

**Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích  
Přírodovědecká fakulta**

# **Monitorování radioaktivity a vybraných veličin a přenos na CLOUD**

Bakalářská práce

**Vratislav Címr**

Školitel: Ing. Petr Maňák

České Budějovice 2020

**Bibliografické údaje:**

V. Címr, 2020: Monitorování radioaktivity a vybraných veličin a přenos na CLOUD [Monitoring of radioactivity and chosen physical quantities and transfer to CLOUD, Bc. Thesis, in Czech] – 62 p., Faculty of Science, University of South Bohemia, České Budějovice, Czech Republic

**Abstrakt:**

Bakalářská práce se zabývá návrhem a sestrojením zařízení, které je určeno k měření veličiny radioaktivity – příkon prostorového dávkového ekvivalentu v hloubce tkáně 10 mm a dalších vybraných veličin. Tyto veličiny pak odesílá na CLOUD, který umožňuje jejich přehledné zobrazení. V práci je popsán návrh zařízení, jeho sestavení, naprogramování a testování.

**Abstract:**

The bachelor's thesis deals with the design and construction of a device that is designed to measure the quantity of radioactivity – the ambient dose rate equivalent at a tissue depth of 10 mm and other selected quantities. It then sends these quantities to CLOUD, which allows them to be clearly displayed. The work describes the design of the device, its construction, programming and testing.

**Poděkování**

Tímto bych chtěl poděkovat svému vedoucímu práce, Ing. Petrovi Maňákovi, za vstřícnost, ochotu a odborné rady využité při zpracování této práce. Dále bych chtěl také poděkovat garantovi, Ing. Václavu Novákovi, CSc., za jeho ochotu, trpělivost a poskytnutí odborného názoru na tuto práci. V poslední řadě bych chtěl poděkovat svému kolegovi, Ing. Tomášovi Birčákovi, za formální posouzení této práce a za spolupráci při zpracování dat a svojí přítelkyni a rodině, za trpělivost a oporu.

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

**ZADÁVACÍ PROTOKOL BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

**Student:** Vratislav Cimr  
(jméno, příjmení, tituly)

**Obor – zaměření studia:** 2612R057 / Měřicí a výpočetní technika

**Katedra/ústav PŘF JU, kde bude práce vypracována a obhájena:** Ústav Fyziky

**Školitel:** Ing. Petr Maňák, Jaderná elektrárna Temelín, +420 724 685 811,  
manakpe@seznam.cz  
(jméno, příjmení, tituly, u externího š. název a adresa pracoviště, telefon, fax, e-mail)

**Garant z PŘF JU:** Ing. Václav Novák, CSc. Ústav aplikované informatiky novak@prf.jcu.cz  
(jméno, příjmení, tituly, katedra – jen v případě externího školitele)

**Školitel – specialista, konzultant:** .....  
(jméno, příjmení, tituly, u externího š. název a adresa pracoviště, telefon, fax, e-mail)

**Téma bakalářské práce: Monitorování radioaktivity a vybraných veličin a přenos na CLOUD**

Cíle práce:

Stávající systém dálkového měření radiační situace (RRMS) na Jaderné elektrárně Temelín je tvořen soustavou detektorů pro měření dávkového příkonu a objemové aktivity. V rámci systému RRMS nejsou tato měření doplněna o další informace o pracovním prostředí.

Cílem této práce je vytvořit ucelenou soustavu detektorů a čidel, která měření dávkového příkonu doplní o další vybrané veličiny (teplota, vlhkost, tlak, počet lidí v monitorovaném prostředí). Model tohoto systému bude realizován pomocí počítače Arduino a doplňkových detektorů/čidel. Přístup k datům bude umožněn přes CLOUD.


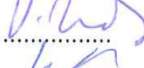

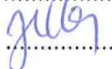
Implementace tohoto modelu do prostředí jaderné elektrárny by zajistila zvýšenou ochranu pracovníků a jejich informovanost o technologii.

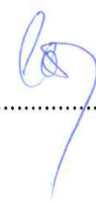
Základní doporučená literatura:

**Kolářek, B.** (2014). *Základy radiační ochrany*. Brno: ČEZ a.s.

**Halliday, D., Resnick, R., Walker, J.** (2014). *Fyzika 1 a 2*. Brno: Nakladatelství VUTIUM.

**Kolektiv autorů.** (2000). *Principy a praxe radiační ochrany*. Praha: Nakladatelství AZIN CZ.

Financování práce .....  
Školitel práce Ing. Petr Maňák ..... podpis:   
U externích vedoucích fakultní garant práce Ing. Václav Novák, CSc. .... podpis:   
Garant oboru bak. studia (nepožaduje se u oboru biologie) ..... podpis:   
Vedoucí katedry/ústavu PŘF JU, kde proběhne obhajoba..... podpis:   
Případný souhlas vedoucího ústavu AV ..... podpis: .....

V Českých Budějovicích dne 3.12.19 ..... Podpis studenta  .....

## **Prohlášení**

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

Prohlašuji, že v souladu s § 47 zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské/diplomové práce, a to – v nezkrácené podobě/v úpravě vzniklé vypuštěním vyznačených částí archivovaných Přírodovědeckou fakultou – 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 18.5.2020

.....

Vratislav Cimr

# Obsah

<b>1 ÚVOD</b> .....	<b>2</b>
<b>2 TEORIE</b> .....	<b>3</b>
2.1 RADIOAKTIVITA .....	3
2.2 DRUHY IONIZUJÍCÍHO ZÁŘENÍ .....	3
2.3 INTERAKCE IONIZUJÍCÍHO ZÁŘENÍ .....	5
2.4 VELIČINY IONIZUJÍCÍHO ZÁŘENÍ .....	7
2.5 DETEKTORY IONIZUJÍCÍHO ZÁŘENÍ .....	8
2.6 SYSTÉM RRMS .....	10
2.7 POUŽITÁ ELEKTRONIKA .....	12
2.7.1 <i>Jednodeskový počítač Arduino Mega2560</i> .....	13
2.7.2 <i>Modul s GM detektorem RadiationD – v1.1(CAJOE)</i> .....	13
2.7.3 <i>Čidlo měření teploty a relativní vlhkosti DHT22</i> .....	14
2.7.4 <i>Čidlo měření teploty a tlaku BMP180</i> .....	15
2.7.5 <i>Rotační kodér</i> .....	15
2.7.6 <i>RTC modul DS3231 a paměťový modul AT24C32</i> .....	16
2.7.7 <i>SD modul</i> .....	16
2.7.8 <i>Wi – Fi modul ESP8266 ESP01</i> .....	17
2.7.9 <i>Stabilizátor napětí 7805CV</i> .....	17
2.7.10 <i>Stepdown měnič napětí s LM2596</i> .....	18
2.8 THINGSPEAK CLOUD .....	18
<b>3 METODIKA</b> .....	<b>19</b>
3.1 VÝBĚR JEDNODESKOVÉHO POČÍTAČE .....	19
3.2 VÝBĚR DETEKTORU IONIZUJÍCÍHO ZÁŘENÍ .....	19
3.3 POUŽITÁ ČIDLA .....	19
<b>4 ŘEŠENÍ A VÝSLEDKY</b> .....	<b>21</b>
4.1 BLOKOVÉ SCHÉMA A SCHÉMA KOMPLETNÍHO ZAPOJENÍ .....	21
4.2 VÝVOJOVÝ DIAGRAM PROGRAMU .....	24
4.3 METODY VÝPOČTU PRŮMĚRNÝCH HODNOT .....	28
4.3.1 <i>Pomocí aritmetického a klouzavého průměru</i> .....	28
4.3.2 <i>Metoda výpočtu pomocí pevného počtu impulzů</i> .....	29
4.4 KALIBRACE GM DETEKTORU .....	30
4.5 NAPOJENÍ NA CLOUD .....	31
4.6 PRAKTICKÉ UKÁZKY ZAŘÍZENÍ .....	32
4.7 UKÁZKY VÝSTUPŮ Z CLOUDU .....	36
4.8 TESTOVÁNÍ ZAŘÍZENÍ .....	38
4.8.1 <i>Analýza hodnot PDE</i> .....	38
4.8.2 <i>Testování GM detektoru zářičem <math>\beta</math></i> .....	39
4.8.3 <i>Testování GM detektoru zářičem <math>\gamma</math></i> .....	40
4.8.4 <i>Simulace úniku média</i> .....	42
4.8.5 <i>Analýza meteorologických hodnot</i> .....	45
<b>5 ZÁVĚR</b> .....	<b>47</b>
<b>I. SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ</b> .....	<b>49</b>
<b>II. SEZNAM OBRÁZKŮ, TABULEK A GRAFŮ</b> .....	<b>54</b>
<b>III. SEZNAM ZKRATEK</b> .....	<b>56</b>
<b>IV. SLOVNÍČEK</b> .....	<b>58</b>
<b>V. PŘÍLOHY</b> .....	<b>59</b>

# 1 ÚVOD

Úvodní část bakalářské práce se zabývá radioaktivitou, jakým způsobem vzniká, proč je nebezpečná, jak ji můžeme měřit a jaké veličiny jí charakterizují.

Další část bakalářské práce se věnuje analýze a popisu stávajícího systému dálkového měření radiace (anglicky RRMS – Remote Radiation Monitoring System) na Jaderné elektrárně Temelín, možnostmi jeho vylepšení zabezpečením vyšší úroveň radiační ochrany pracovníků jaderné elektrárny společně s komfortem při získávání informací. V moderní době je běžné, že člověk získává spoustu informací on – line, ať už pomocí osobního počítače nebo chytrého telefonu. Konkrétně se zabýváme doplněním stávajícího měření radiace o další veličiny jako je teplota, vlhkost, tlak a počet lidí v místnosti/oblasti a přenosu těchto dat na CLOUD. Z CLOUDU pak tato data zpřístupnit na počítači, či chytrém telefonu konkrétního uživatele.

Postupně se tak dostáváme k návrhu nového zařízení, které tento cíl splňuje a k jeho realizaci. Zařízení je tvořeno počítačem Arduino a soustavou čidel/detektorů. Vše je umístěno v maketě místnosti, která simuluje reálnou podobu zařízení v prostředí jaderné elektrárny.

V poslední části se tato práce věnuje zkoušení tohoto zařízení v praxi a analýzou jeho výstupů, zda by bylo v praxi použitelné.

Vytyčil jsem si následující cíle:

- Zabezpečit vyšší úroveň radiační ochrany pracovníků v kontrolovaných pásmech jaderných elektráren doplněním stávajícího měření radiace o další vybrané veličiny.
- Vylepšit HCI, aby měli pracovníci možnost snadno přistupovat k hodnotám parametrů pomocí CLOUDu.
- Testování a kalibrace zařízení.

## 2 TEORIE

### 2.1 Radioaktivita

Definicí radioaktivity je spousta, můžeme uvést například tuto ze zdroje [2]: „Radioaktivita je náhodná neovlivnitelná změna jádra provázená emisí částice nebo částic“. Podle tohoto zdroje lze jádra atomů rozdělit na dvě skupiny, na stabilní, jejichž doba života je nekonečná a na nestabilní, jejichž doba života je omezená. Radioaktivitě, nebo též radioaktivní přeměně (nepřesně radioaktivnímu rozpadu), podléhají právě jádra nestabilní. Cílem radioaktivní přeměny je dosáhnout stabilnější formy atomu. Podmínkou je dle [2] vyšší energetická hladina jádra před přeměnou než po přeměně. Rozdíl těchto energií je vyzářen ve formě ionizujícího záření. Radioaktivitu lze dále rozdělit na umělou a přírodní. Přírozená radioaktivita je důsledkem samovolné přeměny atomového jádra a přírodně radioaktivních látek je v přírodě mnoho, jak uvádí [4]. Kdežto umělá radioaktivita je podmíněna přeměnou jádra, která je způsobena vnějším vlivem. Takováto jádra v přírodě neexistují, jsou vytvořena uměle.

Rozpad jádra je náhodný proces a dochází k němu s určitou pravděpodobností [2]. Jedním ze základních pojmů, který tuto pravděpodobnost vyjadřuje, je poločas přeměny. Je definován dle [3] jako doba, za kterou se přemění polovina celkového počtu atomárních jader ve vzorku. Obvykle se uvádí, že zhruba po deseti poločasech rozpadu je daná látka neradioaktivní. Tuto veličinu neovlivníme změnou vnějších podmínek (teplota, tlak, apod.).

Dle [2] známe čtyři přírozené rozpadové řady, všechny končí stabilním jádrem, jsou to řady uran – radiová, uran – aktiniová, thoriová a neptuniová. Další řady pak můžou vzniknout rozpadem jader umělých izotopů [4].

Pojem izotop a radionuklid je také důležitý pro tuto práci. Izotop je atom stejného prvku lišící se neutronovým, čili i nukleonovým číslem a radionuklid je pak soubor izotopů [4]. Nutno podotknout, že izotopy mohou být stabilní, tzn. dále se nerozpadají, či nestabilní, a ty už podléhají radioaktivní přeměně.

### 2.2 Druhy ionizujícího záření

Záření  $\alpha$  je proud částic  $\alpha$ , nebo také proud heliových jader (2 protony, 2 neutrony), jak je uvedeno v [27]. Z toho důvodu se při přeměně  $\alpha$  prvek posune o dvě místa vlevo v periodické soustavě prvků. Toto záření je charakterizováno vysokými energiemi a



krátkými dolety. Podle [2] a [29] je dolet ve vzduchu v řádu jednotek centimetru, dá se odstínit i listem papíru. Z hlediska zevního ozáření nepředstavuje dle [3] významný problém, neboť je pohlceno v epitelové tkáni kůže, díky čemuž nepůsobí na buňky, které podléhají buněčnému dělení. Naopak při vnitřním ozáření je velmi nebezpečné, neboť působí z bezprostřední blízkosti na orgány člověka a spolu s vysokými energiemi se jedná o skutečně smrtelnou kombinaci [4]. Nejznámější a velmi diskutovaný  $\alpha$  zářič je bezesporu radon. Je nebezpečný v souvislosti s vnitřním ozářením a je třeba uvést, že to není přímo radon, co způsobuje poškození buněk, ale spíše produkty jeho přeměny, které se jako kovy usazují hlavně v plicích, jak uvádí [3]. Na druhou stranu se úspěšně využívá léčby radonem, kdy  $\alpha$  záření je schopno spustit obranný mechanismus poškozených buněk, který buňku usmrtí.

Dalším druhem záření je záření  $\beta$ , což jsou dle [27] elektrony nebo pozitrony, které jsou emitovány při přeměně  $\beta$ . Pronikavost je vzhledem k  $\alpha$  záření vyšší, energie jsou nižší. Dolet ve vzduchu je uváděn v [29] v řádu desítek centimetrů, k jeho odstínění stačí vrstva hliníku o šířce jednotek milimetru. S tímto zářením už počítáme i při vnějším ozáření, protože je schopnou proniknout vrstvou kůže k buňkám, které mají schopnost dělit se. Je třeba dodat, že přeměny  $\beta$  mohou být trojího druhu, jak uvádí [27]. Prvním z nich je přeměna  $\beta^-$ , při které se neutron změní na proton za současné emise elektronu a antineutrína a dochází tak k posunu prvku o jedno místo doprava v periodické soustavě prvků. U přeměny  $\beta^+$  zase dochází ke změně protonu na neutron za emise pozitronu a neutrína, čili o jedno místo doleva v periodické soustavě prvků. Posledním druhem je takzvaný elektronový záchyt, u nějž je situace podobná jako u přeměny  $\beta^+$  s tím rozdílem, že proton pohltí elektron a změní se na neutron, za současné emise neutrína [4]. Posun je stejný jako u přeměny  $\beta^+$ . Veškeré děje probíhají v jádře atomu, je to dokázané pozorováním jader zbavených elektronových obalů, jak uvádí [4].

Nejznámějším druhem záření je bezesporu záření  $\gamma$ , což je dle [27] vysoce energetické elektromagnetické vlnění nebo také proud fotonů. Toto záření je pronikavější než záření  $\alpha$  a  $\beta$ , energie bývá většinou nižší, ale není to dle [2] pravidlem, zvláště ve srovnání se zářením  $\beta$ . Ionizační schopnost už je ovšem nižší. Dolety ve vzduchu jsou řádově metry, k odstínění už je potřeba větší vrstva materiálu, závisí na intenzitě záření [29]. Jako nejvhodnější stínící materiál se uvádí olovo. Přeměna  $\gamma$  jako taková dle [3] není definována, protože záření  $\gamma$  je emitováno během přeměn  $\alpha$  a  $\beta$ , kdy po přeměně je jádro v excitovaném stavu a při deexcitaci dojde k vyzáření fotonu  $\gamma$ . Buď hned, nebo během

nějaké doby (takové stavy se nazývají metastabilní) [4]. Tímto se také liší od rentgenového záření, to vzniká v obalu atomu a ne v jádře jako záření  $\gamma$ , ale ostatní vlastnosti mají stejné, jak uvádí [27]. Pro člověka je velmi nebezpečné, vzhledem k jeho doletu a pronikavosti. Dle [4] se využívá se při sterilizaci potravin, nástrojů, pro diagnostické účely v lékařství, ale i k léčbě nádorových onemocnění, což je paradoxní vzhledem k tomu, že samo může způsobovat rakovinu. S tímto druhem záření se setkáme v kontrolovaném pásmu jaderné elektrárny nejčastěji, viz [28].

Posledním druhem záření, s nímž bychom se v kontrolovaném pásmu jaderné elektrárny mohli setkat, je záření neutronové. Je tvořeno proudem neutronů, které vznikají při jaderném štěpení nebo emisí z jader, které mají nadbytek neutronů [4]. Pronikavost je dle [2] v některých případech i větší než u záření  $\gamma$ , dolety jsou větší, energie může být v některých případech také větší než u  $\alpha$  záření. Je nebezpečné z hlediska vnitřního i vnějšího ozáření, neutronové záření o vysoké energii je srovnatelně nebezpečné jako záření  $\alpha$ , má stejný jakostní činitel, viz [3]. Dalším problémem je to, že může způsobit aktivaci, tzn. může z původně neradioaktivních látek udělat radioaktivní látky, i z tělesné tkáně člověka [4]. Stínění tohoto druhu záření se provádí pomocí látek bohatých na vodík, kde neutrony rychle ztrácejí svoji energii, čili se zpomalí. Tato látka se nazývá moderátor, na jaderné elektrárně Temelín se používá nejčastěji voda [31]. Dále je třeba zpomalené neutrony absorbovat, pro to se používá hlavně bór, kadmium či indium.

Dle [33] existují ještě další druhy záření, ovšem pro potřebu této práce je potřeba znát tyto čtyři základní druhy.

### **2.3 Interakce ionizujícího záření**

Než začneme popisovat veličiny a způsoby detekce záření, je třeba uvést, jaká základní druhy interakcí ionizujícího záření s látkou se pro detekci využívají.

V [2] jsou uvedeny základní druhy interakce přímoionizujícího záření, tzv. toho záření, kde ionizaci způsobují nabitě částice. Prvním je ionizace, kdy z původně elektricky neutrálního atomu udělám kladný ion, čili kation, tím, že dojde k vytržení elektronu z obalu atomu [4]. Dalším, pokud je energie částice menší, je dle [5] excitace, kdy elektron obal neopustí, ale excituje se na vyšší energetickou hladinu. Po ionizaci i excitaci následuje proces, kdy se musí uvolněné místo po elektronu zaplnit, tomu se říká

dle [2] deexcitace. Při deexcitaci se vyzáří energie [4]. Pokud se jedná o těžkou nabitou částici, může dojít k protunelování do jádra a nastává jaderná reakce, jak uvádí [27]. U lehkých nabitých částic zase může dojít ke vzniku brzdného záření, anihilaci, či Čerenkovovu záření. Dle [2] vzniká brzdné záření v obalech atomů v blízkosti jádra, kdy částice ztrácí svoji energii vyzářením spojitého spektra rentgenova záření, čili ve formě fotonu. Anihilace pak dle [3] vzniká interakcí pozitronu s elektronem, který na konci své dráhy pozitron nutně potká. Při interakci částice s antičásticí vzniknou dva anihilační fotony  $\gamma$  o energii 511 keV. Čerenkovovo záření pak vzniká tam, kde se nabitá částice pohybuje v prostředí rychleji než světlo. Při interakci vznikají světelné fotony, které se běžně mění na teplo, ale ve výše uvedeném případě se dle [2] „sčítají“, tedy interferují, to se pak projevuje viditelným zářením. V praxi je to dle [28] vidět v bazénech, kde se skladuje vyhořelé palivo.

Pro tuto práci je také důležité uvést interakce nepřímoionizujícího záření, tedy toho, jehož částice nenesou náboj. Dle [3] jsou to interakce fotonů a neutronů. O fotonech se zmíním detailněji, o neutronech jen stručně.

Fotony interagují dle [2] pomocí fotoefektu, kdy je foton zachycen elektronem a celá jeho energie se přemění na energii elektronu. Elektron buď „odlítne z obalu, nebo vyskočí na vyšší energetickou hladinu“. Při vyšších energiích pak dochází ke Comptonovu jevu, kde dle [2] foton oproti fotoefektu pokračuje dál s nižší energií. Při energiích větších než 1022 keV pak vzniká pár pozitron – elektron, je to vlastně opačný případ než anihilace, jak uvádí [2]. Jako poslední lze dle [3] uvést fotojaderné reakce, kdy má foton dostatečnou energii pro překonání vazebných energií jaderných sil a dostane se do jádra.

Pro neutrony stručně uvedeme jen druhy interakcí bez podrobného vysvětlení. Dle [3] se setkáváme s pružným rozptylem (zpomalení neutronu nárazem do jádra, kinetická energie se nemění), nepružným rozptylem (neutron zvýší energetickou hladinu jádra, změna kinetické energie) a aktivací, kdy neutron pohltí jádro atomu za vyzáření fotonu  $\gamma$  [4]. Dalším případem je štěpení jader, ke kterým dochází dle [27] za specifických podmínek.

## 2.4 Veličiny ionizujícího záření

Veličina aktivita je definována jako počet radioaktivních přeměn za jednotku času. „Jednotkou je tedy reciproká sekunda, ale dostalo se jí názvu Becquerel, po objeviteli radioaktivity“ [3].

Veličin ohodnocujících ionizující záření je více, ale nám budou stačit dvě stěžejní a další vedlejší, které s nimi souvisejí. První je výše jmenovaná aktivita a druhá, pro nás důležitější, jelikož jí budeme měřit a náš měřící přístroj je na ní kalibrován (konkrétně na její příkon, přírůstek za jednotku času), je prostorový dávkový ekvivalent v hloubce tkáně 10 mm ( $H^*(10)$ ) v jednotkách Sv. Definice této veličiny je o něco složitější, je definována jako „dávkový ekvivalent vytvořený odpovídajícím rozšířeným a usměrněným polem v hloubce 10 mm v kouli ICRU na poloměru mířícím proti směru pohybu částic v usměrněném poli“ [3]. Proč v hloubce 10 mm? Je to kvůli schopnosti záření  $\gamma$  dostat se do této hloubky [29]. Dávkový ekvivalent je zase dán součinem dávky v uvažovaném bodě a jakostního činitele, který vyjadřuje různou biologickou účinnost různých druhů záření, o nichž pojednává předchozí kapitola. Jakostní činitel Q je dle [6] bezrozměrná veličina a stanovuje se podle veličiny lineární přenos energie LET, udávané v keV/m, která vyjadřuje množství energie předané částicí látky při průchodu určitou vzdáleností. A nakonec dávka samotná, kterou lze definovat „jako podíl střední sdělené energie a hmotnosti objemového elementu v daném bodě, kterému byla energie předána“ [3]. Jednotka je J/kg, ale užívá se Gy [4]. Pro zjednodušení se jedná o energii, kterou předá ionizující záření nějaké hmotě [29].

Veličinu efektivní dávka uvedu čistě pro zajímavost, protože my s ní pracovat nebudeme, ale v praxi jaderných elektráren je důležitá, podle ní se určuje, zda došlo k překročení stanovených limitů ozáření, nebo ne. Dle [6] je definována jako součet vážených středních hodnot ekvivalentních dávek v tkáních či orgánech lidského těla. Získá se vynásobením ekvivalentní dávky radiačním váhovým faktorem  $w_T$ , který vyjadřuje relativní příspěvek daného orgánu nebo tkáně T k celkové zdravotní újmě způsobené rovnoměrným ozářením těla [4]. Dílčí dávky se sečtou přes všechny ozářené tkáně a orgány, součet všech váhových faktorů se rovná jedné. Ekvivalentní dávka podle [27] umožní porovnat různou biologickou účinnost různých druhů záření jedním číslem. Na jaderné elektrárně Temelín se tedy dle [28] násobí hodnota naměřená dozimetrem váhovým faktorem 0,9 a vyjde nám konečná efektivní dávka. Pro úplnost je třeba uvést, že osobní dozimetry pro pracovníky v kontrolovaném pásmu jaderné

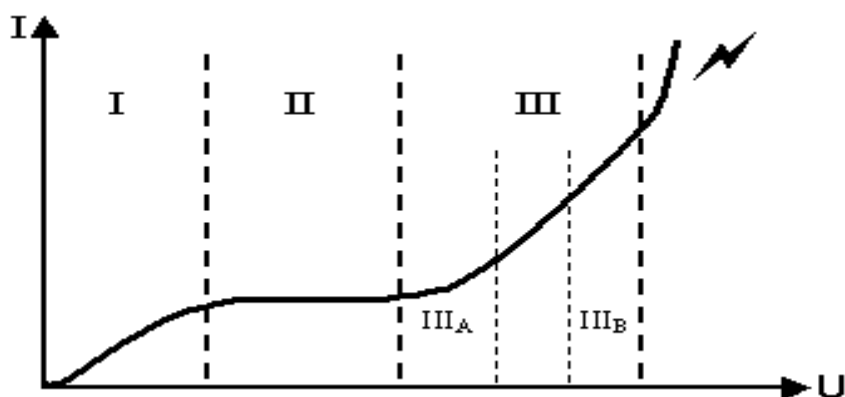
elektrárny měří veličinu osobní dávkový ekvivalent v hloubce tkáně 10 mm ( $H_p(10)$ ), která je definicí i jednotkou stejná jako prostorový dávkový ekvivalent, ale netýká se pracovního prostředí, nýbrž člověka, proto musí mít jiný název, jak je uvedeno v [28]. Jsou to takzvané operační veličiny, které poskytují rozumný odhad veličin základních, které nelze přímo změřit a ve kterých jsou udávány limity (efektivní a ekvivalentní dávka), jak uvádí [3].

V praxi se v jaderných elektrárnách Temelínského typu dle [28] vyskytují tři druhy záření, což je záření  $\beta$ ,  $\gamma$  a záření neutronové. Setkání se zářením  $\alpha$  je velmi málo pravděpodobné. Proč se o tom zmiňuji? Narážím na výše uvedený jakostní činitel, který je právě pro záření  $\beta$  a  $\gamma$  roven jedné [4], u záření neutronového záleží na jeho energii. A se zářením  $\beta$  a  $\gamma$  se setkáváme v prostředí jaderné elektrárny nejčastěji, s neutronovým jen při specifických činnostech, tudíž v zásadě měříme veličinu dávka. Tuto veličinu, respektive veličinu dávkový příkon, což není nic jiného než přírůstek dávky za jednotku času, opravdu měří stávající detektory systému RRMS, dle [23].

## 2.5 Detektory ionizujícího záření

Detektory jsou jediná možnost, jak lze registrovat přítomnost ionizujícího záření, protože člověk to svými smysly nedokáže. Jak už z předchozího textu vyplývá, ionizující záření dokáže poškodit živé tkáně, způsobit zdravotní újmu člověku a to je v této kombinaci dost nebezpečné. Dle [5] je detektor zařízení, které mění nějakou fyzikální veličinu působením ionizujícího záření, měří tedy nepřímě. Detektory pracují v zásadě na třech principech, a to na principu ionizace, excitace a absorpce [4]. U detekce neutronů je problém, protože to není nabitá částice, tudíž neionizuje prostředí, ale umíme převést vhodnou reakcí neutrony na částice nabitě. Dle [5] existuje velké množství detektorů, které lze rozdělit jednak podle principu detekce, nebo podle toho, zda jsou to detektory kontinuální či integrační, nebo zda měří jen intenzitu záření, nebo i druh a energii záření. Ještě se dá rozdělovat podle toho, zda je to materiálový, elektronický nebo fotografický detektor. Protože v této práci používám jen a pouze detektor Geiger – Müllerův, což je vlastně ionizační detektor s plynovou náplní, detailně popíši pouze tento druh detektorů. Zmíním se ale o nejpoužívanějších druzích detektorů: ionizační detektory s plynovou náplní, detektory scintilační, detektory polovodičové [29].

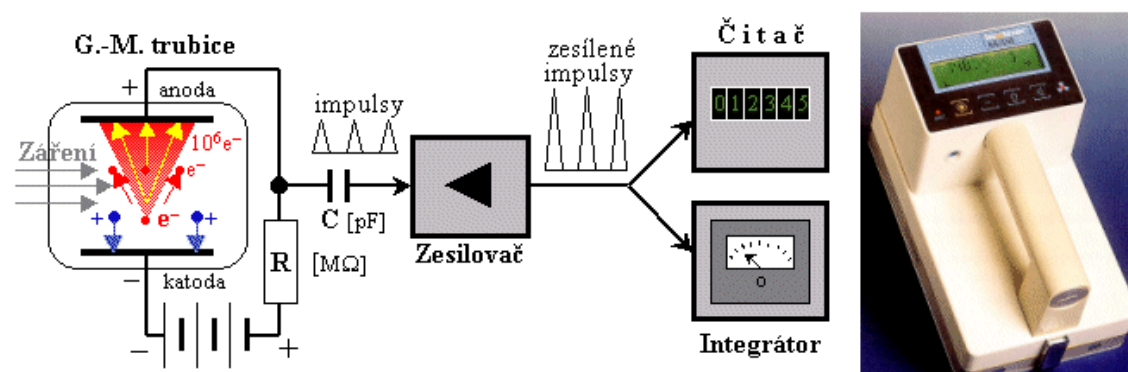
V [5] a [1] je uvedeno, že GM detektor je ionizační detektor s plynovou náplní. Jedná se o hermeticky uzavřenou komoru naplněnou plynem, tento typ detektoru pracuje v oblasti IIIB voltampérové charakteristiky



Obrázek 1: VA charakteristika, převzata z [5].

Je pro něj specifické vysoké napětí 600 – 1000 V. Princip detekce spočívá dle [1] v tom, že po vniknutí kvanta ionizujícího záření dojde v komoře k ionizaci, elektrony jsou přitahovány k anodě, kationty ke katodě. Tyto elektrony pak dle [30] způsobují v plynu tzv. sekundární ionizaci, a tyto sekundární elektrony zase způsobují další ionizaci. Celý proces probíhá lavinovitě a na elektrodách vzniká poměrně velký proudový impuls [4]. Ten způsobí na pracovním odporu impuls napěťový, který se přivede přes kondenzátor na zpracovací zařízení a tím detekujeme kvantum záření jako elektrický signál, jak ukazuje [Obrázek 2]. Nevýhoda tohoto typu detektoru je ta, že všechny impulsy mají stejnou velikost i tvar, takže jsme dle [5] schopni určit pouze intenzitu záření a ne druh záření spolu s energií, říkáme, že detektor nemá spektrometrické vlastnosti. Další důležitá věc je ta, že v době, kdy v komoře je výboj, neprobíhá detekce dalších částic. Říká se tomu mrtvá doba detektoru, jak je uvedeno v [1]. Je nutné výboj přerušit a to se dělá snížením úbytku napětí na pracovním rezistoru, nebo přidáním zhasčecí látky do plynu, která absorbuje UV fotony vznikající v plynu deexcitací vzbuzených atomů (využívá se toho, že molekuly zhasčecí látky mají větší pravděpodobnost toho, že disociují, než že by způsobily emisi volného elektronu z povrchu katody). Existují GM detektory nesamozhášecí a samozhášecí, kde u nesamozhášecích se využívá právě snížení napětí, díky kterému se mrtvá doba velmi zkrátí, ale i přesto se tohoto typu v praxi moc nevyužívá, protože díky použité pokročilé elektronice dojde ke značnému zkomplikování jinak poměrně jednoduché měřicí aparatury, jak říká [1]. Samozhášecí

detektory obsahují buď organickou zhášecí látku, nebo halogenovou. U organické je dle [1] problém, že se dá využít pouze při omezené teplotě a že její molekuly po disociaci už zpět nerekombinují, takže jí ubývá a má tím pádem omezenou životnost. Molekuly halogenové zhášecí látky jsou naopak schopny rekombinovat, takže životnost je poměrně vysoká, teoreticky neomezená [4]. Nevýhody však má také, a to hlavně technologickou složitost výroby (nutná pasivace povrchů kvůli velké chemické reaktivitě halogenů), závislost citlivosti na průměru počítáče (elektronegativní afinita) a dlouhá doba náběhu výstupních impulsů, jak uvádí [1] a [5].



Obrázek 2: Princip GM detektoru, převzato z [5].

Detektory mívají často válcový tvar. Účinnost pro detekci nabitých částic je relativně vysoká, akorát detektor musí mít vhodně tenké vstupní okénko, aby se částice dostaly do citlivého objemu detektoru [4]. Pro fotonové záření je naopak dle [1] nízká, protože fotony mají tendenci citlivým objemem plynu projít bez interakce. Jedině fotony s vyšší energií mohou interagovat s materiálem trubice a elektrony uvolněné touto interakcí jsou již účinně detekovány.

I přes to jsou to dle [30] nejpoužívanější detektory vůbec, vzhledem ke své jednoduchosti a tím, že umí registrovat jednotlivá kvanta záření a nejen pouhou intenzitu. Využívají se pro méně náročná měření, pro přesnější měření se využívá detektorů polovodivých a scintilačních, které mají spektrometrické vlastnosti.

## 2.6 Systém RRMS

Zkratka RRMS znamená remote radiation monitoring system, volně přeloženo jako systém dálkového měření radiace. Účelem RRMS je dle [23] zabezpečit provoznímu personálu komplexní a včasnou informaci o radiační situaci v JE a v jejím okolí, včetně

informací o aktivitě médií v technologických okruzích a výpustech z JE do životního prostředí, a to za normálního i abnormálního provozu a za havarijních a pohavarijních podmínek.

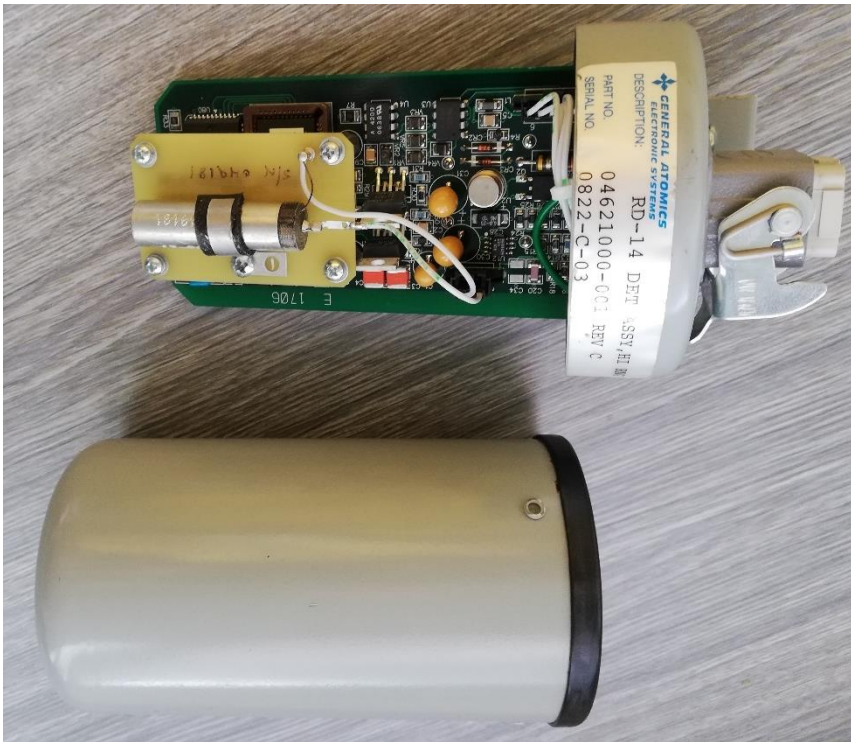
„Základní funkcí RRMS je získání informací, jejich sběr, zobrazení, archivace a signalizace v případě překročení nastavených signalizačních úrovní. Dává též signál k uzavření vybraných armatur k zamezení vypouštění aktivních médií v případě překročení určité úrovně aktivity. Informace z jednotlivých měření RRMS jsou zavedeny do počítačů v centrální dozorně RK (CDRK) a blokové dozorně (BDRK) a z nich do systému ASŘTP (I&C). Důležité informace z hlediska jaderné bezpečnosti jsou nezávisle zavedeny jednak do blokových dozoren RK a jednak do systému ASŘTP, který v případě potřeby zabezpečuje přístup k těmto informacím v blokové dozorně (BD), nouzové dozorně bloku (ND), případně TPS – HŘS“ [23].

Budu se snažit o jednoduchý technický popis systému dle [23] a [28]. Pro jednodušší představu systém popíši od detektorů. Detektor, měřící řetězec a algoritmus zajišťující monitorování ionizujícího záření se nazývá kanál. Existují i pseudokanály, které nemají žádné komponenty a využívají pouze údajů detekčních kanálů. Kanály spolu s pomocným zařízením (např. měření a regulace průtoku technologického média, měření parametrů) jsou spojeny s mikroprocesorovou ústřednou RM2000. Celek se nazývá monitor a zabezpečuje monitorování veličin ionizujícího záření. Mikroprocesorová ústředna RM2000 sbírá, redukuje a zpracovává data z kanálů, ukládá je, zobrazuje, generuje řídicí pokyny a výstražné signály. Vedle RM2000 existují i řídicí a zobrazovací moduly RM2300, do kterých jsou zapojeny důležité detektory a které slouží jako externí zobrazovače měřených hodnot v případě havárie. RM2000 mají izolovanou a zdvojenou komunikaci s PC – 11 a jsou zapojeny do smyček, RM2300 má komunikaci s PC – 11 nezávislou. A PC – 11 je taková operátorská stanice, slouží ke sledování všech monitorů, zobrazování jejich stavů, hodnot, ke sledování alarmů, k ovládání, ke sledování trendů a historických dat apod.

Systém RRMS umožňuje monitorovat různé technologické veličiny. Dle [23] a [28] se v prostředí jaderné elektrárny monitorují kapaliny, vzduch (aerosoly, jód, vzácné plyny) a dávkové příkony. Nás bude zajímat především monitorování dávkového příkonu, proto se o něm zmíním zevrubně. Implementovat monitorování tekutin do tohoto projektu by bylo mnohem náročnější a pro zvýšení bezpečnosti a informovanosti pracovníků stačí monitorování dávkových příkonů, spolu s jejich přenosem na CLOUD.



Detektory monitorů dávkového příkonu jsou dle [23] a [28] různého druhu, podle toho, jestli má detektor měřit v nominálním provozním stavu, nebo v havarijních a pohavarijních stavech. Všechno jsou to ionizační plynové detektory, pro havarijní a pohavarijní stavy jsou určeny ionizační komory (kvůli vysokým rozsahům), pro nominální provozní stav klasické GM detektory, konkrétně typ RD – 14.



Obrázek 3: GM detektor RD – 14 s elektronikou používaný v ETE, vlastní tvorba.

## 2.7 Použitá elektronika

V této části se věnuji popsáním použité měřicí techniky. Uvedu seznam použité techniky, pro přehlednost ji popíši v jednotlivých odstavcích. V této práci používám jednodeskový počítač Arduino, desku s GM detektorem s názvem RadiationD – v1.1 (CAJOE), čidlo měření teploty a vlhkosti DHT22, senzor teploty a tlaku BMP180, rotační kodér pro určení počtu lidí v oblasti, RTC modul DS3231 s paměťovým modulem AT24C32 pro určení reálného času, SD modul pro ukládání dat na SD kartu a Wi – Fi modul ESP8266 ESP01 pro komunikaci s CLOUDEM.

### 2.7.1 Jednodeskový počítač Arduino Mega2560

V [10] je uvedeno, že je to jednoduchý počítač vybaven mikrokontrolérem ATmega2560 od firmy Atmel s frekvencí 16 MHz, paměť 256 kB. Má sériovou sběrnici I2C, která umožňuje připojit nízkorychlostní periferie. Sběrnice dle [19] rozděluje zařízení na řídicí, která zahajují/ukončují komunikaci a generují hodinový signál SCL a řízené, ty jsou adresovány řídicím zařízením. Sběrnice je tvořena dvěma obousměrnými vodiči, jeden je hodinový signál SCL (Synchronous clock) a druhý datový kanál SDA (Synchronous data), zapojenými jako otevřený kolektor a umožňujícími připojit až 128 různých zařízení. Každé zařízení má svojí individuální adresu. Další specifikace viz [10].



*Obrázek 4: Arduino Mega2560, převzato z [7].*

### 2.7.2 Modul s GM detektorem RadiationD – v1.1(CAJOE)

K tomuto modulu jsem na internetu nenašel moc informací, použil jsem zdroj [8]. Tato deska už má vše potřebné k propojení s Arduinem, má dva piny na napájení a interrupt pin na Arduino. Osazený GM detektor je typu M4011 a je to čínský výrobek. Podle výrobce jej lze použít při teplotách  $-40 - 55\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $\gamma$  záření je schopen detekovat v rozsahu  $200 - 1200\text{ }\mu\text{Gy/h}$ . Důležitá vlastnost je vlastní pozadí detektoru, čili hodnota, kterou detektor vykazuje, když v blízkosti není jiný zdroj záření než přírodní zdroje.

Tato hodnota je cca 25 CPM (counts per minute), což je počet detekovaných částic za minutu. GM trubice je samozhášecí plněná halogenem. Další specifikace viz [8].



Obrázek 5: GM modul, převzato z [8].

### 2.7.3 Čidlo měření teploty a relativní vlhkosti DHT22

Senzor je v praktickém plastovém pouzdře, vybaven čtyřmi piny VDD, GND, NULL a DATA, z nichž 2 slouží pro napájení a DATA pin se připojuje k Arduino. Rozsah měření relativní vlhkosti je dle [9] 0 – 100 % s přesností  $\pm 2.0$  %. Teplotu měří v rozsahu  $-40 - 80$  °C s přesností  $\pm 0.5$  °C. Další specifikace viz [9].



Obrázek 6: Čidlo DHT22, převzato z [9].

## 2.7.4 Čidlo měření teploty a tlaku BMP180

Tlak měří v rozsahu 300 – 1100 hPa (výška 9000 m – 500 m) s přesností 0,06 hPa (0,5m). Má 4 piny, dva pro napájení a dva pro komunikaci přes I2C sběrnici. Informace čerpány z [12], kde jsou i další specifikace.



Obrázek 7: Čidlo BMP180, převzato z [11].

## 2.7.5 Rotační kodér

Tento senzor, nazývaný také hřídelový kodér, slouží k převodu úhlové polohy nebo pohybu na analogový/digitální výstupní signál. Je to mechanický inkrementační kodér, tudíž si nezapamatuje svůj aktuální stav, ale rozliší směr otočení a o kolik se otočil. Podle [13] má pět pinů, z nichž dva jsou opět pro napájení a dva jsou výstupy, pátý v našem případě nepoužíváme, slouží pro tlačítko. Rozsah je 360 ° rozdělených na 40 dílků, tzn. otočení o 1 dílek je 9 °. Další specifikace viz [13].

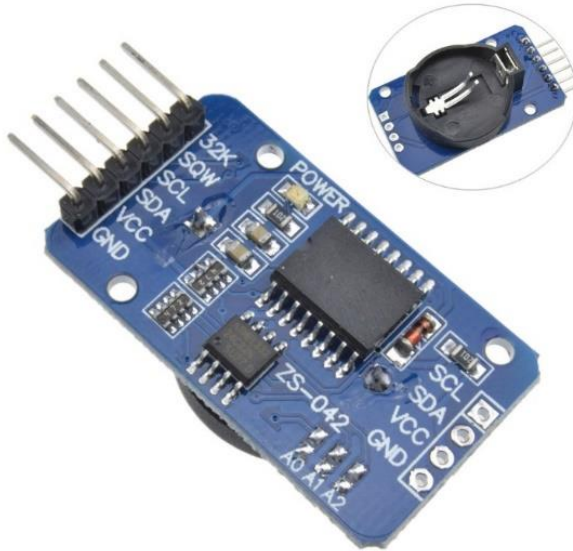


Obrázek 8: Rotační kodér, převzato z [13].



### 2.7.6 RTC modul DS3231 a paměťový modul AT24C32

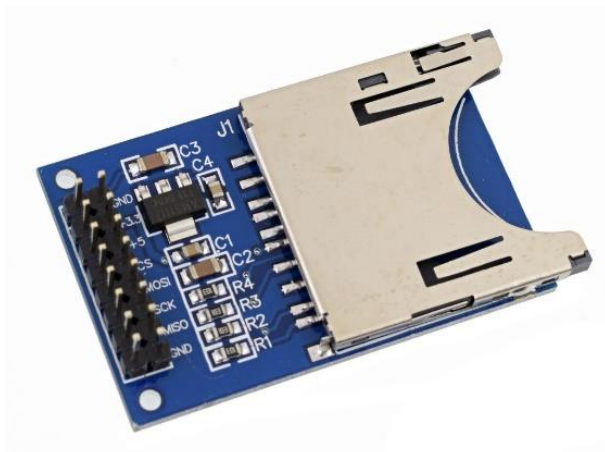
V [14] je uvedeno, že první modul DS3231 je označován jako RTC, druhý modul AT24C32 je paměťový typu EEPROM. RTC modul vyniká vysokou přesností. Modul komunikuje s Arduinem přes I2C sběrnici. Další specifikace viz [14].



Obrázek 9: RTC modul, převzato z [14].

### 2.7.7 SD modul

Modul pro Arduino, který umožňuje čtení a zápis na SD kartu. Komunikace probíhá dle [15] přes SPI protokol. Má šest pinů, dva pro napájení a čtyři pro komunikaci s Arduinem. Ostatní specifikace viz [15].



Obrázek 10: SD modul, převzato z [15].

### 2.7.8 Wi – Fi modul ESP8266 ESP01

V čipu ESP8266 se ukrývá podle [16] mikrokontrolér, který můžeme a nemusíme při komunikaci s Arduinem použít. V našem případě ho nevyužijeme, s modulem budeme komunikovat pomocí jednoduchých AT příkazů. Využívám komunikaci přes SPI. Využívá standard IEEE 802.11b/g/n, v režimu 802.11b má výkon +19,5 dBm. Při práci má poměrně vysoký odběr (až 300 mA), je nutné ho tedy napájet externím zdrojem a to pouze 3,3 V, jinak by mohlo dojít ke zničení modulu! Je vybaven osmi piny, z nichž využijeme 4 pro napájení a dva pro komunikaci. Další parametry viz [16].



Obrázek 11: Wi – Fi modul, převzato z [16].

### 2.7.9 Stabilizátor napětí 7805CV

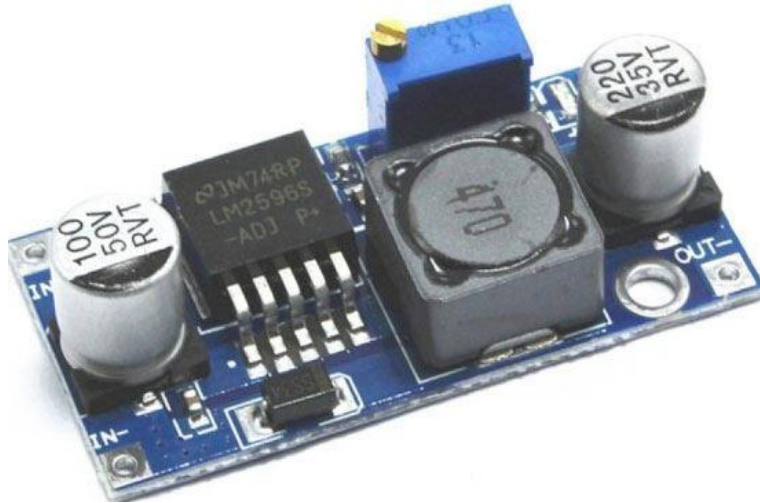
Stabilizátor napětí, který může mít na vstupu maximálně 35 V a dokáže na výstupu udržovat napětí 5 V při odběru maximálně 1 A. Informace čerpány z [17], kde jsou další specifiky. Stabilizátor použiji k napájení Arduina a všech modulů, které potřebují ke své funkci napětí +5 V.



Obrázek 12: Stabilizátor napětí 7805CV, převzato z [17].

### 2.7.10 Stepdown měnič napětí s LM2596

Jedná se o impulzní DC to DC stepdown měnič, jehož výstupní napětí lze nastavit trimrem. Na vstupu může být dle [18] 4,5 – 35 V, na výstupu 3 – 33 V při maximálním odběru 3 A. Výstupní výkon je maximálně 15 W. Další specifika viz [18]. Tento měnič použiji pro napájení Wi – Fi modulu a pro čidlo BMP180.



Obrázek 13: Měnič napětí, převzato z [18].

## 2.8 ThingSpeak CLOUD

Server ThingSpeak je dle [20] otevřená IoT platforma, která umožňuje sbírat, ukládat a zobrazovat data z různých senzorů. Lze využít i analýzu dat programem MATLAB. Data se posílají do tzv. kanálů, ve kterých může být 8 polí pro data, 3 pro lokaci a jedno pro stav. Já mám neplacenou verzi, takže nelze využít všechny možnosti, nicméně pro tuto práci si vystačíme s možnostmi, které tato verze nabízí. Další příjemná věc je to, že lze na Android nainstalovat mobilní aplikaci ThingView Free, která umožní zobrazit data ze serveru ThingSpeak [21].

## **3 METODIKA**

### **3.1 Výběr jednodeskového počítače**

Při výběru počítače, kterým bych realizoval tuto práci, jsem měl na výběr z mnoha možností. V nabídce jsou renomovaná jména jako AMD, Intel, ale i populární Raspberry Pi a mnoho dalších výrobců. Vybral jsem si Arduino, protože využívá na programování jazyk podobný jazyku C, respektive C++. Je velmi populární, tudíž má velkou základnu fanoušků a na internetu je k dispozici nepřehledné množství materiálu. Je jednoduché a činnost s ním také, je velmi intuitivní. Dalším faktem je nízká cena, nízká spotřeba energie a u verze Mega2560, kterou jsem si vybral, velká paměť. Mezi nevýhody patří, že nemá operační systém, dá se použít pouze pro jednoduché úlohy a nepodporuje multitasking.

### **3.2 Výběr detektoru ionizujícího záření**

Při výběru detektoru pro mě bylo hlavní kritérium to, že jsem potřeboval nějaký modul, který by měl výstup ve formě impulzů, tudíž by obsahoval veškerou elektroniku potřebnou na zpracování signálu. Na internetu jsem narazil na modul, který tuto vlastnost splňoval, je to modul pro Arduino, který přes interrupt pin posílá impulzy. Dalšími rozhodujícími fakty byla nízká cena, jednoduchost takového GM detektoru i s použitou elektronikou, odolnost a životnost. Naopak proti bylo to, že GM detektor nemá spektrometrické vlastnosti, má omezený rozsah a velice u něj záleží na mrtvé době.

### **3.3 Použitá čidla**

Jako první jsem řešil, jaká čidla použiji pro měření teploty a vlhkosti. Po sehnání dostatečného množství informací jsem se rozhodl pro čidlo DHT22, které měří jak teplotu, tak vlhkost. Jeho zapojení je jednoduché, stejně jako jeho programování, na internetu je spousta knihoven. Mezi další klady patří jeho cena, je levné a dostupné, navíc relativně přesné. Jediná nevýhoda se zdá být nízká hodnota sampling rate, tudíž není vhodné tam, kde bych požadoval častou aktualizaci hodnot.

Pro měření tlaku jsem se rozhodl obdobným způsobem jako v předchozím případě pro čidlo BMP180 od renomovaného výrobce BOSCH. Mezi výhody patří komunikace přes I2C sběrnici, jednoduché programování díky knihovně, je levné a přesnost je také



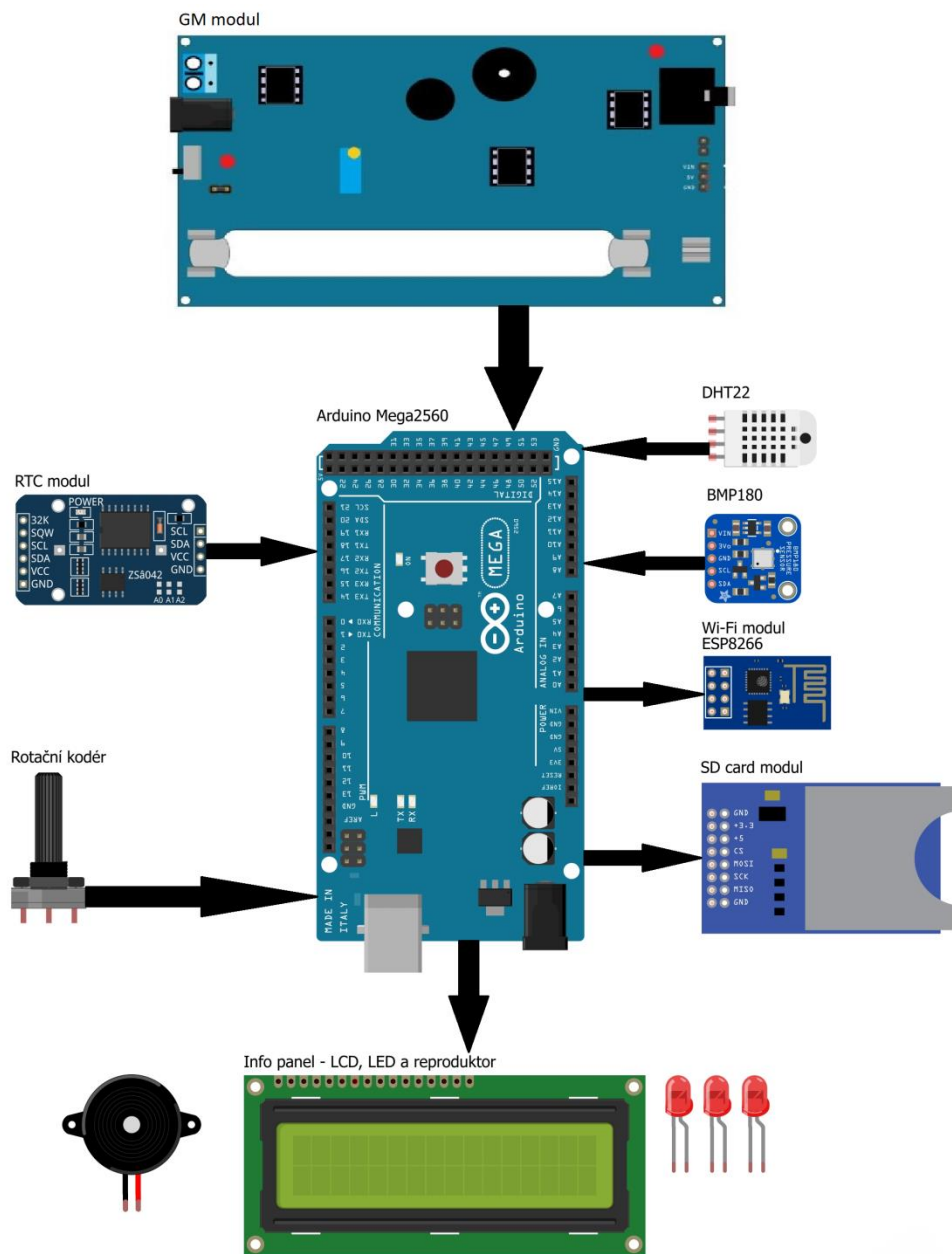
vyhovující. Umí měřit tlak i teplotu, teplotu ovšem s velmi malou přesností ( $\pm 2$  °C). Další nevýhoda je poměrně malá mechanická odolnost.

Jako poslední čidlo, které jsem řešil pro tuto práci, je čidlo, které má na starost zjistit počet lidí v místnosti. Optickou závoru jsem pro tento účel zavrhnul, nedokázala by rozlišit, zda člověk vstoupil či vystoupil. Další možnost bylo použití identifikačních karet a průchod přes fyzickou bariéru, což je standardně na Jaderné elektrárně Temelín používá, ale pro tuto práci by to bylo finančně náročné řešení. Nakonec jsem použil rotační kodér jako fyzickou bariéru na principu otočných dveří. Rotační kodér je jednoduchý, levný, citlivý a má poměrně velkou životnost. Nevýhoda je složitější programování, nemá žádné knihovny.

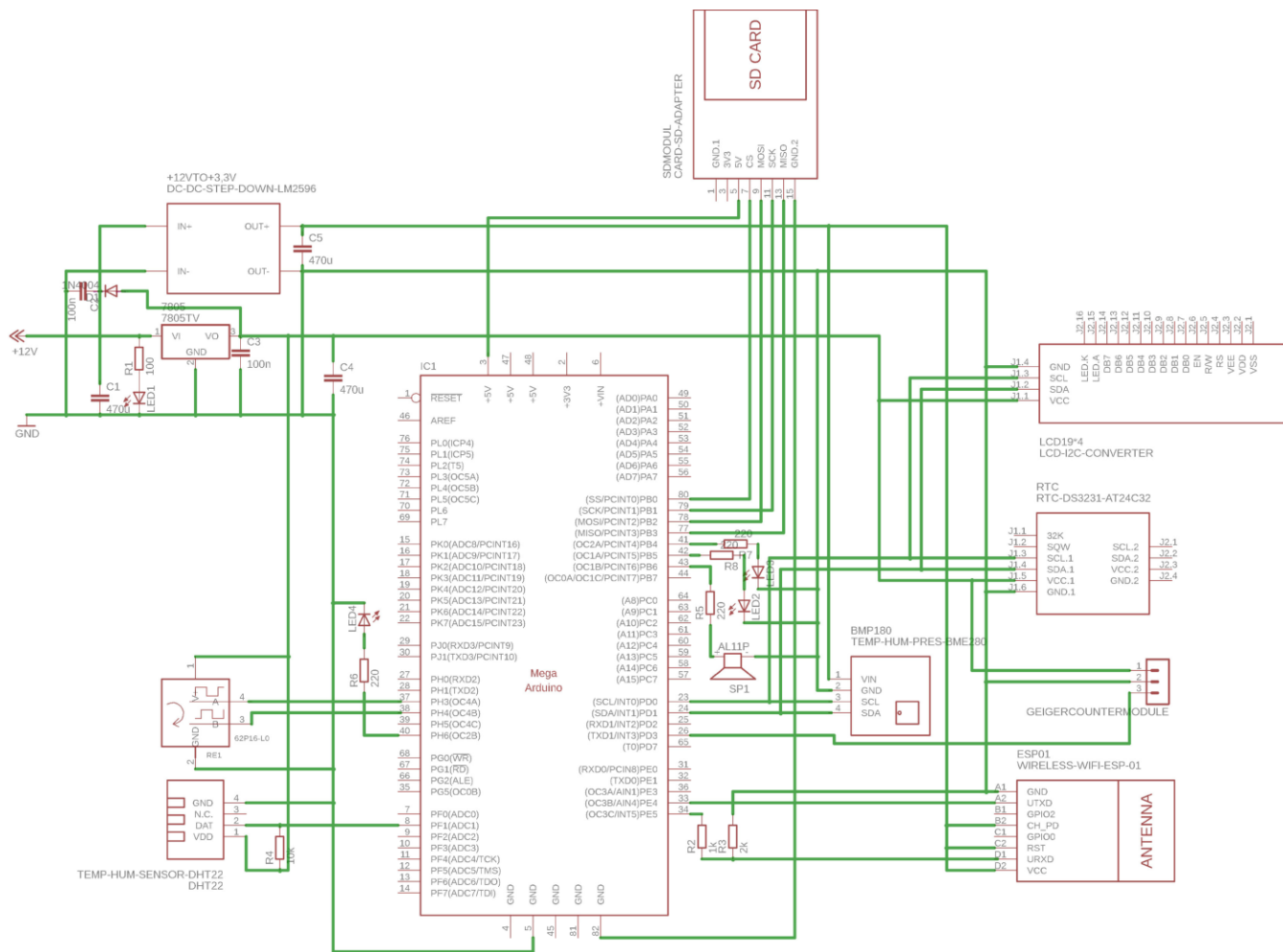
## 4 ŘEŠENÍ A VÝSLEDKY

### 4.1 Blokové schéma a schéma kompletního zapojení

Veškeré kondenzátory mají jedinou funkci a to stabilizaci napětí v případě náhlého napěťového rázu v síti. Funkce LED diod je jasná, tři slouží k alarmové signalizaci, čtvrtá pak ke kontrole, že plošný spoj je pod napětím. Ke každé anodě je potom připojen odpor s odpovídající hodnotou, který nastavuje proud diodou. Stejnou funkci má i odpor na kladné svorce reproduktoru. Jediná usměrňovací dioda spojuje vstup a výstup na stabilizátoru napětí 7805 a její funkce je zabránit poškození stabilizátoru, protože stabilizátor nemá rád na výstupu vyšší napětí než na vstupu. To by se mohlo stát např. při výpadku vstupního napětí, nebo v jiných případech. Další zajímavou funkci má odpor  $10\text{ k}\Omega$  mezi DATA pinem a napájením  $+5\text{ V}$  u čidla DHT22, takzvaný pullup odpor kvůli sběrnici, aby její vodič táhl napěťově nahoru k logické jedničce, což nám zabrání rušení signálu, takže můžeme použít delší vodič. Hodnota odporu je zvolena vzhledem k délce vodiče. Poslední zajímavost je použití klasického děliče napětí pro Rx pin  $Wi - Fi$  modulu, protože na něj jde z Arduina  $+5\text{ V}$  a  $Wi - Fi$  modul potřebuje  $+3,3\text{ V}$ , tudíž jsem zvolil hodnoty  $1\text{ k}\Omega$  a  $2\text{ k}\Omega$  a mezi nimi proti zemi naměříme přesných a požadovaných  $+3,3\text{ V}$ . Zbytek je pak zapojen podle datasheetů jednotlivých modulů a zařízení. Info panel obsahuje tři LED diody, reproduktor a LCD displej a slouží jednak k zobrazení měřených parametrů a za druhé k alarmové signalizaci při překročení určitých hodnot parametrů.



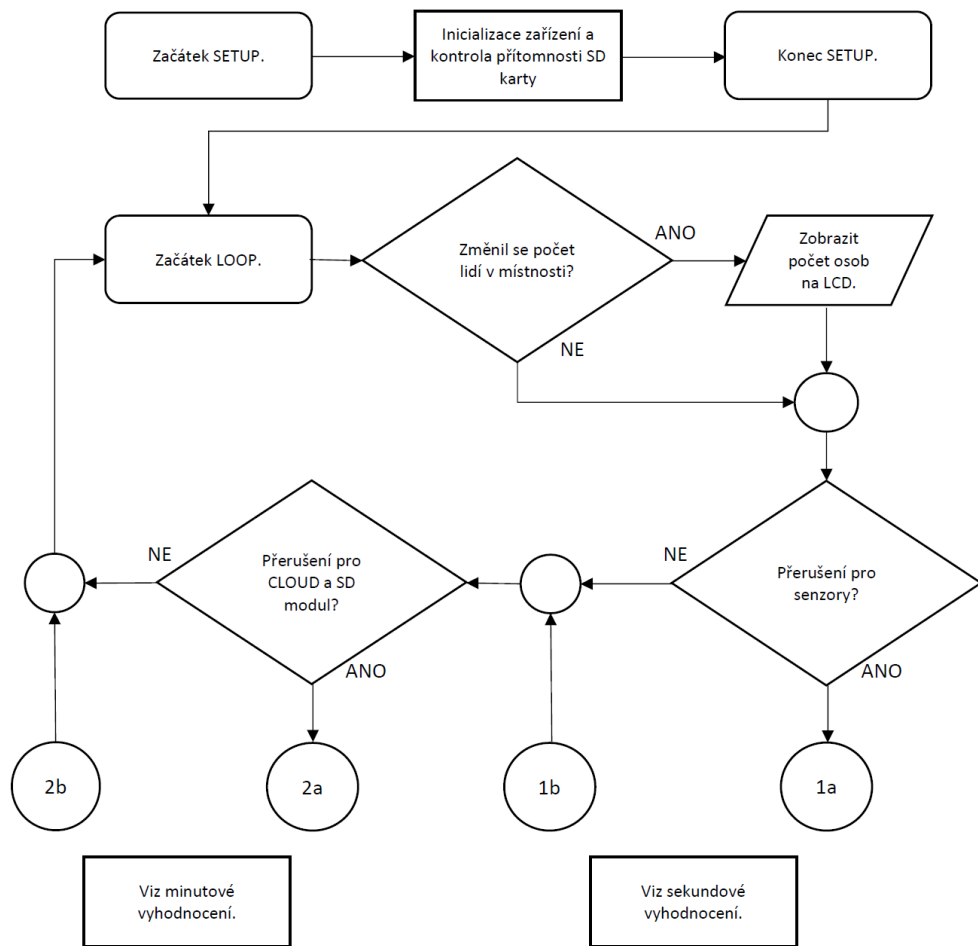
Obrázek 14: Blokové schéma, vlastní tvorba v programu Fritzing.



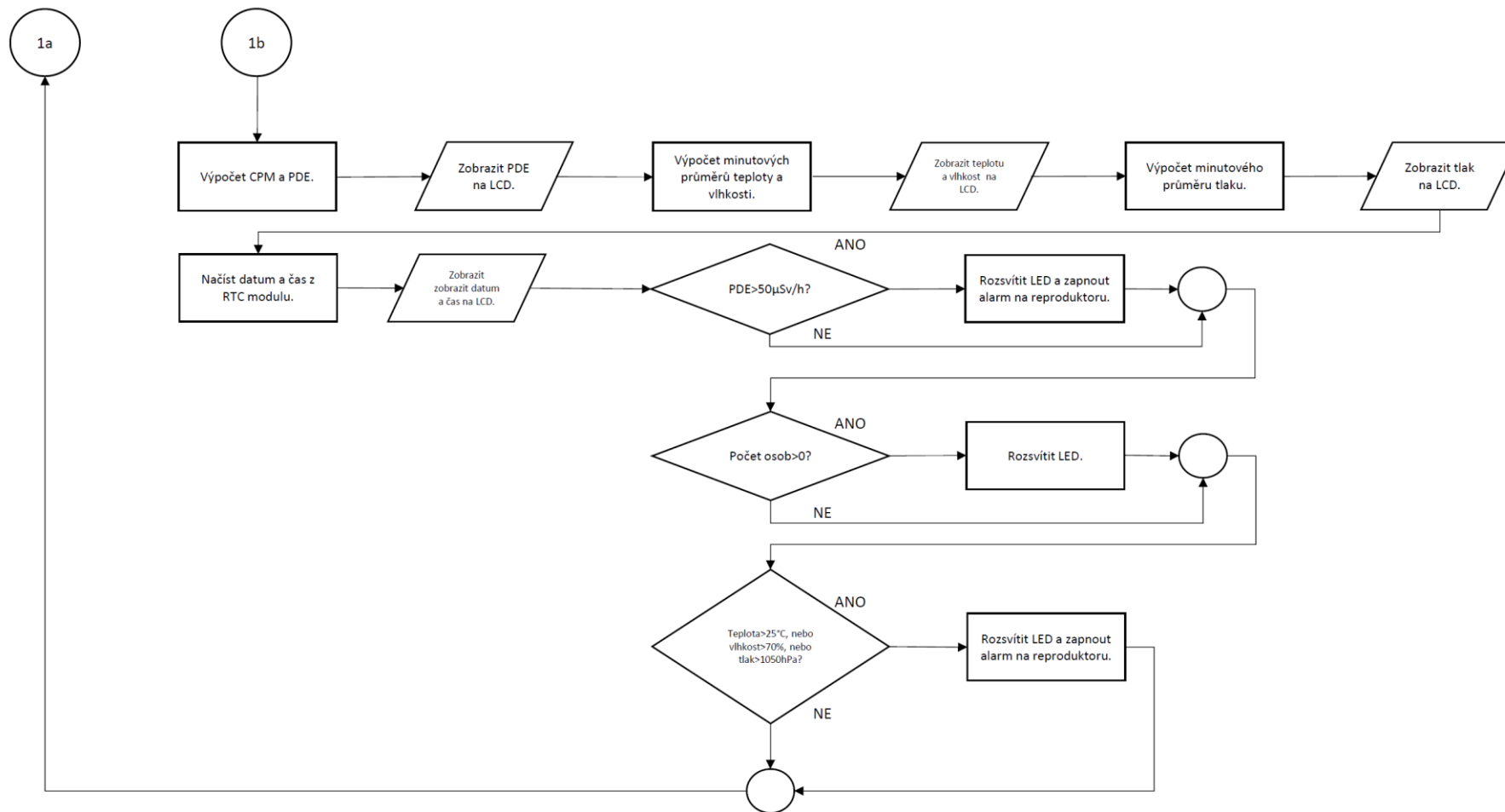
Obrázek 15: Schéma kompletního zapojení, vlastní tvorba v programu Eagle.

## 4.2 Vývojový diagram programu

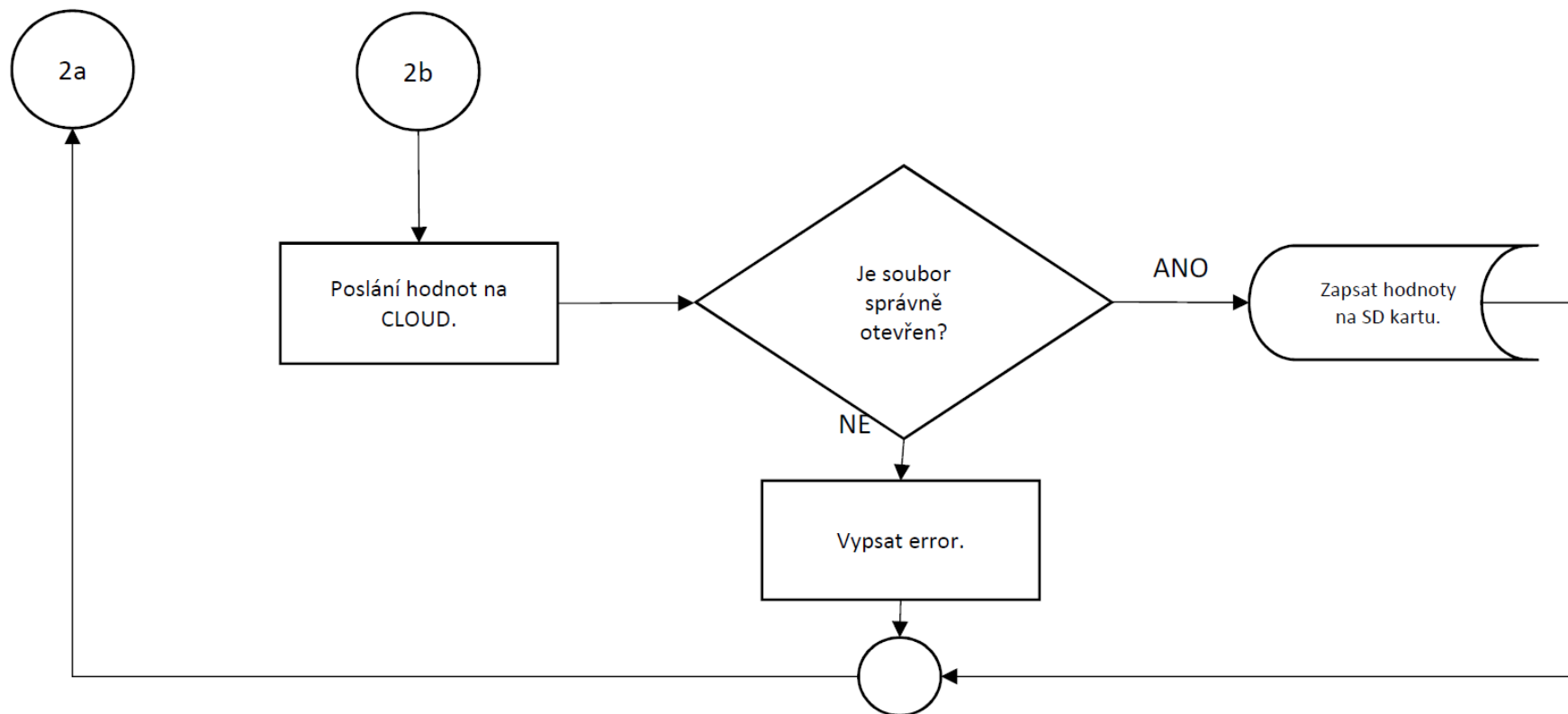
Funkce programu, který jsem napsal pro tuto práci, je jasná z vývojového diagramu. I tak bych rád stručně shrnul obecnou funkci programů pro Arduino a krátce se věnoval zajímavé funkci interrupt (přerušeni). Programy pro Arduino mají část SETUP, která proběhne pouze jednou na začátku programu a část LOOP, která běží neustále dokola jako smyčka. Tuto smyčku dokáže přerušit pouze funkce interrupt. Jeden interrupt jsem použil pro počítání impulzů od GM detektoru, který je připojen na pin 18 podporující přerušeni. Po každé, když GM detektor detekuje částici, pošle impuls na pin 18. Část LOOP se přeruší, provede se funkce definovaná pro přerušeni (v našem případě načtení impulsu do proměnné) a LOOP pokračuje dál. Další přerušeni používám pro počítání sekund a minuty, kdy každou sekundu přeruším LOOP, aktualizuji a uloží všechny parametry a LOOP pokračuje dál. Každou minutu pak opět přeruším LOOP a parametry pošlu přes Wi – Fi na CLOUD a zapíšu na SD kartu a LOOP pokračuje dál. Při zkoušení programu jsem narazil na problém při načítání/odečítání lidí v místnosti, kdy se mi špatně zobrazovaly aktuální počty lidí v místnosti. Původně byla tato část kódu v sekundovém vyhodnocení, nicméně vzhledem k tomu, že změna počtu lidí může proběhnout rychleji/déle než během jedné sekundy, umístil jsem jí do smyčky LOOP, která probíhá prakticky neustále. Tím byl problém vyřešen.



Obrázek 16: Vývojový diagram hlavní části programu, vlastní tvorba v programu Excel.



Obrázek 17: Vývojový diagram sekundového vyhodnocení, vlastní tvorba v programu Excel.



Obrázek 18: Vývojový diagram minutového vyhodnocení, vlastní tvorba v programu Excel.




### 4.3 Metody výpočtu průměrných hodnot

#### 4.3.1 Pomocí aritmetického a klouzavého průměru

Při psaní programu jsem narazil na velice zajímavý problém. Týkal se počítání impulzů z GM detektoru. Abych mohl zkalibrovat detektor na veličinu PDE, potřeboval jsem výstup ve formě CPM, čili počet impulzů za minutu. Z CPM se pak přepočtem přes kalibrační faktor určí PDE. Nejdříve jsem to řešil tak, že jsem jednou za minutu zobrazil proměnnou, kam se impulzy přičítaly a pak ji vynuloval a impulzy se přičítaly znovu od 0. Toto řešení není z nešťastnějších, protože bych se o zvýšených hodnotách dozvěděl s velkým zpožděním. Potřeboval jsem, aby hodnota CPM „reagovala“ co nejpružněji na změnu radiační situace. To jsem zrealizoval pomocí pole o šedesáti prvcích. Metoda je jednoduchá, využívám pro ní již zavedené minutové časové přerušování, které počítá sekundy od 0 do 59, pak se vynuluje a počítá znovu od 0 do 59. Každou sekundu odečtu počet impulzů, vložím ho do pole na místo indexované aktuální sekundou, vynuluji počet impulzů a vypočítám minutový průměr CPM prostým sečtením všech šedesáti prvků pole [a], protože v každém prvku je počet impulzů za sekundu. Tím je zajištěno, že hodnota CPM bude pružně reagovat na případné změny radiační situace. Je to vlastně jednoduchý klouzavý průměr [22], když vložím do posledního prvku pole počet impulzů za 59 sekundu, přerušování se vynuluje a začne se počítat znovu od 0, takže další počet impulzů se vkládá již do prvního prvku pole. Díky tomu se přepisují hodnoty postupně od nejstarších po nejmladší, takže hodnota CPM je aktuální.

index prvku pole	0	1	2	...	...	58	59	Vynulování času
prvky pole, v nich počet impulzů za 1s	2	3	1	...	...	1	2	
čas [s]	0	1	2	...	...	58	59	



Obrázek 19: Princip výpočtu průměrné hodnoty CPM pomocí klouzavého průměru, vlastní tvorba v programu Excel.

```

void vypocet_cpm(void) {           // vypocet hodnoty CPM a PDE
  cpm=0;                          //nulovani CPM
  pole_cpm[TimeCloud]=counts;     //vlozeni poctu impulzu do pole
  counts=0;                       //nulovani impulzu
  for (int i = 0; i < 60; i++) { //cyklus pro soucet vseh hodnot v poli do promenne cpm
    cpm+=pole_cpm[i];
  }
  PDE=cpm*0.01;                   //vynasobeni cpm kalibracnim faktorem pro ziskani hodnoty PDE
  lcd.setCursor(0,1);            //zobrazit PDE na displeji
  lcd.print("PDE=");
  lcd.print(PDE);
  lcd.print("uSv/h");
}

```

Obrázek 20: Část kódu programu řešící výpočet hodnoty CPM a PDE, vlastní tvorba v programu Arduino.

Pro výpočet průměrných hodnot teploty, relativní vlhkosti a tlaku používám aritmetický průměr, kdy do prvků pole vkládám aktuální hodnoty a z nich počítám každou sekundu průměrnou hodnotu za minutu dle [b].

Při použití této metody trvá jednu minutu, než se hodnoty ustálí.

Obecný vzorec pro sumu, převzato z [24].

$$\sum_{i=m}^m x_i = x_m + x_{m+1} + x_{m+2} + \dots + x_{n-1} + x_n \quad [a]$$

Obecný vzorec pro aritmetický průměr, převzato z [24].

$$\bar{x} = \frac{1}{n} (x_1 + x_2 + \dots + x_n) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad [b]$$

### 4.3.2 Metoda výpočtu pomocí pevného počtu impulzů

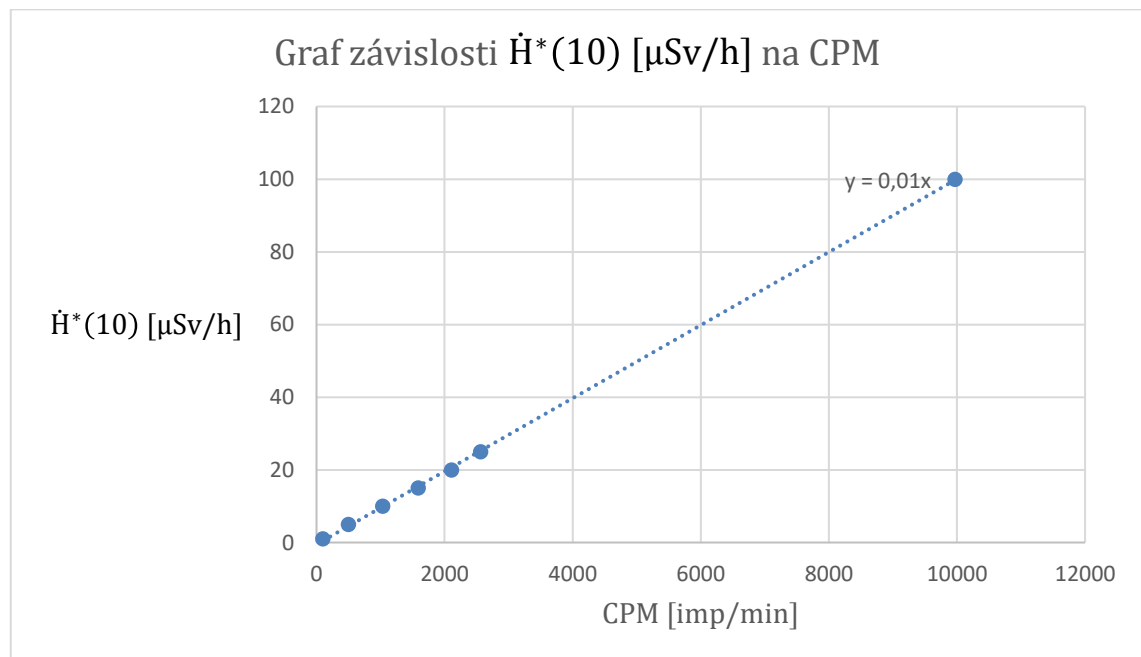
Tuto metodu používá zařízení TDS na ETE. Zařízení TDS je určeno pro havarijní a pohavarijní měření v areálu ETE, jedná se celkem o 24 detektorů dávkových příkonů. Tento systém používá pro výpočet průměrné hodnoty CPM způsob odlišný od klouzavého průměru. Má stanovenou pevnou hodnotu impulzů, a pokud této hodnoty dosáhne, určí časový interval, během kterého byla tato hodnota dosažena. Z těchto údajů pak dopočítá hodnotu CPM pomocí přímé úměry. Tato metoda umožňuje pružnou reakci hodnoty CPM při skokových změnách. V programu bylo nutno zohlednit různou intenzitu počtu impulzů, takže program obsahuje více podmínek, které řeší jak počet impulzů, tak délku časového intervalu a podle toho dynamicky upravuje výpočet (pro málo impulzů delší časový interval a naopak), aby nedocházelo k časovým prostojům.

## 4.4 Kalibrace GM detektoru

Kalibrace GM detektoru proběhla na pracovišti LMIZ na Jaderné elektrárně Temelín, akreditované laboratoři určené pro kalibraci a ověřování různých druhů detektorů a dozimetrů. V LMIZ je možné kalibrovat měřicí přístroje dávkových příkonů pouze pro záření  $\gamma$ .

	$\dot{H}^*(10)$ [ $\mu\text{Sv/h}$ ]	CPM [imp/min]
1	1	99,9
2	5	500,2
3	10	1031,3
4	15	1585,8
5	20	2105,4
6	25	2560,8
7	100	9971,4

Tabulka 1: Naměřené hodnoty CPM při kalibraci, vlastní tvorba v programu Excel.



Obrázek 21: Určení kalibračního faktoru, vlastní tvorba v programu Excel.

Kalibrace probíhala tak, že se pomocí počítačového programu na ozařovači se zářičem  $^{137}\text{Cs}$  nastavila veličina, na kterou se bude detektor kalibrovat a pak už se zadávali příslušné hodnoty prostorových dávkových ekvivalentů, program vypočítal v jaké

vzdálenosti od zdroje tato hodnota bude, tam přemístil vozík s GM detektorem a pomocí kamery se z displeje odečetla hodnota CPM. Tyto hodnoty jsem dal do tabulky, udělal z nich graf, udělal lineární regresi pomocí programu Excel (výpočet pomocí [a], [b], [c]) a z rovnice této regrese určil hodnotu kalibračního faktoru, což je 0,01. Tato hodnota odpovídá hodnotě určené v LMIZ, viz [Obrázek 36 a 37].

Pokud se podíváme do [Tabulka 1], je vidět, že GM detektor byl ozařován v rozsahu od 1 do 100  $\mu\text{Sv/h}$ . Z datasheetu GM modulu [8] plyne, že měřicí rozsah je 200 – 1200  $\mu\text{Gy/h}$ .

Rovnice lineární regrese, převzato z [24]:

$$y = ax$$

Obecný vzorec pro výpočet koeficientu a, převzato z [24]:

$$a = \frac{\sum x_i y_i}{\sum x_i^2} \quad [a]$$

Obecný vzorec pro výpočet koeficientu zatíženého chybou, kde  $\sigma_i$  je směrodatná odchylka, převzato z [24]:

$$a = \frac{\langle xy \rangle}{\langle x^2 \rangle} \quad [b]$$

$$\langle x \rangle = \sum_{i=1}^n \frac{x}{\sigma_i^2} \quad [c]$$

## 4.5 Napojení na CLOUD

Princip napojení na CLOUD ThingSpeak je následující. Arduinem a čidly/detektory shromáždím požadované hodnoty parametrů a pak se pomocí Wi – Fi modulu AT příkazem připojím na server ThingSpeaku <https://api.thingspeak.com> na portu 80. V další části vytvořím řetězec ve specifickém tvaru požadovaném ThingSpeakem, který obsahuje jména polí, do kterých se budou ukládat hodnoty parametrů, hodnoty parametrů samotných a specifický API klíč, který je identifikačním znakem kanálu. Specifický tvar řetězce obsahuje metodu GET, díky které HTTP zašle požadavek na server ThingSpeaku se zasláním dat, to vše opět pomocí AT příkazu. Pak se ukončí připojení na ThingSpeak server. Posílání dat na ThingSpeak se opakuje každou minutu, neplacená verze ThingSpeaku umožňuje využít i 15 sekundový interval, pro moje

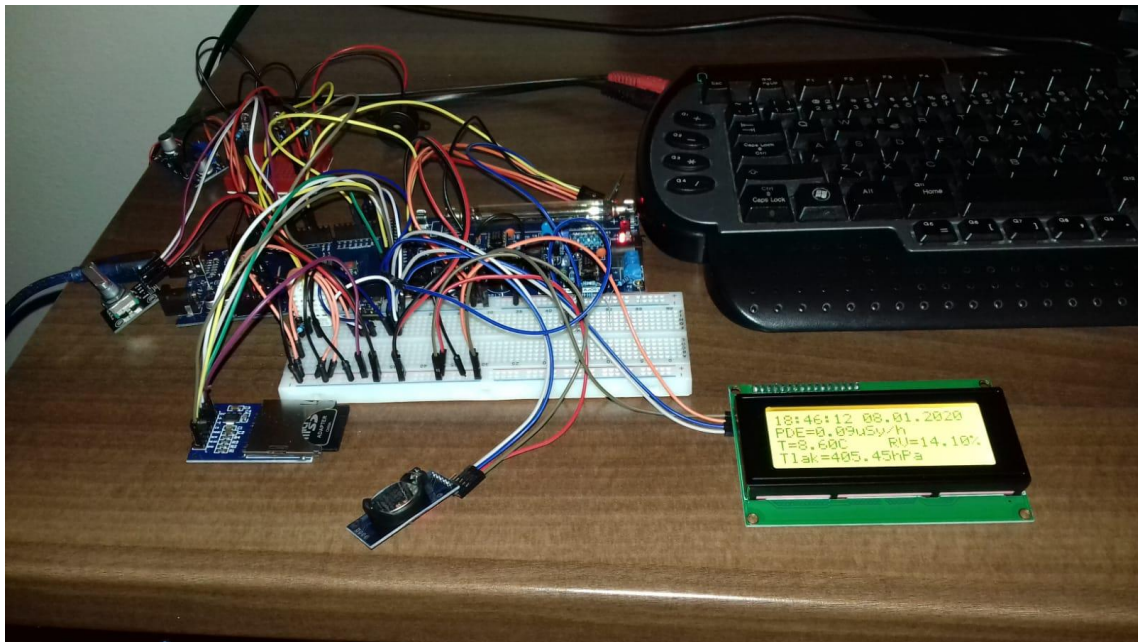
potřeby ale bohatě stačí minutový. Tímto krokem končí veškerá práce programu Arduina a ostatní už dělá platforma ThingSpeak.

```
void poslat_na_cloud(void) { //string ve tvaru pozadovanem ThingSpeakem, obsahuje vsechny parametry
  String sendData = "GET /update?api_key="+ API_klic +"&" + pole_1 +"="+String(PDE)+ "&" + pole_2 + "="+String(teplota_prumer)... //kod dale pokracuje
  espData("AT+CWMUX=1", 1000, DEBUG); //povolit vice pripojeni
  espData("AT+CIPSTART=0,\"TCP\", \"\"+ adresa +\"\", "+ port, 1000, DEBUG); //pripojit na server ThingSpeak
  espData("AT+CIPSEND=0," +String(sendData.length()+4),1000,DEBUG); //nejprve poslu informaci o velikosti dat
  espSerial.find(">"); //a za znakem > vlozim string s daty
  espSerial.println(sendData); //poslat data
  espData("AT+CIPCLOSE=0",1000,DEBUG); //odpojit
}
```

*Obrázek 22: Část kódu programu řešící posílání dat na CLOUD, vlastní tvorba v programu Arduino.*

## 4.6 Praktické ukázky zařízení

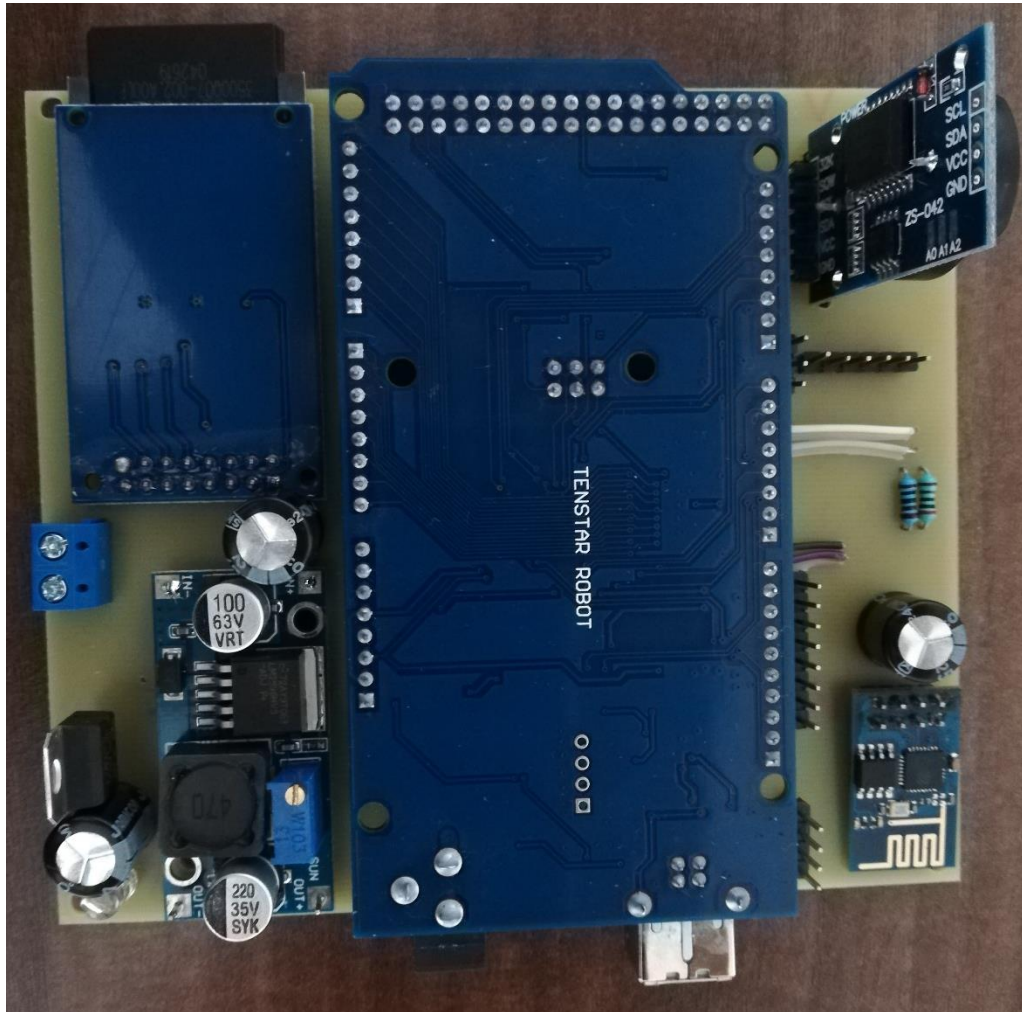
Nejprve jsem zařízení sestrojil pomocí nepájivého pole, abych mohl vyzkoušet správnou funkci zapojení, programu a případné nedostatky odstranit.



*Obrázek 23: Zkoušení zařízení, vlastní tvorba.*

Po vyzkoušení zařízení a ověření jeho správné funkce jsem navrhnul desky plošných spojů, abych mohl zařízení pohodlněji zakomponovat do makety místnosti. Plošné spoje jsem navrhnul v programu Eagle, jsou k dispozici k nahlédnutí v příloze. První deska

obsahuje Arduino, RTC modul, Wi – Fi modul, SD card modul, měnič a stabilizátor napětí a další součástky. Druhá obsahuje čidla DHT22 a BMP180 a další součástky, třetí potom LED diody opět s dalšími součástkami. Další součástky viz schéma zapojení. Ke třetí desce se vodiči připojí LCD displej a reproduktor. Druhá a třetí deska jsou s první spojeny taktéž pomocí vodičů.

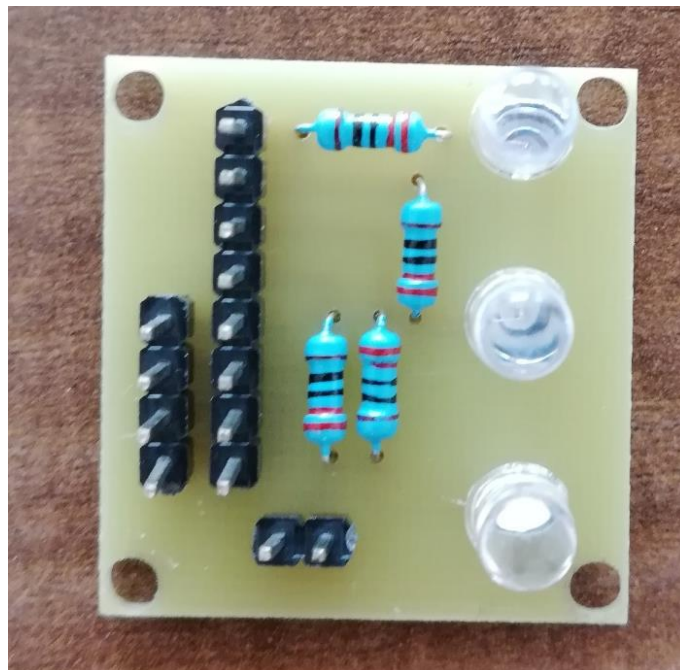


Obrázek 24: První osazená deska plošného spoje s Arduinem, vlastní tvorba.



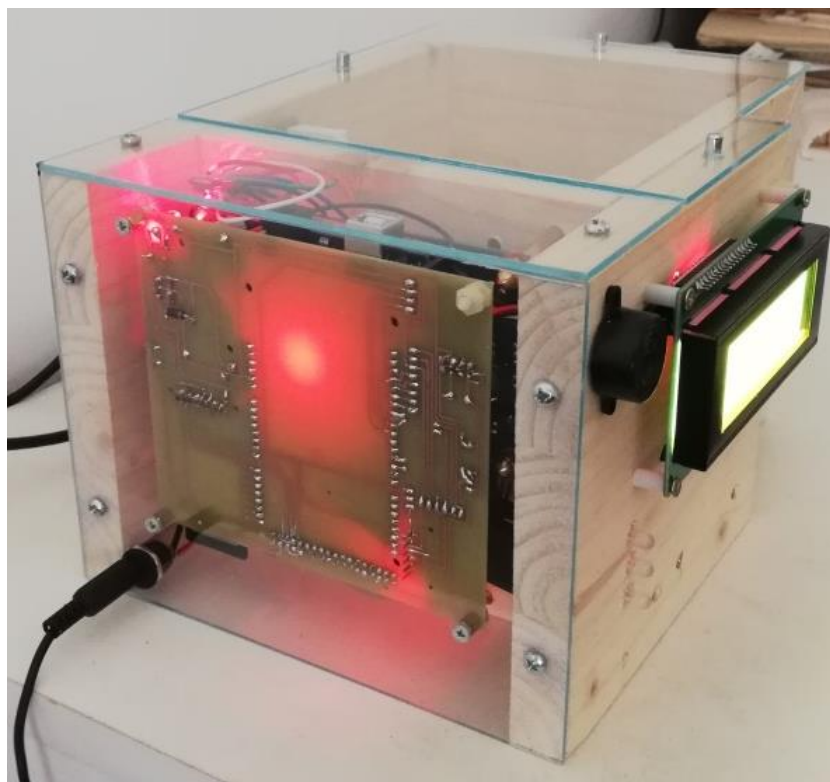


Obrázek 25: Druhá osazená deska plošného spoje s čidly DHT22 a BMP180, vlastní tvorba.



Obrázek 26: Třetí osazená deska plošného spoje s LED diodami, vlastní tvorba.

Jako další jsem navrhnul a sestavil maketu místnosti, do které jsem zakomponoval celé zařízení.

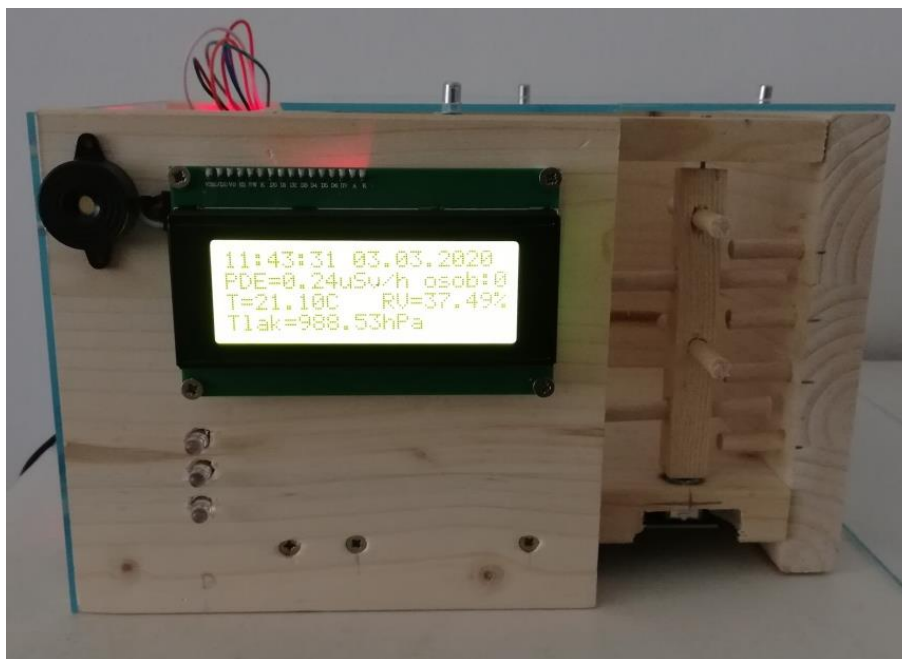


*Obrázek 27: Celkový pohled na maketu místnosti, vlastní tvorba.*



*Obrázek 28: Detail GM detektoru a čidel DHT22, BMP180 v maketě místnosti, vlastní tvorba.*





Obrázek 29: Detail info panelu a vstupních otočných dveří v maketě místnosti, vlastní tvorba.

## 4.7 Ukázky výstupů z CLOUDu

### My Channels

New Channel

Name	Created	Updated
🔒 BP <input type="button" value="Private"/> <input type="button" value="Public"/> <input type="button" value="Settings"/> <input type="button" value="Sharing"/> <input type="button" value="API Keys"/> <input type="button" value="Data Import / Export"/>	2019-10-31	2019-12-09 20:48
🔒 Test <input type="button" value="Private"/> <input type="button" value="Public"/> <input type="button" value="Settings"/> <input type="button" value="Sharing"/> <input type="button" value="API Keys"/> <input type="button" value="Data Import / Export"/>	2019-11-02	2019-12-09 20:48

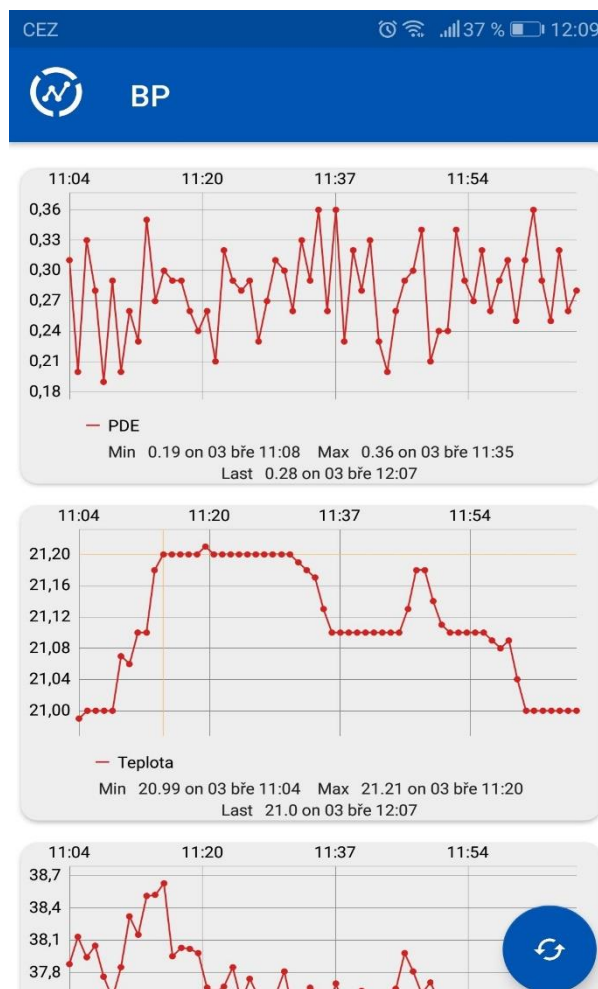
Obrázek 30: Nabídka kanálů v ThingSpeaku, vlastní tvorba.



Obrázek 31: Ukázka průběhu grafů v kanálu ThingSpeaku, vlastní tvorba.



Obrázek 32: Printsreen obrazovky aplikace ThingView Free s detailem grafu, vlastní tvorba.



Obrázek 33: Printscreens obrazovky aplikace ThingView Free s grafy, vlastní tvorba.

## 4.8 Testování zařízení

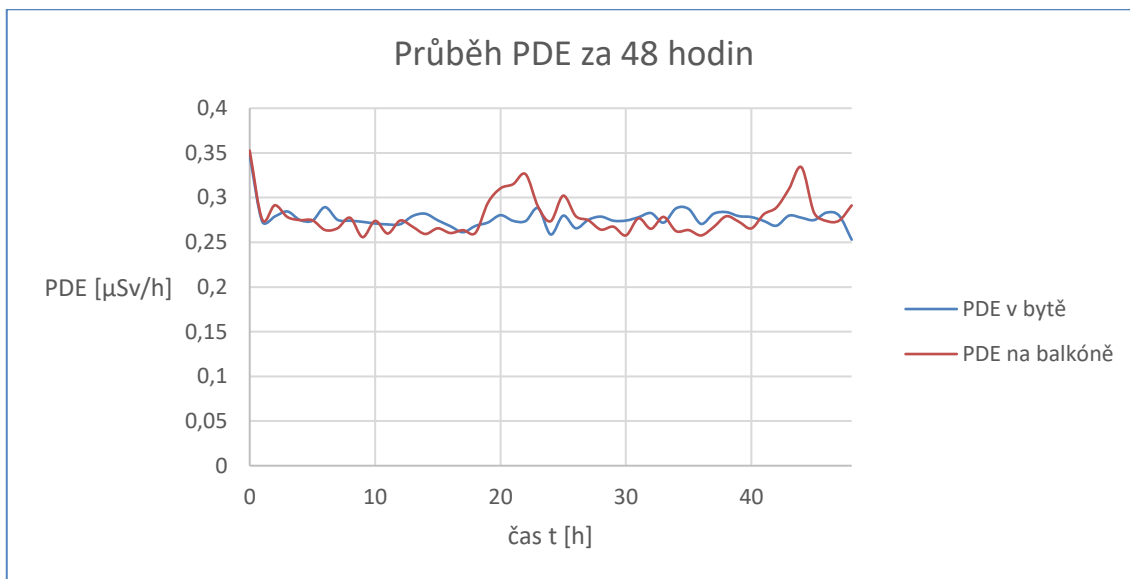
Veškerá data, se kterými v této části pracuji, jsou ze serveru ThingSpeak. I když ThingSpeak umožňuje pro analýzu naměřených dat využít platformu MatLab, v neplacené verzi ThingSpeaku nemá MatLab tolik funkcí. Z toho důvodu jsem se rozhodl pro analýzu dat použít program Excel.

### 4.8.1 Analýza hodnot PDE

Po zprovoznění celého zařízení jsem zařízení otestoval. Nejprve jsem ho 2 dny nechal běžet v místnosti v bytě (3.3.2020 9:17 – 5.3.2020 9:17), kde bydlím, poté jsem ho tu samou dobu (6.3.2020 13:35 – 8.3.2020 13:35) provozoval na balkóně bytu.

Během testování zařízení nevykazovalo žádné problémy nebo neočekávané chování, jednou došlo k cca půlhodinovému výpadku přenosu dat na CLOUD, ale problém byl na straně poskytovatele připojení internetu.

Vypočítal jsem průměrné hodnoty PDE pro obě dvě místa a porovnal s údaji z [25] a [26], kde se uvádí průměrné hodnoty radiačního pozadí v ČR a ve světě. PDE jsem vypočítal pomocí klouzavého průměru.



Obrázek 34: Průběh PDE, vlastní tvorba v programu Excel.

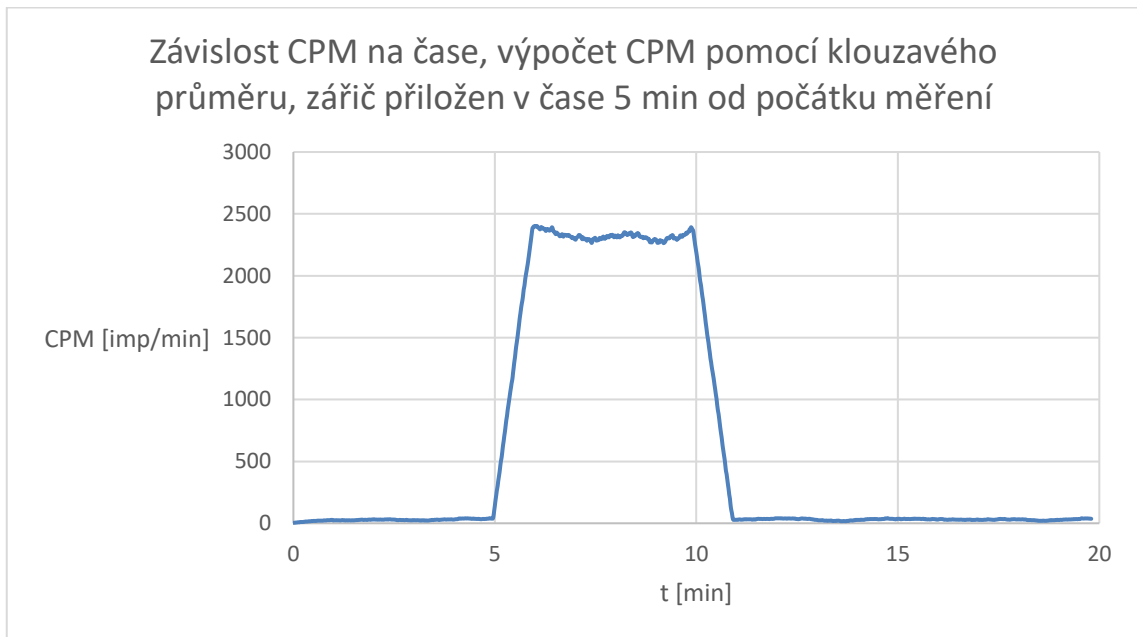
Zdroj	PDE [ $\mu\text{Sv/h}$ ]
Byt	0,28
Balkón	0,28
Určeno z [25] a [26]	0,13 – 0,23

Tabulka 2: Porovnání hodnot PDE, vlastní tvorba v programu Excel.

Hodnoty určené z [25] a [26] jsou logicky závislé na místě měření, [26] umožňuje přesnější určení hodnot podle mapy. Asi 100 metrů od místa bydliště je naměřená hodnota uvedených  $0,23 \mu\text{Sv/h}$  [Tabulka 2], takže mnou naměřená hodnota zhruba odpovídá. Jak vyplývá z [2], [3] a [6], tato hodnota není života ohrožující.

## 4.8.2 Testování GM detektoru zářičem $\beta$

Protože výrobce v datasheetu uvádí, že GM detektor umí měřit i záření  $\beta$ , rozhodl jsem to otestovat. K dispozici mám čistý  $\beta$  zářič izotopu  $^{90}\text{Sr}$  o aktivitě 2336 Bq (k datu 29.11.2019). Vzhledem k tomu, že GM detektor není kalibrován na detekci  $\beta$  záření, uvádím v grafu pouze závislost hodnot CPM na čase.

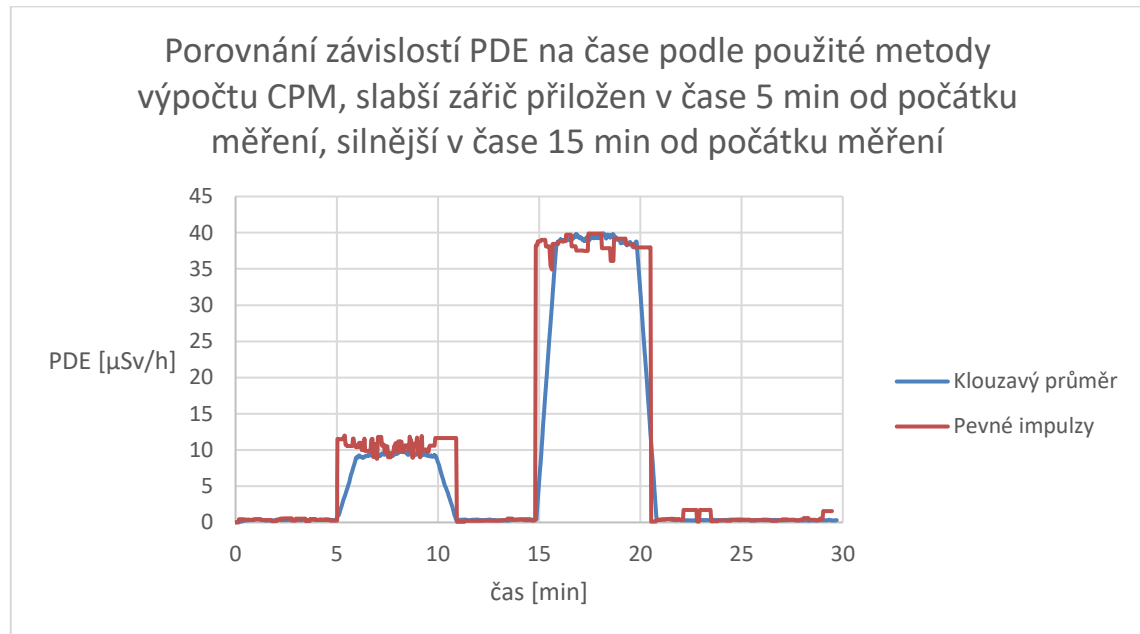


Obrázek 35: Ukázka reakce GM detektoru na čistý zářič  $\beta$ , vlastní tvorba v programu Excel.

Z grafu [Obrázek 35] je patrné, že GM detektor opravdu reaguje na čisté  $\beta$  záření. Použitý izotop má ovšem relativně vysokou energii (0,546 MeV), takže je předpoklad, že při použití izotopu o nižší energii by k detekci  $\beta$  záření nemuselo dojít, neboť by záření samotné nemuselo projít přes materiál GM detektoru. Zářič byl odejmut v čase 10 minut od počátku měření.

### 4.8.3 Testování GM detektoru zářičem $\gamma$

Cílem tohoto testování je zjistit, jak reaguje hodnota PDE na skokovou změnu radiační situace.



Obrázek 36: Testování GM detektoru  $\gamma$  zářiči, vlastní tvorba v programu Excel.

Pro testování byl použit slabší zářič  $^{137}\text{Cs}$  o aktivitě 101,1 kBq (k datu 1.3.2016) a silnější  $^{137}\text{Cs}$  o aktivitě 397,7 kBq (k datu 1.3.2016). Při rozpadu  $^{137}\text{Cs}$  dochází k emisi  $\beta$  i  $\gamma$  záření,  $\gamma$  má však větší pravděpodobnost [4].

Z grafu [Obrázek 36] je jasné, že metoda výpočtu pomocí klouzavého průměru reaguje pomaleji na skokovou změnu radiační situace, tudíž by bylo vhodnější použít metodu pevných impulzů, která reagovala poměrně ihned. Při odejmutí zářiče v časech 10 a 20 minut je viditelný pokles hodnot, u klouzavého průměru plynulý, takže je poznat, že hodnota PDE se snižuje úměrně s časem. U metody pevných impulzů je pokles skokový, což je dáno podstatou metody samotné.

Výhoda metody výpočtu PDE pomocí klouzavého průměru tkví v tom, že po ustálení udržuje stabilní hodnotu a při poklesu hodnot reaguje plynule. Nevýhoda je v pomalé reakci na zvýšení hodnot PDE v prostředí.

Naopak metoda výpočtu PDE pomocí pevných impulzů reaguje na zvýšení hodnot PDE v prostředí poměrně rychle, po ustálení osciluje a neudrží „stabilní“ hodnotu PDE tak jako metoda první. Pokles je skokový a dochází k němu až po určité době.

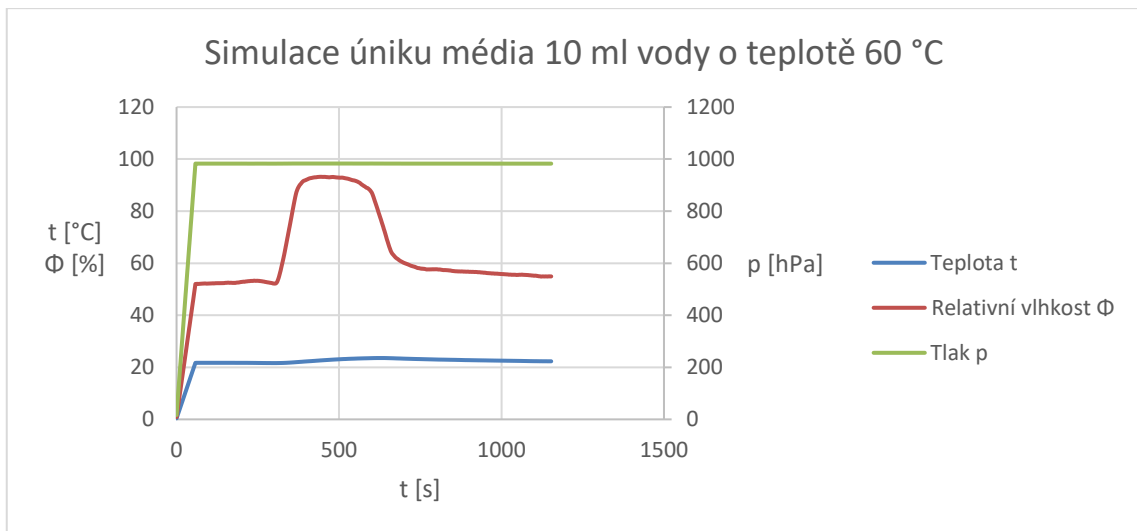
Zde bych se pro konkrétní metody výpočtu rozhodoval podle kritéria, zda je měření určeno pro havarijní situace (metoda výpočtu PDE pomocí pevných impulzů), nebo nominální provozní stav (klouzavý průměr). Vzhledem k tomu, že toto zařízení je určeno pro nominální provozní stav, používám metodu výpočtu CPM pomocí klouzavého průměru.

#### **4.8.4 Simulace úniku média**

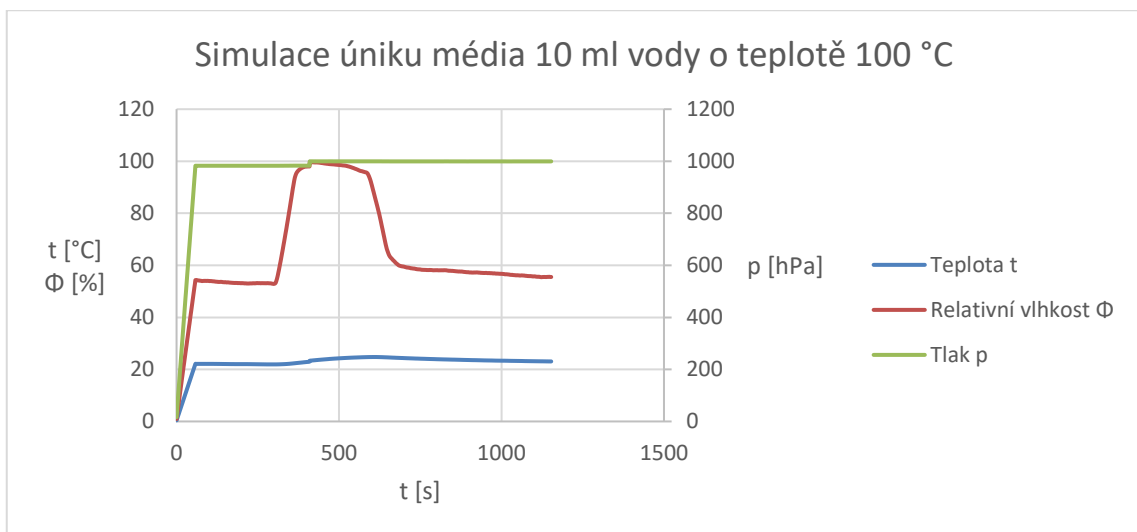
Uniklé médium by v místnosti/oblasti mělo způsobit zvýšení hodnot teploty, tlaku a relativní vlhkosti. Rozhodl jsem se to otestovat. V reálném provozu jaderné elektrárny jsou používána kapalná a plynná média o různých teplotách a tlacích, obecně lze ale říci, že ta, která obsahují radioaktivní látky a jsou tedy z hlediska radiační ochrany závažná, mají teploty v průměru zhruba větší než 60 °C a tlaky vyšší než tlak atmosférický, dle [31] a [32]. Další věcí je to, že při úniku radioaktivního média z technologie se do prostoru dostanou radioaktivní vzácné plyny spolu s radioaktivními aerosoly, takže lze skutečně očekávat zvýšené hodnoty tlaku a relativní vlhkosti. Únik média jsem simuloval pomocí nádoby s různými objemy vody o teplotě 60 a 100 °C umístěné v maketě místnosti.

Testování provedl čtyřmi způsoby:

- Výpočet aritmetického průměru teploty, relativní vlhkosti a tlaku při vložení nádoby s 10 ml vody o teplotě 60 °C
- Výpočet aritmetického průměru teploty, relativní vlhkosti a tlaku při vložení nádoby s 10 ml vody o teplotě 100 °C
- Výpočet aritmetického průměru teploty, relativní vlhkosti a tlaku při vložení nádoby s 1 dl vody o teplotě 60 °C
- Výpočet aritmetického průměru teploty, relativní vlhkosti a tlaku při vložení nádoby s 1 dl vody o teplotě 100 °C

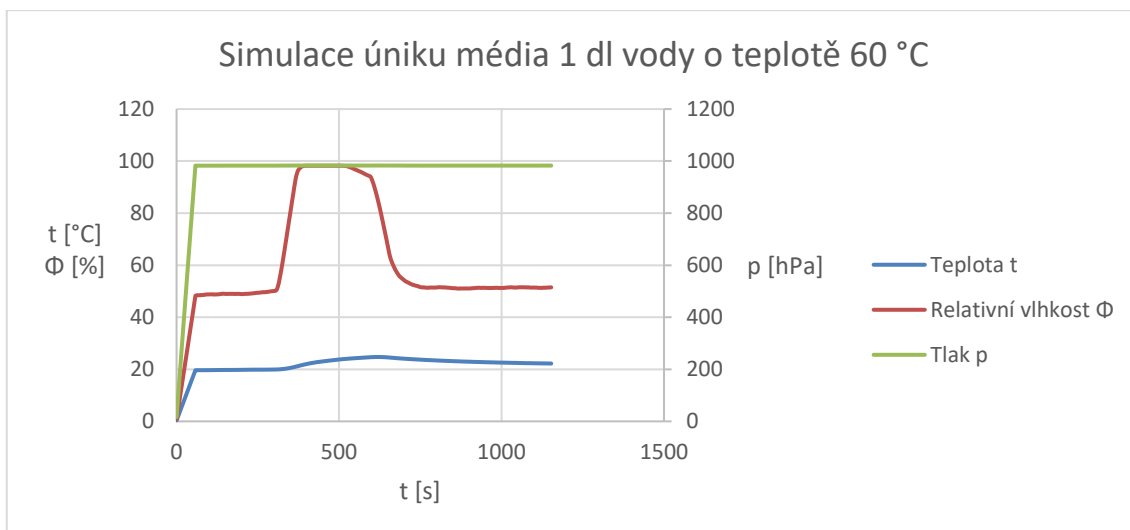


Obrázek 37: Graf průběhu hodnot při simulaci úniku média, vlastní tvorba v programu Excel.

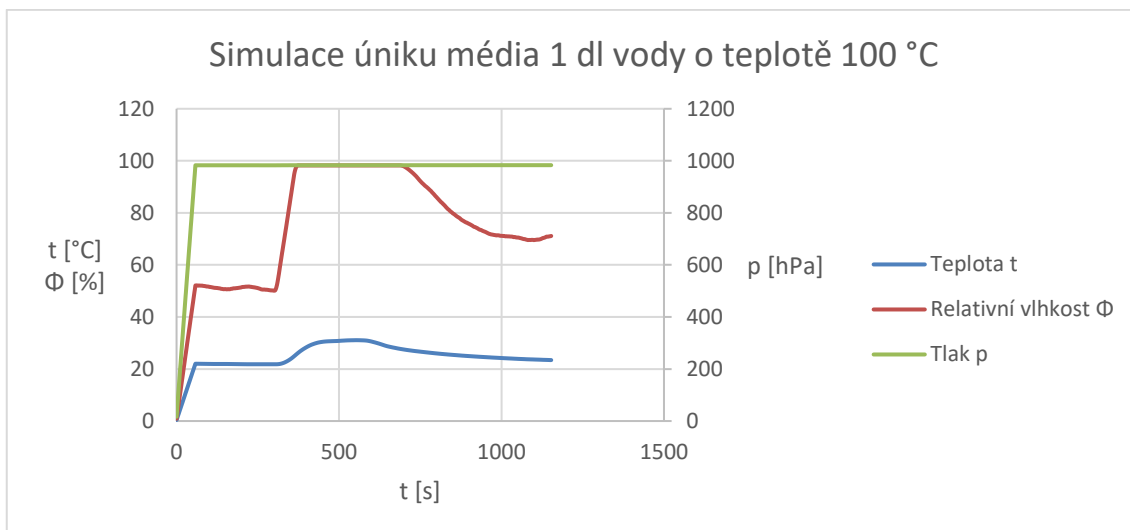


Obrázek 38: Graf průběhu hodnot při simulaci úniku média, vlastní tvorba v programu Excel.





Obrázek 39: Graf průběhu hodnot při simulaci úniku média, vlastní tvorba v programu Excel.



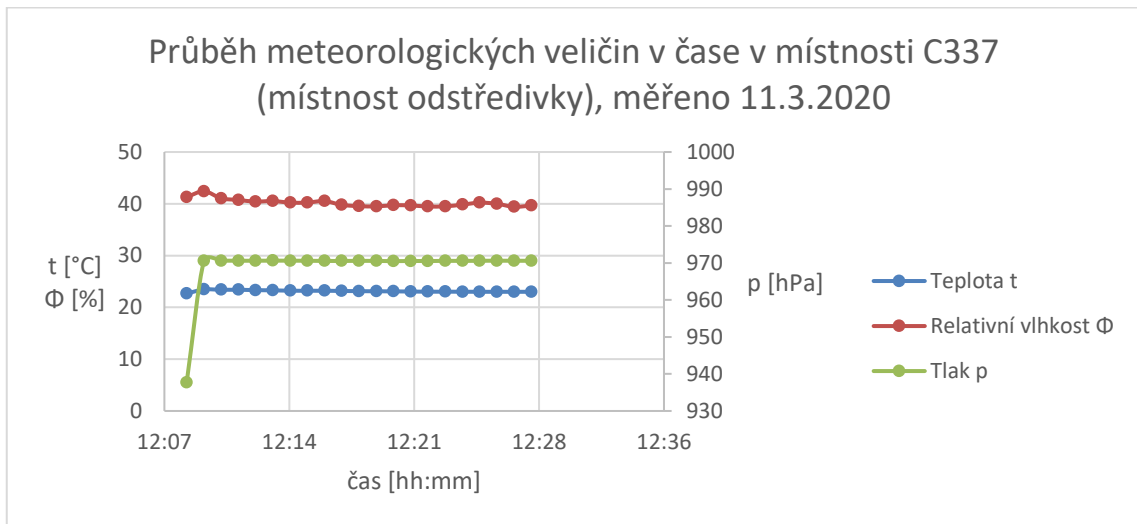
Obrázek 40: Graf průběhu hodnot při simulaci úniku média, vlastní tvorba v programu Excel.

Nádoby s vodou byly vloženy v čase 5 minut od počátku měření. Z grafů [Obrázek 35, 36, 37 a 38] je patrné, že na simulovaný únik média v maketě místnosti nejlépe reaguje čidlo relativní vlhkosti. Teplota také reaguje, ale ne tak dominantně jako relativní vlhkost, takže nastavení prahové teploty pro signalizaci alarmu je velmi citlivé. Moje maketa je rozměrově poměrně malá (23 cm x 17,5 cm). V reálném provozu ETE by byl rozměr oblasti/místnosti řádově v metrech, jak uvádí [30] a [31], takže by bylo potřeba doplnit místnost více než jedním čidlem. Navíc je většina místností v kontrolovaném

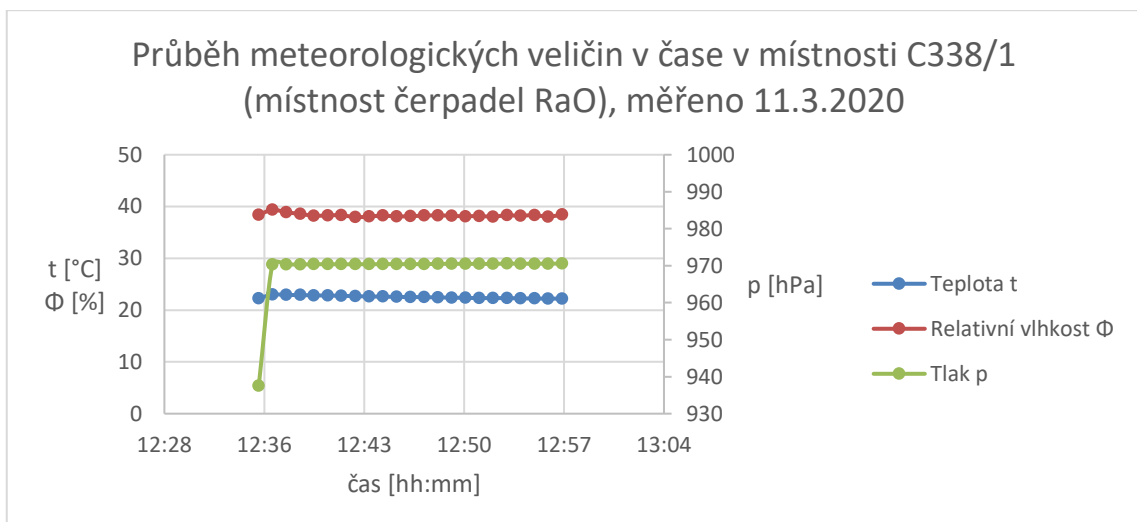
pásmu hermeticky uzavřená, kdežto moje maketa není, takže se dá předpokládat, že by se tlakové čidlo chovalo jinak než v maketě místnosti.

#### 4.8.5 Analýza meteorologických hodnot

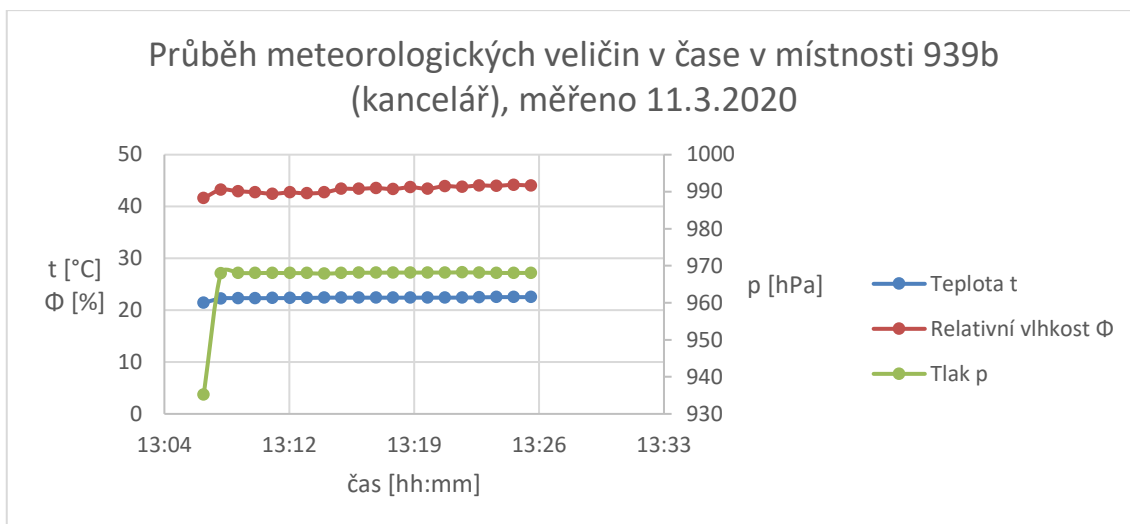
Jako poslední jsem se rozhodl testovat zařízení v kontrolovaném pásmu ETE.



Obrázek 41: Graf průběhu hodnot v místnosti kontrolovaného pásma, vlastní tvorba v programu Excel.



Obrázek 42: Graf průběhu hodnot v místnosti kontrolovaného pásma, vlastní tvorba v programu Excel.



*Obrázek 43: Graf průběhu hodnot v místnosti kontrolovaného pásma, vlastní tvorba v programu Excel.*

Vytipoval jsem tři různé místnosti a provedl v nich měření. První dva grafy [Obrázek 39 a 40] jsou z hodnot naměřených v hermeticky uzavřených místnostech, kdežto třetí graf [Obrázek 41] ne. I přes poměrně krátkou dobu měření (20 minut) lze říci, že trend hodnot je stabilní.

Z průběhu hodnot v této kapitole a v kapitole 4.8.4 lze stanovit hodnoty, při kterých je pravděpodobné, že došlo k úniku média. Toto ovšem platí jen pro konkrétní místnosti v kontrolovaném pásmu, kde proběhlo měření. Určitě by bylo vhodné vyzkoušet, jak by čidla reagovala při reálném úniku média v místnosti kontrolovaného pásma, nicméně toto je v zájmu zachování pravidel radiační ochrany a jaderné bezpečnosti netestovatelné.

Hodnoty pro signalizaci alarmu při podezření na únik média byly nastaveny na:

- Teplota  $\geq 25$  °C
- Relativní vlhkost  $\geq 70\%$
- Tlak  $\geq 1000$  hPa

## 5 ZÁVĚR

Cílem práce bylo navrhnout, vytvořit a vyzkoušet zařízení, které by zvýšilo úroveň radiační ochrany pracovníků v kontrolovaných pásmech jaderných elektráren. Dalším cílem bylo umožnit pracovníkům snadný přístup k měřeným veličinám prostřednictvím CLOUDu.

Způsobů, jak těchto cílů dosáhnout bylo více, nicméně byl zvolen přístup preferující zařízení vyrobené v domácích podmínkách, kde jednoduchost převažuje nad velkým množstvím funkcionalit a zároveň platí fakt, že po domácku vyrobená zařízení jsou dostupnější a člověk nemusí spoléhat na komerčně vyráběná zařízení.

Hlavním cílem byl tedy návrh a vytvoření zařízení pro měření radiace a vybraných veličin, kterým by se zabezpečila vyšší úroveň radiační ochrany. Protože byl zvolen přístup preferující po domácku vyrobené zařízení, byl v tomto duchu zvolen jak modul, který měří radiaci, tak ostatní čidla, která měří vybrané veličiny. Součástí byl návrh a výroba plošného spoje, který se skládá z běžně dostupných součástí a modulů a jeho kompletace probíhala v domácích podmínkách. Lze konstatovat, že výsledné řešení tento cíl splňuje.

Další cíl bylo umožnit pracovníkům snadný a efektivní přístup k měřeným parametrům pomocí CLOUDu. Pro dosažení tohoto cíle bylo použito cloudové webové rozhraní ThingSpeak, na které se posílají data ze zařízení a které umožňuje tato data zobrazovat a aplikace ThingView Free pro chytré mobilní telefony s operačním systémem Android, která umožní zobrazit data z ThingSpeaku. I u tohoto cíle lze konstatovat, že výsledné zařízení tento cíl splňuje.

Poslední cíl bylo testování a kalibrace zařízení. Zařízení se testovalo tak, že se nechalo dva dny v provozu v místnosti v bytě mého bydliště a další dva dny na balkóně bytu mého bydliště. Zařízení během provozu nevykazovalo žádné výpadky nebo nedostatky. Dále se zařízení otestovalo na schopnost detekovat záření  $\beta$  a na jeho reakci při simulovaném úniku média. Zařízení se také otestovalo na reakci na skokovou změnu radiační situace zářičem  $\gamma$  a v poslední fázi testování se nechalo v provozu ve třech různých místnostech kontrolovaného pásma ETE s cílem zjistit trend meteorologických hodnot v místnostech. Kalibrace zařízení, respektive GM detektoru proběhla na pracovišti LMIZ v ETE, cílem bylo najít kalibrační faktor mezi hodnotou CPM a PDE. Tím byl tento cíl také splněn.

Výstupem mojí práce je zařízení, které měří radiaci a vybrané veličiny a tyto údaje posílá na CLOUD. Součástí je zdrojový kód programu, schémata zapojení a návrhy plošných spojů.

Zařízení je omezeno měřicím rozsahem GM detektoru. To lze do budoucna vyřešit výměnou za jiný typ detektoru. Další věcí je to, že detektor není umístěn v žádné konstrukci, takže není zajištěna jeho mechanická odolnost a taktéž odfiltrování UV záření, které mělo na GM detektor vliv a ovlivňovalo výsledky, jak se ukázalo během testování. Čidla také nejsou umístěna v žádné konstrukční schránce. Základní funkce zařízení je možné vylepšit například tím, že zařízení bude umět měřit celkovou dávku, mechanicky zamezit vstup do místnosti, pokud dojde k signalizaci alarmu a v místnosti nikdo nebude apod.

Samotné rozhraní CLOUDu má omezené možnosti vzhledem k tomu, že bylo realizováno na sharewarové platformě. Mobilní aplikace umožňuje zobrazit posledních 60 hodnot, ThingSpeak umožňuje pracovat s časovou osou podle potřeby. Zde také existuje prostor pro zlepšení. A to buď rozšířením na placenou verzi nebo tvorbou vlastní aplikace pro Android, či vlastním rozhraním na internetu.

## I. SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.

[1] Gerndt, J., Průša, P. (2011). *Detektory ionizujícího záření*. Praha: Nakladatelství ČVUT.

[2] Kolářek, B. (2014). *Základy radiační ochrany*. Brno: ČEZ a.s.

[3] Kolektiv autorů. (2000). *Principy a praxe radiační ochrany*. Praha: Nakladatelství AZIN CZ.

[4] Podzimek F. (2013). *Radiologická fyzika. Fyzika ionizujícího záření*. Praha: Nakladatelství ČVUT.

[5] *Metodika detekce ionizujícího záření*. [online].

Ostrava: Vojtěch Ullmann [cit. 2020 – 02 – 19]. Dostupné z:

<http://astronuklfyzika.cz/DetekceSpektrometrie.htm>

[6] *Účinky záření na látku. Základní veličiny dozimetrie*. [online].

Ostrava: Vojtěch Ullmann [cit. 2020 – 02 – 19]. Dostupné z:

<http://astronuklfyzika.cz/RadiacniOchrana.htm>

[7] *Arduino Mega2560*. [online].

Praha: Alza.cz [cit. 2020 – 02 – 20]. Dostupné z:

[https://www.alza.cz/arduino – mega2560 – rev3 – d569248.htm?kampan=adw1\\_komponenty\\_pla\\_all\\_obecna – css\\_ostatni – komponenty – elektricke – stavebnice\\_c\\_9062907\\_\\_1o3\\_414817402751\\_~92896240495~&gclid=CjwKCAiA1rPyBRAREiwA1UIy8M4E5Hk06Qj6SfS8PKLXoGIxriHc08hNz5cBNow5YP7GmE – rHShOSBoC2jUQAvD\\_BwE](https://www.alza.cz/arduino-mega2560-rev3-d569248.htm?kampan=adw1_komponenty_pla_all_obecna-css_ostatni-komponenty-elektricke-stavebnice_c_9062907__1o3_414817402751_~92896240495~&gclid=CjwKCAiA1rPyBRAREiwA1UIy8M4E5Hk06Qj6SfS8PKLXoGIxriHc08hNz5cBNow5YP7GmE_rHShOSBoC2jUQAvD_BwE)

[8] *Portable Handle Geiger Counter DIY Kit Nuclear Radiation Detector With Miller GM Tube Gamma Beta Ray suit for Arduino*. [online].

Čína: AliExpress [cit. 2020 – 02 – 20]. Dostupné z:

<https://www.aliexpress.com/item/32309454662.html>

[9] *DHT22 Temperature and Humidity Sensor, 5.5V, Adafruit*. [online].

Švýcarsko: Distrelec [cit. 2020 – 02 – 20]. Dostupné z:

[https://www.distrelec.cz/cs/dht22 – temperature – and – humidity – sensor – 5v – adafruit – 385/p/30129240](https://www.distrelec.cz/cs/dht22-temperature-and-humidity-sensor-5v-adafruit-385/p/30129240)

[10] *Arduino Mega2560*. [online].

Itálie: Arduino [cit. 2020 – 02 – 20]. Dostupné z:

[https://store.arduino.cc/arduino – mega – 2560 – rev3](https://store.arduino.cc/arduino-mega-2560-rev3)

[11] *Modul čidla tlaku BMP180*. [online].

Ústí nad Labem: Simple Engineering – Ptshop.cz [cit. 2020 – 02 – 20]. Dostupné z:

[https://www.ptshop.cz/Modul – cidla – tlaku – BMP180 – d140.htm#detail – anchor – description](https://www.ptshop.cz/Modul-cidla-tlaku-BMP180-d140.htm#detail-anchor-description)

[12] *BMP180 datasheet*. [online].

USA: Adafruit Industries [cit. 2020 – 02 – 20]. Dostupné z:

[https://cdn – shop.adafruit.com/datasheets/BST – BMP180 – DS000 – 09.pdf](https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/BST-BMP180-DS000-09.pdf)

[13] *Arduino rotační enkodér*. [online].

Havlíčkův Brod: Arduino shop [cit. 2020 – 02 – 20]. Dostupné z:

[https://arduino – shop.cz/arduino/837 – arduino – rotacni – ekoder.html?gclid=CjwKCAiA1rPyBRAREiwA1UIy8CpndwrsF5ql7hbqH7u1VadHtNUfMLTwwIvPhX4MUV1LJexeGuF7ExoCBCoQAvD\\_BwE](https://arduino-shop.cz/arduino/837-arduino-rotacni-ekoder.html?gclid=CjwKCAiA1rPyBRAREiwA1UIy8CpndwrsF5ql7hbqH7u1VadHtNUfMLTwwIvPhX4MUV1LJexeGuF7ExoCBCoQAvD_BwE)

[14] *Arduino DS3231 ZS042 AT24C32 IIC Module Precision RTC Real time Clock Memory*. [online].

USA: eBay [cit. 2020 – 02 – 20]. Dostupné z:

[https://www.ebay.com.au/itm/Arduino – DS3231 – ZS042 – AT24C32 – IIC – Module – Precision – RTC – Real – time – Clock – Memory – /401093092939](https://www.ebay.com.au/itm/Arduino-DS3231-ZS042-AT24C32-IIC-Module-Precision-RTC-Real-time-Clock-Memory-/401093092939)

[15] *Modul čtečky SD karet*. [online].

Praha: GM electronic [cit. 2020 – 02 – 20]. Dostupné z:

<https://www.gme.cz/modul-ctecky-sd-karet-spi-sbernice#product-detail>

[16] *ESP8266 WiFi Module Breakout Board*. [online].

Velká Británie: Premier Farnell [cit. 2020-02-20]. Dostupné z:

[https://cz.farnell.com/seeed-studio/83-16992/esp8266-wifi-module-breakout-board/dp/2801859?gclid=Cj0KCQiA-bjyBRCCARIsAFboWg378UGtMoFsKc8gr2vKde1-rXqxSTgHtb\\_okkG9gKXg39kDCBImOO0aAvszEALw\\_wcB&gross\\_price=true&mckv=EU25cg4z\\_dc|pcrid|203336298612|&CMP=KNC- GCZ- GEN- SHOPPING- ALL\\_PRODUCTS](https://cz.farnell.com/seeed-studio/83-16992/esp8266-wifi-module-breakout-board/dp/2801859?gclid=Cj0KCQiA-bjyBRCCARIsAFboWg378UGtMoFsKc8gr2vKde1-rXqxSTgHtb_okkG9gKXg39kDCBImOO0aAvszEALw_wcB&gross_price=true&mckv=EU25cg4z_dc|pcrid|203336298612|&CMP=KNC- GCZ- GEN- SHOPPING- ALL_PRODUCTS)

[17] *L 7805 CV*. [online].

Brno: SOS electronic [cit. 2020-02-20]. Dostupné z:

<https://www.soselectronic.cz/products/stmicroelectronics/l-7805-cv-17692>

[18] *LM2596 DC-DC Buck Converter Step Down Module*. [online].

USA: Amazon [cit. 2020-02-20]. Dostupné z:

<https://www.amazon.in/LM2596-DC-DC-Buck-Converter-Module/dp/B009P04YTO>

[19] Tišnovský, P. *Komunikace po sériové sběrnici I2C*. [online].

Česká republika: Root.cz, 2009 [cit. 2020-02-20]. Dostupné z:

<https://www.root.cz/clanky/komunikace-po-seriove-sbernici-isup2supc/>

[20] *ThingSpeak*. [online].

USA: ioBridge [cit. 2020-02-20]. Dostupné z:

<https://thingspeak.com/>

[21] *ThingView - ThingSpeak viewer*. [online].

USA: Cinetica Tech [cit. 2020-02-20]. Dostupné z:

[https://play.google.com/store/apps/details?id=com.cinetica\\_tech.thingview&hl=cs](https://play.google.com/store/apps/details?id=com.cinetica_tech.thingview&hl=cs)

[22] *SMA Indikátor - Potvrzení Trendu pomocí Simple Moving Average*. [online].



Praha: Admiral Markets [cit. 2020 – 02 – 24]. Dostupné z:

<https://admiralmarkets.cz/education/articles/forex – indicators/sma – indikator>

[23] Míka, M., Papan, J., Kibus, M. (2017). *OTS601, systémový provozní předpis systému RRMS*. Jaderná elektrárna Temelín: ČEZ a.s.

[24] Vomlelová, M. *Lineární regrese*. [online].

Praha: Univerzita Karlova [cit. 2020 – 03 – 23]. Dostupné z:

<http://kti.mff.cuni.cz/~marta/nove2.pdf>

[25] *MonRaS, monitorování radiační situace*. [online].

ČR: Státní úřad pro jadernou bezpečnost [cit. 2020 – 03 – 05]. Dostupné z:

[https://www.sujb.cz/aplikace/monras/?lng=cs\\_CZ](https://www.sujb.cz/aplikace/monras/?lng=cs_CZ)

[26] *Safecast Tile Map*. [online].

Japonsko: Safecast [cit. 2020 – 03 – 05]. Dostupné z:

<https://map.safecast.org/>

[27] Halliday, D., Resnick, R., Walker, J. (2014). *Fyzika 1 a 2*. Brno: Nakladatelství VUTIUM.

[28] Koláček, B., Papan, J., Vokálek, J., Vobr, J., Kaňkovský, J. (2013). *Radiační ochrana v ETE*. Brno: ČEZ a.s.

[29] Singer, J. (2005). *Dozimetrie ionizujícího záření*. České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích.

[30] Cvachovec, F., Jandl, J. (1996). *Cvičení z detekce a měření ionizujícího záření*. Brno: VUT v Brně.

[31] Cencinger, F. (2008). *Primární část JE VVER 1000, díl I., základní zařízení primárního okruhu*. Brno: ČEZ a.s.

[32] Cencinger, F. (2008). *Primární část JE VVER 1000, díl II., pomocné zařízení primárního okruhu*. Brno: ČEZ a.s.

[33] *Radioaktivita*. [online].

Ostrava: Vojtěch Ullmann [cit. 2020 – 03 – 07]. Dostupné z:

<http://astronuklfyzika.cz/JadRadFyzika2.htm>

## II. SEZNAM OBRÁZKŮ, TABULEK A GRAFŮ

### SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ

Obrázek 1: VA charakteristika, převzato z [5] .....	9
Obrázek 2: Princip GM detektoru, převzato z [5] .....	10
Obrázek 3: GM detektor RD – 14 s elektronikou používaný v ETE, vlastní tvorba. ....	12
Obrázek 4: Arduino Mega2560, převzato z [7]. .....	13
Obrázek 5: GM modul, převzato z [8]. .....	14
Obrázek 6: Čidlo DHT22, převzato z [9]. .....	14
Obrázek 7: Čidlo BMP180, převzato z [11]. .....	15
Obrázek 8: Rotační kodér, převzato z [13]. .....	15
Obrázek 9: RTC modul, převzato z [14]. .....	16
Obrázek 10: SD modul, převzato z [15]. .....	16
Obrázek 11: Wi – Fi modul, převzato z [16]. .....	17
Obrázek 12: Stabilizátor napětí 7805CV, převzato z [17]. .....	17
Obrázek 13: Měnič napětí, převzato z [18]. .....	18
Obrázek 14: Blokové schéma, vlastní tvorba v programu Fritzing. ....	22
Obrázek 15: Schéma kompletního zapojení, vlastní tvorba v programu Eagle. ....	23
Obrázek 16: Vývojový diagram hlavní části programu, vlastní tvorba v programu Excel. .....	25
Obrázek 17: Vývojový diagram sekundového vyhodnocení, vlastní tvorba v programu Excel. ....	26
Obrázek 18: Vývojový diagram minutového vyhodnocení, vlastní tvorba v programu Excel. ....	27
Obrázek 19: Princip výpočtu průměrné hodnoty CPM pomocí klouzavého průměru, vlastní tvorba v programu Excel .....	28
Obrázek 20: Část kódu programu řešící výpočet hodnoty CPM a PDE, vlastní tvorba v programu Arduino.....	29
Obrázek 21: Určení kalibračního faktoru, vlastní tvorba v programu Excel.....	30
Obrázek 22: Část kódu programu řešící posílání dat na CLOUD, vlastní tvorba v programu Arduino.....	32
Obrázek 23: Zkoušení zařízení, vlastní tvorba. ....	32
Obrázek 24: První osazená deska plošného spoje s Arduinem, vlastní tvorba. ....	33
Obrázek 25: Druhá osazená deska plošného spoje s čidly DHT22 a BMP180, vlastní tvorba. ....	34
Obrázek 26: Třetí osazená deska plošného spoje s LED diodami, vlastní tvorba. ....	34
Obrázek 27: Celkový pohled na maketu místnosti, vlastní tvorba. ....	35
Obrázek 28: Detail GM detektoru a čidel DHT22, BMP180 v maketě místnosti, vlastní tvorba. ....	35
Obrázek 29: Detail info panelu a vstupních otočných dveří v maketě místnosti, vlastní tvorba. ....	36
Obrázek 30: Nabídka kanálů v ThingSpeaku, vlastní tvorba. ....	36
Obrázek 31: Ukázka průběhu grafů v kanálu ThingSpeaku, vlastní tvorba. ....	37
Obrázek 32: Printscreen obrazovky aplikace ThingView Free s detailem grafu, vlastní tvorba. ....	37
Obrázek 33: Printscreen obrazovky aplikace ThingView Free s grafy, vlastní tvorba. .	38
Obrázek 34: Průběh PDE, vlastní tvorba v programu Excel. ....	39

Obrázek 35: Ukázka reakce GM detektoru na čistý zářič $\beta$ , vlastní tvorba v programu Excel. ....	40
Obrázek 36: Testování GM detektoru $\gamma$ zářiči, vlastní tvorba v programu Excel. ....	41
Obrázek 37: Graf průběhu hodnot při simulaci úniku média, vlastní tvorba v programu Excel. ....	43
Obrázek 38: Graf průběhu hodnot při simulaci úniku média, vlastní tvorba v programu Excel. ....	43
Obrázek 39: Graf průběhu hodnot při simulaci úniku média, vlastní tvorba v programu Excel. ....	44
Obrázek 40: Graf průběhu hodnot při simulaci úniku média, vlastní tvorba v programu Excel. ....	44
Obrázek 41: Graf průběhu hodnot v místnosti kontrolovaného pásma, vlastní tvorba v programu Excel. ....	45
Obrázek 42: Graf průběhu hodnot v místnosti kontrolovaného pásma, vlastní tvorba v programu Excel. ....	45
Obrázek 43: Graf průběhu hodnot v místnosti kontrolovaného pásma, vlastní tvorba v programu Excel. ....	46
Obrázek 44: Návrh desky plošného spoje s Arduinem, vlastní tvorba v programu Eagle. ....	59
Obrázek 45: Návrh desky plošného spoje s čidly DHT22 a BMP180, vlastní tvorba v programu Eagle. ....	60
Obrázek 46: Návrh desky plošného spoje s LED diodami, vlastní tvorba v programu Eagle. ....	60
Obrázek 47: Titulní strana kalibračního listu, vlastní tvorba. ....	61
Obrázek 48: Druhá strana kalibračního listu, vlastní tvorba. ....	62

## SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Naměřené hodnoty CPM při kalibraci, vlastní tvorba v programu Excel. ...	30
Tabulka 2: Porovnání hodnot CPM, vlastní tvorba v programu Excel. ....	39

### III. SEZNAM ZKRATEK

**°C** Stupeň Celsia, jednotka teploty

**A** Ampér, jednotka elektrického proudu

**API** Application Programming Interface

**ASŘTP** Automatický systém řízení technologických procesů

**BDRK** Bloková dozorna radiační kontroly

**CDRK** Centrální dozorna radiační kontroly

**CPM** Counts per minute

**DC** Direct current, stejnosměrný proud

**EEPROM** Electrically Erasable Programmable Read – Only Memory (Elektronicky Vymazatelná Paměť pouze pro čtení)

**ETE** Jaderná elektrárna Temelín

**FILO** First in last out

**GM** Geigerův – Müllerův

**Gy** Gray, jednotka pro dávku

**HCI** Human computer interaction, interakce člověk počítač, uživatelské rozhraní při práci s výpočetní technikou

**HTTP** Hypertext Transfer Protocol

**I<sup>2</sup>C** Inter – Integrated Circuit, čtvereček I – squared – C

**IEEE** Institute of Electrical and Electronics Engineers, Institut pro elektrotechnické a elektronické inženýrství

**IoT** Internet of Things, internet věcí

**J** Joule, jednotka energie

**kB** Kilo Byte, jednotka množství dat

**KeV** kiloelektronvolt, jednotka energie

**kg** kilogram, jednotka hmotnosti

**LCD** Liquid crystal display

**LED** Light emitting diode

**LET** Linear energy transfer [N;eV/m], veličina pro určení jakostního činitele Q

**LIFO** Last in first out

**LMIZ** Laboratoř metrologie ionizujícího záření

**m** metr, jednotka délky

**PDE** Příkon prostorového dávkového ekvivalentu

**Ppm** Parts per million, jedna milióntina

**RK** Radiační kontrola

**RRMS** Remote radiation monitoring system

**RTC** Real time clock

**Rx** Pin Wi – Fi modulu, je určen pro čtení informací

**SCL** Synchronous clock

**SD** Secure digital

**SDA** Synchronous data

**SPI** Serial Peripheral Interface je sériové periferní rozhraní

**Sv** Sievert, jednotka pro efektivní a ekvivalentní dávku, dávkový ekvivalent

**TDS** Teledozimetrický systém

**TPS – HŘS** Technický podpůrný systém havarijního řídicího střediska

**UV** Ultraviolet, ultrafialové záření, druh elektromagnetického záření

**V** Volt, jednotka elektrického napětí

**W** Watt, jednotka výkonu

**Wi – Fi** Označení pro standardy popisující bezdrátovou komunikaci v počítačových sítích

## IV.SLOVNÍČEK

**Android** Operační systém na jádře Linuxu, hojně používaný nejen v mobilních telefonech

**AT** Zkratka pro attention, forma příkazů, též nazývaných Hayesovy příkazy, určené pro ovládání většiny modemů

**CLOUD** Virtuální prostor na internetu určený pro ukládání dat, data jsou kdykoliv dostupná a můžou k nim přistupovat odkudkoliv

**Datasheet** Katalogový list, který obsahuje podrobné informace a charakteristiky výrobku, zařízení, apod.

**GET** Dotazovací metoda HTTP protokolu

**Interrupt pin** Pin Arduina určený pro přerušení

**Kontrolované pásmo** prostor s regulovaným přístupem, ve kterém jsou zavedena zvláštní pravidla pro zajištění radiační ochrany nebo k zabránění rozšíření radioaktivní kontaminace

**LOOP** část programu Arduina, která probíhá neustále dokola ve smyčce

**Multitasking** Víceúlohový operační systém, může provádět více procesů současně

**On – line** stav připojení k počítačové síti, nejčastěji internetu

**PC – 11** Operátorská stanice systému RRMS

**Pin** Vývod elektronické součástky nebo obvodu

**Pullup** Rezistor resistor zajišťující logickou hodnotu vodiče v době, kdy není definována (např. vstupem)

**Q** Jakostní činitel určující různou biologickou účinnost různých druhů záření

**Radiační ochrana** systém technických a organizačních opatření k omezení ozáření osob a životního prostředí a omezení následků nehod

**RM2000** Řídící a zobrazovací jednotka systému RRMS

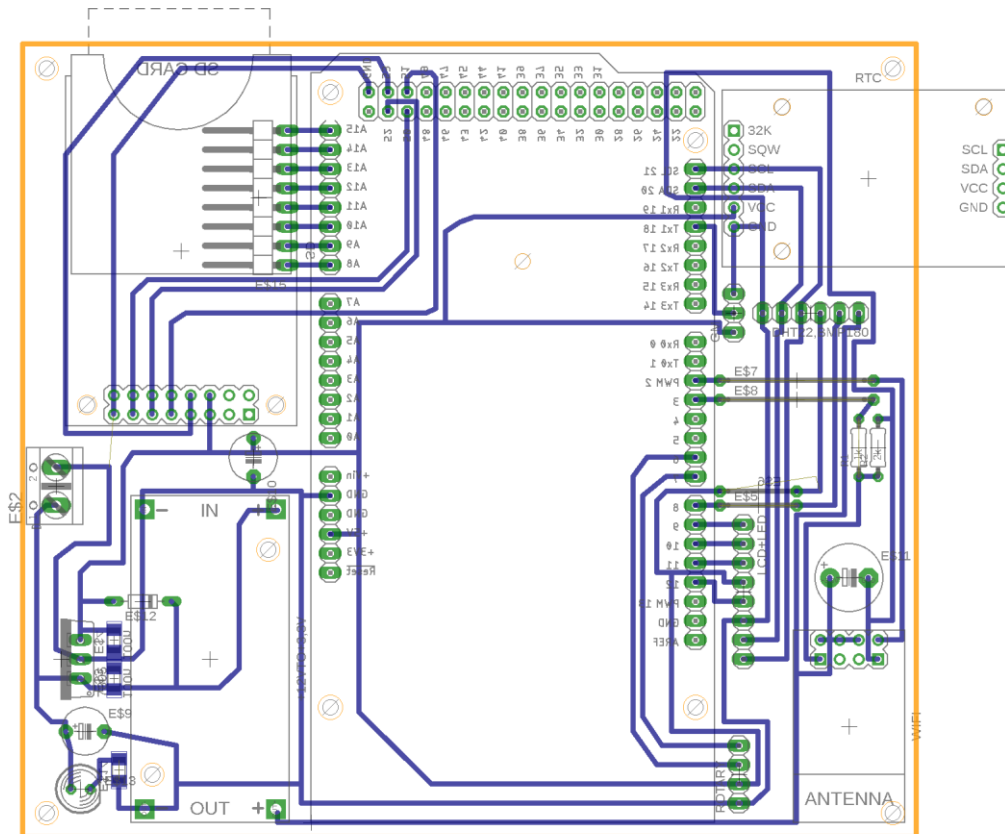
**RM2300** Řídící a zobrazovací jednotka systému RRMS určená pro měření důležitější z hlediska radiační ochrany a jaderné bezpečnosti

**SETUP** část programu Arduina, která proběhne jen jednou

**Stepdown** Snižovač napětí

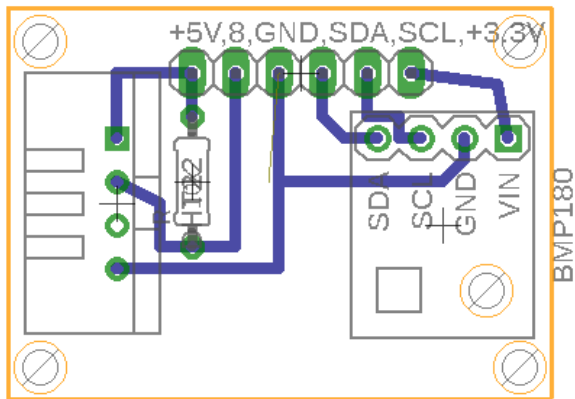
## V.PŘÍLOHY

Na přiloženém CD je použitý program.

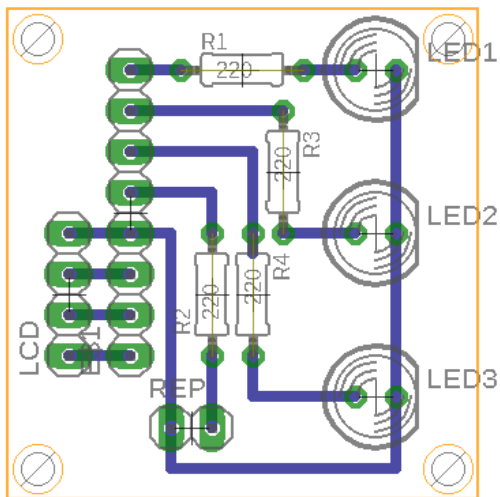


Obrázek 44: Návrh desky plošného spoje s Arduinem, vlastní tvorba v programu Eagle.





Obrázek 45: Návrh desky plošného spoje s čidly DHT22 a BMP180, vlastní tvorba v programu Eagle.



Obrázek 46: Návrh desky plošného spoje s LED diodami, vlastní tvorba v programu Eagle.



ČEZ, a.s., laboratoře RO  
Metrologie ionizujícího záření  
Jaderná elektrárna Temelín  
373 05 Temelín



Celkový počet stran: 2

## Kalibrační list č. J 61.ETE.20.KLR.0012

**Typ přístroje:** GM Modul  
**Výrobní číslo:** 0001  
**Výrobce:** Cimr Vratislav  
**Zadavatel:** 90E001443 – Laboratoře RO – LMIZ ETE  
ČEZ, a. s. – Jaderná elektrárna Temelín  
**Místo měření:** Metrologie ionizujícího záření ETE  
**Číslo měření:** 202002280001  
**Způsob měření:** Přímé porovnání dle metodického postupu J 61.02.R 01.2 Měřidla fotonového záření v rozsahu příkonu kermy ve vzduchu (1,1E-07 až 2,3) Gy/h v etalonovém svazku záření gama. (ČSN EN 60 846; ČSN IEC 1017-1,-2; ČSN IEC 1018; ČSN IEC 532; ČSN EN 61526; ISO 4037-1,-2,-3)  
**Datum přijetí:** 28.02.2020  
**Datum měření:** 28.02.2020  
**Datum vystavení:** 28.02.2020  
**Podmínky měření:** **teplota** **tlak** **relativní vlhkost**  
pro  $\dot{H}^*(10)$  (22,7 ± 0,5) °C (95,30 ± 0,50) kPa (23,1 ± 5,0) %  
**Prohlášení:** CF: 0,01/μSv/h  
Kalibrační faktor stanoven z tabulky s výsledky měření.  
Kalibrační list vystaven po potřeby BP.  
**Použité etalony:**

Etalon	Izotop	Platnost do	Navázání
OG8-1	Cs137	25.04.2021	ČMI-IIZ Praha
OG8-2	Cs137	25.04.2021	ČMI-IIZ Praha

**Referenční bod:**  
**Použité přístroje:**

Název	Model	Výr. číslo	Platnost do
Tlakoměr	DMP 331i	1068245	23.1.2022
Převodník teploměr + vlhkoměr	MWPA 12-7341523	44390	31.1.2022
Ozařovač	OG-8	0500007	25.4.2021

Obrázek 47: Titulní strana kalibračního listu, vlastní tvorba.

## Výsledky měření:

Etalon Nuklid	Měřená veličina	Konvenčně pravá hodnota Nejistota $U_B$	Naměřená hodnota Nejistota $U_A$	Kalibrační faktor / koeficient Nejistota U
OG8-1 Cs137	$\dot{H}^*(10)$	1,000E-06 Sv/h 4,3E-08 Sv/h 4,3 %	1,665E+00 imp/s 2,6E-02 imp/s 1,6 %	6,01E-07 (Sv/h)/(imp/s) 2,7E-08 (Sv/h)/(imp/s) 4,5 %
OG8-1 Cs137	$\dot{H}^*(10)$	5,00E-06 Sv/h 2,2E-07 Sv/h 4,3 %	8,336E+00 imp/s 3,0E-02 imp/s 0,36 %	6,00E-07 (Sv/h)/(imp/s) 2,6E-08 (Sv/h)/(imp/s) 4,3 %
OG8-1 Cs137	$\dot{H}^*(10)$	1,000E-05 Sv/h 4,3E-07 Sv/h 4,3 %	1,7189E+01 imp/s 6,2E-02 imp/s 0,36 %	5,82E-07 (Sv/h)/(imp/s) 2,5E-08 (Sv/h)/(imp/s) 4,3 %
OG8-2 Cs137	$\dot{H}^*(10)$	1,500E-05 Sv/h 4,6E-07 Sv/h 3,1 %	2,643E+01 imp/s 4,8E-01 imp/s 1,8 %	5,67E-07 (Sv/h)/(imp/s) 2,0E-08 (Sv/h)/(imp/s) 3,5 %
OG8-2 Cs137	$\dot{H}^*(10)$	2,000E-05 Sv/h 6,1E-07 Sv/h 3,1 %	3,509E+01 imp/s 4,9E-01 imp/s 1,4 %	5,70E-07 (Sv/h)/(imp/s) 1,9E-08 (Sv/h)/(imp/s) 3,4 %
OG8-2 Cs137	$\dot{H}^*(10)$	2,500E-05 Sv/h 7,6E-07 Sv/h 3,1 %	4,268E+01 imp/s 5,4E-01 imp/s 1,3 %	5,86E-07 (Sv/h)/(imp/s) 2,0E-08 (Sv/h)/(imp/s) 3,3 %
OG8-2 Cs137	$\dot{H}^*(10)$	1,000E-04 Sv/h 3,1E-06 Sv/h 3,1 %	1,6619E+02 imp/s 5,9E-01 imp/s 0,36 %	6,02E-07 (Sv/h)/(imp/s) 1,9E-08 (Sv/h)/(imp/s) 3,1 %

## Poznámka:

Nejistota U se skládá ze statistické nejistoty typu A a celkové nejistoty typu B. Uvedené rozšířené nejistoty měření jsou součinem standardní nejistoty měření a koeficientu rozšíření  $k=2$ , což pro normální rozdělení odpovídá pravděpodobnosti pokrytí cca 95 %. Standardní nejistota měření byla určena v souladu s dokumentem EA-4/02.

Měřil: Mgr. Leština Štěpán



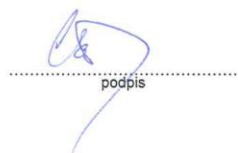
.....  
podpis

Schválil:

Mgr. Leština Štěpán  
vedoucí laboratoře


.....  
podpis

Převzal:



.....  
podpis

Razítko laboratoře:

ČEZ, a. s.  
JADERNÁ ELEKTRÁRNA TEMELÍN  
Divize výroba  
Laboratoř metrologie ionizujícího záření

.....

Obrázek 48: Druhá strana kalibračního listu, vlastní tvorba.