

**Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích  
Přírodovědecká fakulta**

# **Bakalářská práce**

**2012**

**Přemysl Ježek**

**Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích**  
**Přírodovědecká fakulta**



**Porovnávání výsledků měření komparační a substituční metody při  
kalibraci detektoru RD23**

**Bakalářská práce**

**Přemysl Ježek**

Školitel: Ing. Pavel Hájek

**České Budějovice 2012**

## Anotace

Přemysl Ježek: Porovnávání výsledků měření komparační a substituční metody při kalibraci detektoru RD23

Bakalářská práce České Budějovice: Přírodovědecká fakulta, 2012, 52 stránek

Obsah práce: Bakalářská práce se zabývá porovnáváním metrologických metod. První teoretická část se zabývá hlavními úkoly metrologie, metodami, chybami, nejistotou měření a vyjádřením jejich výsledků. Střední část hovoří o radioaktivitě a principech, druzích plynových detektorů a technických parametrech měřidel. Je zakončena tabulkovým porovnáním a výsledky praktického měření těchto metod

## Abstract

Přemysl Ježek: Comparison of measurement results of comparative and substitutive methods during a calibration of an RD23 detector

Bachelor's thesis České Budějovice: Faculty of Natural Sciences, 2012, 52 pages

The content of the thesis: The thesis deals with a comparison of metrological methods. The first, theoretical part deals with the main objectives of metrology, its methods, errors, and uncertainty of measurement and representation of its results. The middle part is about radioactivity and the principles and types of gas detectors and technical parameters of gauges.

The last part consists of a comparison table and practical measurements using these methods

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci jsem vypracoval 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 elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

V Českých Budějovicích dne 27. 4. 2012

Přemysl Ježek

## **Poděkování:**

Touto formou děkuji panu RNDr. Milanu Předotovi, Ph.D. za možnost pracovat na bakalářské práci a svému vedoucímu práce panu Ing. Pavlu Hájkovi za cenné rady, připomínky a čas, který mi věnoval při vypracování této bakalářské práce. Dále děkuji firmě AFRAS Energo s.r.o. za umožnění naměřit a zpracovat data potřebná k vypracování této práce.

# Obsah

1	ÚVOD .....	1
1.1	Hlavní úkoly metrologie.....	1
1.2	Metody měření .....	1
1.3	Chyby měření .....	2
1.4	Nejistoty měření .....	4
1.4.1	Nejistota měření typu A .....	4
1.4.2	Nejistota měření typu B.....	5
1.4.3	Kombinovaná nejistota.....	5
1.4.4	Nejistota rozšířená.....	6
1.4.5	Vyjádření výsledků měření .....	8
2	Radioaktivita .....	9
2.1	Radioaktivita .....	9
2.1.1	Radioaktivita $\alpha$ .....	10
2.1.2	Radioaktivita beta.....	11
2.1.3	Radioaktivita $\gamma$ .....	12
3	Plynové detektory.....	13
3.1	Princip a druhy plynových detektorů .....	13
4	Technické parametry měřidel a popis .....	17
4.1	Technické specifikace ionizační komory .....	17
4.2	RM2000 Technické parametry.....	19
5	Popis metod měření.....	19
5.1	Substituční metoda .....	19
5.1.1	Výpočet nejistoty typu A.....	22
5.1.2	Standardní nejistota typu B .....	23
5.1.3	Výpočet kombinované a rozšířené nejistoty.....	27
5.2	Komparační metoda .....	27
5.2.1	Výpočet nejistoty typu A.....	29
5.2.2	Standardní nejistota typu B .....	30
5.2.3	Výpočet kombinované a rozšířené nejistoty.....	32
6	Výsledky měření .....	33
6.1	Substituční metoda .....	33

6.2	Komparační metoda.....	33
7	Závěr.....	35
8	Literatura .....	36
9	Seznam příloh.....	37
9.1	Příloha 1Bilanční tabulky kalibrovaného detektoru substituční metody.....	37
9.2	Příloha 2Bilanční tabulky referenčního detektoru substituční metody .....	42
9.3	Příloha 3Bilanční tabulky kalibrovaného detektoru komparační metody .....	47
9.4	Příloha 4 Bilanční tabulky referenčního detektoru komparační metody.....	50

# 1 ÚVOD

Měření je jednou z nejvíce využívaných činností v dnešní společnosti, i když často o ní nevíme. Například u některých náročných technologií, kdy je zapotřebí řešit složité úkoly, které vyžadují extrémní přesnost či hmotnost, např. zboží při nákupech, objem při tankování pohonných hmot. Tyto činnosti jsou už dnes tak běžné, že je ani za měření nepokládáme. Vědou, která se touto problematikou s měřením zabývá je tzv. *metrologie*.

V roce 1875 v Paříži podepsalo 18 států přijetí Metrické konvence. K dnešnímu dni má Metrická konvence 51 členů. *Metrická konvence* je *mezinárodní smlouva*, kterou vedle přijetí metru a kilogramu jako základních jednotek, byl vytvořen *metrologický systém* k zabezpečení jednotnosti a správnosti měřidel a měření [1].

Tato bakalářská práce se bude zabývat porovnáváním dvou metod měření detektorů ionizační komor (RD23). Zvolenými metodami pro porovnání těchto měření je metoda *substituční a komparační*.

## 1.1 Hlavní úkoly metrologie

Metrologie zahrnuje tři hlavní oblasti činností:

1. Stanovení základních fyzikálních konstant a definování mezinárodních jednotek.
2. Vědeckými metodami realizovat měřicí jednotky.
3. Vytvoření řetězce návaznosti a jeho technické zajištění.

## 1.2 Metody měření

### Přímá metoda

Je to metoda, při které hledanou veličinu změříme přímo a to v daných jednotkách. Nemusíme provádět žádné výpočty. Např. měření proudu, tlaku, měření délky posuvným měřítkem atd.

### Nepřímá metoda

Je metoda, kterou nedokážeme odečíst, nebo-li zjistit přímo. Pro výpočet veličiny musíme použít fyzikální vztahy.

### Komparační metoda

Je to metoda, která je založena na porovnání hodnot hledané veličiny s hodnotou jiné veličiny, ale stejného charakteru. Např. měření rychlosti vzduchu v aerodynamickém tunelu.



## Substituční metoda

Je v podstatě metoda nahrazovací. Neznámou měřenou veličinu nahrazujeme veličinou známou, velikostí veličiny stejného charakteru.

## Interpolační a extrapolační metoda

Tato metoda vychází z určování neznámé veličiny ze dvou nebo více známých hodnot téhož druhu [5].

### 1.3 Chyby měření

Základem měření je dosáhnout měřené veličiny. Měření je založeno na porovnávání známé veličiny s neznámou veličinou. Měřicími přístroji, metodami a technikou experimentátor uskutečňuje měření. Od skutečné hodnoty se bude odlišovat výsledek měření, stanovené hodnoty. Vzniklá neshoda může být způsobena měřicí technikou, personálem, prostředím a měřidly, které používáme. Chybou měření rozumíme vzdálenost naměřené hodnoty od skutečné hodnoty. Takovou chybou je zatížen každý výsledek.

Výsledkem měření by měla být nejen naměřená hodnota, ale i chyba měření viz vztah (1), kde  $A$  je změřená hodnota veličiny a  $\Delta A$  je celková chyba měření

$$A \pm \Delta A \quad (1)$$

Kromě změřené hodnoty a chyby měření by měl výsledek ještě obsahovat informace o hodnotě ovlivňujících veličin, nebo daný interval v jakém se může hodnota pravděpodobně vyskytnout [1].

## Rozdělení chyb

*Podle hledisek:*

**Absolutní chyba** se vypočítá rozdílem mezi hodnotou naměřenou  $x_n$  a hodnotou pravou  $x_s$ .

$$\Delta = x_n - x_s \quad (2)$$

**Relativní chyba** je poměr chyby absolutní  $\Delta$  chyby ke skutečné hodnotě  $x_s$ . nebo k naměřené hodnotě  $x_n$ .

$$\delta = \frac{\Delta}{x_s} 100 [\%] \text{ nebo } \delta = \frac{\Delta}{x_n} 100 [\%] \quad (3)$$

*Podle charakteru:*

**Systematická chyba** určitým a pravidelným způsobem zkresluje výsledek měření a měření probíhá za stejných podmínek. Tyto chyby mohou být způsobeny stálou chybou měřicího přístroje (chyba stupnice přístroje). Tyto chyby můžeme odstranit úpravou měřidla, zavedením korekcí. Pokud známe příčinu chyby, jsou tyto chyby odstranitelné.

**Náhodné chyby** se vyskytují jako náhodné hodnoty. Vznikají působením rušivých veličin. Přítomnost náhodných chyb zjistíme opakovaným měřením (vícekrát) za stejných podmínek. Tyto chyby mohou mít v různých měřeních různá znaménka či různé hodnoty a výsledky jsou odlišné a zpravidla podléhají tzv. *normálnímu rozptylu*. V metodách matematické statistiky se provádí analýza náhodných, chyb aniž bychom přitom dávali velký důraz na zkoumání fyzikálních dějů v určitých měřidlech. Výsledek měření je prezentován ze souboru opakovaných měření, a to aritmetickým průměrem  $\bar{x}$  získaným při  $n$  opakovaných měřeních, který je dán vztahem (4). Vztah (5) (směrodatná odchylka) nejčastěji zahrnuje náhodnou chybu a vztah (6) (výběrová směrodatná odchylka) charakterizuje rozptyl hodnot.

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (4)$$

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (5)$$

$$s_{\bar{x}} = \frac{s}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (6)$$

**Hrubé chyby** zpravidla vznikají chybou špatného měření. Tyto chyby mohou vzniknout měřením za špatných podmínek (ne referenčních), chybou operátora (například při odpočtu hodnoty), použitím vadného přístroje, nevyhovujícím postupem měření. Tyto chyby mohou dosáhnout takové rozsahu, že zcela znehodnotí výsledek měření a dají se docela často jednoduše identifikovat. Zpravidla se s touto hrubo chybou vůbec nepočítá a vyloučí se ze souboru měření.

*Podle chyby měřidel:*

**Aditivní chyby** jsou chyby, které jsou zcela nezávislé na hodnotě měřené veličiny při vyjadřování absolutní nuly. Tato chyba se dá korigovat a je systematická a označuje se jako chyba nuly. Je charakteristická posunutím převodní charakteristiky ve směru osy  $y$ . V některých případech tyto chyby nelze korigovat a projeví se šířkou pásma  $\pm \Delta_a$  kolem převodní charakteristiky.

**Multiplikativní chyby** jsou přímo úměrné velikosti měřené veličiny. Tyto chyby jsou charakterizovány systematickými nebo náhodnými chybami. Zpravidla jsou způsobeny chybou přenosu přístroje.

**Chyba linearity** je chyba daná odchylkou od skutečné převodní charakteristiky. Pokud je charakteristika jiná než lineární např. kvadratická, je stále tvrzeno, že je chybou linearity, která je dána maximální odchylkou realizované závislosti od ideálního průběhu.[1]

## 1.4 Nejistoty měření

Je parametr přidružený k výsledku měření, který charakterizuje rozptyl hodnot, jenž mohou být odůvodněně přisuzovány k měřené veličině. Je to odhad charakterizující rozsah hodnot, ve kterých leží pravá hodnota měřené veličiny, nebo míra možné chyby odhadu měřené veličiny, získané jako výsledek měření. Ke stanovení nejistot máme k dispozici dvě metody:

**Statistické zpracování naměřených údajů (typ A)**

**Jiné než statistické zpracování (typ B)**

*Dále pak můžeme nejistoty rozdělit na:*

Standardní nejistotu

Kombinovanou nejistotu

Rozšířenou nejistotu

### 1.4.1 Nejistota měření typu A

Metoda tohoto typu vychází ze statistické analýzy série opakovaných měření. Je-li  $n$  stejně přesných nezávislých pozorování ( $n > 1$ ), bude výsledná hodnota odhadu  $y$  reprezentována hodnotou výběrového průměru (aritmetický průměr), tj. podle vztahu (4). Nejistota příslušná k odhadu  $y$  se určí jako směrodatná odchylka této výsledné hodnoty (výběrového průměru), tj. podle vztahu (5). Z běžného pohledu celá tato situace připomíná náhodné chyby. Nejistota se značí  $u_{Ay}$  a za použití vztahu (6) je ji možné zapsat viz vztah (7).

$$u_{Ay} = s_x = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (x - \bar{x})^2} \quad (7)$$

Tato nejistota je fluktuací naměřených údajů. Pokud naměříme méně měření ( $n < 10$ ) je hodnota dle vztahu (7) málo spolehlivá. Potom by bylo dobré, nejistotu odhadnout metodou typu B na základě jiných vstupních údajů [7].

#### 1.4.2 Nejistota měření typu B

Vyhodnocení standardní nejistoty vstupních veličin je založeno na jiných než statistických přístupech. Nejistotu B lze odhadnout stejně jako vliv náhodných chyb.

*Nejčastěji se určuje takto:*

- vytipují se možné zdroje nejistot  $Z_1, \dots, Z_j, \dots, Z_m,$
- určí se standardní zdroj nejistoty  $u_{zj}$  každého zdroje nejistoty,
- stanovení nejistoty  $u_{zj}$  od jednotlivých zdrojů se přepočítá na správné složky nejistoty měřené veličiny  $u_{y_{zj}}$
- posoudí se možné korelace mezi jednotlivými zdroji nejistot typu B a odhadnou se jejich korelační koeficienty  $r_{zjk}$  z rozsahu  $< +1, -1 >$ ,
- vypočítá se celková standardní nejistota typu B  $u_B$ .

Při stanovení nejistoty typu B se vychází z jednotlivých dílčích nejistot  $u_{Bzj}$ . Známe-li maximální odchylku  $j$ -tého zdroje nejistoty  $z_{max}$ , určí se nejistota  $u_{Bzj}$  dle vztahu (8)

$$u_{Bzj} = \frac{z_{max}}{k} \quad (8)$$

kde  $k$  je součinitel vycházející ze zákona rozdělení, kterým se příslušný zdroj nejistot řídí, takže např. pro normální rozdělení  $k = 2$ , rovnoměrné  $k = 1,73$ . V některých případech může být známá již přímo hodnota standardní nejistoty  $u_{Bzj}$  (např. z kalibračního měřidla).

Výsledná nejistota se určí metodou B pro  $p$  zdrojů dle vztahu:

$$u_{Bzj} = \sqrt{\sum_{i=1}^n A_j^2 u_{Bzj}^2} \quad (9)$$

Kde  $u_{Bzj}$  jsou jednotlivé nejistoty zdrojů

$A_j$  jejich součinitel citlivosti

#### 1.4.3 Kombinovaná nejistota

V reálné praxi si málokdy vystačíme s jedním nebo druhým typem nejistoty samostatně. Potom musíme stanovit výsledek nejistoty obou typů jak A tak i B. Výsledná

kombinovaná nejistota měření  $y$  se označuje  $u_{Cy}$  a je charakteristická jako odmocnina ze součtu čtverců obou nejistot A a B dle vztahu :

$$u_{Cy} = \sqrt{u_{Ay}^2 + u_{By}^2} \quad (10)$$

#### 1.4.4 Nejistota rozšířená

Tam, kde si nedokážeme vystačit s běžnou standardní nejistotou, je nutné použít pomoci koeficientu rozšíření  $k$ . Původně stanovená směrodatná odchylka (standardní nejistota) představuje např. u nejvíce používaných rozdělení interval určený s pravděpodobností cca 68 %. Abychom docílili lepšího výsledku pokrytí, blížíci se 100 %, je třeba koeficientem  $k$  rozšířit nejistotu. Rozšířenou nejistotu můžeme vyjádřit vztahem:

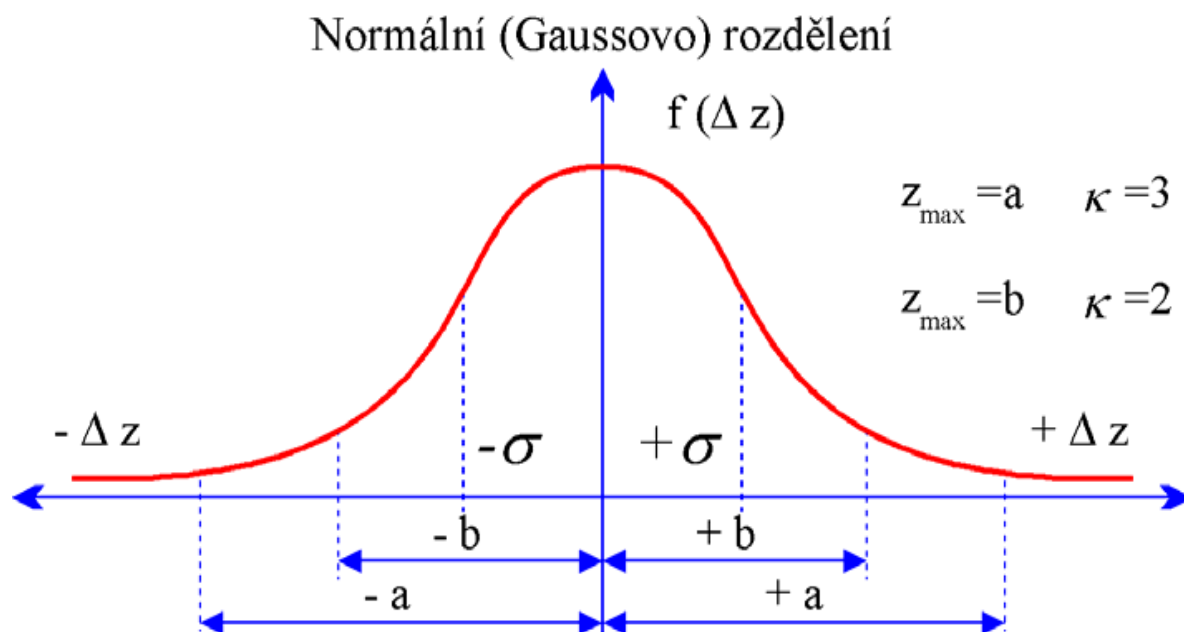
$$U = k \times u \quad (11)$$

Kde

$U$	je rozšířená nejistota
$k$	koeficient rozšíření
$u$	standardní nejistota

#### Druhy používaných rozdělení:

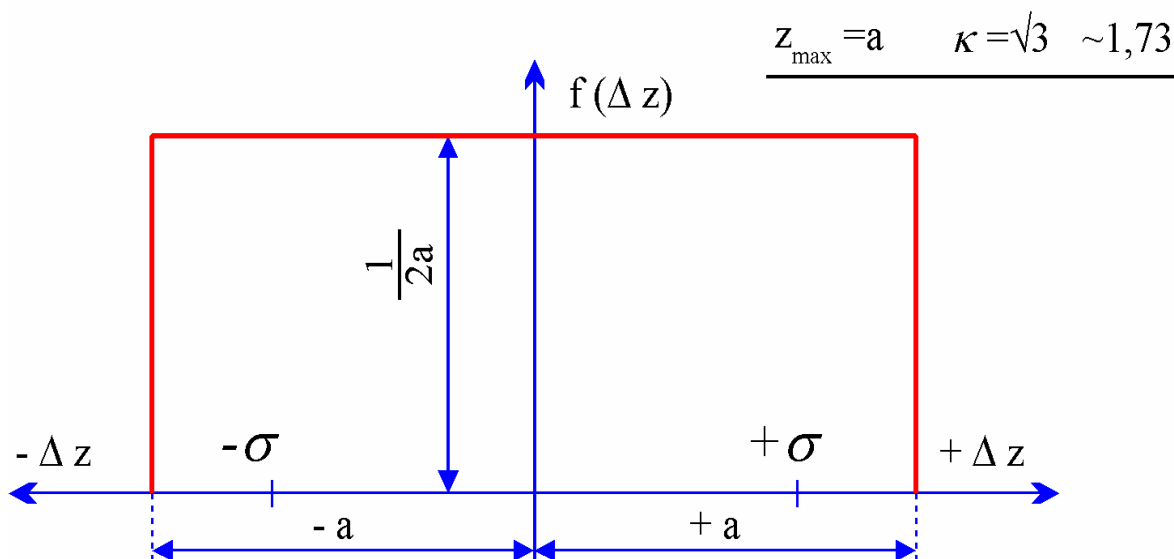
*Normální rozdělení* můžeme použít, pokud se budou často vyskytovat malé odchylky od jmenovité hodnoty, zatímco velikost odchylek s rostoucí pravděpodobností výskytu klesá. viz obr. 1.



Obr. 1 Normální rozdělení [4]

Rovnoměrné rozdělení můžeme použít v případech, kdy je kterákoliv odchylka v daném intervalu stejná  $\pm z_{max}$ . Toto rozdělení je používáno nejčastěji a to jen proto, že nemáme k dispozici informace o rozdělení pravděpodobnosti výskytu odchylek. Obr. 1.

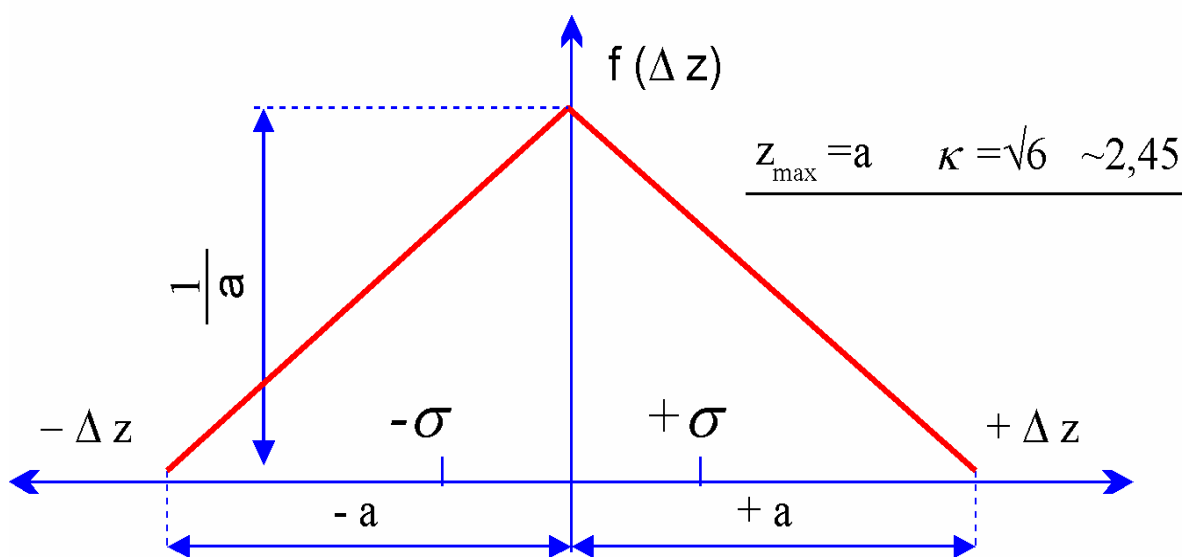
### Rovnoměrné (Pravouhlé) rozdělení



Obr. 2. Rovnoměrné rozdělení [4]

Trojúhelníkové rozdělení a jeho využití je ve velmi podobných případech podobné jako normální rozdělení. Můžeme vidět na obr. 3.

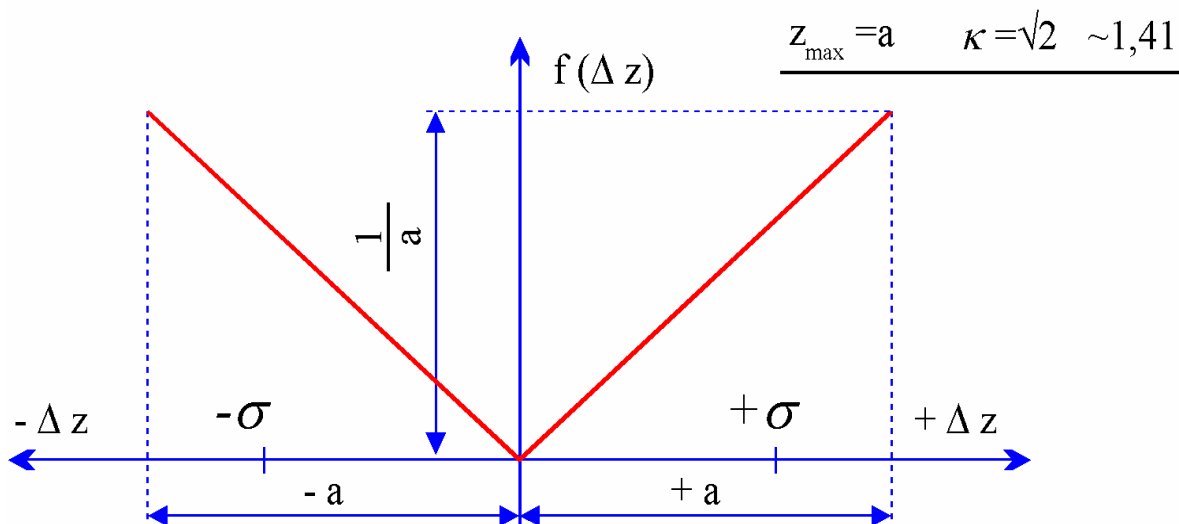
### Trojúhelníkové (Simpsonovo) rozdělení



Obr. 3. Trojúhelníkové rozdělení [4]

*Bimodálním rozdělením* se aproximuje průběh nejistot např. využívá se tam, kde výrovce rozděluje přístroje do tříd přesnosti., o proto se u některých tříd nemohou vyskytnout přístroje ani s malými chybami. [1], [4], [5], [7].

### Bimodální - trojúhelníkové rozdělení



Obr. 4. Bimodální rozdělení [4]

#### 1.4.5 Vyjádření výsledků měření

Výsledkem měření by měla být nejen stanovená hodnota naměřené veličiny, ale i přesnost s jakou byl tento výsledek stanoven.

Často se výsledek udává ve tvaru:

$$A \pm \Delta A \tag{12}$$

kde  $A$  je hodnota které jsme docílili měřením, která nejčastěji odpovídá hodnotě skutečné měřené veličiny ( $A = \bar{x}$ ),

$\Delta A$  reprezentuje interval kolem skutečné hodnoty měřené veličiny  $A$ , v kterém by se měla nacházet skutečná hodnota.

Takové vyjádření přinese více informací o provedeném měření viz vztah (12). Vztah udává informaci o tom, v jakém intervalu se nachází skutečná pravá hodnota.  $\Delta A$  zahrnuje náhodné chyby a nekorigovatelné chyby.

Pokud budeme provádět přesnosti měření nejistotou měření a potom spojujeme s rozšířenou nejistotou  $U = \Delta A$ , tak výsledek bude mít podobu jako (13)[1], [5].

$$A \mp \Delta A, \gamma = 0,95 \tag{13}$$

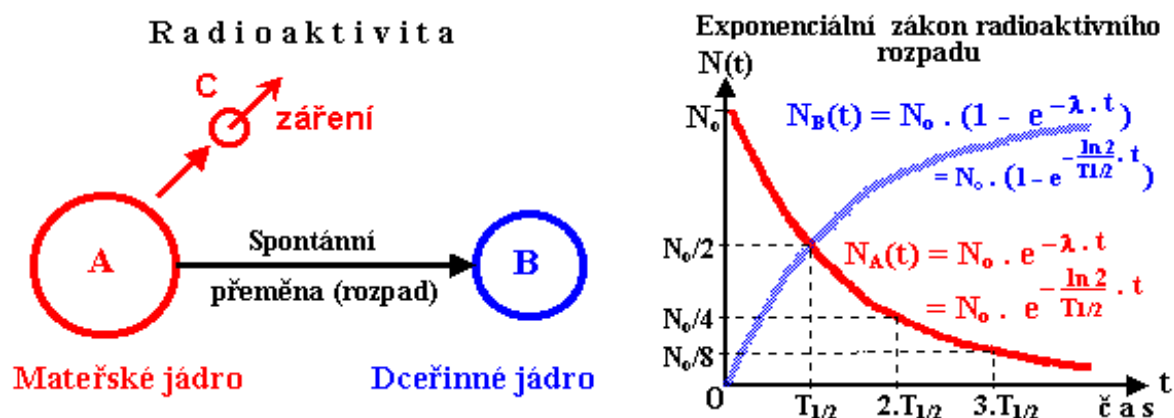
## 2 Radioaktivita

### 2.1 Radioaktivita

Je jevem, kdy se jádra atomů určitého prvku samovolně přeměňují na jádra jiného prvku, přičemž je emitováno vysokoenergetické záření. Jádra, která vykazují tuto vlastnost, se nazývají radionuklidy.

*Radioaktivní přeměna* se také nazývá radioaktivní rozpad. Vedle názvu radionuklidy je často používá název radioisotopy. Jako radioaktivní zářiče nazýváme předměty a látky, které obsahují radionuklidy.

Na obr. 5 v levé části můžeme vidět mateřské jádro A, které se samovolně bez cizí pomoci přemění na jádro o něco menší B, kterému říkáme dceřiné. Ve stejnou dobu vylétá částice C, která nese jméno záření. Její energie je rozdíl energií A a B. Při tomto jevu musí být zachován zákon zachování energie a baryonového čísla. Ale aby mohlo vůbec dojít k přeměně, musí být podle zákona zachování energie zachována podmínka *hmotnostně energetická* [2].



Obr. 5 Schéma radioaktivní přeměny[8]

#### Jednotka radioaktivity

Tato veličina se nazývá aktivita, která je definována jako počet jader, které se přeměňují za jednotku času, nebo ekvivalentně jako úbytek počtu jader. Okamžitá hodnota  $A(t)$  aktivity v čase  $t$  je:

$$A(t) = -\frac{dN(t)}{dt} \quad (14)$$

kde  $N(t)$  je počet dosud nepřeměněných jader v daném čase  $t$ . Protože radioaktivita je jev, při kterém se atomová jádra jednoho prvku přeměňují na jádra jiného prvku a čas měříme v sekundách, tak přirozenou jednotkou aktivity je 1 rozpad za sekundu. Na počest Henriho Becquerela byla tato jednotka nazvána 1 Becquerel : 1 Bq.



Dále musíme znát měrnou aktivitu vzorku či preparátu a tou je většinou hmotnostní aktivita, což je aktivita hmotnostní jednotky zářiče – 1 kg. U kapalných preparátů užíváme objemová aktivita, kde jednotkou objemu je 1 litr [2].

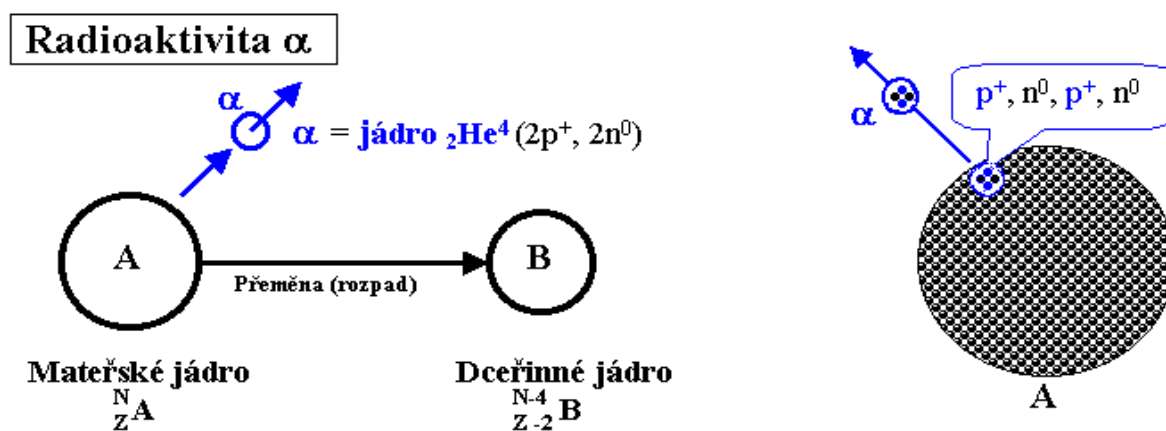
## Exponenciální zákon poločasu rozpadu

Stochastickým kvantově – mechanickým jevem nazýváme *radioaktivní přeměnou*, a proto nelze určit čas, za který se konkrétní jádro přemění. Lze stanovit jen pravděpodobnost  $\lambda$ , s jakou se jádro rozpadne za jednotku času. Když máme radioaktivní látku, která obsahuje  $N_0$  shodných radioaktivních jader A v daném čase  $t = 0$ , a postupně se budou přeměňovat na jádra B dle obr. 5. V tomto procesu nás zajímá, jak rychle se bude snižovat počet mateřských jader A, nebo-li musíme stanovit funkční závislost  $N(t)$  okamžitého počtu  $N$  mateřských jader na čase  $t$ . Počet jader  $\Delta N$ , které se nám za časový úsek  $\Delta t$  rozpadnou, bude úměrný stávajícímu počtu jader  $N(t)$  a pravděpodobnostnímu faktoru  $\lambda$  nazvanému *rozpadová konstanta* [2].

$$N(t) = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t} \quad (15)$$

### 2.1.1 Radioaktivita $\alpha$

Na obr. 6 můžeme vidět základní schéma radioaktivity  $\alpha$ . Při této jaderné přeměně se vyzařuje částice  $\alpha$ , která je jádrem  ${}^4\text{He}_2$ , a má 2 protony  $p^+$  a 2 neutrony  $n^0$ . N nukleony a Z protony odnáší částice  $\alpha$  2 protony a 2 neutrony z mateřského jádra. Nově vzniklé dceřinné jádro bude mít  $N-4$  nukleony a  $Z-2$  protony a tímto se posune v Mendělejevově tabulce o 2 místa doleva. Aby mohlo k radioaktivitě  $\alpha$  musí být splněna hmotnostně energetická podmínka [2].



Obr. 6 Základní schéma radioaktivity  $\alpha$  [8].

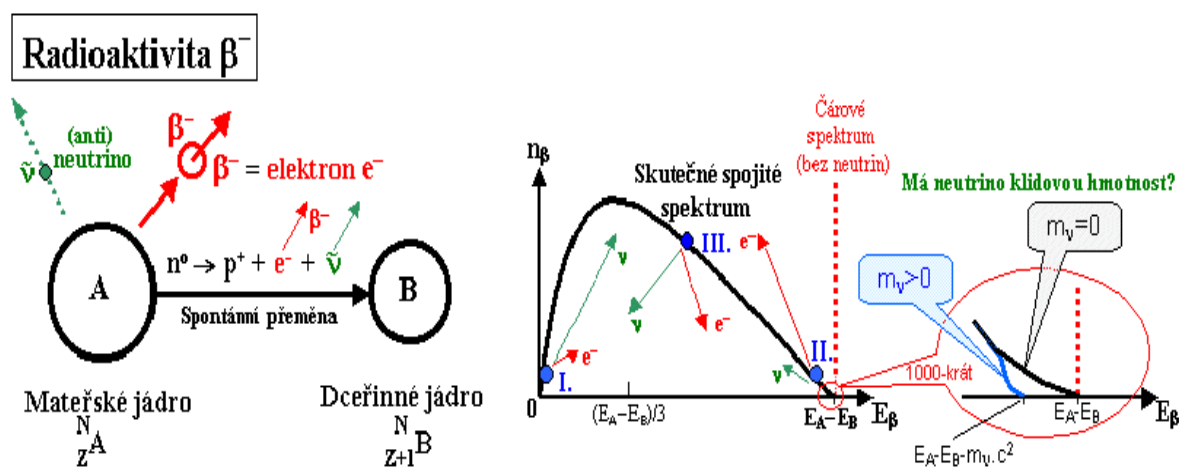
## 2.1.2 Radioaktivita beta

Rozpad beta je nejvíce rozšířeným typem přeměny, kterou můžeme rozdělit na *tři druhy*:

- radioaktivita  $\beta^-$
- radioaktivita  $\beta^+$
- elektronový záchyt

### Radioaktivita $\beta^-$

Na obr. 7 můžeme vidět základní schéma radioaktivity  $\beta^-$ . Částice  $\beta^-$  je vysokou rychlostí emitována při jaderné přeměně z mateřského jádra, což je vlastně obyčejný elektron  $e^-$ , stejný jako, který se nenachází v atomovém obalu.



Obr. 7 *Vlevo*: Základní schéma radioaktivity  $\beta^-$ . *Ve středu*: Spojité energetické spektrum záření  $\beta^-$ . *Vpravo*: Zvětšený detail koncové části spektra pro nulovou a nenulovou klidovou hmotnost neutrína.[8]

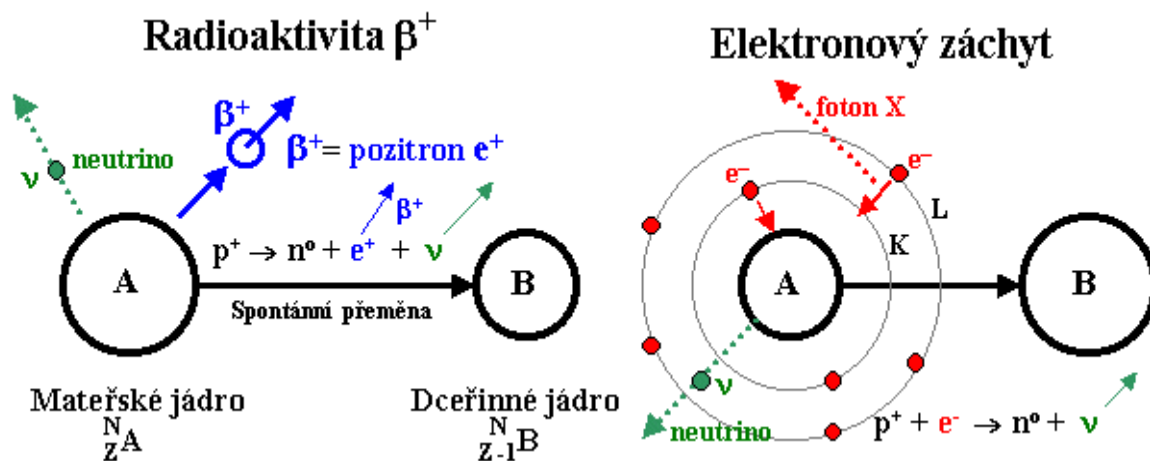
Radioaktivita  $\beta^-$  se vyskytuje u jader s přebytkem neutronů a tímto si můžeme vysvětlit vznik záření  $\beta^-$  a to tak, že z některých nadbytečných neutronů se stanou protony. V jádře je proton  $p^+$  vázán silnou interakcí, zatímco elektron  $e^-$  vyletí velkou rychlostí jako záření  $\beta^-$ .

Nukleonové číslo se při přeměně  $\beta^-$  nemění, ale protože se z jednoho neutronu stal proton, protonové číslo se zvýší o 1 a dceřiné jádro se posune v Mendělejevově periodické tabulce o jedno místo doprava. Při rozpadu  $\beta^-$  vzniká složitější jádro než původní [2].

### Radioaktivita $\beta^+$

Na obr. 8 na levé straně vidíme základní schéma radioaktivity  $\beta^+$ . Při této jaderné přeměně je jádrem emitována částice  $\beta^+$ , což je antičástice pozitronu  $e^+$  a elektronu  $e^-$ . Radioaktivitu  $\beta^+$  můžeme najít u radionuklidů, kde je protonů více než neutronů. Přeměnu  $\beta^+$

můžeme vysvětlit tak, že některé nadbytečné protony se stanou vzácnějším neutronem. Zatímco pozitron  $e^+$  vyletí ven jako částice  $\beta^+$ , neutron  $n^0$  jako legitimní nukleon zůstává v jádře vázán silnou interakcí. Při radioaktivitě  $\beta^+$  se mění protonové číslo a to tak, že se zmenší o 1 a tím se dceřiné jádro posune v Mendělejevově periodické tabulce doleva. Aby vůbec došlo k této radioaktivitě, musí být splněna hmotnostně-energetická podmínka [2].



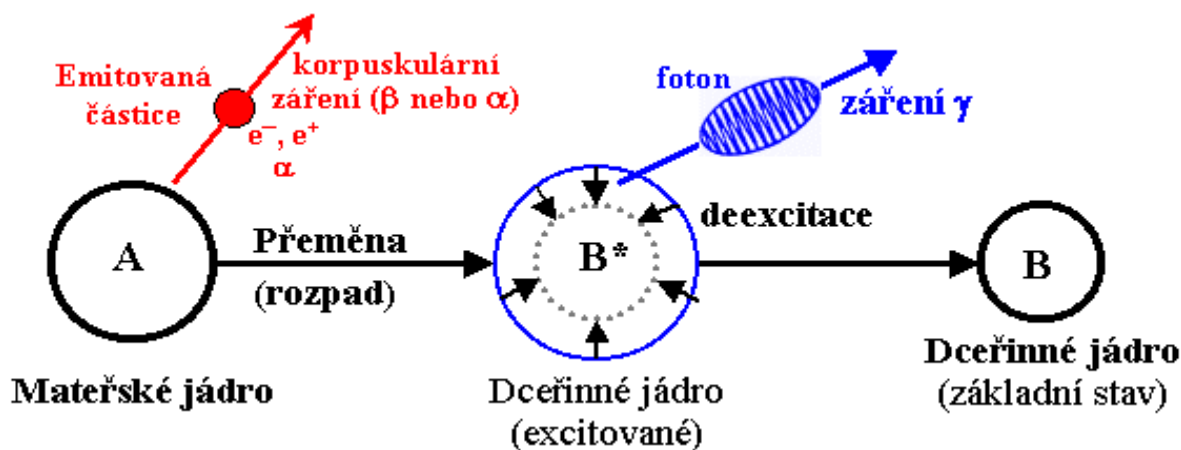
Obr. 8 Základní schéma radioaktivity  $\beta^+$  a elektronového záchytu [8]

### Elektronový záchyt

Dalším a posledním druhem radioaktivity beta je elektronový záchyt. Přebytečný proton může své přeměny na neutron dosáhnout nejen přeměnou:  $p^+ \rightarrow n^0 + e^+ + \nu$ , která vede k radioaktivitě  $\beta^+$ , ale i dalším způsobem. Kolem atomu jádra obíhají elektrony. Proton, který je připraven se změnit na neutron si může kamkoliv sáhnout na oběžnou dráhu a zachytit elektron a sloučit se s ním:  $p^+ + e^- \rightarrow n^0 + \nu$  viz. obr. 8 vpravo [8].

### 2.1.3 Radioaktivita $\gamma$

Na obr. 9 můžeme vidět základní schéma radioaktivní přeměny  $\gamma$ . Při radioaktivní přeměně atomového jádra, zůstává málokdy dceřiné jádro v nevybuzeném základním stavu. Dceřiné jádro B po radioaktivní přeměně vzniká v energeticky excitovaném stavu B, ale velmi rychle nastane deexcitace, při níž se příslušný energetický rozdíl vyzáří ve formě elektromagnetického záření – záření gama. Nadále dceřiné jádro zůstává v základním stavu [2].



Obr. 9 Základní schéma radioaktivity  $\gamma$  [8]

### 3 Plynové detektory

#### 3.1 Princip a druhy plynových detektorů

Za velmi dobré až vynikající izolanty můžeme považovat plyny jak při standardních, tak i laboratorních podmínkách. Některé atomy nebo molekuly, původně neutrální se při působení ionizujícího záření přeměňují na kladně nabitě ionty a elektrony. Ionizaci způsobují sekundární nabitě částice při interakci nepřímo ionizujícího záření. Tímto vzrůstá vodivost plynu. Tohoto jevu využívají plynové detektory nebo detektory s plynovou náplní. Můžeme je rozdělit na:

- ionizační komory
- proporcionální detektory
- Geiger - Müllerovy detektory
- koronové detektory

Tyto detektory se od sebe liší okamžitým napájecím napětím, tlakem a druhem pracovního plynu, geometrií detektoru a intenzitou elektrického pole. Na Obr. 10 můžeme vidět obecný průběh plynového detektoru, který znázorňuje závislost velikosti napětí, nebo-li elektrického pole, na počtu sebraných iontů  $N_S$  na elektrodách počítače.

Na obr. 10 můžeme sledovat dvě křivky. Křivka č. 1 znázorňuje částici, která vytvoří  $N_1$  iontových párů uvnitř pracovního objemu komory. Křivka č. 2 tvoří jiné částice, přičemž vytvoří  $N_2 > N_1$  iontových párů. Největší energii v detektoru zanechala částice 2.

K rekombinaci dochází příčinou nedostatečné intenzity elektrického pole, kde nejsou od sebe produkty ionizace dostatečně rychle odděleny. Ionizací vytvořený náboj  $eN_1$  a  $eN_2$  je

z tohoto důvodu větší než celkový sebraný náboj. Tuto oblast nazýváme **oblastí rekombinační** nebo **oblastí Ohmova zákona**. Při vzrůstající intenzitě elektrického pole vzrůstá také driftová rychlost vytvořených nosičů náboje, které se pohybují k daným elektrodám, a tímto pravděpodobnost rekombinace natolik klesá, že se detektoru od jistého prahu napětí nevyužívá. Počet nosičů vytvořených ionizací se rovná počtu sebraných nosičů náboje  $N_s$  ( $N_s = N_1, N_s = N_2$ ). Tato oblast je velmi málo využívána.

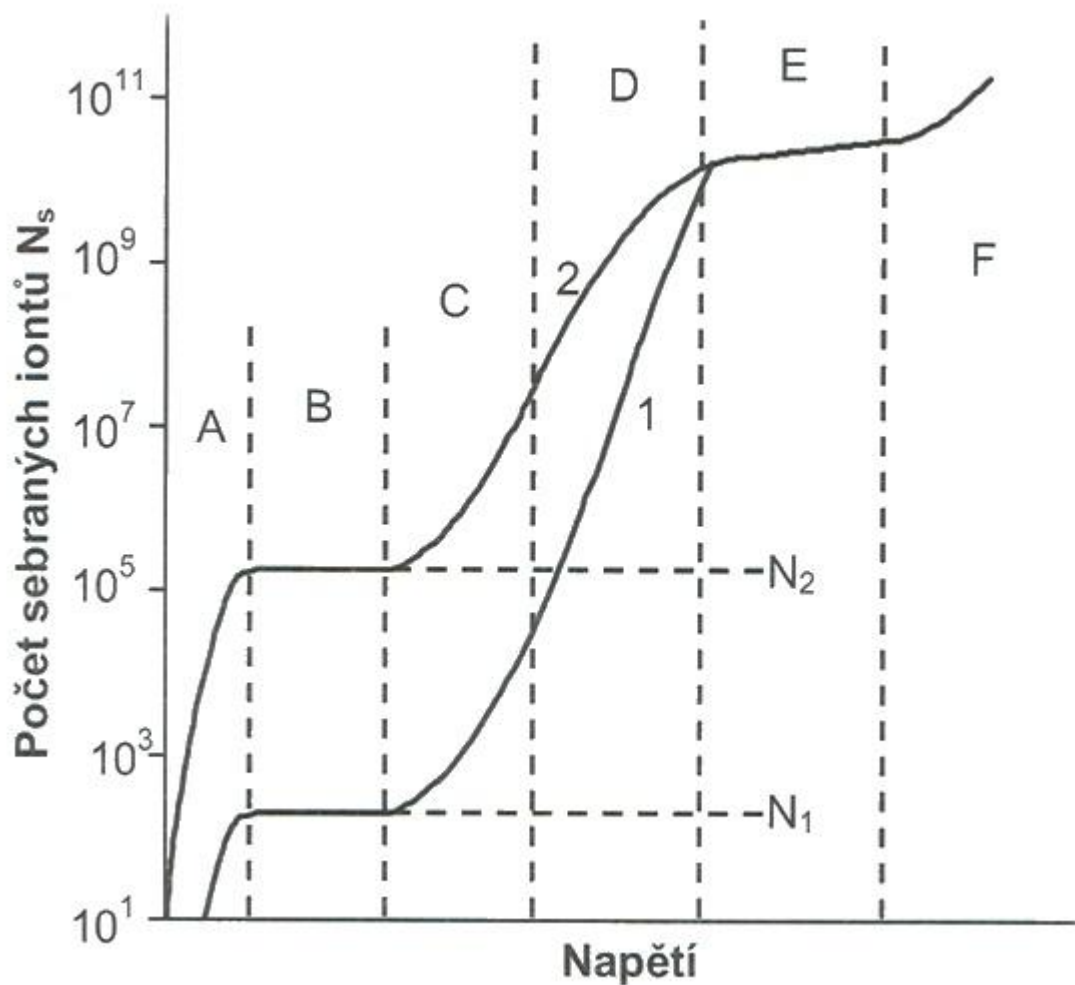
Oblastí nasyceného proudu označujeme oblast B. Tuto oblast využívají především ionizační komory, která je charakterizována jako pracovní oblast ionizačních komor. Jestliže začneme napětí na detektoru zvyšovat, bude počet sebraných nosičů náboje  $N_s$  větší, než dané  $N_1$  a  $N_2$ . Jako plynové zesílení označujeme konstantu úměrnosti  $M$ , která je zde pouze funkcí napětí na detektoru. Tato oblast se nazývá oblastí proporcionální a zde hodnota  $M$  nezávisí na velikosti  $N_1$  a  $N_2$  a platí:

$$N_s(1) = M \times N_1; N_s(2) = M \times N_2; N_s(1,2) = M \times (N_1 + N_2) \quad (15)$$

Na obrázku je vykreslena jako oblast C a je pracovním bodem proporcionálních detektorů. V oblasti D dochází k přibližování křivek a to z důvodu dalšího zvýšení napětí, a tím výstup z detektoru přestává být proporcionální vůči původně vytvořeným počtu nosičů  $N_1, N_2$ . Tato oblast se nazývá *omezená proporcionalita* a u plynových detektorů se běžně nepoužívá.

Při dalším zvyšování napětí se začnou křivky překrývat. Tuto oblast značíme oblastí E, kterou můžeme popsat jako nezávislost odezvy na velikosti vytvořených ionizací a na zvyšování napětí pozvolnou závislostí. V této oblasti pracují Geiger - Müllerovy detektory a říkáme ji Geiger - Müllerova oblast. V důsledku dalšího zvýšení napětí se přemístíme do oblasti F, kde vznikne samovolné zapálení koronového výboje a nezáleží na tom, zda došlo v blízkosti detektoru ke vzniku primární ionizace. Tuto oblast lze popsat jako závislost napětí detektoru na stoupání odezvy. V tomto režimu pracují koronové detektory.

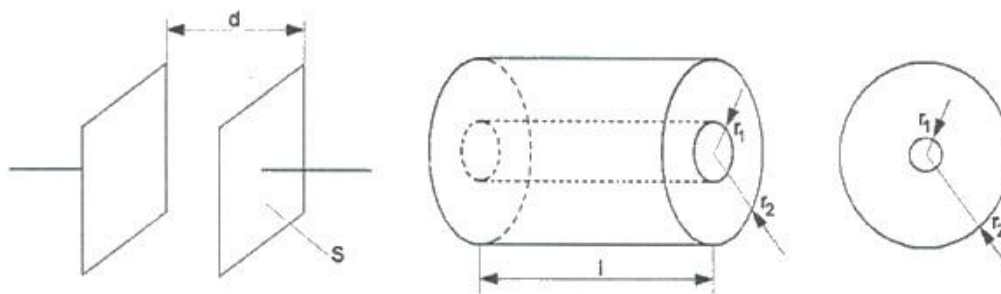
Opětovným zvýšením napětí vzniká doutnavý výboj, který zahltí celý objem počítače a vzniká záporná derivace v závislosti odezvy proudu detektoru na napětí. Tato oblast se nevyužívá [3].



Obr. 10 Závislost počtu sebraných iontů na napětí na detektoru [3]

### Ionizační komory

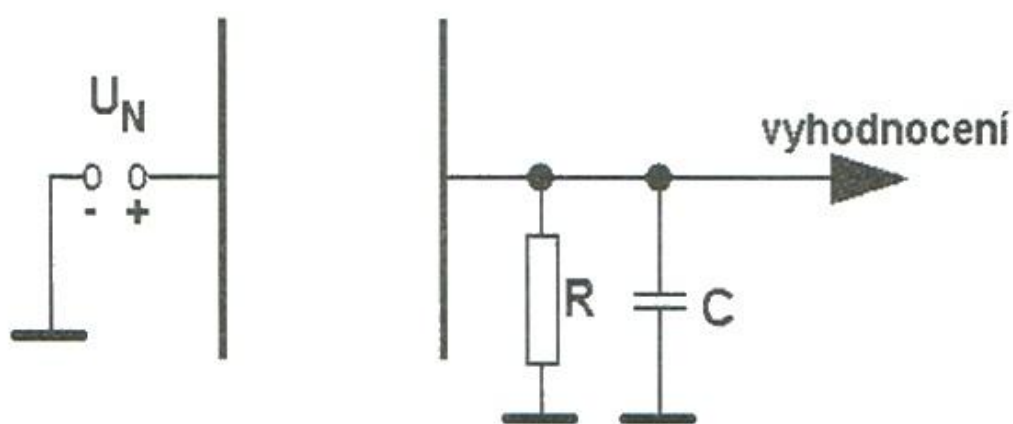
Využití ionizačních komor se nachází v dozimetrii při určování veličin expozice, dávky a kerry ve vzduchu. Komora je naplněna vzduchem a nejčastěji má tvar deskový, válcový nebo sférický. Obr. 11.



Obr. 11 Tvary ionizačních komor [3]

Ionizační komory se velice často používají v místech, kde mohou být velké teploty. V těchto podmínkách nemá ionizační komora žádnou konkurenci. Tyto detektory může hledat při měřeních v aktivní zóně reaktorů v nukleární medicíně, hutích nebo válcovnách. Dále je můžeme využívat pro *spektromerii* těžkých nabitých částic a měření velkoplošných málo aktivních vzorků.

Na obr. 12 můžeme vidět schéma zapojení ionizační komory, který obsahuje samotnou komoru a pro vytvoření elektrického pole zdroj napětí  $U_N$ . Toto pole je nutné pro sběr elektron-iontových párů  $U_S$ , vzniklých po zabrzdění částice s energií  $E$  a paralelní kombinací kondenzátoru  $C$  a odporu  $R$ .



Obr. 12 Schéma zapojení ionizační komory [3]

Odezva ionizační komory lze vyhodnotit dvěma způsoby. Jedno z vyhodnocení je vyhodnocení proudové (integrální), kde při ionizaci vytvořenému náboji za jednotku času měříme výstupní proud. Tento způsob je nejrozšířenější v metrologii. Tímto způsobem neměříme jednotlivé interakce, ale integrální veličinu a zařízení, které tuto veličinu vyhodnocuje, pracuje v analogovém režimu.

Dalším způsobem je impulzní vyhodnocení, kde vyhodnocujeme náboj, který vznikl interakcí jednotlivých částic. Množství interakcí se rovná množství impulzů, kde náboj je úměrný velikosti každého impulzu. [3]

## 4 Technické parametry měřidel a popis

### 4.1 Technické specifikace ionizační komory

#### Popis zařízení:

Detekční zařízení RD-23 je montováno do vybraných prostor pro měření dávkového příkonu. Obsahuje ionizační komoru, která vytváří elektrický proudový výstup úměrný gama záření. Proud se měří a převádí do digitálního signálu odpovídajícího radioaktivitě v měřeném prostoru. Detektor RD 23 můžeme vidět na obr. 13 [9].

#### Technické parametry:

Rozměry	98,6 mm x 98,6 mm x 556,3 mm
Váha	5 kg
Teplota	177°C maximum
Vlhkost	100 % maximum
Vysoké napětí	875 V DC
Ionizační komora	Reuter - Stokes RS-C3-1006-201
Rozsah komory	1,0E-02 až 10,0E+05 Gy/h
Energetické rozlišení	+/- 20% z 80 k V až 3MeV



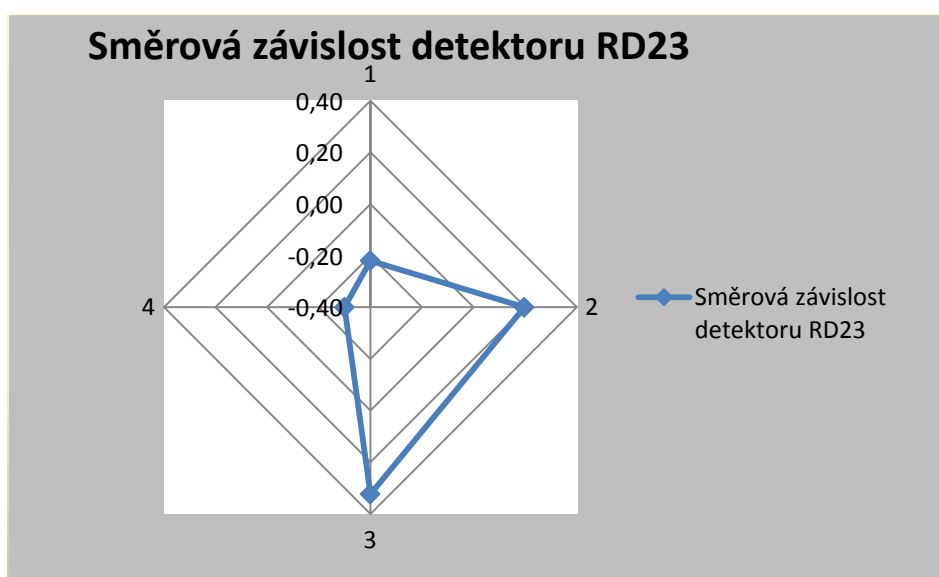
Obr. 13 Ionizační komora RD23



## Měření geometrie detektoru RD23

Zkoušku jsem provedl na LMIZ ETE. Detektor byl upevněn do přípravku a pro každou polohou byl otočen kolem své osy o  $90^\circ$  proti svazku záření ( $0^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $180^\circ$ ,  $270^\circ$ ). Z těchto naměřených údajů, viz tabulka č. 1, byla vypočítána relativní chyba za použití vztahu (3), kterou jsem zaznamenal do tabulky č. 2. Na grafu 1. můžeme vidět grafické znázornění směrově charakteristiky detektoru RD23. Měřením jsem zjistil, že detektor je umístěn geometricky ve středu pláště.

Graf 1. Znázornění graficky směrové charakteristiky detektoru



Tabulka č. 1. Naměřená data směrové závislosti detektoru

Odezva detektoru [nA ]			
Poloha 1	Poloha 2	Poloha 3	Poloha 4
864	868	868	863
863	867	870	863
864	867	868	863
864	868	869	863
865	867	868	863
864	868	868	863
864	867	869	864
863	867	869	862
864	868	868	864
863	867	868	863

Tabulka č. 2. Výpočet relativní chyby směrové charakteristiky.

	Odezva detektoru (nA)			
	Poloha 1	Poloha 2	Poloha 3	Poloha 4
$\delta$ [%]	-0,22	0,20	0,32	-0,30

## 4.2 RM2000 Technické parametry

Mikroprocesorová jednotka zabudovaná v technologickém zařízení, která zpracovává a ukládá hodnoty radiačních a průtokových veličin (pokud je použito) a komunikuje s centrálním řídicím a zobrazovacím systémem.

Činnost jednotky RM-2000 zahrnuje sběr dat, zpracování dat, redukci dat, analýzu dat a testování monitoru. Sběr dat zahrnuje příjem vstupního signálu z detekčního zařízení a úpravu signálu pro zpracování v CPU (centrální procesorová jednotka). Zpracování dat zahrnuje digitální filtraci k omezení fluktuace, kontrolu věrohodnosti a převod na jednotky s pohyblivou desetinnou čárkou. Redukce dat zahrnuje výpočet klouzavých minutových, desetiminutových, hodinových a denních průměrů. Analýza dat zahrnuje porovnání filtrovaných dat se signálními úrovněmi (uloženými v databázi RM-2000) pro jednotlivé kanály. Testování monitoru zahrnuje kontrolu poruch příjmu signálu z detektoru během časové periody (ztráta impulzů) [9].

## 5 Popis metod měření

### 5.1 Substituční metoda

*Prostředky:*

- Detektor RD23 (referenční ionizační komora)
- Elektrometr pro měření malých proudů KEITHLEY 6517b
- VN zdroje pro napájení sondy RD23 (0 – 1000 V)
- Přípravek pro fixaci poloh měřidla RD23 (přípravek substituční metody)
- Zdroj IZ (ionizující záření) Ir 192
- Posuvné měřítko SOMET 200/0,05
- Posuvné měřítko SOMET 1000/0,05
- RM2000

## Podmínky měření

Zkouška se neuskutečňuje, pokud je příkon kermy nižší než 0,1 mGy/h. Za použití přípravku substituční metody (obr. 14) zvolíme vzdálenosti zdroje tak, aby referenční hodnoty kermového příkonu stanovené přípravkem substituční metody lineárně rozděloval rozsah kermových příkonů od 0,1 mGy do maximální hodnoty. To znamená, že ozařovací špička přípravku bude co nejblíže k detektoru RD23.



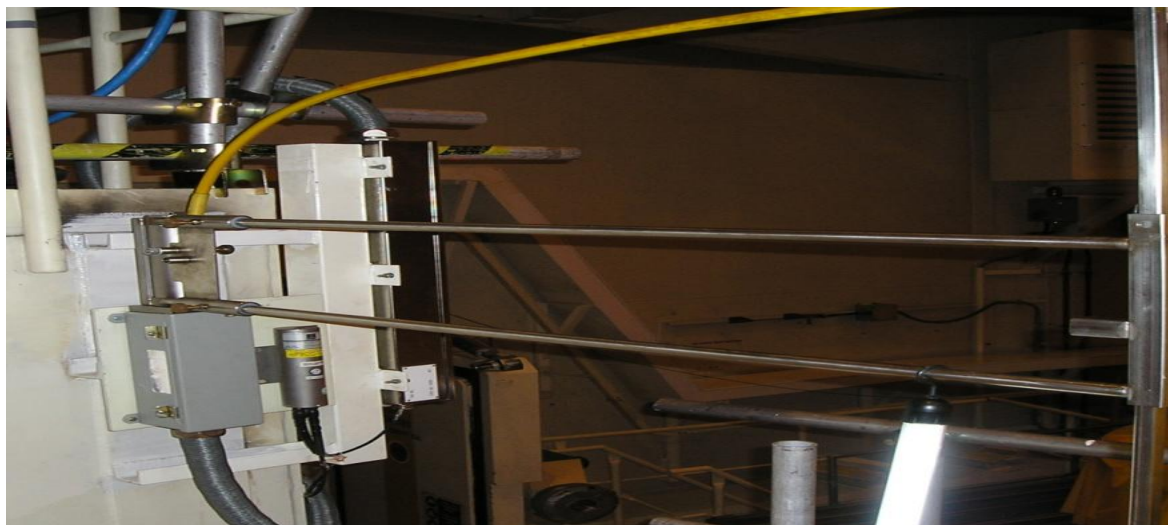
Obr. 14 Přípravek substituční metody a ukázka odměřování vzdálenosti (detektor na obrázku je v přípravku otočen o 180°)

## Popis kalibrace

Provedeme kontrolní navázání referenčního detektoru RD23. Po úspěšném navázání referenčního detektoru RD23 na etalon je provedeno upevnění do přípravku substituční metody a připojení průmyslového ozařovače za pomoci bowdenu a speciální špičky. Pomocí přípravku, kde v průběhu měření nastavím posuvným měřítkem měřené boty (49 mm, 66 mm, 76 mm, 96 mm, 136 mm, 196 mm, 296 mm, 546 mm, 1046 mm) provede odečet deseti hodnot proudů pro každou hladinu. Odečet je proveden na zařízení pro měření malých proudů KEITHLEY 617 a tím získána data pro porovnání s kalibrovaným (měřeným) detektorem. Měření se neprovádí v plné rozsahu detektoru z důvodu nedostupnosti silnějšího zdroje IZ (ionizující záření) a proto se předpokládá, že průběh detektoru bude lineární. Při této metodě musíme dbát na to, že Ir 192 má poločas rozpadu 74,2 dnů a proto je důležité zapsat i čas. Ne vždy se měření provádí tentýž den.

V dalším kroku provedeme instalaci kalibračního přípravku na detektor RD23, který je umístěn na reaktorovém sále, kde připojíme průmyslový ozařovač. Poté provedeme odečet deseti hodnot proudů pro pevně zvolené body. V dalším kroku provedeme vyhodnocení měření, kterého jsme dosáhli [10].

Při kalibraci provedeme výpočet relativní základní chyby, kde použijeme vztah (3). Dále z naměřených dat vypočítáme nejistotu typu A, B a rozšířenou nejistotu. Pro úspěšnost daného měření máme kritéria  $\pm 30\%$ .



Obr. 15 Umístěný přípravek na reaktorovém sále  
(přípravek je instalován na lešení ve výšce cca 5 m)

#### Naměřená data

Do tabulky č. 3 a č. 4 jsem zaznamenal získaná data měření pro referenční a kalibrovaný detektor a dále jsem provedl výpočet aritmetického průměru  $\bar{x}_1, \bar{x}_2$ .

Tabulka č. 3. Naměřená data referenčního detektoru

Proud detektoru [nA]										
Číslo měření	Měřicí poloha [mm]									
	Pozadí	49,0	66,0	76,0	96,0	136,0	196,0	296,0	546,0	1046,0
1	0,013	36,86	26,21	22,36	15,83	9,02	4,65	2,139	0,655	0,191
2	0,014	36,87	26,21	22,35	15,82	9,02	4,65	2,139	0,653	0,191
3	0,013	36,86	26,21	22,36	15,82	9,03	4,65	2,138	0,653	0,192
4	0,013	36,86	26,21	22,36	15,83	9,03	4,65	2,138	0,654	0,191
5	0,013	36,87	26,21	22,36	15,82	9,02	4,65	2,138	0,543	0,191
6	0,013	36,86	26,21	22,35	15,82	9,03	4,65	2,139	0,651	0,192
7	0,013	36,86	26,21	22,36	15,82	9,02	4,65	2,141	0,654	0,191
8	0,015	36,87	26,21	22,36	15,82	9,03	4,65	2,138	0,654	0,192
9	0,014	36,87	26,21	22,37	15,83	9,03	4,65	2,14	0,653	0,191
10	0,014	36,86	26,21	22,36	15,83	9,03	4,65	2,135	0,654	0,191
$\bar{x}_1$	0,013	36,86	26,21	22,36	15,82	9,03	4,65	2,14	0,642	0,191

Tabulka č. 4. Naměřená data kalibrovaného detektoru

Proud detektoru [nA]										
Číslo měření	Měřicí poloha [mm]									
	Pozadí	49,0	66,0	76,0	96,0	136,0	196,0	296,0	546,0	1046,0
1	0,005	37,00	26,50	22,00	15,70	8,82	4,56	2,08	0,633	0,176
2	0,005	37,00	26,50	22,00	15,70	8,82	4,56	2,08	0,633	0,176
3	0,005	37,00	26,50	22,00	15,70	8,82	4,56	2,08	0,633	0,176
4	0,005	37,00	26,50	22,00	15,70	8,82	4,56	2,08	0,633	0,176
5	0,005	37,00	26,50	22,00	15,70	8,82	4,56	2,08	0,633	0,176
6	0,005	37,00	26,50	22,00	15,70	8,82	4,56	2,08	0,633	0,176
7	0,005	37,00	26,50	22,00	15,70	8,82	4,56	2,08	0,633	0,176
8	0,006	37,00	26,50	22,00	15,70	8,82	4,56	2,08	0,633	0,176
9	0,006	37,00	26,50	22,00	15,70	8,82	4,56	2,08	0,633	0,176
10	0,005	37,00	26,50	22,00	15,70	8,82	4,56	2,08	0,633	0,176
$\bar{x}_2$	0,005	37,00	26,50	22,00	15,70	8,82	4,56	2,08	0,633	0,176

### 5.1.1 Výpočet nejistoty typu A

#### *Kalibrovaný detektor ( $u_{A1}$ )*

Z tabulky č. 4 jsem vypočítal nejistotu typu A, kterou jsem určil z  $n$  opakovaných měření pro každou vzdálenost od kalibrovaného detektoru viz vztah (7). Výsledky jsem zaznamenal do tabulky č. 5.

Tabulka 5. Vypočtená data nejistoty typu A

Proud detektoru [nA]									
Měřicí poloha [mm]									
49	66	76	96	136	196	296	546	1046	
nejistota typu A									
1,00E-01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00

#### *Reprodukovatelnost měření ( $u_{A2}$ )*

Toto měření spočívá v tom, že před samotným měřením je ozařovací špička upnuta do přípravku a je provedeno několik vsunutí zářiče do špičky. Protože je špička připevněna proti detektoru, špatné zasunutí do správné polohy může být potenciálním nosičem chyb

měření. Z naměřených hodnot viz tabulka č. 6. jsem vypočítal nejistotu typu A, za použití vztahu (7)  $u_{A2} = 0,0015 \text{ nA}$

Tabulka č. 6. Naměřené hodnoty zajíždění zářiče do špičky.

č. měření	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.
I [nA]	54,05	54,04	54,03	54,04	54,04	54,04	54,04	54,04	54,04	54,04

### 5.1.2 Standardní nejistota typu B

#### *Odměřování vzdálenosti ( $u_{B1}$ )*

K odměřování vzdálenosti používáme posuvné měřítko. Přesnosti odměřování musíme přikládat, co největší důraz. Kalibrační přípravek je sice připevněn k detektoru, ale také stojí na lešení, které se může pohybovat, ale také kromě chyby odečtu může nastat, že operátor může přiložit posuvné měřítko nesprávně do odměřovacích drážek a tím může dojít k hrubé chybě. Odhad přesnosti odměřovací vzdálenosti jsem stanovil na 1 mm, který zahrnuje jak přesnost posuvného měřítka, tak i chybu operátora. Chyby vypočteme z pevných bodů (49 mm, 66 mm, 76 mm, 96 mm, 136 mm, 196 mm, 296 mm, 546 mm, 1046 mm), přičteme a odečteme 1 mm na vzdálenosti od zdroje záření za použití vztahu (16), kde  $K$  je konstanta úměrná aktivitě zdroje,  $d$  je vzdálenost zdroje IZ od detektoru, 1 je přičtení nebo odečtení 1 mm od vzdálenosti zdroje k detektoru. Chybu měření na stanovených vzdálenostech vypočítáme z relativní chyby za použití vztahu (3), kterou jsem zanesl do tabulky č. (7).

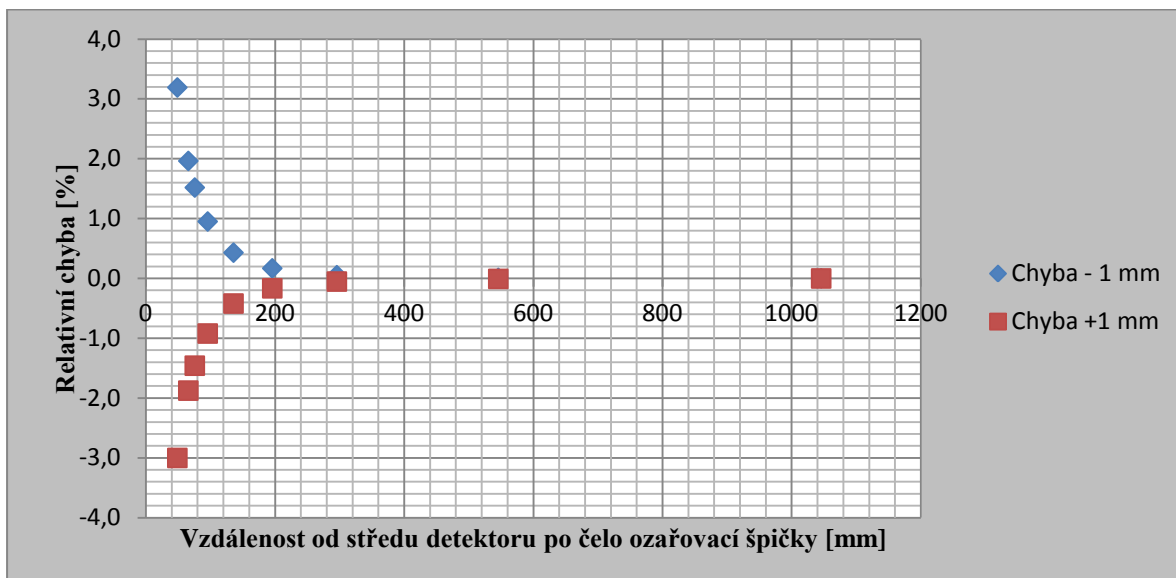
V dalším kroku jsem pomoci vztahu (17), aritmetických průměrů  $\bar{x}_2$  z tabulky č. 4, relativní chyby z tabulky č. 7 vypočítal  $I_{\max}$ . Výpočet jsem realizoval pro všechny body měření. Výsledky jsem zapsal do tabulky č. 7.

Pro výpočet nejistoty ( $u_{B1}$ ) použijeme vztah (8) z hodnot  $I_{\max}$  z tabulky (7) Hodnoty jsem zapsal do tabulky č. 7.

$$N(d) = \frac{K}{d^2} \text{ nebo } N(d) = \frac{K}{(d \pm 1)^2} \quad (16)$$

$$I_{\max} = \frac{\bar{x}_4 \times \delta}{100} \quad (17)$$

$K$  je konstanta úměrná aktivitě zdroje,  $d$  je vzdálenost zdroje IZ od detektoru, 1 je přičtení nebo odečtení 1mm od vzdálenosti zdroje od detektoru viz graf č.2.



Graf č. 2 Chyby měření při odměřování vzdálenosti

Tabulka č. 7. Chyba při měření vzdálenosti přepočítaná na nejistotu ( $u_{B1}$ )

	Měřicí poloha [mm]								
	49	66	76,0	96,0	136,0	196,0	296,0	546,0	1046,0
$\delta$ [%]	4,21E+00	3,10E+00	2,68E+00	2,12E+00	1,49E+00	1,03E+00	6,79E-01	3,67E-01	1,91E-01
$I_{max}$ [nA]	1,56E+00	8,22E-01	5,91E-01	3,32E-01	1,31E-01	4,69E-02	1,41E-02	2,33E-03	3,37E-04
$u_{B1}$ [nA]	8,99E-01	4,74E-01	3,41E-01	1,92E-01	7,57E-02	2,71E-02	8,16E-03	1,34E-03	1,95E-04

#### Vliv prostředí za detektorem ( $u_{B2}$ )

U substituční metody nejsou stejné podmínky měření. Referenční detektor je navazován na mobilní ozařovač na cejchovně a kalibrován na reaktorovém sále. Proto byla provedena zkouška vlivu vzdálenosti detektoru ode zdi, kdy detektor je ozařován ozařovačem  $^{192}\text{Ir}$  v přípravku a posouván o stanovené vzdálenosti. Zkoušku jsem prováděl ve čtyřech bodech a to pro 47 mm, 97 mm, 147 mm a 247 mm. Hodnoty jsem zaznamenal do tabulky č. 8, z kterých byly vypočítány aritmetické průměry a relativní chyby. Tato chyba se vztahuje ke vzdálenosti detektoru - zdroj záření a to v poloze 247 mm (za touto polohou už byly měřené hodnoty neměnná) viz tabulka č. 8. Průběh chyby můžeme sledovat v grafu 3. Po analýze relativních chyb a úvaze, že detektor RD23 je na reaktorovém sále umístěn zhruba 100 mm ode zdi jsem vybral chybu 2,9 % a vypočítal příspěvek proudů k měření a zaznamenal do tabulky č. 9. Z tohoto příspěvek jsem za použití vztahu (8) vypočítal najitou ( $u_{B2}$ ), kterou jsem zaznamenal do tabulky č. 9.

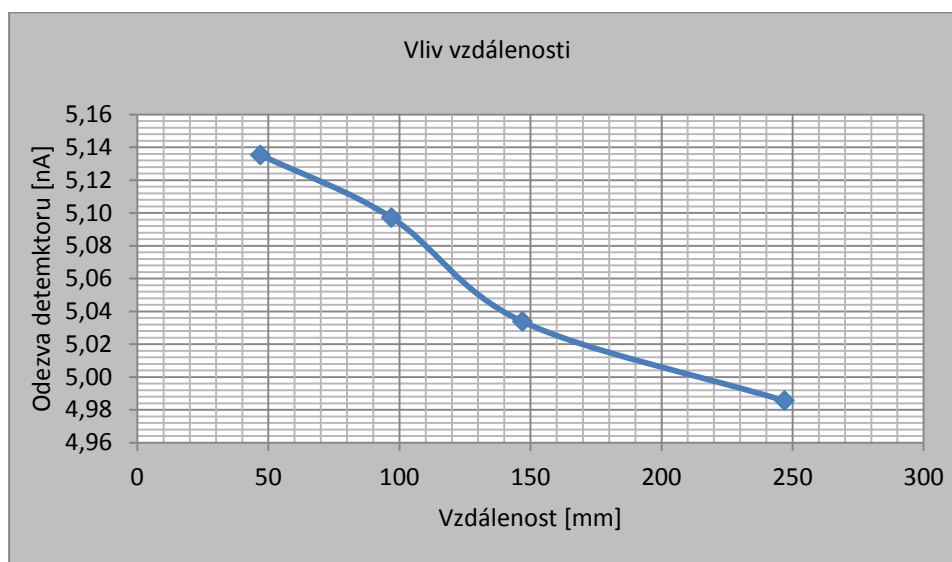
Tabulka č. 8. Naměřená data změny vzdálenosti od zdi za detektorem

Číslo měření	Proud detektoru [nA]			
	47 mm	97 mm	147 mm	247 mm
1.	5,14	5,10	5,03	4,98
2.	5,13	5,10	5,04	4,98
3.	5,14	5,10	5,04	4,98
4.	5,13	5,10	5,03	4,99
5.	5,13	5,10	5,03	4,99
6.	5,14	5,10	5,03	4,99
7.	5,13	5,09	5,03	4,99
8.	5,14	5,10	5,03	4,98
9.	5,14	5,10	5,04	4,99
10.	5,14	5,10	5,04	4,98
$\bar{x}$	5,14	5,10	5,03	4,99
$\delta$ [%]	3,03	2,29	0,98	

Tabulka. č. 9 Vypočítaná data nejistoty ( $u_{B2}$ )

	Měřicí poloha [mm]								
	49	66	76	96	136	196	296	546	1046
I[nA]	7,40E-01	5,30E-01	4,40E-01	3,14E-01	1,76E-01	9,12E-02	4,16E-02	1,27E-02	3,52E-03
$u_{B2}$ [nA]	4,27E-01	3,06E-01	2,54E-01	1,81E-01	1,02E-01	5,27E-02	2,40E-02	7,31E-03	2,03E-03

Graf 3. Chyby závislosti vzdalování přípravku ode zdi





### Výpočet nejistoty chyby proudů ( $u_{B3}$ ) na RM2000

Zdroje nejistot a jejich maximální hodnoty nebo standardní nejistoty:

Údaje měřidla RM2000:  $\Delta = 2 \%$  rtg

$$\Delta I = \frac{\delta_{rtg} \times MH}{100} \quad (18)$$

Kde:

MH je mměřená hodnota

$\delta_{rtg}$  chyba čtení přístroje

Pro výpočet  $\Delta I$  byly jako vstupní veličiny použity hodnoty z tabulky č. 4, aritmetický průměr  $\bar{x}_1$  pro všechny hladiny měření. Pomocí vztahu (18) jsem vypočítal  $\Delta I$  a zapsal do tabulky 10.

Nejistotu ( $u_{B3}$ ) jsem vypočítal z tabulky č. 10 ( $\Delta I$ ) ze vztahu (8) a vložil do tabulky č. 10.

Tabulka č.10 Vypočítaná data  $\Delta I$ ,  $u_{B3}$

Měřicí poloha [ mm]									
	49	66	76	96	136	196	296	546	1046
$\Delta I$ [nA]	2,95E-01	2,10E-01	1,79E-01	1,27E-01	7,22E-02	3,72E-02	1,71E-02	5,14E-03	1,53E-03
$u_{B3}$ [nA]	1,70E-01	1,21E-01	1,03E-01	7,31E-02	4,17E-02	2,15E-02	9,88E-03	2,97E-03	8,84E-04

### Výpočet chyby proudů na KEITHLEY 6517b( $u_{B4}$ )

Zdroje nejistot a jejich maximální hodnoty nebo standardní nejistoty:

Údaje měřidla pro rozsah 200nA:

$$\Delta = 0,2 \%$$
 rtg 5 dgt

Kde:

MH je čtená hodnota z přístroje,

$\delta_{rtg}$  chyba čtení přístroje,

N 1 pA,

$I_{dgt}$  5 dgt.

$$\Delta I = \frac{\delta_{rtg} \times MH}{100} + N * I_{dgt} \quad (19)$$

Pro výpočet  $\Delta I$  byly jako vstupní veličiny použity hodnoty z tabulky č. 3. Aritmetický průměr  $\bar{x}_1$  pro všechny hladiny měření. Pomocí vztahu (19) jsem vypočítal  $\Delta I$  a zapsal do tabulky č. 11.

Nejistotu ( $u_{B3}$ ) jsem vypočítal z tabulky č. 11 ( $\Delta I$ ) ze vztahu (8) a vložil do tabulky č. 11.

Tabulka č. 11 Vypočítaná data  $\Delta I$ ,  $u_{B4}$

		Měřicí poloha [mm]								
		49	66	76	96	136	196	296	546	1046
$\Delta I$ [nA]		7,40E-01	5,30E-01	4,40E-01	3,14E-01	1,76E-01	9,12E-02	4,16E-02	1,27E-02	3,52E-03
$u_{B4}$ [nA]		4,27E-01	3,06E-01	2,54E-01	1,81E-01	1,02E-01	5,27E-02	2,40E-02	7,31E-03	2,03E-03

*Tuhost přípravku ( $u_{B5}$ )*

Největším nedostatkem tohoto přípravku je jeho malá tuhost. Abychom docílili co nejlepšího měření a vyvarovali se chyb, bylo provedeno měření za účelem zkoušky tuhosti přípravku. Ta spočívala v tom, že přípravek byl nainstalován na detektor a na jeho konci zatěžován konstantní silou 5kg. Při samotné zkoušce byl změřen průhyb přípravku, který činil 10 mm na 1 m vzdálenosti zdroje záření od detektoru. Příspěvek této chyby byl 0,5 mm. tj. 0,1%. Lze tedy přepokládat, že chyba při zmenšování vzdálenosti detektoru od zářiče bude klesat a tím nebude mít žádný vliv na měření. Nejistotu jsem zanedbal.

### 5.1.3 Výpočet kombinované a rozšířené nejistoty

Pro výpočet kombinované jsem použil vztah (10). Jedná se o nejistoty  $u_{A1}$ ,  $u_{A2}$ ,  $u_{B1}$ ,  $u_{B2}$ ,  $u_{B3}$  a o kombinovanou nejistotu viz příloha 2.

V dalším kroku jsem vypočítal pomocí vztahu (11) rozšířenou nejistotu pro kterou jsem volil koeficient rozšíření  $k = 2$ . Výsledky jsem uložil do přílohy č. 1 tabulka č. 1 až 9.

## 5.2 Komparační metoda

Prostředky:

- Detektor RD23 (referenční ionizační komora)
- Elektrometr pro měření malých proudů Keithley 6517b
- VN zdroje pro napájení sondy RD23 (0 – 1000 V)
- Přípravek pro fixaci poloh měřidla RD23 (přípravek komparační metody)
- RM2000

### *Podmínky měření:*

Zkouška se neuskutečňuje, pokud je příkon kermy nižší než 0,1 mGy/h. Za použití přípravku komparační metody (obr. 16) byly pevně zvoleny vzdálenosti zdroje tak, aby referenční hodnoty kermového příkonu stanovené přípravkem komparační metody lineárně rozděloval rozsah kermových příkonů od 0,1 m Gy do maximální hodnoty. To znamená, že ozařovací špička přípravku bude co nejblíže k detektoru RD23.

### *Popis kalibrace*

Do přípravku komparační metody upevníme referenční detektor a zároveň i kalibrovaný detektor a připojíme průmyslový ozařovače za pomoci bowdenu a speciální špičky. V mechanickém přípravku se pro pevně zvolené body (0 mm, 20 mm, 30 mm, 50 mm, 90 mm, 150 mm, 250 mm, 500 mm) provede odečet deseti hodnot proudů pro každou hladinu. Odečet je proveden na zařízení pro měření malých proudů KEITHLEY 6517b (referenční detektor), RM2000 (kalibrovaný detektor), a tím získána data pro porovnání s kalibrovaným (měřeným) detektorem. Měření se neprovádí v plné rozsahu detektoru z důvodu nedostupnosti silnějšího zdroje IZ, přičemž se předpokládá, že průběh odezvy detektoru bude lineární. Při kalibraci provedeme výpočet relativní základní chyby, kde použijeme vztah (3). Dále z naměřených dat spočítáme nejistotu typu A, B a rozšířenou nejistotu. Jestliže se nacházíme v toleranci +/- 30 , kalibrace proběhla úspěšně [11] .



Obr. 16. Přípravek komparační metody

### 5.2.1 Výpočet nejistoty typu A

Z tabulky č. 1 a č. 2 jsem provedl výpočet aritmetického průměru pomocí vztahu (4) pro každou vzdálenost zdroje záření od detektoru. Tyto aritmetické průměry jsou uvedeny v tabulce č. 3. a č. 4.

Tabulka č. 12. Naměřená data referenčního detektoru

Proud detektoru [nA]									
Číslo měření	Měřicí poloha [mm]								
	Pozadí	0	20	30	50	90	150	250	500
1	0,012	90,30	63,52	51,84	35,26	18,42	8,45	3,31	0,768
2	0,013	90,40	63,51	51,85	35,27	18,42	8,45	3,30	0,768
3	0,013	90,41	63,52	51,86	35,27	18,42	8,45	3,31	0,767
4	0,014	90,42	63,51	51,85	35,27	18,42	8,45	3,31	0,768
5	0,013	90,45	63,52	51,86	35,26	18,42	8,46	3,31	0,769
6	0,002	90,44	63,54	51,86	35,27	18,43	8,45	3,30	0,768
7	0,013	90,46	63,53	51,87	35,27	18,43	8,45	3,30	0,765
8	0,012	90,45	63,54	51,87	35,27	18,43	8,46	3,30	0,769
9	0,012	90,48	63,54	51,86	35,27	18,43	8,46	3,30	0,768
10	0,014	90,48	63,54	51,85	35,28	18,43	8,46	3,31	0,767
$\bar{x}_1$	0,012	90,43	63,53	51,86	35,27	18,43	8,45	3,31	0,768

Tabulka č. 13. Naměřená data kalibrovaného detektoru

Proud detektoru [nA]									
Číslo měření	Měřicí poloha [mm]								
	Pozadí	0	20	30	50	90	150	250	500
1	0,007	90,00	63,40	51,70	34,70	18,60	8,46	3,38	0,780
2	0,007	90,00	63,40	51,70	34,70	18,60	8,46	3,38	0,779
3	0,006	90,00	63,40	51,70	34,70	18,60	8,46	3,38	0,780
4	0,007	90,00	63,40	51,70	34,70	18,60	8,46	3,38	0,779
5	0,007	90,00	63,40	51,70	34,70	18,60	8,46	3,38	0,779
6	0,006	90,00	63,40	51,70	34,70	18,60	8,46	3,38	0,780
7	0,007	90,00	63,40	51,70	34,70	18,60	8,46	3,38	0,779
8	0,007	90,00	63,40	51,70	34,70	18,60	8,46	3,38	0,780
9	0,006	90,00	63,40	51,70	34,70	18,60	8,46	3,38	0,779
10	0,006	90,00	63,50	51,70	34,70	18,60	8,46	3,38	0,780
$\bar{x}_2$	0,006	90,00	63,41	51,70	34,70	18,60	8,46	3,38	0,780

### Kalibrovaný detektor ( $u_{A1}$ )

Z tabulky č. 13 jsem vypočítal nejistotu typu A, kterou jsem určil z  $n$  opakovaných měření pro každou vzdálenost zdroje záření od kalibrovaného detektoru viz vztah (7). Výsledky jsem zaznamenal do tabulky č. 14.

Tabulka č. 14 Výpočet nejistoty typu A z naměřených hodnot  $\bar{x}_2$

Proud detektoru [nA]							
Měřicí poloha [mm]							
0	20	30	50	90	150	250	500
nejistota typu A							
0,00E+00	1,00E-02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,67E-04

### Reprodukovatelnost měření ( $u_{A2}$ )

U komparační metody jsou oba detektory odečítány současně. Ozařovací špička je přichycena pevně, a proto není uchycení kritické. Měřením bylo zjištěno, že tato skutečnost nemá na měření žádný vliv.

### 5.2.2 Standardní nejistota typu B

#### Vliv prostředí za detektorem ( $u_{B1}$ )

U komparační metody jsou oba detektory ozařovány současně. Konstrukce přípravku byla volena záměrně tak, aby byla stejná hmota za oběma detektory. Na oba detektory působí stejné vlivy. Měřením jsem zjistil, že vzdalování přípravku ode zdi nemá žádný účinky na měření a proto můžeme nejistotu ( $u_{B1}$ ) zanedbat.

Tabulka č. 15 Naměřená data změny vzdálenosti od zdi za detektorem

Číslo měření	Proud detektoru [nA]			
	47 mm	97mm	147mm	247mm
1.	18,42	18,48	18,45	18,45
2.	18,42	18,48	18,45	18,45
3	18,42	18,48	18,45	18,45
4	18,42	18,48	18,45	18,45
5	18,42	18,48	18,45	18,45
6	18,43	18,48	18,45	18,45
7	18,43	18,48	18,46	18,45
8	18,43	18,48	18,45	18,45
9	18,43	18,48	18,45	18,45
10	18,43	18,48	18,45	18,45

### Odměrování vzdálenosti měření ( $u_{B2}$ )

Odměrování vzdálenosti u přípravku komparační metody je nahrazeno fixací zvolených bodů. Detektory jsou do přípravku nainstalovány současně a proto nejistota ( $u_{B2}$ ) na odměrování vzdálenosti na měření nemá žádný vliv.

### Výpočet nejistoty měřených vstupních proudů ( $u_{B3}$ ) na RM2000

Zdroje nejistot a jejich maximální hodnoty nebo standardní nejistoty:

Základní chyba RM2000 2 % rtg

$$\Delta I = \frac{\delta_{rtg} \times MH}{100} \quad (20)$$

Kde:           MH                           je měřená hodnota  
                   $\delta_{rtg}$                            chyba čtení přístroje

Pro výpočet  $\Delta I$  byly jako vstupní veličiny použity hodnoty z tabulky č. 3. aritmetický průměr  $\bar{x}_2$  pro všechny hladiny měření. Pomocí vztahu (20) jsem vypočítal  $\Delta I$  a zapsal do tabulky č. 16

Nejistotu ( $u_{B3}$ ) jsem vypočítal z tabulky č.16 ( $\Delta I$ ) ze vztahu (8) a vložil do tabulky č. 16.

Tabulka č. 16 Vypočítaná data  $\Delta I, u_{B3}$

Měřicí poloha ( mm)								
	0	20	30	50	90	150	250	500
$\Delta I$ [nA]	1,80E+00	1,27E+00	1,03E+00	6,94E-01	3,72E-01	1,69E-01	6,76E-02	1,56E-02
$u_{B3}$ [nA]	1,04E+00	7,32E-01	5,97E-01	4,01E-01	2,15E-01	9,77E-02	3,90E-02	9,00E-03

### Výpočet nejistoty měřených vstupních proudů ( $u_{B4}$ ) KEITHLEY 6517b

Zdroje nejistot a jejich maximální hodnoty nebo standardní nejistoty:

Údaje měřidla pro rozsah 200nA:

$\Delta = 0,2$  % rtg 5 dgt

$$\Delta I = \frac{\delta_{rtg} \times MH}{100} + N * I_{dgt} \quad (21)$$

Kde:	MH	je čtená hodnota z měřidla
	$\delta_{rtg}$	chyba čtení přístroje
	N	1 pA
	$I_{dgt}$	5 dgt

Pro výpočet  $\Delta I$  byly jako vstupní veličiny použity hodnoty z tabulky č. 12.  $\bar{x}_1$  pro všechny vzdálenosti zářiče od detektoru. Pomocí vztahu (21) jsem vypočítal  $\Delta I$  a zapsal do tabulky č. 17.

Nejistotu ( $u_{B4}$ ) jsem vypočítal z tabulky č. 17 ( $\Delta I$ ) ze vztahu (8) a vložil do tabulky č. 17.

Tabulka č. 17 Vypočítaná data  $\Delta I, u_{B4}$

		Měřicí poloha ( mm)							
		0	20	30	50	90	150	250	500
$\Delta I$ [nA]		7,23E-01	5,08E-01	4,15E-01	2,82E-01	1,47E-01	6,76E-02	2,64E-02	6,14E-03
$u_{B4}$ [nA]		4,18E-01	2,93E-01	2,40E-01	1,63E-01	8,51E-02	3,90E-02	1,53E-02	3,55E-03

### *Tuhost přípravku měření ( $u_{B3}$ )*

Zkouška tuhosti probíhala podobným způsobem jako u Substituční metody. Na konec přípravku do vzdálenosti 500 mm jsem umístil závaží o váze 5 kg. Při vyhodnocení zkoušky nebyl naměřen žádný průhyb. Tuto nejistotu můžeme zanedbat.

### **5.2.3 Výpočet kombinované a rozšířené nejistoty**

Pro výpočet kombinované nejistoty jsem použil vztah (10). Jedná se o nejistoty  $u_{A1}$ ,  $u_{B1}$ ,  $u_{B2}$ ,  $u_c$  kombinovanou nejistotou viz příloha č. 3.

V dalším kroku jsem vypočítal pomocí vztahu (11) rozšířenou nejistotu, pro kterou jsem volil koeficient rozšíření  $k = 2$ . Výsledky jsem uložil do přílohy č. 3 tabulka č. 1 až 8.

## 6 Výsledky měření

### 6.1 Substituční metoda

V tabulce č. 18 uvádím aritmetický průměr a rozšířenou nejistotu vypočítané z tabulky č. 3, 4 a z přílohy č. 1. pro všechny polohy měření. Dále uvádím relativní chybu vypočítanou za použití vztahu (3) a absolutní hodnotu těchto výpočtů dle vztahu (2).

.Vztah pro výpočet výsledné chyby měření:

$$I_n = \sqrt{n_1^2 + n_2^2 + n_3^2} \cdot n \quad (20)$$

Celkovou rozšířenou kombinovanou nejistotu pro substituční metodu jsem vypočítal z rozšířených kombinovaných nejistot pro všechny polohy měření za použití vztahu (20).

Celková rozšířená kombinovaná nejistota pro substituční metodu je  $\pm 4,74$  nA.

Tabulka č. 18 Substituční metoda

číslo měření	Měřená poloha [mm]	Referenční detektor [nA]	Měřený detektor [nA]	Relativní chyba [%]	Absolutní chyba [nA]	Rozšířená nejistota [nA]
1.	49,00	36,86	37,00	0,38	0,14	3,81
2.	66,00	26,21	26,50	1,11	0,29	2,09
3.	76,00	22,36	22,00	-1,61	-0,36	1,57
4.	96,00	15,82	15,70	-0,76	-0,12	0,94
5.	136,00	9,03	8,82	-2,33	-0,21	0,43
6.	196,00	4,65	4,56	-1,94	-0,09	0,19
7.	296,00	2,14	2,08	-2,80	-0,06	0,08
8.	546,00	0,64	0,63	-1,56	-0,01	0,03
9.	1046,00	0,19	0,18	-5,26	-0,01	0,01

### 6.2 Komparační metoda

V tabulce č. 19 uvádím aritmetický průměr a rozšířenou nejistotu vypočítané z tabulky č. 12, 13 a z přílohy č. 3. pro všechny polohy měření. Dále uvádím relativní chybu vypočítanou za použití vztahu (3) a absolutní hodnotu těchto výpočtů dle vztahu (2).

. Celkovou rozšířenou kombinovanou nejistotou pro komparační metodu jsem vypočítal z rozšířených kombinovaných nejistot pro všechny polohy měření za použití vztahu (20).

Celková rozšířená kombinovaná nejistota pro komparační metodu je  $\pm 2,84$  nA



Tabulka č. 19 Komparační metoda

číslo měření	Měřená poloha [mm]	Referenční detektor [nA]	Měřený detektor [nA]	Relativní chyba [%]	Absolutní chyba [nA]	Rozšířená nejistota [nA]
1.	0,00	90,43	90,00	-0,48	-0,43	2,24
2.	20,00	63,53	63,41	-0,19	-0,12	1,57
3.	30,00	51,86	51,70	-0,31	-0,16	0,48
4.	50,00	35,27	34,70	-1,62	-0,57	0,32
5.	90,00	18,43	18,60	0,92	0,17	0,47
6.	150,00	8,45	8,46	0,12	0,01	0,21
7.	250,00	3,31	3,38	2,11	0,07	0,09
8.	500,00	0,77	0,78	1,30	0,01	0,02

## 7 Závěr

V této práci bylo mým úkolem hodnotit dvě kalibrační měřící metody a to metodu substituční a metodu komparační. Na základě naměřených hodnot, jsem dosáhl u substituční metody rozšířené kombinované nejistoty  $\pm 4,74$  nA a u komparační metody  $\pm 2,84$  nA, protože jsou si hodnoty výsledků velice blízké, nelze zcela přesně určit, která z měřených metod má lepší vypovídající hodnotu. Na základě těchto měření jsem se rozhodl porovnat vlastnosti metod subjektivně. Při vyhodnocování jsem využil těchto bodů:

1. Odměřování vzdálenosti
2. Časová náročnost metody
3. Tuhost přípravku
4. Reprodukovatelnost měření
5. Vliv prostředí za detektorem
6. Průhyb měřidla
7. Snadnost montáže a demontáže přípravku

Tabulka č. 20 Subjektivní hodnocení.

Hodnocení vlastností měřících metod	1. Odměřování vzdálenosti od středu detektoru po špičku zářiče	2. Časová náročnost metody	3. Tuhost přípravku	4. Reprodukovatelnost měření	5. Vliv prostředí za detektorem	6. Průhyb měřidla	7. Snadnost montáže a demontáže přípravku
Substituční metoda	•	•	•	•	•	•	•
Komparační metoda	•	•	•	•	•	•	•

Na základě výsledků z tabulky č. 20 jsem vyvodil závěry, že metoda komparační je lepší, jak z praktického hlediska, tak i ze subjektivního.

## 8 Literatura

- [1] Vítovec, Jindřich,. Zpracování naměřených údajů, Česká metrologická společnost, Praha 2003
- [2] Ullmann,V, Jaderná a radiační fyzika, Ostravská universita v Ostravě, 2009
- [3] Gerndt, J., Průša, Petr, Detektory ionizujícího záření, Vydavatelství ČVUT, 2011
- [4] České kalibrační sdružení, Výukový program pro žadatele o certifikát nebo osvědčení o odborné způsobilosti pracovníka AMS, Brno, 2003
- [5] EAL Committee 2, EA 4/02 Vyjadřování nejistot měření při kalibracích
- [6] ČSN P ENV 13005, Pokyn pro vyjadřování nejistoty měření (GUM) (01 4105)
- [7] Automa, <http://www.odbornecasopisy.cz/download/au070150.pdf>, 1.2.2012
- [8] Ullmann, V, <http://astronuklfyzika.cz/Fyzika-NuklMed.htm>, 1.2.2012
- [9] SORRENTO ELECTRONIC, HIGH RANGE AND DIGITAL HIGH RANGE AREA MONITOR, San Diego, 1996
- [10] AFRAS ENERGO s.r.o., AE1/ZE12004/QP/KAL-01/rev00
- [11] AFRAS ENERGO s.r.o., AE1/ZE12004/QP/KAL-02/rev00

## 9 Seznam příloh

### 9.1 Příloha 1Bilační tabulky kalibrovaného detektoru substituční metody

Tabulka č. 1 Pro vzdálenost 49 mm

	nejistota	veli- čina Xi	odhad		standardní nejistota	pravdě- podob- nostní rozdělení	citli- vostní koeffi- cient	kvadrát příspěvku k nejisto- tě [nA]
		[nA]	hodnoty	typ				
1	Kalibrovaný detektor	$u_{A1}$	37,0	A	1,00E-01	norm	1,0	1,00E-02
2	RM2000	$u_{B4}$	0,0	B	1,70E-01	rovn	1,0	2,89E-02
3	Odměrování vzdálenosti	$u_{B1}$	0,0	B	8,99E-01	rovn	1,0	8,08E-01
4	Referenční detektor	$u_c$	0,0	A	1,61E+00	norm	1,0	2,59E+00
5	Vliv prostředí za det.	$u_{B2}$	0,0	B	4,27E-01	rovn	1,0	1,82E-01
6	Repro. Měření	$u_{A2}$	0,0	A	1,50E-03	norm	1,0	2,25E-06
<b>součet kvadrátů</b>								<b>3,62E+00</b>
<b>kombin. stand. nejistota</b>								<b>1,90E+00</b>
<b>rozšířená nejistota</b>								<b>3,81E+00</b>

Tabulka č. 2 Pro vzdálenost 66 mm

	nejistota	veli- čina Xi	odhad		standardní nejistota	pravdě- podob- nostní rozdělení	citli- vostní koeffi- cient	kvadrát příspěvku k nejisto- tě [nA]
		[nA]	hodnoty	typ				
1	Kalibrovaný detektor	$u_{A1}$	26,2	A	0,00E+00	norm	1,0	0,00E+00
2	RM2000	$u_{B4}$	0,0	B	1,21E-01	rovn	1,0	1,46E-02
3	Odměrování vzdálenosti	$u_{B1}$	0,0	B	4,74E-01	rovn	1,0	2,25E-01
4	Referenční detektor	$u_c$	0,0	A	8,70E-01	norm	1,0	7,57E-01
5	Vliv prostředí za det.	$u_{B2}$	0,0	A	3,06E-01	norm	1,0	9,36E-02
6	Repro. Měření	$u_{A2}$	0,0	A	1,50E-03	norm	1,0	2,25E-06
<b>součet kvadrátů</b>								<b>1,09E+00</b>
<b>kombin. stand. nejistota</b>								<b>1,04E+00</b>
<b>rozšířená nejistota</b>								<b>2,09E+00</b>

Tabulka č. 3 Pro vzdálenost 76 mm

	nejistota	veli- čina Xi	odhad		standardní nejistota	pravdě- podob- nostní rozdělení	citli- vostní koeffi- cient	kvadrát příspěvku k nejisto- tě [nA]
		[nA]	hodnoty	typ				
1	Kalibrovaný detektor	$u_{A1}$	22,0	A	0,00E+00	norm	1,0	0,00E+00
2	RM2000	$u_{B4}$	0,0	B	1,03E-01	rovn	1,0	1,06E-02
3	Odměrování vzdálenosti	$u_{B1}$	0,0	B	3,41E-01	rovn	1,0	1,16E-01
4	Referenční detektor	$u_c$	0,0	A	6,50E-01	norm	1,0	4,23E-01
5	Vliv prostředí za det.	$u_{B2}$	0,0	A	2,54E-01	norm	1,0	6,45E-02
6	Repro. Měření	$u_{A2}$	0,0	A	1,50E-03	norm	1,0	2,25E-06
<b>součet kvadrátů</b>								6,14E-01
<b>kombin. stand. nejistota</b>								7,84E-01
<b>rozšířená nejistota</b>								<b>1,57E+00</b>

Tabulka č. 4 Pro vzdálenost 96 mm

	nejistota	veli- čina Xi	odhad		standardní nejistota	pravdě- podob- nostní rozdělení	citli- vostní koeffi- cient	kvadrát příspěvku k nejisto- tě [nA]
		[nA]	hodnoty	typ				
1	Kalibrovaný detektor	$u_{A1}$	15,7	A	0,00E+00	norm	1,0	0,00E+00
2	RM2000	$u_{B4}$	0,0	B	7,31E-02	rovn	1,0	5,34E-03
3	Odměrování vzdálenosti	$u_{B1}$	0,0	B	1,92E-01	rovn	1,0	3,69E-02
4	Referenční detektor	$u_c$	0,0	A	3,80E-01	norm	1,0	1,44E-01
5	Vliv prostředí za det.	$u_{B2}$	0,0	A	1,81E-01	norm	1,0	3,28E-02
6	Repro. Měření	$u_{A2}$	0,0	A	1,50E-03	norm	1,0	2,25E-06
<b>součet kvadrátů</b>								2,19E-01
<b>kombin. stand. nejistota</b>								4,68E-01
<b>rozšířená nejistota</b>								<b>9,37E-01</b>

Tabulka č. 5 Pro vzdálenost 136 mm

	nejistota	veli- čina Xi	odhad hodnoty typ		standardní nejistota	pravdě- podob- nostní rozdělení	citli- vostní koefi- cient	kvadrát příspěvku k nejisto- tě [nA]
		[nA]	xi					
1	Kalibrovaný detektor	$u_{A1}$	8,8	A	0,00E+00	norm	1,0	0,00E+00
2	RM2000	$u_{B4}$	0,0	B	4,17E-02	rovn	1,0	1,74E-03
3	Odměrování vzdálenosti	$u_{B1}$	0,0	B	7,57E-02	rovn	1,0	5,73E-03
4	Referenční detektor	$u_c$	0,0	A	1,70E-01	norm	1,0	2,89E-02
5	Vliv prostředí za det.	$u_{B2}$	0,0	A	1,02E-01	norm	1,0	1,04E-02
6	Repro. Měření	$u_{A2}$	0,0	A	1,50E-03	norm	1,0	2,25E-06
<b>součet kvadrátů</b>								4,68E-02
<b>kombin. stand. nejistota</b>								2,16E-01
<b>rozšířená nejistota</b>								<b>4,33E-01</b>

Tabulka č. 6 Pro vzdálenost 196 mm

	nejistota	veli- čina Xi	odhad hodnoty typ		standardní nejistota	pravdě- podob- nostní rozdělení	citli- vostní koefi- cient	kvadrát příspěvku k nejisto- tě [nA]
		[nA]	xi					
1	Kalibrovaný detektor	$u_{A1}$	4,6	A	0,00E+00	norm	1,0	0,00E+00
2	RM2000	$u_{B4}$	0,0	B	2,15E-02	rovn	1,0	4,62E-04
3	Odměrování vzdálenosti	$u_{B1}$	0,0	B	2,71E-02	rovn	1,0	7,34E-04
4	Referenční detektor	$u_c$	0,0	A	7,00E-02	norm	1,0	4,90E-03
5	Vliv prostředí za det.	$u_{B2}$	0,0	A	5,27E-02	norm	1,0	2,78E-03
6	Repro. Měření	$u_{A2}$	0,0	A	1,50E-03	norm	1,0	2,25E-06
<b>součet kvadrátů</b>								8,88E-03
<b>kombin. stand. nejistota</b>								9,42E-02
<b>rozšířená nejistota</b>								<b>1,88E-01</b>

Tabulka č. 7 Pro vzdálenost 296 mm

	nejistota	veli- čina Xi	odhad		standardní nejistota	pravdě- podob- nostní rozdělení	citli- vostní koeffi- cient	kvadrát příspěvku k nejisto- tě [nA]
		[nA]	hodnoty	typ				
1	Kalibrovaný detektor	$u_{A1}$	2,1	A	0,00E+00	norm	1,0	0,00E+00
2	RM2000	$u_{B4}$	0,0	B	9,88E-03	rovn	1,0	9,76E-05
3	Odměrování vzdálenosti	$u_{B1}$	0,0	B	8,16E-03	rovn	1,0	6,66E-05
4	Referenční detektor	$u_c$	0,0	A	3,00E-02	norm	1,0	9,00E-04
5	Vliv prostředí za det.	$u_{B2}$	0,0	A	2,40E-02	norm	1,0	5,76E-04
6	Repro. Měření	$u_{A2}$	0,0	A	1,50E-03	norm	1,0	2,25E-06
<b>součet kvadrátů</b>								1,64E-03
<b>kombin. stand. nejistota</b>								4,05E-02
<b>rozšířená nejistota</b>								<b>8,11E-02</b>

Tabulka č. 8 Pro vzdálenost 546 mm

	nejistota	veli- čina Xi	odhad		standardní nejistota	pravdě- podob- nostní rozdělení	citli- vostní koeffi- cient	kvadrát příspěvku k nejisto- tě [nA]
		[nA]	hodnoty	typ				
1	Kalibrovaný detektor	$u_{A1}$	0,6	A	0,00E+00	norm	1,0	0,00E+00
2	RM2000	$u_{B4}$	0,0	B	2,97E-03	rovn	1,0	8,82E-06
3	Odměrování vzdálenosti	$u_{B1}$	0,0	B	1,34E-03	rovn	1,0	1,80E-06
4	Referenční detektor	$u_c$	0,0	A	1,00E-02	norm	1,0	1,00E-04
5	Vliv prostředí za det.	$u_{B2}$	0,0	A	7,31E-03	norm	1,0	5,34E-05
6	Repro. Měření	$u_{A2}$	0,0	A	1,50E-03	norm	1,0	2,25E-06
<b>součet kvadrátů</b>								1,66E-04
<b>kombin. stand. nejistota</b>								1,29E-02
<b>rozšířená nejistota</b>								<b>2,58E-02</b>

Tabulka č. 9 Pro vzdálenost 1046 mm

	nejistota	veli- čina	odhad		standardní nejistota	pravdě- podob- nostní rozdělení	citi- vostní koeffi- cient	kvadrát příspěvku k nejisto- tě [nA]
		$X_i$ [nA]	hodnoty	typ				
1	Kalibrovaný detektor	$u_{A1}$	0,2	A	0,00E+00	norm	1,0	0,00E+00
2	RM2000	$u_{B4}$	0,0	B	8,84E-04	rovn	1,0	7,81E-07
3	Odměrování vzdálenosti	$u_{B1}$	0,0	B	1,95E-04	rovn	1,0	3,80E-08
4	Referenční detektor	$u_C$	0,0	A	2,28E-03	norm	1,0	5,20E-06
5	Vliv prostředí za det.	$u_{B2}$	0,0	A	2,03E-03	norm	1,0	4,12E-06
6	Repro. Měření	$u_{A2}$	0,0	A	1,50E-03	norm	1,0	2,25E-06
	<b>součet kvadrátů</b>							1,24E-05
	<b>kombin. stand. nejistota</b>							3,52E-03
	<b>rozšířená nejistota</b>							<b>7,04E-03</b>



## 9.2 Příloha 2 Bilanční tabulky referenčního detektoru substituční metody

Tabulka č. 1 Pro vzdálenost 49 mm

	nejistota	veli- čina	odhad		standardní nejistota	pravdě- podob- nostní rozdělení	citli- vostní koeffi- cient	kvadrát příspěvku k nejisto- tě [nA]
		Xi [nA]	hodnoty	typ				
1	Referenční detektor	$u_{A1}$	38,9	A	1,63E-03	norm	1,0	2,66E-06
2	Keitley 6517b	$u_{B4}$	0,0	B	4,27E-01	rovn	1,0	1,82E-01
3	Odměrování vzdálenosti	$u_{B1}$	0,0	B	1,55E+00	rovn	1,0	2,41E+00
4	Vliv prostředí za det.	$u_{a2}$	1,7	B	0,00E+00	rovn	1,0	0,00E+00
5	Repro. Měření	$u_{A2}$	0,0	A	1,00E-03	norm	1,0	1,00E-06
<b>součet kvadrátů</b>								<b>2,59E+00</b>
<b>kombin. stand. nejistota</b>								<b>1,61E+00</b>
<b>rozšířená nejistota</b>								<b>3,22E+00</b>

Tabulka č. 2 Pro vzdálenost 66 mm

	nejistota	veli- čina	odhad		standardní nejistota	pravdě- podob- nostní rozdělení	citli- vostní koeffi- cient	kvadrát příspěvku k nejisto- tě [nA]
		Xi [nA]	hodnoty	typ				
1	Referenční detektor	$u_{A1}$	26,2	A	0,00E+00	norm	1,0	0,00E+00
2	Keitley 6517b	$u_{B4}$	0,0	B	3,06E-01	rovn	1,0	9,36E-02
3	Odměrování vzdálenosti	$u_{B1}$	0,0	B	8,13E-01	rovn	1,0	6,60E-01
4	Vliv prostředí za det.	$u_{a2}$	0,0	B	0,00E+00	rovn	1,0	0,00E+00
5	Repro. Měření	$u_{A2}$	0,0	A	1,00E-03	norm	1,0	1,00E-06
<b>součet kvadrátů</b>								<b>7,54E-01</b>
<b>kombin. stand. nejistota</b>								<b>8,68E-01</b>
<b>rozšířená nejistota</b>								<b>1,74E+00</b>

Tabulka č. 3 Pro vzdálenost 76 mm

	nejistota	veli- čina Xi	odhad hodnoty typ		standardní nejistota	pravdě- podob- nostní rozdělení	citli- vostní koeffi- cient	kvadrát příspěvku k nejisto- tě [nA]
		[nA]	xi					
1	Referenční detektor	$u_{A1}$	22,4	A	5,54E-03	norm	1,0	3,07E-05
2	Keitley 6517b	$u_{B4}$	0,0	B	2,54E-01	rovn	1,0	6,45E-02
3	Odměrování vzdálenosti	$u_{B1}$	0,0	B	6,00E-01	rovn	1,0	3,60E-01
4	Vliv prostředí za det.	$u_{a2}$	0,0	B	0,00E+00	rovn	1,0	0,00E+00
5	Repro. Měření	$u_{A2}$	0,0	A	1,00E-03	norm	1,0	1,00E-06
<b>součet kvadrátů</b>								4,25E-01
<b>kombin. stand. nejistota</b>								6,52E-01
<b>rozšířená nejistota</b>								<b>1,30E+00</b>

Tabulka č. 4 Pro vzdálenost 96 mm

	nejistota	veli- čina Xi	odhad hodnoty typ		standardní nejistota	pravdě- podob- nostní rozdělení	citli- vostní koeffi- cient	kvadrát příspěvku k nejisto- tě [nA]
		[nA]	xi					
1	Referenční detektor	$u_{A1}$	15,8	A	1,63E-03	norm	1,0	2,66E-06
2	Keitley 6517b	$u_{B4}$	0,0	B	1,81E-01	rovn	1,0	3,28E-02
3	Odměrování vzdálenosti	$u_{B1}$	0,0	B	3,35E-01	rovn	1,0	1,12E-01
4	Vliv prostředí za det.	$u_{a2}$	0,0	B	0,00E+00	rovn	1,0	0,00E+00
5	Repro. Měření	$u_{A2}$	0,0	A	1,00E-03	norm	1,0	1,00E-06
<b>součet kvadrátů</b>								1,45E-01
<b>kombin. stand. nejistota</b>								3,81E-01
<b>rozšířená nejistota</b>								<b>7,61E-01</b>

Tabulka č. 5 Pro vzdálenost 136 mm

	nejistota	veli- čina Xi	odhad hodnoty typ		standardní nejistota	pravdě- podob- nostní rozdělení	citli- vostní koefi- cient	kvadrát příspěvku k nejisto- tě [nA]
		[nA]	xi					
1	Referenční detektor	$u_{A1}$	9,0	A	1,63E-03	norm	1,0	2,66E-06
2	Keitley 6517b	$u_{B4}$	0,0	B	1,02E-01	rovn	1,0	1,04E-02
3	Odměrování vzdálenosti	$u_{B1}$	0,0	B	1,34E-01	rovn	1,0	1,80E-02
4	Vliv prostředí za det.	$u_{a2}$	0,0	B	0,00E+00	rovn	1,0	0,00E+00
5	Repro. Měření	$u_{A2}$	0,0	A	1,00E-03	norm	1,0	1,00E-06
<b>součet kvadrátů</b>								2,84E-02
<b>kombin. stand. nejistota</b>								1,69E-01
<b>rozšířená nejistota</b>								<b>3,37E-01</b>

Tabulka č. 6 Pro vzdálenost 196 mm

	nejistota	veli- čina Xi	odhad hodnoty typ		standardní nejistota	pravdě- podob- nostní rozdělení	citli- vostní koefi- cient	kvadrát příspěvku k nejisto- tě [nA]
		[nA]	xi					
1	Referenční detektor	$u_{A1}$	4,7	A	0,00E+00	norm	1,0	0,00E+00
2	Keitley 6517b	$u_{B4}$	0,0	B	5,27E-02	rovn	1,0	2,78E-03
3	Odměrování vzdálenosti	$u_{B1}$	0,0	B	4,78E-02	rovn	1,0	2,29E-03
4	Vliv prostředí za det.	$u_{a2}$	0,0	B	0,00E+00	rovn	1,0	0,00E+00
5	Repro. Měření	$u_{A2}$	0,0	A	1,00E-03	norm	1,0	1,00E-06
<b>součet kvadrátů</b>								5,06E-03
<b>kombin. stand. nejistota</b>								7,12E-02
<b>rozšířená nejistota</b>								<b>1,42E-01</b>

Tabulka č. 7 Pro vzdálenost 296 mm

	nejistota	veli- čina Xi	odhad hodnoty typ		standardní nejistota	pravdě- podob- nostní rozdělení	citli- vostní koefi- cient	kvadrát příspěvku k nejisto- tě [nA]
		[nA]	xi					
1	Referenční detektor	$u_{A1}$	2,1	A	5,00E-04	norm	1,0	2,50E-07
2	Keitley 6517b	$u_{B4}$	0,0	B	2,40E-02	rovn	1,0	5,76E-04
3	Odměrování vzdálenosti	$u_{B1}$	0,0	B	1,45E-02	rovn	1,0	2,11E-04
4	Vliv prostředí za det.	$u_{a2}$	0,0	B	0,00E+00	rovn	1,0	0,00E+00
5	Repro. Měření	$u_{A2}$	0,0	A	1,00E-03	norm	1,0	1,00E-06
<b>součet kvadrátů</b>								7,88E-04
<b>kombin. stand. nejistota</b>								2,81E-02
<b>rozšířená nejistota</b>								<b>5,61E-02</b>

Tabulka č. 8 Pro vzdálenost 546 mm

	nejistota	veli- čina Xi	odhad hodnoty typ		standardní nejistota	pravdě- podob- nostní rozdělení	citli- vostní koefi- cient	kvadrát příspěvku k nejisto- tě [nA]
		[nA]	xi					
1	Referenční detektor	$u_{A1}$	0,6	A	1,11E-02	norm	1,0	1,22E-04
2	Keitley 6517b	$u_{B4}$	0,0	B	7,31E-03	rovn	1,0	5,34E-05
3	Odměrování vzdálenosti	$u_{B1}$	0,0	B	2,36E-03	rovn	1,0	5,57E-06
4	Vliv prostředí za det.	$u_{a2}$	0,0	B	0,00E+00	rovn	1,0	0,00E+00
5	Repro. Měření	$u_{A2}$	0,0	A	1,00E-03	norm	1,0	1,00E-06
<b>součet kvadrátů</b>								1,82E-04
<b>kombin. stand. nejistota</b>								1,35E-02
<b>rozšířená nejistota</b>								<b>2,70E-02</b>

Tabulka č. 9 Pro vzdálenost 1046 mm

	nejistota	veli- čina Xi	odhad hodnoty typ		standardní nejistota	pravdě- podob- nostní rozdělení	citli- vostní koeffi- cient	kvadrát příspěvku k nejisto- tě [nA]
		[nA]	xi					
1	Referenční detektor	$u_{A1}$	0,2	A	1,50E-04	norm	1,0	2,25E-08
2	Keitley 6517b	$u_{B4}$	0,0	B	2,03E-03	rovn	1,0	4,12E-06
3	Odměrování vzdálenosti	$u_{B1}$	0,0	B	1,80E-04	rovn	1,0	3,24E-08
4	Vliv prostředí za det.	$u_{a2}$	0,0	B	0,00E+00	rovn	1,0	0,00E+00
5	Repro. Měření	$u_{A2}$	0,0	A	1,00E-03	norm	1,0	1,00E-06
<b>součet kvadrátů</b>								5,18E-06
<b>kombin. stand. nejistota</b>								2,28E-03
<b>rozšířená nejistota</b>								<b>4,55E-03</b>

### 9.3 Příloha 3 Bilanční tabulky kalibrovaného detektoru komparační metody

Tabulka č. 1 Pro vzdálenost 0 mm

	nejistota	veli- čina Xi	odhad		standardní nejistota	pravdě- podob- nostní rozdělení	citli- vostní koeffi- cient	kvadrát příspěvku k nejisto- tě [nA]
		[nA]	hodnoty	typ				
1	Kalibrovaný detektor	$u_{A1}$	90,0	A	0,00E+00	norm	1,0	0,00E+00
2	RM2000	$u_{B3}$	0,0	B	1,04E+00	rovn	1,0	1,08E+00
3	Referenční detektor	$u_c$	0,0	B	4,20E-01	rovn	1,0	1,76E-01
<b>součet kvadrátů</b>								1,26E+00
<b>kombin. stand. nejistota</b>								1,12E+00
<b>rozšířená nejistota</b>								<b>2,24E+00</b>

Tabulka č. 2 Pro vzdálenost 20 mm

	nejistota	veli- čina Xi	odhad		standardní nejistota	pravdě- podob- nostní rozdělení	citli- vostní koeffi- cient	kvadrát příspěvku k nejisto- tě [nA]
		[nA]	hodnoty	typ				
1	Kalibrovaný detektor	$u_{A1}$	63,4	A	1,00E-02	norm	1,0	1,00E-04
2	RM2000	$u_{B3}$	0,0	B	7,32E-01	rovn	1,0	5,36E-01
3	Referenční detektor	$u_c$	0,0	B	2,90E-01	rovn	1,0	8,41E-02
<b>součet kvadrátů</b>								6,20E-01
<b>kombin. stand. nejistota</b>								7,87E-01
<b>rozšířená nejistota</b>								<b>1,57E+00</b>

Tabulka č. 3 Pro vzdálenost 30 mm

	nejistota	veli- čina Xi	odhad		standardní nejistota	pravdě- podob- nostní rozdělení	citli- vostní koeffi- cient	kvadrát příspěvku k nejisto- tě [nA]
		[nA]	hodnoty	typ				
1	Kalibrovaný detektor	$u_{A1}$	51,7	A	0,00E+00	norm	1,0	0,00E+00
2	RM2000	$u_{B3}$	0,0	B	5,97E-01	rovn	1,0	3,56E-01
3	Referenční detektor	$u_c$	0,0	B	6,00E-01	rovn	1,0	3,60E-01
<b>součet kvadrátů</b>								7,16E-01
<b>kombin. stand. nejistota</b>								2,40E-01
<b>rozšířená nejistota</b>								<b>4,80E-01</b>

Tabulka č. 4 Pro vzdálenost 50 mm

	nejistota	veli- čina Xi	odhad		standardní nejistota	pravdě- podob- nostní rozdělení	citli- vostní koefi- cient	kvadrát příspěvku k nejisto- tě [nA]
		[nA]	hodnoty xi	typ				
1	Kalibrovaný detektor	$u_{A1}$	34,7	A	0,00E+00	norm	1,0	0,00E+00
2	RM2000	$u_{B3}$	0,0	B	4,01E-01	rovn	1,0	1,61E-01
3	Referenční detektor	$u_c$	0,0	B	4,00E-01	rovn	1,0	1,60E-01
<b>součet kvadrátů</b>								3,21E-01
<b>kombin. stand. nejistota</b>								1,60E-01
<b>rozšířená nejistota</b>								<b>3,20E-01</b>

Tabulka č. 5 Pro vzdálenost 90 mm

	nejistota	veli- čina Xi	odhad		standardní nejistota	pravdě- podob- nostní rozdělení	citli- vostní koefi- cient	kvadrát příspěvku k nejisto- tě [nA]
		[nA]	hodnoty xi	typ				
1	Kalibrovaný detektor	$u_{A1}$	18,6	A	0,00E+00	norm	1,0	0,00E+00
2	RM2000	$u_{B3}$	0,0	B	2,15E-01	rovn	1,0	4,62E-02
3	Referenční detektor	$u_c$	0,0	B	9,00E-02	rovn	1,0	8,10E-03
<b>součet kvadrátů</b>								5,43E-02
<b>kombin. stand. nejistota</b>								2,33E-01
<b>rozšířená nejistota</b>								<b>4,66E-01</b>

Tabulka č. 6 Pro vzdálenost 150 mm

	nejistota	veli- čina Xi	odhad		standardní nejistota	pravdě- podob- nostní rozdělení	citli- vostní koefi- cient	kvadrát příspěvku k nejisto- tě [nA]
		[nA]	hodnoty xi	typ				
1	Kalibrovaný detektor	$u_{A1}$	8,5	A	0,00E+00	norm	1,0	0,00E+00
2	RM2000	$u_{B3}$	0,0	B	9,77E-02	rovn	1,0	9,55E-03
3	Referenční detektor	$u_c$	0,0	B	4,00E-02	rovn	1,0	1,60E-03
<b>součet kvadrátů</b>								1,11E-02
<b>kombin. stand. nejistota</b>								1,06E-01
<b>rozšířená nejistota</b>								<b>2,11E-01</b>

Tabulka č. 7 Pro vzdálenost 250 mm

	nejistota	veli- čina $X_i$	odhad		standardní nejistota	pravdě- podob- nostní rozdělení	citli- vostní koefi- cient	kvadrát příspěvku k nejisto- tě [nA]
		[nA]	hodnoty xi	typ				
1	Kalibrovaný detektor	$u_{A1}$	3,4	A	0,00E+00	norm	1,0	0,00E+00
2	RM2000	$u_{B3}$	0,0	B	3,90E-02	rovn	1,0	1,52E-03
3	Referenční detektor	$u_c$	0,0	B	2,00E-02	rovn	1,0	4,00E-04
<b>součet kvadrátů</b>								1,92E-03
<b>kombin. stand. nejistota</b>								4,38E-02
<b>rozšířená nejistota</b>								<b>8,77E-02</b>

Tabulka č. 8 Pro vzdálenost 500 mm

	nejistota	veli- čina $X_i$	odhad		standardní nejistota	pravdě- podob- nostní rozdělení	citli- vostní koefi- cient	kvadrát příspěvku k nejisto- tě [nA]
		[nA]	hodnoty xi	typ				
1	Kalibrovaný detektor	$u_{A1}$	0,8	A	1,67E-04	norm	1,0	2,79E-08
2	RM2000	$u_{B3}$	0,0	B	9,00E-03	rovn	1,0	8,10E-05
3	Referenční detektor	$u_c$	0,0	B	4,00E-03	rovn	1,0	1,60E-05
<b>součet kvadrátů</b>								9,70E-05
<b>kombin. stand. nejistota</b>								9,85E-03
<b>rozšířená nejistota</b>								<b>1,97E-02</b>



## 9.4 Příloha 4 Bilanční tabulky referenčního detektoru komparační metody

Tabulka č. 1 Pro vzdálenost 0 mm

	nejistota	veli- čina Xi	odhad		standardní nejistota	pravdě- podob- nostní rozdělení	citli- vostní koeffi- cient	kvadrát příspěvku k nejisto- tě [nA]
		[nA]	hodnoty	typ				
1	Referenční detektor	$u_{A1}$	90,4	A	1,67E-02	norm	1,0	2,79E-04
2	Keitley 6517b	$u_{B4}$	0,4	B	4,18E-01	rovn	1,0	1,75E-01
<b>součet kvadrátů</b>								1,75E-01
<b>kombin. stand. nejistota</b>								4,18E-01
<b>rozšířená nejistota</b>								<b>8,37E-01</b>

Tabulka č. 2 Pro vzdálenost 20 mm

	nejistota	veli- čina Xi	odhad		standardní nejistota	pravdě- podob- nostní rozdělení	citli- vostní koeffi- cient	kvadrát příspěvku k nejisto- tě [nA]
		[nA]	hodnoty	typ				
1	Referenční detektor	$u_{A1}$	63,5	A	3,96E-03	norm	1,0	1,57E-05
2	Keitley 6517b	$u_{B4}$	0,3	B	2,93E-01	rovn	1,0	8,58E-02
<b>součet kvadrátů</b>								8,59E-02
<b>kombin. stand. nejistota</b>								2,93E-01
<b>rozšířená nejistota</b>								<b>5,86E-01</b>

Tabulka č. 3 Pro vzdálenost 30 mm

	nejistota	veli- čina Xi	odhad		standardní nejistota	pravdě- podob- nostní rozdělení	citli- vostní koeffi- cient	kvadrát příspěvku k nejisto- tě [nA]
		[nA]	hodnoty	typ				
1	Referenční detektor	$u_{A1}$	51,9	A	9,30E-03	norm	1,0	8,65E-05
2	Keitley 6517b	$u_{B4}$	0,2	B	2,40E-01	rovn	1,0	5,76E-02
<b>součet kvadrátů</b>								5,77E-02
<b>kombin. stand. nejistota</b>								2,40E-01
<b>rozšířená nejistota</b>								<b>4,80E-01</b>

Tabulka č. 4 Pro vzdálenost 50 mm

	nejistota	veli- čina Xi	odhad		standardní nejistota	pravdě- podob- nostní rozdělení	citli- vostní koeffi- cient	kvadrát příspěvku k nejisto- tě [nA]
		[nA]	hodnoty	typ				
1	Referenční detektor	$u_{A1}$	35,3	A	1,80E-03	norm	1,0	3,24E-06
2	Keitley 6517b	$u_{B4}$	0,2	B	1,63E-01	rovn	1,0	2,66E-02
<b>součet kvadrátů</b>								2,66E-02
<b>kombin. stand. nejistota</b>								1,63E-01
<b>rozšířená nejistota</b>								<b>3,26E-01</b>

Tabulka č. 5 Pro vzdálenost 90 mm

	nejistota	veli- čina Xi	odhad		standardní nejistota	pravdě- podob- nostní rozdělení	citli- vostní koeffi- cient	kvadrát příspěvku k nejisto- tě [nA]
		[nA]	hodnoty	typ				
1	Referenční detektor	$u_{A1}$	18,4	A	1,67E-03	norm	1,0	2,79E-06
2	Keitley 6517b	$u_{B4}$	0,0	B	8,51E-02	rovn	1,0	7,24E-03
<b>součet kvadrátů</b>								7,24E-03
<b>kombin. stand. nejistota</b>								8,51E-02
<b>rozšířená nejistota</b>								<b>1,70E-01</b>

Tabulka č. 6 Pro vzdálenost 150 mm

	nejistota	veli- čina Xi	odhad		standardní nejistota	pravdě- podob- nostní rozdělení	citli- vostní koeffi- cient	kvadrát příspěvku k nejisto- tě [nA]
		[nA]	hodnoty	typ				
1	Referenční detektor	$u_{A1}$	8,5	A	1,63E-03	norm	1,0	2,66E-06
2	Keitley 6517b	$u_{B4}$	0,0	B	3,90E-02	rovn	1,0	1,52E-03
<b>součet kvadrátů</b>								1,52E-03
<b>kombin. stand. nejistota</b>								3,90E-02
<b>rozšířená nejistota</b>								<b>7,81E-02</b>

Tabulka č. 7 Pro vzdálenost 250 mm

	nejistota	veli- čina $X_i$	odhad hodnoty typ		standardní nejistota	pravdě- podob- nostní rozdělení	citli- vostní koeffi- cient	kvadrát příspěvku k nejisto- tě [nA]
		[nA]	xi					
1	Referenční detektor	$u_{A1}$	3,3	A	1,67E-03	norm	1,0	2,79E-06
2	Keitley 6517b	$u_{B4}$	0,0	B	1,53E-02	rovn	1,0	2,34E-04
<b>součet kvadrátů</b>								2,37E-04
<b>kombin. stand. nejistota</b>								1,54E-02
<b>rozšířená nejistota</b>								<b>3,08E-02</b>

Tabulka č. 8 Pro vzdálenost 500 mm

	nejistota	veli- čina $X_i$	odhad hodnoty typ		standardní nejistota	pravdě- podob- nostní rozdělení	citli- vostní koeffi- cient	kvadrát příspěvku k nejisto- tě [nA]
		[nA]	xi					
1	Referenční detektor	$u_{A1}$	0,8	A	3,67E-04	norm	1,0	1,35E-07
2	Keitley 6517b	$u_{B4}$	0,0	B	3,55E-03	rovn	1,0	1,26E-05
<b>součet kvadrátů</b>								1,27E-05
<b>kombin. stand. nejistota</b>								3,57E-03
<b>rozšířená nejistota</b>								<b>7,14E-03</b>