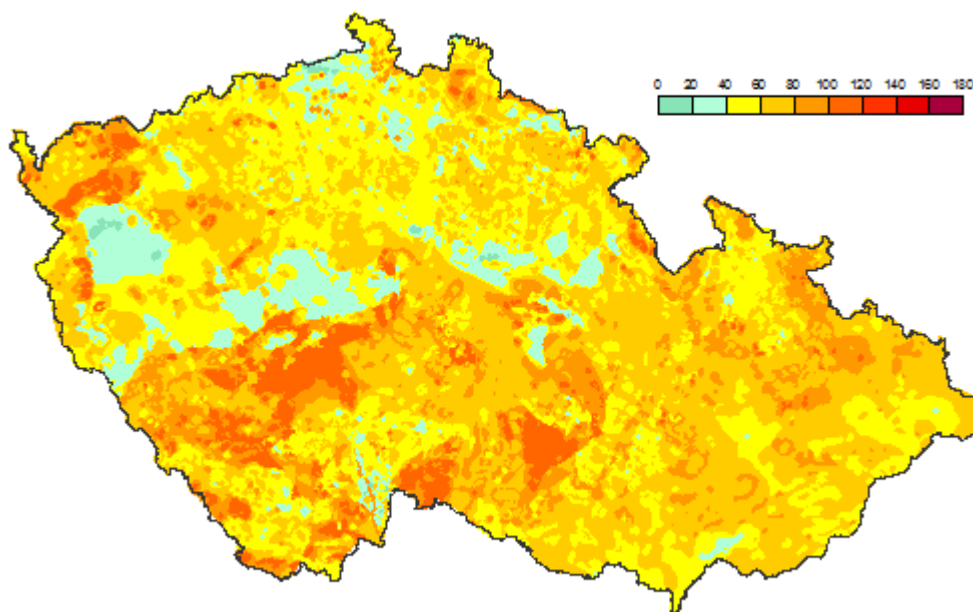
- V Evropské unii průměrná hodnota 1,7 mSv/rok. ( $\approx 200$  nSv/hod)
  - A) externí ozařování zářením z vesmíru
  - B) přírodní radionuklidy
    - kosmogenní r. – vznik jadernými reakcemi při interakci kosmického záření se stabilními prvky v atmosféře Země (van Allenovy pásy)  
např.:  $^{14}\text{C}$ ,  $^3\text{H}$ ,  $^7\text{Be}$  a  $^{22}\text{Na}$
    - primordiální r. - poločas přeměny nad  $10^8$  let  
např.:  $^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$ ,  $^{87}\text{Rb}$
    - radiogenní r. – produkty rozpadových řad  
např.:  $^{222}\text{Rn}$

### 2.7.2 Umělé

- V EU limit pro normální obyvatelstvo 1 mSv/rok. ( $\approx 120$  nSv/hod)
- Limit pro pracovníků u zdrojů záření 50 mSv/rok. ( $\approx 5700$  nSv/hod)
- Limit pro kosmonauty 500 mSv/rok. ( $\approx 57$   $\mu\text{Sv/hod}$ )  
(SÚRO, v.v.i., 2013)

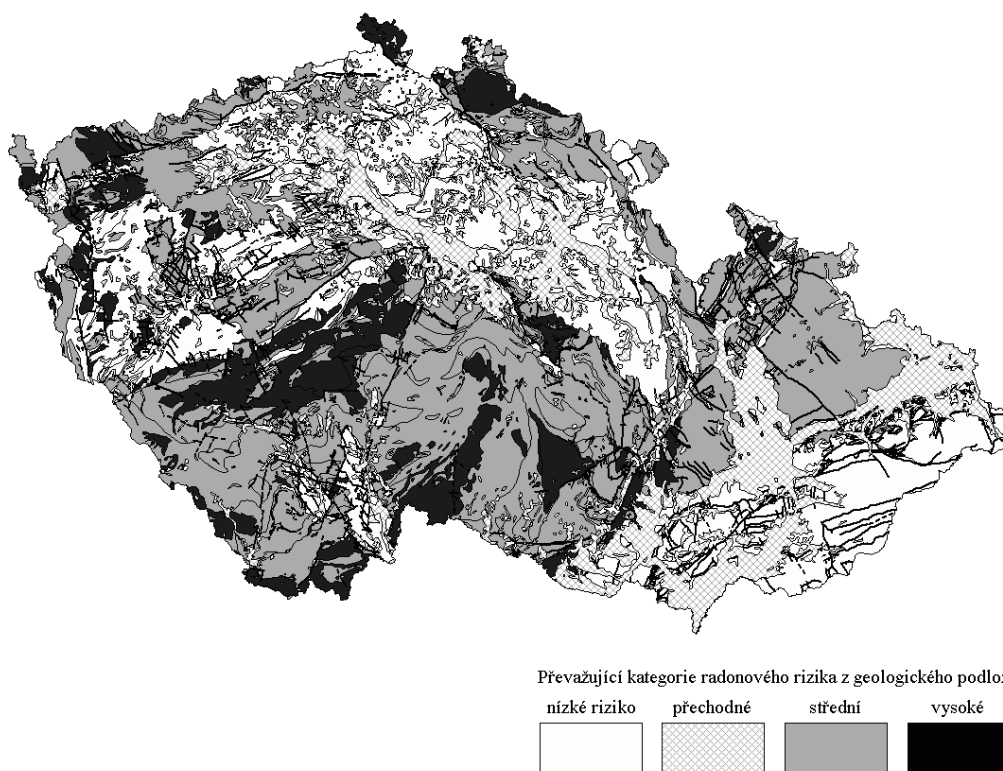


Obrázek 11 - Průměrná roční efektivní dávka v ČR (Univerzita Palackého v Olomouci, 2007)



Obrázek 12 - Radiometrická mapa České republiky (v nSv/h) (Manová, a další, 1995)

Obrázek 13 - Geologická prognózní mapa výskytu radonu v ČR (GeoModel Solar, 2013)





## 2.8 Objev záření

### 2.8.1 Wilhelm Conrad Röntgen (1845-1923)

- Německý fyzik, držitel první Nobelovy ceny za fyziku (1901).
- R. 1895 experimentoval s elektrickým proudem v téměř vakuové skleněné trubici a všiml si, že blízký platinokyanid barnatý vydával světlo, ale pouze když byla trubice v provozu. Následně zjistil, že toto záření může pronikat skrz papír, dřevo, aj. a také, že působí na fotografický papír.
- Svůj objev pojmenoval paprsky X (Rentgenové záření).
- 1899 – Dvě hodiny na ruce testoval účinky radioaktivní soli, sloupala se mu kůže a dostal zánět.
- Zemřel na rakovinu střev.

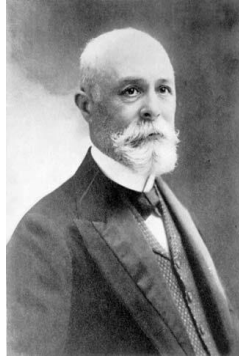


Obrázek 14 - W. C. Röntgen a rentgenový snímek ruky jeho manželky (Encyclopædia Britannica, Inc., 2007)

(Seliger, 1995) (Encyclopædia Britannica, Inc., 2007)

### 2.8.2 Henri Becquerel (1852 – 1908)

- Francouzský fyzik, obdržel Nobelovu cenu za fyziku (1903).
- 1895 – Objevil přirozenou radioaktivitu při výzkumu fluorescence uranových solí.
- Jeho objev nevzbudil stejnou senzaci jako paprsky X, které byly pronikavější a tvořily lepší snímky na fotografickém papíře.
- Duben 1901 – V kapse nosil nevědomě 2 dny trubičku se solí Radia, po týdnu mu začala červená zanícená tkáň odumírat a musela být chirurgicky odstraněna.



Obrázek 15 - H. Becquerel  
(Encyclopædia Britannica, Inc., 2013)

- Zemřel z neznámých důvodů, ale pravděpodobně na následky ozáření.  
(Encyclopædia Britannica, Inc., 2013)

### 2.8.3 Marie Curie (1867-1934) s manželem Pierrem Curie

- Polsko-francouzská fyzička, jako první žena obdržela Nobelovu cenu za fyziku (1903) a za chemii (1911).
- 1898 – objev polonia a radia během zkoumání radioaktivity smolince (Jáchymov).
- Pro výzkum účinků radiace měla radioaktivní sůl na ruce přes 10 hodin, hnisavá rána byla léčena 2 měsíce.
- Zemřela na leukémii.

(Encyclopædia Britannica, Inc., 2014)



Obrázek 16 - M. Curie (Encyclopædia Britannica, Inc., 2006)

### 2.8.4 Další jména

- André-Louis Debierne – francouzský chemik.
- Friedrich Oskar Giesel – německý chemik.
- Gerhard Carl Schmidt – německý chemik.
- George Stover – americký fyzik.



## 2.9 Účinky záření a ochrana

### 2.9.1 Účinky

<b>Jednorázová dávka v Sv</b>	<b>Následky</b>
<b>0,5 - 1</b>	Hrozí nemoc z ozáření, narušení imunitních buněk a dočasná sterilita,
<b>1 – 2</b>	10% úmrtnost do 30 dnů, po 24 hodin nevolnost, u těhotných žen potrat.
<b>2 – 4</b>	Krvácení z úst, kůže a ledvin. Do měsíce umírá 50% zasažených.
<b>8</b>	Silně poškozená kostní dřeň (nutnost transplantace), celoživotní následky, do dvou týdnů umírá většina zasažených.
<b>10 - 50</b>	99% úmrtnost do 7 dnů. Okamžité vyčerpání, nevolnost a po dnu začíná buněčná smrt.
<b>nad 80</b>	Člověk umírá během vteřin.

*Tabulka 6 - Účinky záření (Univerzita Palackého v Olomouci, 2007)*

### 2.9.2 Ochrana

- Aktivní ochrana neexistuje. (jen s minimálním účinkem u malých dávek)
- Pasivní ochrana:
  - Vzdálenost.
  - Čas.
  - Stínění.

(J.K., 2011) (Losa, a další, 2014)

### 3 Praktická část – technické vybavení

#### 3.1 Geiger-Müllerův čítač GC10 (NetIO Devices Co., Ltd.)

- Výrobce certifikovaná citlivost na  $\gamma$  a  $\beta$  záření.
- Měřicí limit 0 až 65 535 CPM.
- Provozní teplota -8 až +50 °C.
- Komunikační rozhraní přes USB, 9600bps.
- GM trubice SBM-20.
  - Náplň: Ne, Br a Ar.
  - Rozměry: délka 108 mm (efektivní 91 mm), průměr 11 mm.
  - Provozní teplota -60 až +70 °C
  - Tloušťka stěn 0,05 mm. (nerez ocel)
  - Operační napětí 350 – 475 V.

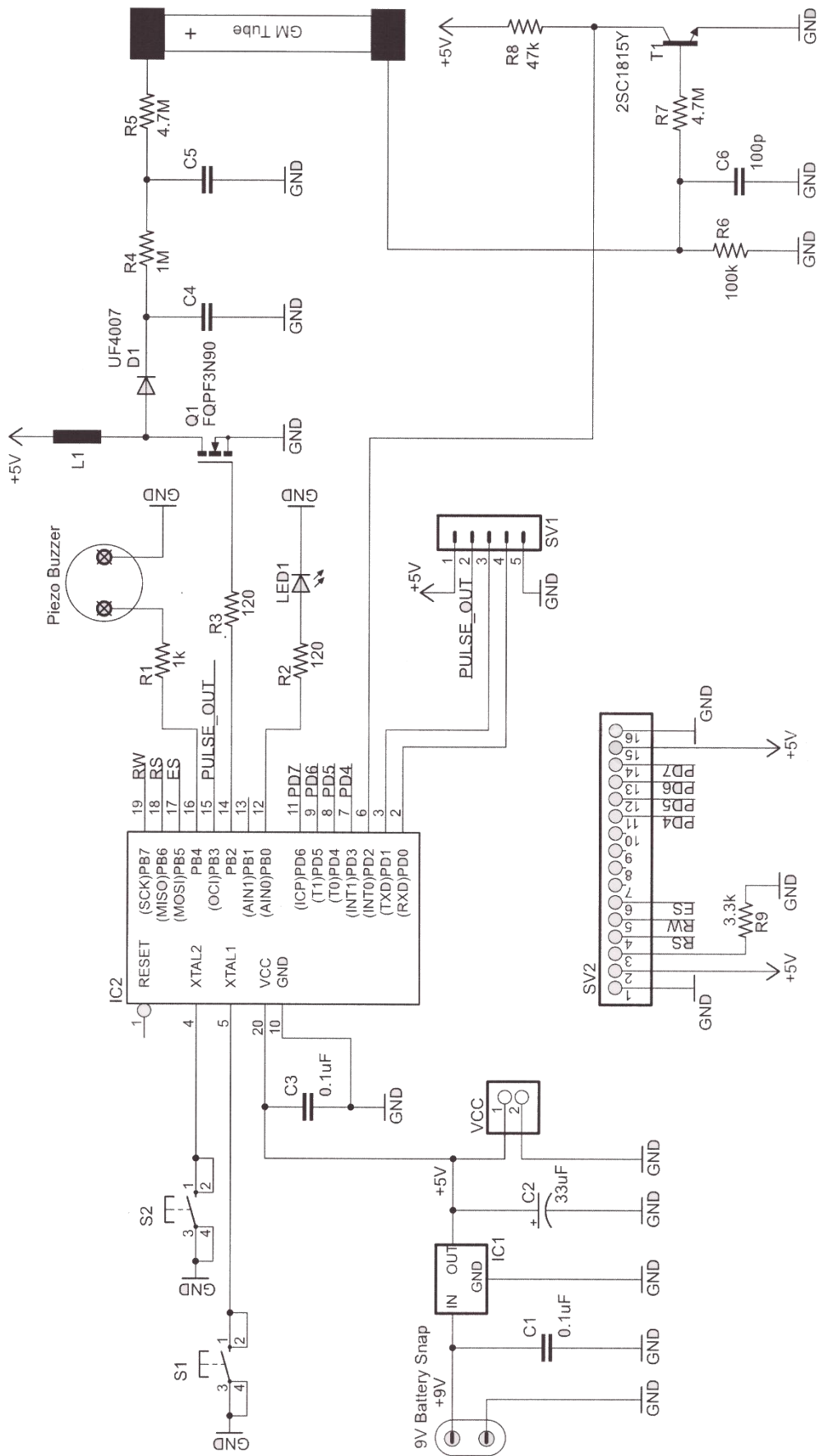


Obrázek 17 - GC10 (NetIO Devices Co., Ltd, 2011)

(GS Tube, 2008) (NetIO Devices Co., Ltd, 2011)

01/23/2015	20:48:27	17
01/23/2015	20:48:28	18
01/23/2015	20:48:29	18
01/23/2015	20:48:30	17
01/23/2015	20:48:31	17
01/23/2015	20:48:32	17
01/23/2015	20:48:33	17
01/23/2015	20:48:34	17
01/23/2015	20:48:35	17
01/23/2015	20:48:36	18
01/23/2015	20:48:37	18
01/23/2015	20:48:38	18
01/23/2015	20:48:38	18
01/23/2015	20:48:39	18
01/23/2015	20:48:40	18
01/23/2015	20:48:41	18

Obrázek 18 - Zapisovaná data



Obrázek 19 - Schéma GC10 (NetIO Devices Co., Ltd, 2011)

## 4 Vlastní měření a zpracování výsledků

- Veškeré měření bylo provedeno Geiger-Müllerovým čítačem GC10, nebo detektorem SVZ a TLD.
- Součástí měření bylo srovnání radiační zátěže v okolí uhelné elektrárny Opatovice nad Labem a jaderné elektrárny Dukovany, dále monitorování bismutu, telefonního volání a měření radiačního pozadí na několika dalších lokalitách.
- Ve své práci jsem si stanovil tyto hypotézy:
  - Hypotéza č. 1: V blízkosti Uhelé elektrárny Opatovice nad Labem je větší radiační zátěž, nežli u jaderné elektrárny Dukovany.
  - Hypotéza č. 2: Bismut-209 je nestabilním prvkem.
  - Hypotéza č. 3: Radiové vlny z mobilního telefonu nejsou ionizujícího rázu.
- Vlastní měření bylo doplněno dotazníkem. (kapitola č. 5)

### 4.1 Měření bismutu

- Měřeno v kontaktu s 6 g krystalem bismutu-209 .
- Celková doba měření: 23 hodin.
- Průměr 22 CPM ( $\approx 147$  nSv/h).
- Maximální hodnota: 44 CPM ( $\approx 293$  nSv/h).
- Minimální hodnota: 9 CPM ( $\approx 60$  nSv/h).
- Neprokována radioaktivita Bi-209.

### 4.2 Měření u uranových dolů Březinka a Licoměřice (okres Chrudim)

#### 4.2.1 Březinka

- Měřeno podél obvodu areálu bývalého dolu.
- Celková doba měření: 1 hodina.
- Průměr 28 CPM ( $\approx 186$  nSv/h).
- Maximální hodnota: 43 CPM ( $\approx 287$  nSv/h).
- Minimální hodnota: 15 CPM ( $\approx 100$  nSv/h).

#### 4.2.2 Licoměřice

- Měřeno v těsné blízkosti bývalého dolu.

- Celková doba měření: 1 hodina.
- Průměr 34 CPM ( $\approx 226$  nSv/h).
- Maximální hodnota: 61 CPM ( $\approx 407$  nSv/h).
- Minimální hodnota: 17 CPM ( $\approx 113$  nSv/h).

#### 4.2.3 Měření telefonních vln.

- Měřeno v blízkosti dvou sobě volajících telefonů.
- Celková doba měření: 3 hodiny, telefonování pouze 17 minut.
- Průměr 22 CPM ( $\approx 147$  nSv/h). – průměr během telefonování stejný.
- Maximální hodnota: 38 CPM ( $\approx 253$  nSv/h).
- Minimální hodnota: 9 CPM ( $\approx 60$  nSv/h).
- Prokázána neionizující povaha telefonního záření.

#### 4.2.4 Měření v Rysé v Orlických horách.

- Měřeno ve starém nevětraném stavení v území s potvrzeným výskytem uranových rud a zvýšeným radonovým rizikem (index 2 až 3).
- Celková doba měření: 2 hodiny.
- Průměr 51 CPM ( $\approx 341$  nSv/h).
- Medián 45 CPM ( $\approx 300$  nSv/h).
- Maximální hodnota: 138 CPM ( $\approx 920$  nSv/h).
- Minimální hodnota: 24 CPM ( $\approx 160$  nSv/h).

### 4.3 Srovnání JE Dukovany s radiační zátěží v Opatovicích nad Labem

#### 4.3.1 Měření v Opatovicích nad Labem

- Měření ve vzdálenosti 2 km vzdušnou čarou na sever od uhelné elektrárny Opatovice n/L ve výšce 3 m nad terénem.
- Celková doba měření: přes 200 hodin (přerušovaně).
- Průměr 22 CPM ( $\approx 147$  nSv/h).
- Maximální hodnota: 49 CPM ( $\approx 327$  nSv/h).
- Minimální hodnota: 5 CPM ( $\approx 33$  nSv/h).

#### 4.3.2 Měření v EOP

- Měření v uhelné elektrárně Opatovice n/L.
- Celková doba měření: 2 hodiny.
- Průměr 25 CPM ( $\approx 167$  nSv/h).

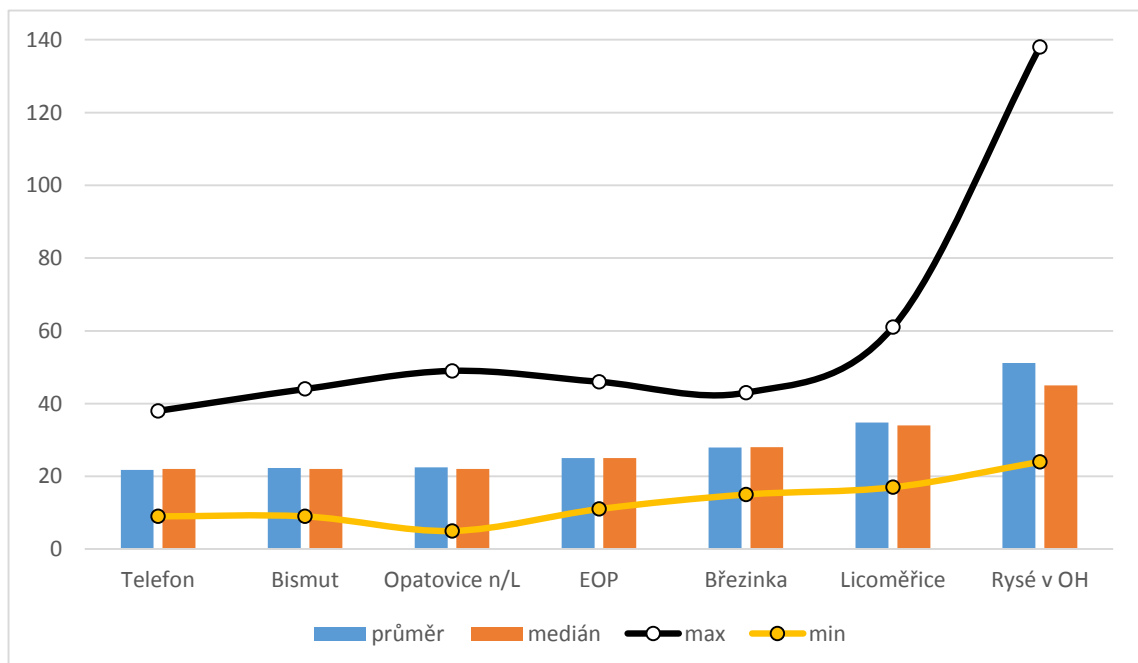
- Maximální hodnota: 46 CPM ( $\approx 307$  nSv/h).
- Minimální hodnota: 11 CPM ( $\approx 73$  nSv/h).
- Po tomto měření následovalo 7 hodinové měření 2 km od elektrárny.
  - Průměr 22 CPM ( $\approx 147$  nSv/h).
  - Maximální hodnota: 39 CPM ( $\approx 260$  nSv/h).
  - Minimální hodnota: 8 CPM ( $\approx 53$  nSv/h).

#### 4.3.3 Měření pro srovnání s JE Dukovany v Opatovicích nad Labem

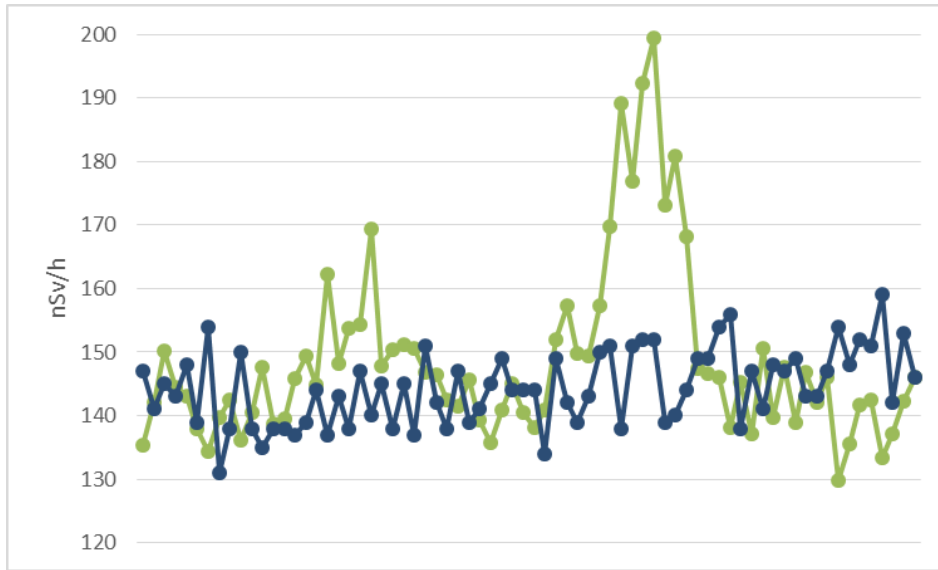
- Nepřetržitě měření od 0:00 30.12.2014 do 23:59 1.1. 2015.
- Průměr 22 CPM ( $\approx 147$  nSv/h).
- Maximální hodnota: 49 CPM ( $\approx 327$  nSv/h).
- Minimální hodnota: 5 CPM ( $\approx 33$  nSv/h).

#### 4.3.4 Měření JE Dukovany

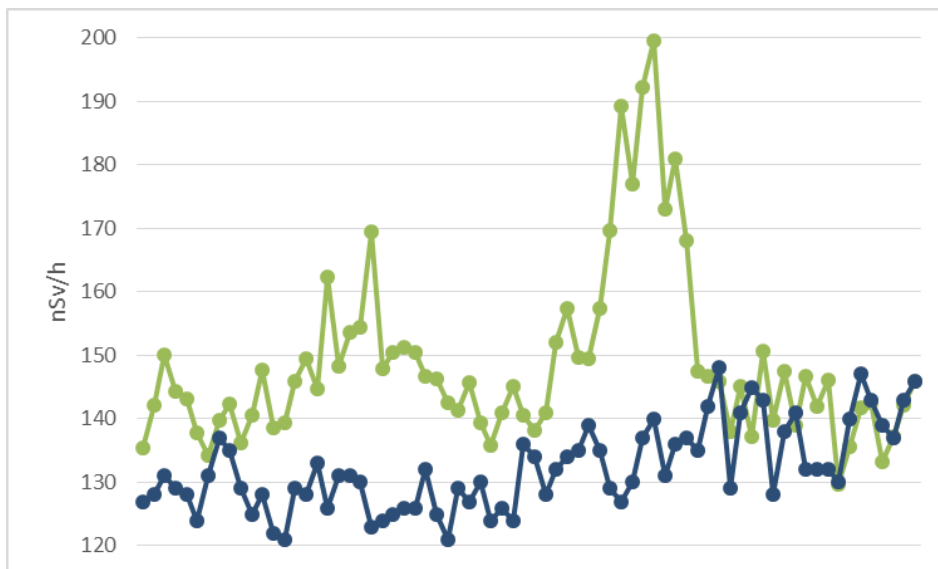
- Hodinová data získána z detektorů SVZ ČEZ-EDU 03, 07, 13, 23; pravidelně rozmístěných podél JE Dukovany a celoroční ze sítě TLD.
- Roční průměr  $\approx 115$  nSv/h. (2011-14)
- Průměr po dobu měření 113 nSv/h. (30.12 – 1.1.)



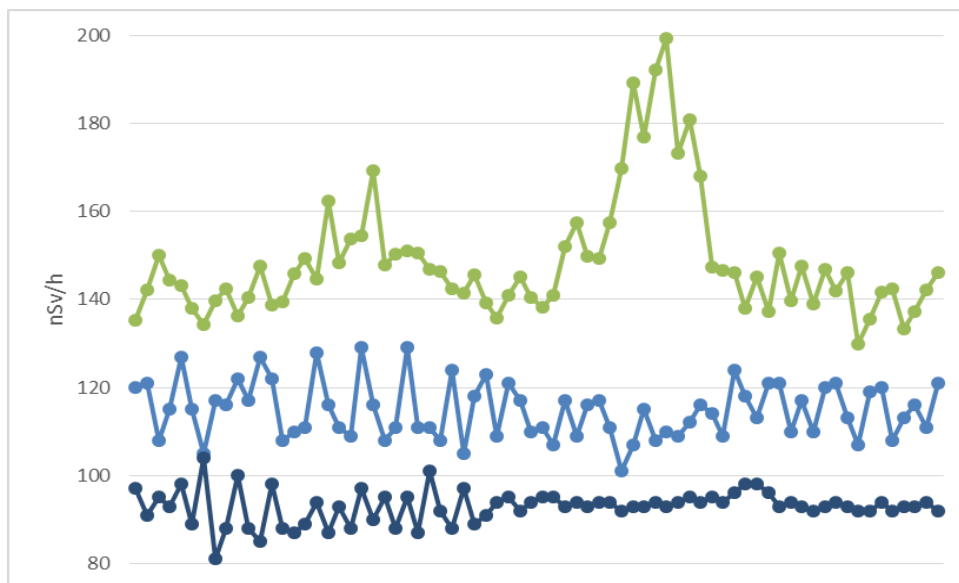
Graf 1 - Naměřené hodnoty CPM, seřazené dle průměru



Graf 2 - ČEZ-EDU 13



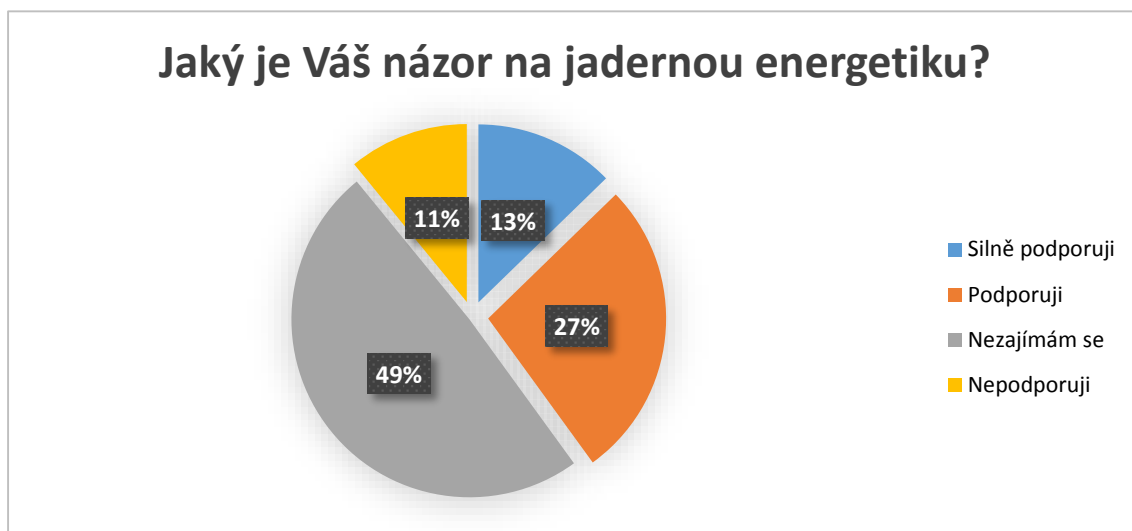
Graf 3 - ČEZ-EDU 07



Graf 4 - ČEZ-EDU 01 • a 23 •

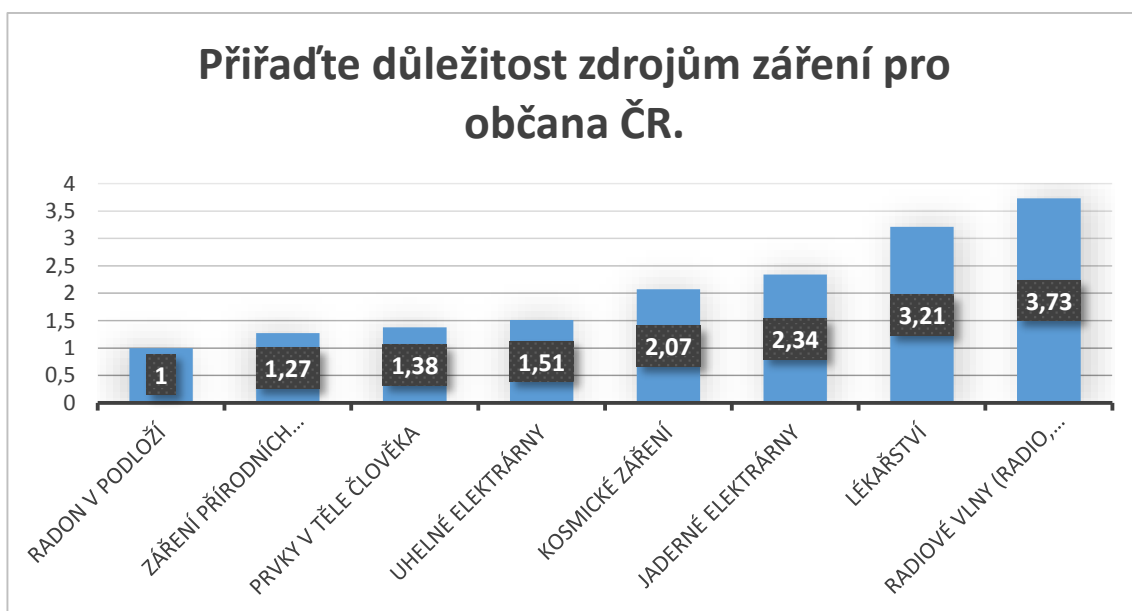
## 5 Dotazník

- Respondenty bylo 126 studentů středních škol v Hradci Králové.
- Dotazník byl distribuován elektronicky.
- Časový limit byl 30 minut, 86 % respondentů odpovědělo do 5 minut.



Graf 5 - První otázka (volba z možností)

- Většina respondentů uvedla, že se nezajímá, ale ze zbylých možností převažuje kladný ohlas.



Graf 6 - Seřazení 1 - nejméně, 8 - nejvíce

- Výsledky dokládají znalostní nedostatky u respondentů. Největší důležitost byla přiřazena radiovým vlnám, která nejsou zdrojem ionizujícího záření. Naopak nejmenší důležitost byla přiřazena radonu v podloží, který, podle různých

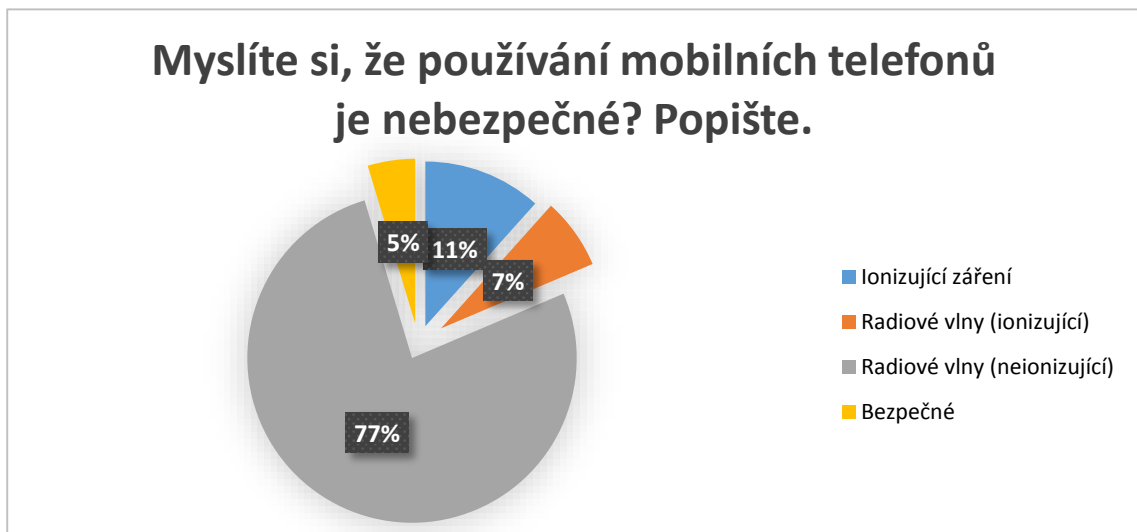


výzkumů a odhadů, představuje okolo 50 % příjmu ionizujícího záření.



Graf 7 - Písemná odpověď, generalizace odpovědí

- Otázka zvolena pro srovnání hodnot radiační dávky pro použití v prezentaci.
- 1 banán  $\approx 0,1 \mu\text{Sv}$ .



Graf 8 - Písemná odpověď, generalizace odpovědí

- Z výsledků vyplynulo, že se 11 % respondentů domnívá, že mobilní telefony vyzařují ionizující záření a dalších 7 %, že jde o radiové vlny s ionizujícím účinkem.
- Přesto však 82 % odpovědělo správně.

## 6 Diskuze

V provedeném dotazníkovém šetření se ukázalo, že dotazovaní respondenti se ve valné většině nezajímají o jadernou energetiku a že jim je tato problematika tudíž lhostejná.

Dotazovaní mají též znalostní nedostatky v problematice zdrojů ionizujícího záření. Největší důležitost byla přiřazena radiovým vlnám, které nejsou zdrojem ionizujícího záření. Naopak nejmenší důležitost byla přiřazena radonu v podloží, který, podle různých výzkumů a odhadů, představuje až okolo 50 % příjmu ionizujícího záření.

Co se konzumace banánů týče, tak nejvíce z dotázaných uvedlo, že konzumuje 2 až 1 týdně, což odpovídá 52 až 104 banánů za rok ( $\approx 5 - 10 \mu\text{Sv}$ ), což teoreticky odpovídá dávce ionizujícího záření získaného při jednom až dvěma podstoupených rentgenových snímků úst. (Muller, 2014)

O povaze radiových vln většina respondentů správně uvedla, že nejsou zdrojem ionizujícího záření, ale ve srovnání s otázkou č. 2 se ukazuje znatelné zkreslení výsledků.

V druhé a hlavní části své praktické práce jsem se zabýval srovnáním radiační zátěže v blízkosti uhelné elektrárny Opatovice nad Labem a v areálu JE Dukovany. Prvotním předpokladem a hypotézou byla větší radiační zátěž u uhelné elektrárny z důvodu prvků vyskytujících se v uhlí a následně v popílku, který se dostává do ovzduší.

Dále byl po dobu čtyřiaadvacet hodin monitorován krystal bismutu-209 za účelem potvrzení jeho nestability, což se nepotvrdilo, ale nemůže být ani vyvráceno, protože bismut-209 má velmi dlouhý poločas rozpadu.

Třetí hypotézou byla neionizující povaha radiových vln z mobilního telefonu, což bylo měřením potvrzeno a rozdílem je mnohonásobně větší vlnová délka.

Doplňkovou složkou bylo potom měření v blízkosti bývalých uranových dolů Březinka a Licoměřice na Vysočině, kde byla zjištěna vyšší hladina radiační zátěže, ale takřka minimální a dále také měření ve staré dřevěné budově v Rysé v Orlických horách, kde byla až nebezpečně zvýšená úroveň radiační zátěže, patrně kvůli radionuklidům v podloží, jehož důkazem jsou pozůstatky šachet po těžbě uranu v blízkém vrchu Zakletý.

## Závěr

### Srovnání uhelné a jaderné elektrárny

- Dle očekávání byla v blízkosti uhelné elektrárny Opatovice nad Labem naměřena větší radiační zátěž, nežli v areálu JE Dukovany.
- Možnou příčinou je stopové množství uranu (a jiných radionuklidů) v uhlí, které se dostává ve formě popílku do ovzduší.

### Měření bismutu

- Hypotéza o nestabilitě nepotvrzena, neboť měření nevykázalo žádné výchylky od normálu. Vědecky potvrzená nestabilita bismutu-209 ale v žádném případě nevyvrácena.
- Příčinou by mohla být nedostatečná citlivost použitého detektoru, ale spíše velmi dlouhý poločas rozpadu a příliš malý měřený vzorek.

### Měření telefonních vln

- Potvrzena hypotéza o neionizující povaze radiových vln používaných při telefonních hovorech.
- Důkazem je měření a rozdílná vlnová délka od vlnění ionizujícího záření.

### Ostatní

- Potvrzena větší radiační zátěž v okolí bývalých uranových dolů Licoměřice a Březinka, způsobena geologickým podloží.
- V Rysé v Orlických horách naměřena nejvyšší hodnota radiační zátěže, důvodem je jednoznačně geologické podloží lokality.

## 7 Zdroje

1. BADASH, Lawrence. Henri Becquerel: French physicist. In: *ENCYCLOPÆDIA BRITANNICA* [online]. 2013 [cit. 2015-03-21]. Dostupné z: <http://www.britannica.com/EBchecked/topic/58020/Henri-Becquerel>
2. BROOKS, Michael. *Velké otázky*. Vyd. 1. Praha: Knižní klub, 2011, 208 s. Universum (Knižní klub). ISBN 978-80-242-3065-8.
3. CENTRUM VÝZKUMU ŘEŽ S.R.O. *Enpedie: Portál na podporu veřejné informovanosti v oblasti jaderné energetiky* [online]. 2012 [cit. 2015-03-21]. Dostupné z: [http://enpedie.cz/wiki/Port%C3%A1l\\_na\\_podporu\\_ve%C5%99ejn%C3%A9\\_informovanosti\\_v\\_oblasti\\_jadern%C3%A9\\_energetiky](http://enpedie.cz/wiki/Port%C3%A1l_na_podporu_ve%C5%99ejn%C3%A9_informovanosti_v_oblasti_jadern%C3%A9_energetiky)
4. GEOMODEL SOLAR S.R.O. Maps of Global horizontal irradiation (GHI). *SolarGIS* [online]. 2013 [cit. 2015-03-21]. Dostupné z: <http://solargis.info/doc/free-solar-radiation-maps-GHI#top>
5. GREENE, Brian. *Elegantní vesmír: Superstruny, skryté rozměry a hledání finální teorie*. 1. vyd. Praha: Mladá fronta, 2001, 397 s. ISBN 80-204-0882-7.
6. GROZIER, Jim. A History of Early High Energy Physics Research at UCL: The Bubble Chamber Group. UCL HEP GROUP. *UCL High Energy Physics* [online]. University College London, 2014 [cit. 2015-03-21]. Dostupné z: [http://www.hep.ucl.ac.uk/history/history\\_bubblechambers.shtml](http://www.hep.ucl.ac.uk/history/history_bubblechambers.shtml)
7. GS TUBE. SBM-20: Parameters and characteristics. *GS tube.com* [online]. 2008 [cit. 2015-03-21]. Dostupné z: <http://www.gstube.com/data/2398/>
8. HÁLA, Jiří. *Radioaktivní izotopy*. Tišnov: Sursum, 2013, 374 s. ISBN 978-80-7323-248-1.
9. HÁLA, Jiří. *Radioaktivita ionizující záření, jaderná energie*. 1. vyd. Brno: Konvoj, 1998, 310 s. ISBN 80-856-1556-8.

10. HART-DAVIS, Adam. *Věda: obrazový průvodce vývojem vědy a techniky*. Vyd. 2. Editor Adam Hart-Davis. Překlad Jolana Malátková. Praha: Knižní klub, 2014, 512 s. Universum. ISBN 978-802-4246-512.

11. IAEA. Live Chart of Nuclides: Nuclear structure and decay data. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *IAEA: Nuclear Data Services* [online]. 2012 [cit. 2015-03-21]. Dostupné z: <https://www-nds.iaea.org/relnsd/vcharthtml/VChartHTML.html>

12. IMAGES SI, INC. Radiation Penetration Calculator. *Images Scientific Instruments* [online]. 2009 [cit. 2015-03-21]. Dostupné z: <http://www.imagesco.com/geiger/cal/>

13. K., J. Radiokativita a účinek záření na člověka. In: *Věda u Mendíků* [online]. 24-3-2011 [cit. 2015-03-21]. Dostupné z: <http://vedaumendiku.blog.cz/1103/radiokativita-a-ucinek-zareni-na-cloveka>

14. KUIPER, Kathleen. Marie Curie: Polish-born French physicist. In: *ENCYCLOPÆDIA BRITANNICA* [online]. 2006, 30. 3. 2014 [cit. 2015-03-21]. Dostupné z: <http://www.britannica.com/EBchecked/topic/146871/Marie-Curie>

15. LABRAKE, Scott. Physics 300 Experiment #3: Environmental Radioactivity. In: *Union College: Modern Experimental Techniques* [online]. 2013 [cit. 2015-03-21]. Dostupné z: [https://www.google.cz/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0CCAQFjAA&url=http%3A%2F%2Fminerva.union.edu%2Flabrakes%2FPhy300\\_Laboratory\\_Manual.pdf&ei=KyMNVfi1JY6zacy7geAH&usg=AFQjCNGeU7KcG6e4JTXa-djYJvNdU2B89Q&bvm=bv.88528373,d.d2s](https://www.google.cz/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0CCAQFjAA&url=http%3A%2F%2Fminerva.union.edu%2Flabrakes%2FPhy300_Laboratory_Manual.pdf&ei=KyMNVfi1JY6zacy7geAH&usg=AFQjCNGeU7KcG6e4JTXa-djYJvNdU2B89Q&bvm=bv.88528373,d.d2s)

16. LEICHMANN, J. Současný stav ZNHČ na U - lokalitách ve správě DIAMO s.p. o.z. GEAM Dolní Rožínka. In: *Informační systém Masarykovy univerzity: Veřejné služby Informačního systému IS MU* [online]. 2011, 2013 [cit. 2015-03-21]. Dostupné z: [https://is.muni.cz/el/1431/jaro2013/G8331/ZNHC\\_GEAM\\_2011.pdf](https://is.muni.cz/el/1431/jaro2013/G8331/ZNHC_GEAM_2011.pdf)

17. LITTLE, John B., Edward P. RADFORD, H. Louis MCCOMBS a Vilma R. HUNT. Distribution of Polonium 210 in Pulmonary Tissues of Cigarette Smokers. *New England Journal of Medicine*. 1965-12-16, vol. 273, issue 25, s. 1343-1351. DOI: 10.1056/NEJM196512162732501. Dostupné z: <http://www.nejm.org/doi/abs/10.1056/NEJM196512162732501>

18. LOSA, Evžen, Michal KOLEŠKA a Ján MILČÁK. Ochrana proti účinkům ionizujícího záření: Katedra jaderných reaktorů FJFI ČVUT. In: *Ochrana proti účinkům ionizujícího záření* [online]. Praha: Techmania Science center, 2014 [cit. 2015-03-21]. Dostupné z: [http://www.techmania.cz/data/fil\\_4719.pdf](http://www.techmania.cz/data/fil_4719.pdf)

19. MANOVÁ, Magdaléna a Milan MATOLÍN. Radonové riziko: Radon v geologickém podloží. ČESKÁ GEOLOGICKÁ SLUŽBA. *STÁTNÍ GEOLOGICKÁ SLUŽBA* [online]. 1995 [cit. 2015-03-21]. Dostupné z: <http://www.geology.cz/extranet/vav/analyza-zranitelnosti-krajiny/radon>

20. MUELLER, Derek. The Most Radioactive Places on Earth. In: *Youtube* [online]. 2014 [cit. 2015-03-21]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=TRL7o2kPqw0>

21. NATIONAL COUNCIL ON RADIATION PROTECTION AND MEASUREMENTS. Radiation Exposure of the U.S. Population from Consumer Products and Miscellaneous Sources: (Supersedes NCRP Report No. 56). In: *Report No. 095* [online]. Bethesda, 1987 [cit. 2015-03-21]. Dostupné z: <http://www.ncrppublications.org/Reports/095>

22. NETIO DEVICES CO., LTD. *General Specification of GC10: GC10 Geiger Counter Module* [online]. 3-8-2011, 3 s. [cit. 21-3-2015]. Dostupné z: [http://netiodev.com/GC10/SPEC\\_GC10.pdf](http://netiodev.com/GC10/SPEC_GC10.pdf)

23. RUDSTAM, G., P.-I. JOHANSSON, J. ERIKSEN, H. R. FAUST, J. BLACHOT a J. WULFF. Average Beta and Gamma Energies of Fission Products: The Studsvik science research laboratory. In: *Average Beta and Gamma Energies of Fission Products* [online]. Nyköping, 1979, s. 545 [cit. 2015-03-21]. DOI: 10.1007/978-3-642-58113-7\_155. Dostupné z: [http://link.springer.com/10.1007/978-3-642-58113-7\\_155](http://link.springer.com/10.1007/978-3-642-58113-7_155)

24. SATRA TECHNOLOGY CENTRE LTD. Technology watch – part 9: Ionising radiation biocidal treatment. SATRA TECHNOLOGY CENTRE LTD. *SATRA Technology* [online]. 2013 [cit. 2015-03-21]. Dostupné z: [http://www.satra.co.uk/bulletin/article\\_view.php?id=453](http://www.satra.co.uk/bulletin/article_view.php?id=453).

25. SELIGER, Howard H. Wilhelm Conrad Röntgen and the Glimmer of Light. In: *Physics Today* [online]. 1995, s. 25- [cit. 2015-03-21]. ISSN 00319228. DOI: 10.1063/1.881456.

Dostupné z:

<http://scitation.aip.org/content/aip/magazine/physicstoday/article/48/11/10.1063/1.881456>

26. SHUKLA, Gaurav. Wilhelm Conrad Röntgen: German physicist. In: *ENCYCLOPÆDIA BRITANNICA* [online]. 2007, 30. 3. 2014 [cit. 2015-03-21]. Dostupné z:

<http://www.britannica.com/EBchecked/topic/509157/Wilhelm-Conrad-Rontgen>

27. STOCKLEY, Corinne. *Velká encyklopedie vědy: fyzika, chemie, biologie*. 2. vyd. Překlad Lubomír Pech. Havlíčkův Brod: Fragment, 2003, 384 s. ISBN 80-720-0809-9.

28. SÚJB. Monitorování radiační situace. STÁTNÍ ÚŘAD PRO JADERNOU BEZPEČNOST. *SÚJB* [online]. 2014 [cit. 2015-03-21]. Dostupné z:

[http://www.sujb.cz/monras/aplikace/monras\\_cz.html](http://www.sujb.cz/monras/aplikace/monras_cz.html)

29. SÚJB. O radiačním monitorování. SÚJB. *Státní úřad pro jadernou bezpečnost* [online]. 2013 [cit. 2015-03-21]. Dostupné z: <https://www.sujb.cz/monras/info/informace.html>

30. SÚRAO. SPRÁVA ÚLOŽIŠŤ RADIOAKTIVNÍCH ODPADŮ. *Radioaktivita a ionizující záření ...* [online]. 2014 [cit. 2015-03-21]. Dostupné z:

[http://www.surao.cz/cze/Informacni-koutek/Dokumenty-ke-stazeni/Brozury/Brozura-  
Informacni-strediska](http://www.surao.cz/cze/Informacni-koutek/Dokumenty-ke-stazeni/Brozury/Brozura-Informacni-strediska)

31. SÚRO, V.V.I. Přírodní radioaktivita a problematika radonu. *Státní úřad radiační ochrany* [online]. 2013 [cit. 2015-03-21]. Dostupné z: <https://www.suro.cz/cz/prirodnioz>

32. SÚRO, V.V.I. Síť termoluminiscenčních dozimetrů: TLD-síť. *Státní úřad radiační ochrany* [online]. 2013 [cit. 2015-03-21]. Dostupné z: <https://www.suro.cz/cz/rms/tld>

33. ŠTOLL, Ivan. *Fyzika pro gymnázia: fyzika mikrosvěta*. 2. vyd. Praha: Prometheus, 1994, 183 s. Učebnice pro střední školy (Prometheus). ISBN 80-858-4948-8.

34. ŠVEC, Jiří. RADIOAKTIVITA A IONIZUJÍCÍ ZÁŘENÍ. In: *Radioaktivita a ionizující záření: doplňující učební text pro předměty Bakalářská fyzika, Aplikovaná fyzika, Ochrana před zářením* [online]. 1. vyd. Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2005 [cit. 2015-03-21]. ISBN 80-86634-62-0. Dostupné z: <https://www.fbi.vsb.cz/export/sites/fbi/050/.content/sys-cs/resource/PDF/studijni-materialy/zareni.pdf>

35. ULLMANN, Vojtěch. *Jaderná a radiační fyzika*. Vyd. 1. Ostrava: Ostravská univerzita v Ostravě, 2009, 171 s. ISBN 978-807-3686-697.

36. UNIVERSITY OF STUTTGART. *ExternE: External Costs of Energy* [online]. 2005, 13 s. [cit. 21. 12. 2014]. Dostupné z: [http://www.externe.info/externe\\_d7/](http://www.externe.info/externe_d7/)

37. UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI. RADIAČNÍ OCHRANA PACIENTA. *Klinika nukleární medicíny: Lékařské fakulty UP* [online]. 2007 [cit. 2015-03-21]. 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/radiacni-ochrana/radiacni-ochrana-pacienta/>

38. VALÁŠEK, Jiří. Úvod do problematiky ozáření z radonu a jeho dceřiných produktů. *Detekce ionizujícího záření* [online]. 2003 [cit. 2015-03-21]. Dostupné z: <http://www.radioaktivita.cz/osveta.html>

39. VELTMAN, Martinus. *Fakta a záhady ve fyzice elementárních částic*. Vyd. 1. Praha: Academia, 2007, 285 s. Gerstner. ISBN 978-80-200-1500-6.

40. WINTERS, T.H. a J. DI FRANZA. Radioactivity in Cigarette Smoke. *New England Journal of Medicine*. 1982-12-02, vol. 307, issue 23, s. 1449-1450. DOI: 10.1056/NEJM198212023072313. Dostupné z: <http://www.nejm.org/doi/abs/10.1056/NEJM198212023072313>



## 8 Přílohy

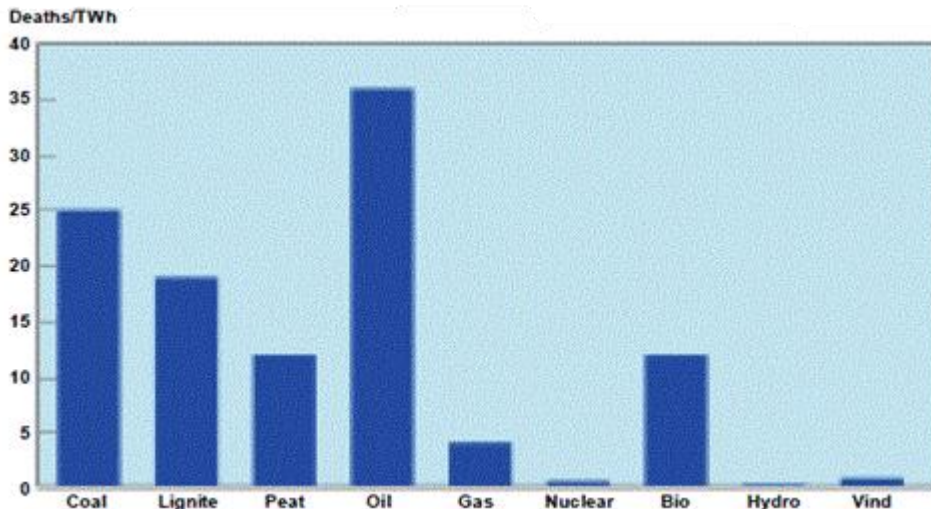
Vyšetření	Radiofarmakum	Diagnostická referenční úroveň (MBq)	Efektivní dávka vztážená na DRL (mSv)
<b>Třída I., efektivní dávka &lt; 1 mSv, radiační riziko menší než 1: 20 000</b>			
Renografie prostá	<sup>131</sup> I-hippuran	1	0,052
Stanovení EPPL, GFR	<sup>99m</sup> Tc-MAG3	20	0,14
Ventilace plic	<sup>81m</sup> Kr plyn	6 000	0,18
Gastroezofageální reflux	<sup>99m</sup> Tc-koloid	50	0,47
Evakuace žaludku	<sup>99m</sup> Tc-koloid	60	0,56
Rn. cystografie přímá	<sup>99m</sup> TcO <sub>4</sub>	50	0,65
Scintigrafie motilita jícnu	<sup>99m</sup> Tc-koloid	70	0,66
<b>Třída II., efektivní dávka 1 – 5 mSv, radiační riziko 1: 20 000 – 1: 4 000</b>			
Detekce sentin. uzlin	<sup>99m</sup> Tc-nanokoloid	100	1
Objem krve	<sup>51</sup> Cr-erytrocyty	6	1,1
Přežívání erytrocytů	<sup>51</sup> Cr-erytrocyty	6	1,1
Scintigrafie ledvin dynamická	<sup>99m</sup> Tc-DTPA	250	1,2
Radionuklidová cystografie nepřímá	<sup>99m</sup> Tc-MAG3	200	1,4
Scintigrafie plic ventilační	<sup>99m</sup> Tc-DTPA aerosol	1 000	1,5
Scintigrafie ledvin dynamická	<sup>99m</sup> Tc-EC	250	1,6
Scintigrafie ledvin dynamická	<sup>99m</sup> Tc-MAG3	250	1,8
Scintigrafie plic perfuzní	<sup>99m</sup> Tc-mikrosféry	200	2
Scintigrafie ledvin SPECT	<sup>99m</sup> Tc-DMSA	250	2,1
Scintigrafie plic perfuzní	<sup>99m</sup> Tc-MAA	200	2,2
Scintigrafie nadledvin planární	<sup>123</sup> I-MIBG	200	2,6
Scintigrafie štítné žlázy planární	<sup>99m</sup> TcO <sub>4</sub>	200	2,6
Scintigrafie hepatobil. systému SPECT	<sup>99m</sup> Tc-koloidy	300	2,8
Scintigrafie mozku dynamická	<sup>99m</sup> Tc-DTPA	700	3,4
Scintigrafie štítné žlázy planární	<sup>99m</sup> Tc-MIBI	400	3,6
Scintigrafie mozku dynamická SPECT	<sup>99m</sup> Tc-DTPA	800	3,9
Scintigrafie zánětů SPECT	<sup>99m</sup> Tc-HIG	600	4,2
Scintigrafie hepatobil. systému dynamická	<sup>99m</sup> Tc-IDA deriv.	250	4,3
Scintigrafie sleziny SPECT	<sup>99m</sup> Tc-alterované erytrocyty	200	4,4
Scintigrafie štítné žlázy planární	<sup>123</sup> I-jodid	20	4
Scintigrafie kostí	<sup>99m</sup> Tc-fosfáty	800	4,6
Scintigrafie krvácení do GIT	<sup>99m</sup> Tc-erytrocyty	700	4,9
<b>Třída III., efektivní dávka 5 – 10 mSv, radiační riziko 1: 4 000 – 1: 2 000</b>			
Scintigrafie div. Meckeli	<sup>99m</sup> TcO <sub>4</sub>	400	5,2
Scintigrafie nádory	<sup>123</sup> I-MIBG	400	5,2
Scintigrafie kostní dřeně	<sup>99m</sup> Tc-nanokoloidy	550	5,3
Ventikulografie	<sup>99m</sup> Tc-erytrocyty	800	5,6
Scintigrafie mozku SPECT	<sup>99m</sup> Tc-ECD	800	5,9

Scintigrafie detekce trombu	<sup>99m</sup> Tc-trombocyty	500	6
Scintigrafie nádorů	<sup>111</sup> In-pentetreotid	120	6,5
Scintigrafie zánětů	<sup>99m</sup> Tc-leukocyty	600	6,6
Scintimamografie	<sup>99m</sup> Tc-MIBI	800	7,2
Scintigrafie mozku	<sup>18</sup> F-FDG	400	7,6
Scintigrafie mozku statická	<sup>99m</sup> TcO <sub>4</sub>	600	7,8
Scintigrafie nádorů a zánětů	<sup>99m</sup> Tc-protilátky	800	8,8
Perfuze myokardu SPECT	<sup>99m</sup> Tc-MIBI	1 000	9
Scintigrafie mozku dynamická	<sup>99m</sup> TcO <sub>4</sub>	700	9,1
Perfuze myokardu viabilita	<sup>18</sup> F-FDG	500	9,5
<b>Třída IV., Efektivní dávka &gt; 10 mSv, radiační riziko větší než 1: 2 000</b>			
Scintigrafie mozku stat.SPECT	<sup>99m</sup> TcO <sub>4</sub>	800	10,4
Radionuklidová angiografie	<sup>99m</sup> TcO <sub>4</sub>	800	10,4
Scintigrafie zánětů plan., SPECT	<sup>111</sup> In-leukocyty	30	10,8
Scintigrafie nádorů	<sup>99m</sup> Tc-depreotid	800	12,8
Scintigrafie zánětů plan., SPECT	<sup>67</sup> Ga-citrát	150	15
Scintigrafie štítné žlázy	<sup>201</sup> Tl-chlorid	80	17,6
Perfuze myokardu	<sup>201</sup> Tl-chlorid	110	24,2
Scintigrafie nádorů	<sup>67</sup> Ga-citrát	300	30

Tabulka 7-Radiační riziko nukleární medicíny (Univerzita Palackého v Olomouci, 2007)

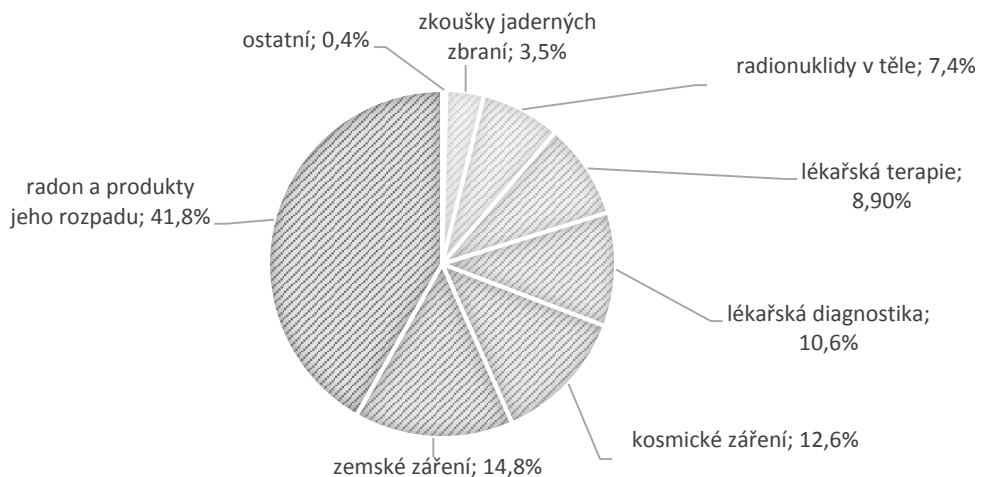
Činnost	Riziko úmrtí
<b>Fatální riziko vyšetření pomocí ionizujícího záření</b>	
vyšetření pomocí ionizujícího záření	<b>1:1 000 000 - 1:1000</b>
<b>Fatální neradiační riziko některých vyšetření v lékařství</b>	
aplikace ionické kontrastní látky při některých rtg. vyšetřeních	1: 160 000 - 1: 20 000
anestézie	1:5000
mozková angiografie	1:3330
translumbální aortografie	1:2500
angiokardiografie	1:1000
<b>Fatální riziko některých činností, životního prostředí a nemocí pro srovnání</b>	
jízda vlakem do vzdálenosti 100 km	1:200 000
létání dopravními letadly do vzdálenosti 1600 km ročně	1:30 000
dopravní nehody na silnicích	1:500
nehody v domácnosti	1:400
život ve velkém městě se znečištěným ovzduším	1:160
kouření 10 cigaret denně	1:5
všechny druhy zhoubných nádorů	1:4
onemocnění srdce	1:3

Tabulka 8- Rizika úmrtí (Univerzita Palackého v Olomouci, 2007)



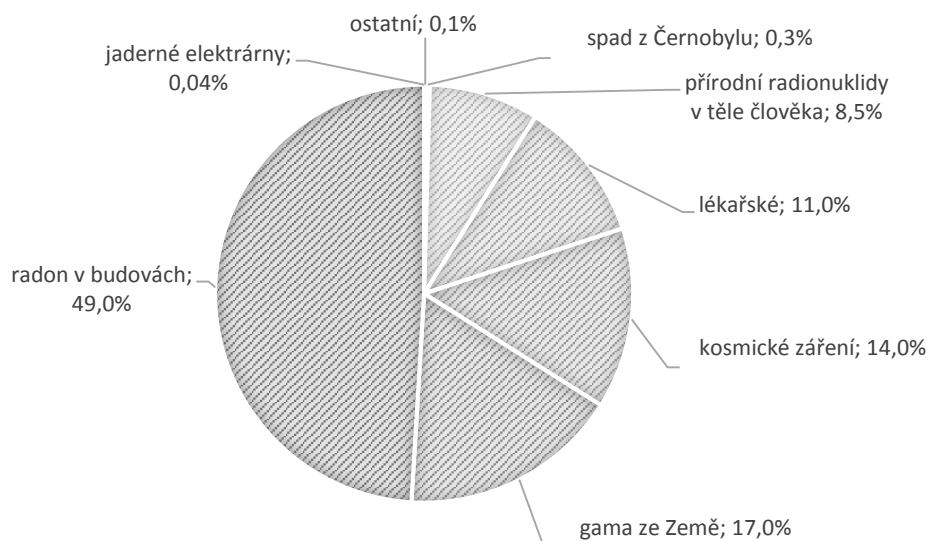
Graf 9 - Smrtelné úrazy při produkci primární energie (IAEA, 1997)

## PROCENTUÁLNÍ ZASTOUPENÍ SLOŽEK OZÁŘENÍ LIDÍ CELOSVĚTOVĚ



Graf 10 (Správa úložišť radioaktivních odpadů, 2014)

## ROZDĚLENÍ DÁVEK OBYVATELSTVU ČR



Graf 9 (SÚRO, v.v.i., 2013)

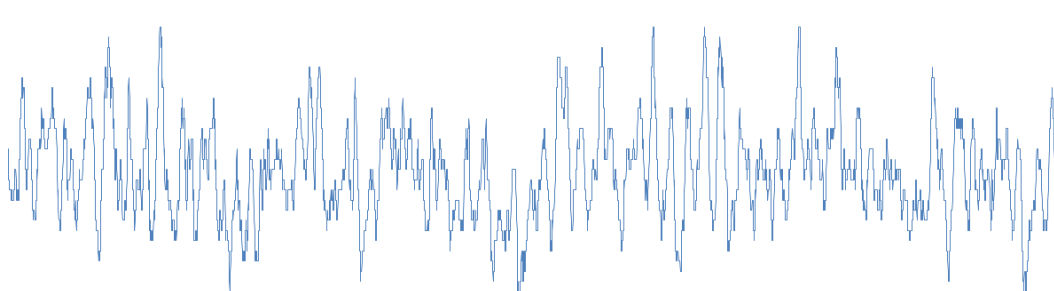




Obrázek 20 - Rekultivované ložisko Březinka (DIAMO s.p. o.z. GEAM Dolní Rožínka, 2011)



Obrázek 21 - Odval j. č. 56 Licoměřice (DIAMO s.p. o.z. GEAM Dolní Rožínka, 2011)



Obrázek 22 - Příklad nepravidelnosti naměřených hodnot

**Jaký je Váš názor na jadernou energetiku? (=jste pro nebo proti jaderným elektrárnám)**

Silně podporuji

Podporuji


Nezajímám se

Nepodporuji

**Seřadte tyto zdroje záření v celkovém průměrném příjmu radiace občana ČR. (1 - nejméně; 8 - nejvíce)**


1. Jaderné elektrárny
2. Radiové vlny (bezdrátové radio, telefon, televize)
3. Lékařství
4. Radioaktivní prvky v těle člověka
5. Uhlé elektrárny
6. Kosmické záření
7. Záření zemského původu zemského a přirozeného (přírodní radionuklidy)
8. Radon v podlazi

**Jak často konzumujete banány?**

 Napište větu

Zbývá 250 znaků

**Myslíte si, že používání mobilních telefonů je nebezpečné? Popište.**

 Napište odstavec

Zbývá 1500 znaků

Obrázek 23 - Ukázka dotazníku