VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Brno, 2017 Bc. Kateřina Bali-Jenčíková

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV BIOMEDICÍNSKÉHO INŽENÝRSTVÍ
DEPARTMENT OF BIOMEDICAL ENGINEERING

MĚŘENÍ RADIOAKTIVNÍHO ZÁŘENÍ SE ZÁZNAMEM GEOLOKACE
RADIOACTIVE MEASUREMENT WITH GEOLOCATION RECORD

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR
Bc. Kateřina Bali-Jenčíková

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR
Ing. Jiří Sekora

BRNO 2017

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor **Biomedicínské inženýrství a bioinformatika**
Ústav biomedicínského inženýrství

Studentka: Bc. Kateřina Bali-Jenčíková ***ID:*** 159307
Ročník: 2 ***Akademický rok:*** 2016/17

NÁZEV TÉMATU:

Měření radioaktivního záření se záznamem geolokace

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1) Prostudujte problematiku radioaktivity, druhů záření a jejich vlastnosti a možnosti detekce radioaktivního záření. 2) Popište používané detektory, jejich principy a vlastnosti. Podrobněji popište plynem plněné detektory. 3) Seznamte se s možností určování pozice na Zemi pomocí navigačního systému (GPS). 4) Navrhněte detektor záření s Geiger-Mullerovou trubicí, který bude umožňovat záznam geolokace. Detektor musí být mobilní s možností indikace stavu baterie. 5) Navržený přístroj realizujte a funkčnost ověřte.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] EL-RABBANY, Ahmed. Introduction to GPS: the Global Positioning System. Boston, MA: Artech House, c2002. ISBN 1580531830.

[2] HÁLA, Jiří. Radioaktivita, ionizující záření, jaderná energie. Brno: Konvoj, 1998. ISBN 80-85615-56-8.

Termín zadání: 6.2.2017 ***Termín odevzdání:*** 19.5.2017

Vedoucí práce: Ing. Jiří Sekora
Konzultant:

prof. Ing. Ivo Provazník, Ph.D.
předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:
Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá rešerší radioaktivity, druhů radioaktivního záření a možnosti detekce záření. Jsou zde popsány druhy detektorů ionizujícího záření. Práce obsahuje popis a princip funkce GPS systému. Obsahem je také návrh s následnou realizací detekčního zařízení umožňující záznam geolokace. Výsledné realizované zařízení je plně mobilní s indikací stavu baterie. Výsledky jsou zaznamenávány na SD kartu.

KLÍČOVÁ SLOVA

radioaktivita, druhy záření, detektory, GPS poloha, družice, Arduino, detekce záření, záznam geolokace, měnič napětí, indikace stavu baterií

ABSTRACT

This diploma thesis deals with radioactivity research, types of radioactive radiation and radiation detection. There are described types of ionization radiation detectors. The diploma thesis contains the description and principle of the GPS system function. The content is also a proposal with the subsequent realization of a detection device allowing the recording of geolocation. The resulting device is fully mobile with battery status indication. The results are recorded on the SD card.

KEYWORDS

Radioactivity, types of radiation, detectors, GPS position, satellites, Arduino, radiation detection, geolocation recording, voltage converter, battery status indication

BALI-JENČÍKOVÁ, K. *Měření radioaktivního záření se záznamem geolokace*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2017. 52 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Jiří Sekora

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma „Měření radioaktivního záření se záznamem geolokace“ jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autorka uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušila autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhla nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědoma následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

Brno ....

(podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych poděkovala vedoucímu své semestrální práce panu Ing. Jiřímu Sekorovi za odborné vedení, konzultace, ochotu, trpělivost a podnětné návrhy k práci.

Brno ....

(podpis autora)

OBSAH

Úvod **9**

1 Radioaktivita **10**
1.1 Zákon radioaktivní přeměny 10
1.2 Jednotky radioaktivity a pojmy spojené s jednotkami 13
1.2.1 Jednotky radioaktivity 13
1.2.2 Konverzní faktor 13
1.3 Druhy radioaktivních přeměn 14

2 Možnosti detekce radioaktivní záření, používané detektory **17**
2.1 Rozdělění detektorů 17
2.1.1 Dělení dle časového průběhu 17
2.1.2 Dělení dle principu detekce 17
2.1.3 Dělení dle účelu měření 18
2.2 Plynem plněné detektory 18
2.2.1 Ionizační komory 19
2.2.2 Geiger-Müllerův detektor 20
2.3 Filmové, materiálové detektory 21
2.3.1 Filmové detektory 21
2.3.2 Materiálové detektory 23
2.4 Polovodičové detektory 24
2.5 Scintilační detektory s fotonásobičem 25

3 Možnosti určování pozičních souřadnic na Zemi pomocí navigačního systému **27**
3.1 Úvod 27
3.2 Princip určování polohy 27
3.2.1 Segmenty GPS systému 27
3.2.2 Struktura GPS signálu 29
3.2.3 Měření vzdáleností mezi družicí a přijímačem 30
3.2.4 Určování pozice přijímače 31
3.2.5 Zdroje chyb měření 32

4 Návrh zařízení pro záznam geolokace **34**
4.1 Hardwarové řešení 34
4.1.1 Základní deska 34

4.1.2 Přijímač GPS 35
4.1.3 Ukládání dat na SD kartu 36
4.1.4 Napájení a indikace stavu baterie 37
4.1.5 Detekční zařízení 38
4.1.6 Schéma zapojení 38
4.2 Softwarové řešení 38

5 Zhodnocení výsledků práce **43**

6 Závěr **44**

Literatura **45**

Seznam symbolů, veličin a zkratek **48**

Seznam příloh **49**

A Seznam použitých součástek **51**

B Obsah přiloženého CD **52**

SEZNAM OBRÁZKŮ

1.1 Základní schéma radioaktivního rozpadu 11
2.1 Voltampérová charakteristika ionizační komory, převzato z [2] 19
2.2 Schéma principu ionizační komory, převzato z [2] 20
2.3 Schéma zapojení a principu Geiger-Müllerova detektoru, převzato z [2] 22
2.4 Schéma principu polovodičového detektoru, převzato z [2] 25
2.5 Schéma principu scintilačního detektoru, převzato z [2] 26
3.1 Ukázka rozložení satelitů v kosickém segmentu, převzato z [30] 28
3.2 Modulace nosné vlny, převzato z [15] 29
3.3 Schéma složení signálu GPS, převzato z [15] 31
3.4 Ukázka protnutí tří kulových ploch při lokalizaci pomocí GPS systému, převzato z [16] 32
4.1 Blokové schéma 34
4.2 Vývojová deska Arduino UNO R3, převzato z [29] 35
4.3 GPS modul NEO-6M s anténou, převzato z [28] 36
4.4 Čtečka SD karet, převzato z [24] 37
4.5 Step-up měnič napětí, převzato z [27] 37

ÚVOD

Tato diplomová práce navazuje na předcházející teoretický rozbor v semestrální práci, který se týkal teoretického rozboru problematiky radioaktivního záření a seznámení se s možnostmi geolokace. Konečným cílem diplomové práce je navrhnout a následně realizovat detektor s využitím Geiger-mullerovy trubice, který zároveň bude umožňovat záznam geolokace.

Kromě teoretického rozboru se tato práce zabývá návrhem schématu pro výše popsané zařízení. Dále popisem použitých dílčích komponent pro realizaci zařízení. Nedílnou součástí práce je také realizovaný návrh s ověřením správné funkčnosti.

Jako jedna možnost ověření funkčnosti jsou výsledná data zapsána na SD kartě.

1 RADIOAKTIVITA

Radioaktivita je přirozená vlastnost látky, jejíž atomy mají schopnost se samovolně rozpadat a přeměňovat na jádra atomů jiných látek. Při tomto ději ztrácí látka část svojí energie, kterou uvolňuje ve formě záření. [1] [4] [5]

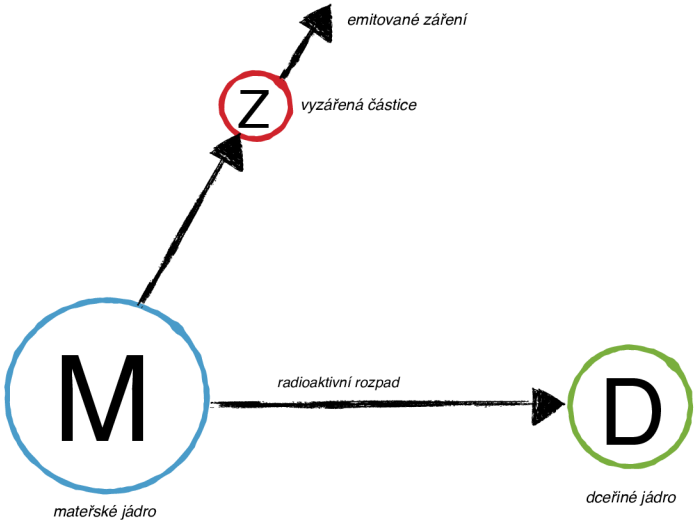
Objevení radioaktivity datujeme na přelom 19. a 20. století, kdy byla zaznamenána jako zatím neznámé neviditelné záření. Roku 1896 jej zpozoroval Henri Becquerel při svých pokusech s luminiscencí nerostů, jež vystavoval slunečnímu záření a zkoumal následný vliv na fotografických deskách. K objevení „neviditelného“ záření došlo sledem jistých náhod, kdy nenastaly vhodné podmínky pro pokusy s luminiscencí a Henri Becquerel schoval materiály do zásuvky, tedy uzavřeného prostoru bez přístupu světla. Po nějaké době, když fotografické desky, které byly zabaleny v černém ochranném papíře, vyvolal, zjistil, že se na vyvolaných snímcích nachází černý obraz nerostu. Při opakovaných pokusech došel Henri Becquerel k závěru, že některé nerosty vyzařují neviditelné záření, které proniká krycím papírem umístěným na fotografických deskách a následně je exponuje. Toto „neviditelné“ záření dále zkoumali manželé Marie Curie-Skolodowská a Pierr Curie a G. Bémont, který po bližším zkoumání uranových rud objevil další „zářící“ prvky - polonium a radium. Dosud neznámé záření pojmenovali radioaktivita. Za objev přirozené radioaktivity, roku 1903, spolu s Marií Curie-Skolodowskou a Pierren Curie, získal Henri Becquerel Nobelovu cenu. Po prokázání, že radioaktivita je doprovázena chemickou změnou neboli transmutací jader atomu jednoho prvku na jiný roku 1899 objevil Ernest Rutherford další vlastnosti. V záření se mu podařilo objevit dvě rozdílné složky: měkkou složku záření, kterou nazval paprsky α a tvrdou složku záření, kterou pojmenoval jako paprsky β. Nejpronikavější γ záření objevil roku 1900 Paul Ulrich Villard. Roku 1934 manželé Frédéric Joliot-Curie a Iréne Joliot-Curie poprvé vytvořili uměle vyvolanou radioaktivitu. Objevili také nová druh záření, které nazvali β^+.[2]

1.1 Zákon radioaktivní přeměny

Radioaktivní přeměna je náhodný proces změny složení nebo změna energetického stavu mateřského jádra, kdy dochází k samovolnému přechodu jader, vlivem vnitřních sil a mechanismů jádra, do stabilnějšího stavu dceřiného jádra a to za přítomnosti uvolňování vysokoenergetického záření. Musí zde být zachován zákon zachování energie a baryonového čísla. Zákon zachování energie vyžaduje hmotnostně energetickou podmínku:

$$m_{(D)} + m_{(Z)} < m_{(M)}, \tag{1.1}$$

kde $m_{(M)}$ je hmotnost mateřského jádra, $m_{(D)}$ je hmotnost jádra dceřiného a $m_{(Z)}$ je klidová hmotnost částice Z, která byla emitována. Po splnění podmínek dojde buď k transmutaci (u radioaktivního záření α nebo β), nebo nastane deexcitace energetické hladiny téhož jádra - izomerní přechod (radioaktivní záření γ). Jádra takovýchto atomů, které vykazují popsané vlastnosti nazýváme radionuklidy, pro konkrétní látky využíváme názvu radioaktivní zářiče. [1][2][3]



Obr. 1.1: Základní schéma radioaktivního rozpadu

Při dostatečně velkém počtu radionuklidů můžeme radioaktivní přeměnu popsat pomocí rovnice:

$$N_{(t)} = N_0 \cdot e^{\lambda t}, \tag{1.2}$$

kde $N_{(t)}$ je počet radioaktivních mateřských (netransmutovaných) jader v daném čase t, N_0 je počet mateřských jader v čase t_0, λ je konstanta, která vyjadřuje pravděpodobnost transmutace jádra a je specifická pro každý radioizotop (jedná se o konkrétní isotopy jader, které vykazují radioaktivitu). Lze ji také chápat jako konstantu úměrnou mezi úbytkem již samovolně přeměněných jader v daném čase t a celkovým počtem radioaktivních nepřeměněných jader. Parametr λ měříme v jednotkách s^{-1}. [1][2][3]

Z rovnice 1.2 vyplývá, že počet radioaktivních jader klesá v čase exponenciálně. Pro praktické účely je toto vyjádření nevhodné a používá se jen pro velké soubory rozpadajících se jader. Proto byla zavedena veličina T_f, popisující **fyzikální poločas rozpadu**. Jedná se o čas potřebný k přeměně poloviny jader radionuklidu. Rozměrem veličiny je čas, velikost jednotky volíme dle druhu měřeného isotopu. Volíme mezi: sekundami, minutami, hodinami, dny či roky. Protože po uplynutí času $N_{(t)}$ zbývá v isotopu pouze polovina jader z původního počtu, lze si rovnici 1.2 přepsat do tvaru:

$$\frac{N_{(0)}}{2} = N_0 \cdot e^{-\lambda_f T_f}, \tag{1.3}$$

po úpravě a zlogaritmování dostaneme vztah:

$$-ln_2 = -\lambda_f T_f, \tag{1.4}$$

a poslední jednoduchou úpravou získáme výsledný vztah mezi poločasem rozpadu a rozpadovou konstantou:

$$T_f = \frac{ln2}{\lambda_f}, \tag{1.5}$$

Fyzikální poločas rozpadu je důležitou veličinou pro využití v praxi. Například velikost, objem či hmotnost nám toho a dané radioaktivní látce moc nevypoví. Zajímá nás především aktivita, tu lze vypočítat z poločasu rozpadu a výchozí aktivity v jakémkoliv čase t bez nutnosti měření. [2][3]

Pro chování radionuklidu v živém organismu nestačí znát pouze jeho fyzikální poločas přeměny. Na jeho rozpad má vliv organismu (například v těle pacienta), kdy dochází k jeho odbourávání nebo vylučování. Pro tyto případy byla zavedena veličina: **Biologický poločas rozpadu** T_b. Jedná se o čas, který je potřebný k vyloučení poloviny původního množství radionuklidu z organismu (nejedná se o vlastnosti spojené s radioaktivitou ale o pokles množství konkrétní vpravené látky). Předpokladem pro smysluplné měření je rovnoměrné rozdělení radionuklidu v organismu, bez jeho ukládání či metabolizace, zároveň nesmíme během měření přivádět další obsah látky. Pro hodnocení aktivity radionuklidu v těle byl zaveden **efektivní poločas rozpadu** T_{ef}. Jedná se o čas, za který klesne aktivita radionuklidu na polovinu. Pokles celkové aktivity je způsobený jak biologickým vylučováním radionuklidu, tak i jeho radioaktivní přeměnou. Právě v důsledku zapojení biologických procesů je v reálných podmínkách efektivní poločas rozpadu vždy kratší než fyzikální poločas rozpadu a používá se pro výpočet dávky při vnitřním ozáření organismu. Lze jej vyjádřit vztahem:

$$\frac{1}{T_{ef}} = \frac{1}{T_f} + \frac{1}{T_b}, \tag{1.6}$$

1.2 Jednotky radioaktivity a pojmy spojené s jednotkami

1.2.1 Jednotky radioaktivity

U částici udáváme velikost vyzářené energie v eV (elektronvoltech), protože jednotka Joule je příliš veliká (1 eV = $1,602 \cdot 10^{-19} J$). Jeden elektronvolt je kinetická energie urychleného elektronu, kterou měříme z klidového stavu v elektrostatickém poli, mezi dvěma místy, mezi nimiž nalezneme potenciálový rozdíl ve velikosti 1 voltu. [2][3]

V oblasti radioaktivního záření a jeho působení na organismus byly zavedeny jednotky, které udávají míru účinku tohoto záření. Jedná se o: jednotku aktivity **bequerel** ***Bq***, jednotku dávkového ekvivalentu **sievert** ***Sv*** a jednotku absorbované dávky **gray** ***Gy***. [1]

Radioaktivita je jev, který se mění v průběhu času, z čehož vyplývá, že základní jednotku chápeme jako 1 rozpad za 1 sekundu. Aktivita vzorku klesá exponenciálně s časem a roku 1975 dostala název **bequerel** ***Bq***. V praxi se také setkáme s odvozenými jednotkami jako jsou: hmotnostní aktivita $Bq \cdot kg^{-1}$, objemová aktivita $Bq \cdot m^{-3}$ nebo aktivita plošného obsahu $Bq \cdot m^{-2}$. [1][2][3]

Jednotka **gray** ***Gy*** vyjadřuje energii **absorbované dávky**, tedy podíl středního množství energie, kterou částice předali prostředí o určité hmotnosti a hmotnosti tohoto prostředí. Jejím rozměrem je $J \cdot kg^{-1}$.

Sievert ***Sv*** je jednotkou dávkového ekvivalentu. Dávkový ekvivalent H je dán součinem absorbované dávky D a jakostního faktoru Q. [6]

1.2.2 Konverzní faktor

Měříme li hodnotu radiace pomocí Geiger Mullerových trubic, jako výsledek dostaneme veličinu *cpm* (count per minit), tedy počet pulzů za minutu. Aby se hodnota stala vypovídající je potřeba ji převést do jednotek $\mu Sv/h$. Jednotky udávají hodnotu radiace, kterou bychom obdrželi v časovém rozsahu jedné hodiny. K převodu mezi těmito dvěma veličinami je užíváno konverzního faktoru.

Konverzní faktor je hodnota, která je závislá na fyzikálních vlastnostech jednotlivých druhů trubic. Mezi ně patří například: velikost a tvar trubice, materiál,

citlivost nebo délka mrtvé doby. Hodnotu konverzního faktoru v drtivé většině udává výrobce. [26]

1.3 Druhy radioaktivních přeměn

Při rozpadu radioaktivních jader je nedílnou součástí přítomnost emise částic nebo v případě γ záření i kvanta elektromagnetického záření. Ve všech těchto případě ale stále zůstávají zachovány jisté fyzikální zákonitosti, mezi něž patří: zachování *elektrického náboje* (součet nábojů jádra a emitovaných částic je konstantní), zachování *počtu nukleonů* (součet nukleonu v dceřiném jádře spolu s emitovanými nukleony dává původní počet nukleonů v jádře mateřském). Stejně je tomu i v případě zachování hybnosti a energie, kdy součty veličin emitovaných a dceřiných jader dávají dohromady původní stav v jádře mateřském, protože přeměnou jader se atomy snaží dosáhnout stabilnějšího stavu. [1][3][5]

α záření je spontánní emisí u těžkých atomových jader, které mají nukleové číslo vyšší než 150. V přírodě jej nalezneme u většiny radioaktivních izotopů. Částice α je složena ze dvou protonů a dvou neutronů (jedná se tedy o héliové jádro). Díky tomu, že nukleony mají velkou vazebnou energii, chovají se jako jedna částice. Jádro atomu emitujícího α částice tak snižuje svoje atomové číslo o dvě jednotky a v periodické tabulce se posouvá o dvě místa vlevo od původního jádra. α záření má velkou rychlost, kterou způsobuje překonání kladně nabité částice přes potenciálovou bariéru vazebné energie jádra. Poté je totiž částice vymrštěna velkou rychlostí. Díky dvojnásobnému kladnému náboji, při vniknutí do látky, velmi snadno vytrhává elektrony z obalu atomů jiných látek a tím rychle ztrácí svoji energii a zabrzdí se na velmi krátké vzdálenosti (0,1 mm).[1][3][5]

U β záření rozlišujeme tři druhy záření: $\beta-$, $\beta+$ a elektronový záchyt. Obecně si ho můžeme definovat jako izobarickou transformaci jádra, při které je zachován počet nukleonů v jádře atomu. Nalezneme jej u umělých radionuklidů a u lehkých přirozených radioaktivních jader. V důsledku velkého nadbytku nebo naopak velkého nedostatku neutronů vzniká nestabilita jádra, je tak vynucena vnitřní reorganizace jádra. [1][2][3]

Radioaktivní přeměna $\beta-$ vzniká v případě, kdy je z mateřského jádra vysokou rychlostí emitován záporně nabitý elektron e^- a antineutrino. Nově vzniklé dceřiné jádro má oproti jádru mateřskému o jednotku vyšší protonové číslo, vzniká tak složitější prvek, protože se při přeměně jádra jaderný neutron mění na proton a současně probíhá emise elektronu a antineutrina (antineutrina jsou stejná jako

neutrina ale mají jinou orientaci spinu). Výsledné emitované spektrum $\beta-$ záření je spojité, protože část energie, která vznikla při přeměně jádra je odnesena antineutrinem. [1][2][3]

Přeměna $\beta+$ záření nastává, když je z jádra mateřského atomu emitován kladně nabitý pozitron e^+ a neutrino. Výsledné protonové číslo dceřiného prvku je o jednotku nižší než původní jádro mateřské. Přestože vznik $\beta+$ a $\beta-$ záření je velmi podobný, jejich chování v látce je diametrálně odlišné. $\beta+$ záření s velkou rychlostí způsobí, svými elektrickými silami, vytrhávání elektronů z obalů atomů kolem kterých proletí. Tím dochází k ionizaci látky (podobně jako u $\beta-$ záření). Po dostatečném zabrzdění se pozitron e^+ setká s elektronem e^-, vzhledem k tomu, že se jedná o antičástice dojde ke vzájemné eliminaci a to za přítomnosti anihilace. V místě anihilace dojde k přeměně antagonických částic na dvě kvanta tvrdého γ záření o energiích 511 keV, která z místa anihilace vylétají do protilehlých stran (přesně pod úhlem 180°). Tohoto jevu využívá oblast radiologie, především PET metoda (pozitronová emisní tomografie). [1][2][3]

Zvláštním druhem β radioaktivního záření je **elektronový záchyt**. Jedná se o záchyt elektronu z elektronového obalu do jádra. Dochází k přeměně jaderného protonu v neutron a protonové číslo výsledného dceřiného prvku je o jednotku nižší. K přeměně dochází tak, že „nadbytečný“ proton, který bude přeměněn na neutron, si může zachytit elektron a sloučit se s ním. Zachycení elektronu může nastat z hladiny K, L nebo M, nejčastěji však dochází k záchytu z hladiny K, neboť tento orbital má výrazný přesah do oblasti jádra. Při elektronovém záchytu nedochází ke korpuskulárnímu záření, nastává zde však transmutace jádra, takže se jedná o radioaktivní záření, protože na prázdné místo po elektronu ze slupky dané hladiny okamžitě přeskočí elektron z vyšší slupky. Tento děj je provázen vyzářením charakteristického X-záření (rentgenového záření). [1][2][3]

Výše popsané druhy záření vykazovali záření korpuskulární. Po radioaktivní přeměně jen zřídkakdy zůstanou vzniklá dceřiná jádra v nevybuzeném stavu. Uvolněná energie z reakce vede k tomu, že se dceřiné jádro po přeměně nachází v energeticky excitovaném stavu. Z tohoto stavu se jádro snaží dostat, což se projeví uvolňováním energie neboli deexcitací, kdy se energetický rozdíl vyzáří ve formě fotonu tvrdého elektromagnetického záření. Toto záření nazýváme γ **zářením.** Lze jej definovat jako vysokoenergetické záření, které vzniká deexcitací vybuzených hladin atomového jádra v případě, jedná-li se o γ záření nejaderného původu. Pokud se jedná o γ záření jaderného původu jeho definici vyjádříme jako deexcitaci vybuzených hladin dceřiného jádra vzniklého po radioaktivní přeměně. Vyzářením energie v podobě

γ záření se dceřiné jádro dostává do základního energetického stavu, ve kterém již dále setrvává. Doba excitovaného jádra je tak krátká, že ji téměř nelze změřit, takže dochází k vyzáření fotonu prakticky současně s emisí hmotné částice. Výsledné spektrum γ záření bude čarové, protože částice záření pochází z jaderných přechodů, s přesně danou energií, mezi diskrétními hladinami. Je-li v jádře více excitovaných hladin, výsledkem bude spektrum s několika diskrétními čarami (píky). [1][2][3]

2 MOŽNOSTI DETEKCE RADIOAKTIVNÍ ZÁŘENÍ, POUŽÍVANÉ DETEKTORY

Detektory ionizujícího záření nazýváme takové přístroje, které zjišťují přítomnost ionizujícího záření a zároveň umožňují měření jeho intenzity. Detektory jsou založeny na různých chemických či fyzikálních principech. Pokud budeme mluvit o dozimetrech, jedná se přístroje které měří absorbovanou energii záření v daném prostředí. Jak pro dozimetrii, tak pro detekci bývá využito stejných principů (chemických, tepelných, elektrických či optických). [3][7]

2.1 Rozdělění detektorů

2.1.1 Dělení dle časového průběhu

Detektory dělíme do různých skupin z různých hledisek. Základním dělením je rozdělení do dvou skupin: detektory kontinuální a detektory integrální.

Kontinuální detektory jsou takové, které nám ukazují aktuální hodnotu měřené veličiny radiačního pole. Tyto detektory nemají paměť, po ukončení ozařování je výstupní signál na detektoru roven nule. [2][7]

Integrální detektory jsou takové, kdy s narůstajícím časem ozáření roste hodnota signálu. Tyto detektory jsou vhodné pro záznam dávky či expozici, jsou uplatňovány především v osobní dozimetrii, lékařství a všeobecné radiační ochraně. Na rozdíl od detektorů kontinuálních po ukončení ozařování zůstává trvale uložena hodnota naměřené veličiny. [2][7]

2.1.2 Dělení dle principu detekce

V této skupině jsou detektory rozděleny podle principu, kterým detekují radioaktivní záření. Patří sem detektory: fotografické, materiálové, elektronické či optoelektronické.

Fotografické detektory jsou založeny na fotochemickém principu, který má za následek zčernání fotografického materiálu po ozáření radioaktivními paprsky. Do této skupiny patří především filmové dozimetry, rtg filmy, jaderné emulze atd. [2][3][7]

Materiálové detektory využívají principu změny vlastností určitých látek. Po ozáření se v látce projeví například změna složení, objemu, barvy nebo excitace. [2][3]

Detektory elektronické převádí absorbovanou část záření na elektrické proudy či impulzy, mohou měnit elektrické vlastnosti jako je například vodivost. Patří sem: ionizační komory, polovodičové detektory a Geiger-Müllerovy čítače. [2][3]

Mezi **optoelektronické detektory** patří takové přístroje, které umožňují přenos energie a informace prostřednictvím fotonů a jejich následnou detekci. Do této skupiny řadíme fotodiody, fototranzistory, CCD čipy, fotonásobiče. [2][3]

2.1.3 Dělení dle účelu měření

V této skupině se rozřazení detektorů řídí především požadavkem na komplexnost výstupních informací, tj. v jakém rozsahu a kvalitě požadujeme výstup, zda-li stačí pouhá detekce přítomnosti radioaktivního záření nebo požadujeme přesnou hodnotu či zobrazení. [2][3][7]

Detektory záření nám poskytují pouze informaci o intenzitě záření, neposkytují možnost určení druhu záření. Tyto detektory se také označují jako nespektrofotometrické a využívají se pro základní detekci radioaktivních částic či fotonů. Řadíme sem: filmové detektory, Geigerův-Müllerův počítač, termoluminiscenční detektory a ionizační komory. [2][3][7]

Zobrazovací detektory jsou typy detektorů, které jsou schopny měřené záření převést do vizuální či elektronické podoby. Nejjednodušším typem tohoto detektoru je fotografický film či luminiscenční stínítka. Mezi pokročilé typy těchto detektorů patří scintilační kamery a flat panely, které si lze představit jako soustavu prostorově rozmístěných detektorů poskytujících informaci o místě nebo úhlu dopadu záření. [2][3][7]

Spektrometry pro ionizující záření jsou takové detektory, které využívají pro detekci záření analýzu spektra. Jaderné spektrum je totiž rozdělení četnosti emitovaných částic na základě jejich energie a typu záření. Detekované spektrum vypovídá o struktuře atomového jádra a je charakteristické pro každý radionuklid. K samotnému vyhodnocení se používá jak kvantitativní (intenzita), tak kvalitativní (emitovaná energie a poločas rozpadu) měření. [2][3][7]

2.2 Plynem plněné detektory

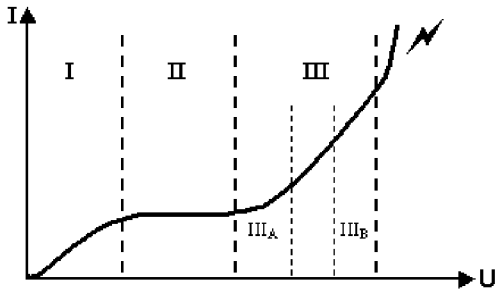
Pro lepší pochopení funkce plynem plněných detektorů bude uvedena následující křivka viz. obrázek 2.1, která popisuje závislost elektrického proudu, který prochází

ozařovaným prostředím, na velikosti elektrického napětí za předpokladu konstantní intenzity kvantového toku. Oblast křivky se dělí do tří oblastí: [2][3][7]

Oblast I je místem, kde platí Ohmův zákon v plném rozsahu, ionizační proud roste úměrně s napětím na elektrodách. Tato oblast se pro detekci záření nepoužívá. [2][3][7]

Oblast II. V této oblasti se začíná do přenosu elektrického náboje zapojovat stále více elektronů a Ohmův zákon přestává platit. Dochází k nasycení ionizačního proudu, zároveň stává se nezávislý na napětí. Jedná se oblast, kde pracují ionizační komory. [2][3][7]

Oblast III je specifická tím, že v ní primární ionty nabývají schopnosti ionizovat nárazem elektricky neutrální molekuly či molekuly plynu ve svém okolí. Vznikají tak ionty sekundární. Důsledkem tohoto jevu je skutečnost, že se zvyšující se hodnotou napětí, hodnota proudu prudce vzrůstá, až přechází do stavu elektrického výboje. Oblast III se dále dělí na podoblast III_A a podoblast III_B. V oblasti III_A je počet sekundární iontů přímo úměrný počtu primárních iontů, je to oblast, ve které pracují proporcionální detektory. Oblast III_B je oblastí, kde je nejvyšší napětí a sekundární ionizace nabývá takové intenzity, že dochází k lavinovému zmnožení elektronů, které způsobují elektrické výboje. V této oblasti pracují Geiger-Müllerovy detektory. [2][3][7]

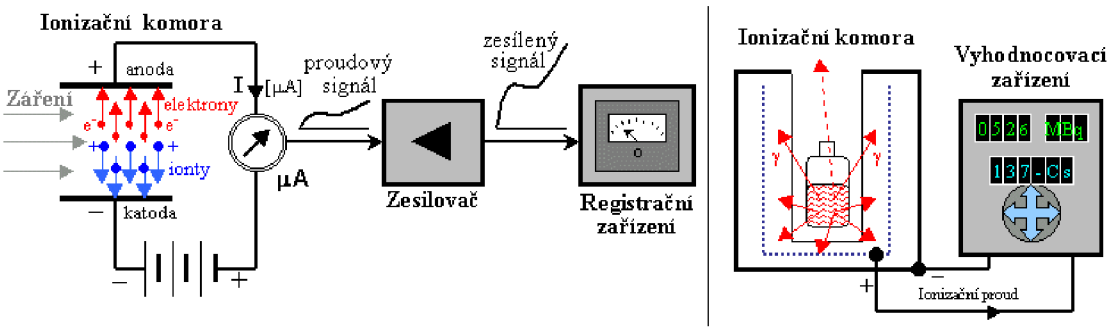


Obr. 2.1: Voltampérová charakteristika ionizační komory, převzato z [2]

2.2.1 Ionizační komory

Jsou tvořeny dvěma elektrodami (anodou a katodou), umístěnými v plynném prostředí. Elektrody jsou napojeny k napětí o velikosti stovek řádů voltů. V případě,

že je komůrka v provozním stavu, ale bez přítomnosti ionizujícího záření, neprochází tudy žádný proud, protože nastane situace, kdy elektrický obvod není uzavřen. Za stavu, kdy se mezi elektrodami objeví ionizující záření, se z původně neutrálních atomů plynu vyrazí elektrony a stanou se z nich ionty kladné. Záporné elektrony okamžitě putují ke kladné anodě, kladné elektrony putují k záporně nabyté katodě. V takto uspořádaném prostředí začne slabě téct proud. Tento proud registrujeme pomocí mikroampérmetru, proud je přímo úměrný intenzitě záření. Další možnost detekce je registrace pomocí krátkých napěťových či proudových impulzů (tato možnost bude popsána u Geiger-Müllerových detektorů). Velikost detekovaného elektrického proudu se pohybuje v rozmezí $10^{-16} - 10^{-9}$ A. Nevýhodou ionizačních komor je nízká citlivost, naopak výhodou je lineární závislost proudu i v oblasti vysokých intenzit. Proto její využití nalezneme v oborech pro měření rozložení intenzity (radioterapie), dále v dozimetrii pro měření dávky ionizujícího záření. [2][3][7]



Obr. 2.2: Schéma principu ionizační komory, převzato z [2]

2.2.2 Geiger-Müllerův detektor

je založen na stejném principu jako ionizační komora. Skládá se z s hermeticky uzavřené, plynem naplněné trubice, s tlakem nižším než je tlak atmosferický, zdroje vysokého stejnosměrného napětí a elektronického čítače impulzů. Plnícím plynem je argon s desetiprocentní příměsí zhášedla. Z konstrukce vyplývá, že detektor pracuje v impulzním režimu. Jak bylo výše uvedeno, elektrody pracují v oblasti III_B z voltampérové charakteristiky. V tomto pásmu již probíhá vyrážení elektronů a vznik nových sekundárních lavinovitě, z jednoho primárního elektronu zde vzniká až 10^{10} nových sekundárních elektronů. Tento jev vede na vznik samovolných výbojů, obvodem proběhne silný proudový impulz, který se projeví na pracovním odporu jako napěťový impulz. Impulz je po průchodu přes oddělovací kondenzátor registrován v elektronické jednotce. Výboj, který vzniká je co nejdříve uhasit, protože po dobu výboje nelze registrovat další impulzy, pokud by nedošlo k uhašení

vznikl by stály elektrický výboj, který by poškodil plynovou náplň i elektrody. Zhášení výboje způsobuje jak úbytek napětí na pracovním odporu (vede ke snížení napětí na elektrodách a tím k omezení tvorby sekundárních elektronů) tak především příměs zhášedla (páry ethanolu či bromu) v plynové náplni trubice. Příměs zhášedla má menší ionizační potenciál než argon, ionty argonu odebírají elektrony zhášedlu. Ionizované zhášedlo se po doletu na katodu rekombinuje ovšem bez vzniku další ionizace. V důsledku přítomnosti zhášecí látky vybuzený lavinový výboj trvá velmi krátkou dobu (řádově mikrosekundy). [2][3][7][9]

Mrtvá doba detektoru Jak bylo výše popsáno, v čase, kdy dojde ke snížení napětí na pracovním odporu a zároveň ke zhášení ionizace není možné detekovat další impulzy, proto tuto dobu nazýváme jako dobu necitlivosti neboli mrtvou dobu detektoru. Mrtvá doba detektoru se značí jako t, popřípadě DT a měří se v mikrosekundách. Tato doba je nevýhodná především v oblasti velkých intenzit, protože zde velmi často dochází k průletu další částice, která není díky mrtvé době detekována. V důsledku toho vzniká významná chyba měření. K minimalizaci ztráty informace může posloužit korekce mrtvé doby. Jedná se o výpočetní vztah dle vzorce:

$$N = \frac{n}{1 - n \cdot t}, \tag{2.1}$$

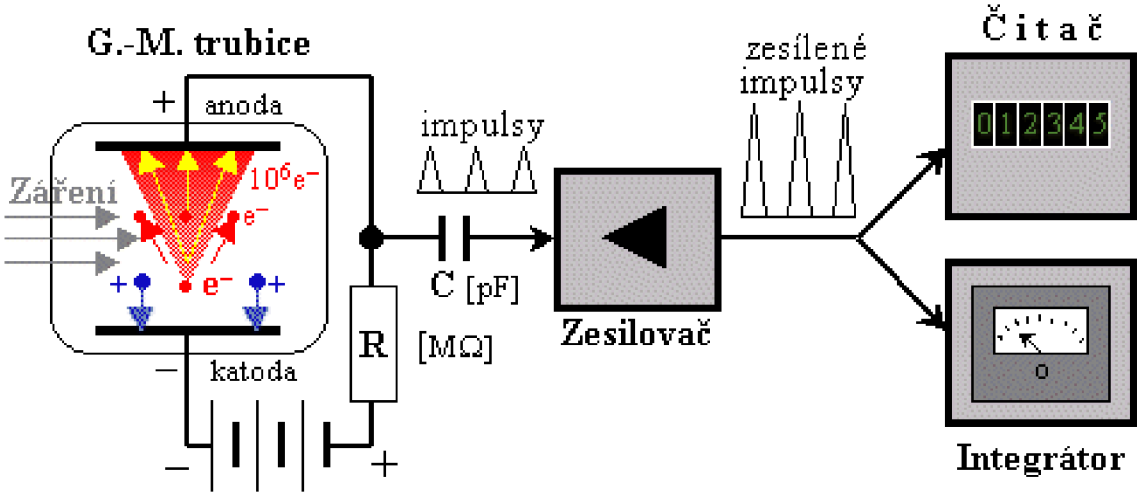
před výpočtem je potřeba znát hodnotu mrtvé doby t pro daný detektor. Výpočtem pak získáme stanovení skutečné četnosti impulzů na základě změřené četnosti impulzů n.[2][3][7][9]

Využití Geiger-Müllerovy detektory se začaly používat jako první typ detektoru v oblasti jaderné fyziky a radiační ochrany. Jeho přední výhodou je jednoduchost a relativně nízkou pořizovací cenu. Nevýhodou tohoto typu detektoru je použití pro méně náročná měření, které nekladou velké nároky na přesnost měření. [2][3][7][9]

2.3 Filmové, materiálové detektory

2.3.1 Filmové detektory

využívají fotochemické reakce, která se projeví zčernáním fotografického materiálu po vystavení radioaktivnímu záření. Fotografickým materiálem je brán takový materiál, který je světlocitlivý a obsahuje drobné krystalky halogenidu stříbra, nejčastěji obsahující bromid stříbrný. Tyto krystalky bývají rozprostřeny v želatinové vrstvě. Takto připravená směs se nazývá fotografická emulze a nanáší se na povrch nosiče (v případě nosiče jako plastové fólie se jedná o fotografický film, v případě, že je emulze nanesena na skleněnou desku jedná se o fotografickou desku). Samotným



Obr. 2.3: Schéma zapojení a principu Geiger-Müllerova detektoru, převzato z [2]

principem fotochemické reakce je pohlcení světelného fotonu. V molekule bromidu stříbrného nalezneme slabou iontovou vazbu Ag^+Br^-, která se absorpcí energie fotonu dostane z rovnováhy a dojde k uvolnění elektronu Br^- z vázaného atomu bromu. Takto uvolněný elektron může být pohlcen iontem stříbra Ag^+ vázaným v bromidu, dojde ke vzniku neutrálního atomu stříbra. Platí zde pravidlo, že energie fotonu musí být vyšší než vazebná energie molekuly, u které dochází k fotolýze (rozpadu bromidu stříbrného). Výše popsaná reakce platí pouze pro fotony, pro ionizující záření se však jedná o analogickou reakci, kdy nedochází k fotolýze ale k radiolýze bromidu stříbrného. Výsledkem je uvolnění atomu stříbra ze sloučeniny bromidu stříbrného a vznik latentního obrazu. Vzniklý latentní (okem neviditelný) obraz je potřeba převést do viditelné podoby. Vyvolání je elektrochemická reakce, při níž dojde ke zviditelnění obrazu. Na výsledném zviditelněném obrazu je míra zčernání úměrná odpovídající míře ionizace v bodech snímku. [2][3]

Filmové detektory najdeme nejčastěji v osobní dozimetrii, kdy jej jsou povinni nosit, na referenčním místě, všichni zaměstnanci i pracovníci, jež přichází nebo mohou přijít do styku s ionizujícím zářením a jsou v pravidelných, předepsaných časových úsecích kontrolovány. Nejčastěji mají podobu obdélníkového či čtvercového obalu, jež jsou světlotěsně uzavřené a uvnitř jsou obsaženy malé kousky fotografického filmu s fotografickou emulzí po obou stranách, kdy jedna je méně a druhá více citlivá. V plastovém obalu jsou umístěny okénka, do kterých jsou vsazeny filtry. Filtry mají různé druhy materiálů. Kombinací variací zčernání filmu a odpovídajícího typu filtru zle zjistit druhzáření, kterému byl detektor vystaven. Pro kontrolu těchto filmů jsou po vyjmutí kontrolovány, vyhodnocovány a vyměňovány ve specializo-

vaných laboratořích. Výsledná míra zčernání filmu je mírou integrálního množství záření, indikuje tím tak i dávku záření, která byla absorbována. [2][3]

2.3.2 Materiálové detektory

jsou založeny na metastabilní excitaci, což je jev některých dielektrických materiálů. Principem je, že ionizujícím zářením uvolněné elektrony přecházejí z valenčního pásma do pásma vodivostního, což se projeví dlouhodobým metastabilním stavem hladin, protože dochází k záchytu uvolněných elektronů na místech poruchy krystalové mřížky materiálu. Z metastabilních hladin se elektrony nedokáží samovolně uvolnit, ale jsou toho schopny po dodání určitého množství energie. Tímto způsobem dochází při ozařování ke shromažďování energie. Uvolnění je provedeno buď pomocí termoluminiscence nebo ozářením viditelným světlem. V případě termoluminiscence dochází k zahřátím materiálu. U ozáření viditelným světlem mluvíme o opticky stimulované luminiscenci. V obou případech dojde k deexcitaci, kdy jsou elektrony schopné vrátit se zpět na základní hladinu. Při deexcitaci se uvolňuje energie ve formě fotonů viditelného světla. Tento jev je nazývá luminiscence, dochází ke světélkovaní materiálu, většinou v odstínech modrozelené. Platí zde pravidlo přímé úměry, takže čím více byl materiál ozářen, tím více bylo nashromážděno elektronů v metastabilních hladinách a tím byl získán větší světelný výtěžek. Světelný výtěžek je tedy úměrný radiační dávce ozářeného materiálu. [2][3]

Termoluminiscenční dozimetry využívají výše popsaného principu uvolnění zachycených elektronů v metastabilních stavem za pomoci zahřátí materiálu. Jako termoluminiscenční materiál bývá použit fluorid lithtný, fluorid vápenatý, síran vápenatý, alumiofosfátové sklo. Vzorek je v detektoru zapouzdřen v přesně daném množství látky. Po ukončení expozice je vzorek vyjmut a zahřát na teplotu v rozmezí 160-300° C, v závislosti na druhu použité látky. Emitované viditelné světlo po zahřátí je snímáno fotonásobičem, ze kterého dostaneme výsledek v podobě elektrického signálu. Elektrický signál se zaznamenává v závislosti na teplotě, výsledkem je vyhřívací křivka. Jedná se plochu pod křivkou (integrál), který je přímo úměrný dávce. [2][3]

Fotoluminiscenční dozimetry využívají taktéž výše popsaného principu. Pro opticky stimulovanou luminiscenci se pro dozimetry využívá kysličník hlinitý aktivovaný uhlíkem. K vyhodnocení se využívá ozáření pomocí LED diody ve žluto-zeleném pásmu, vzniklá luminiscence má kratší vlnovou délku, jeho barva je v oblasti pásma modrého. Výsledný světelný signál je detekován pomocí fotonásobiče a hodnota vyzářené luminiscence je přímo úměrná velikosti ozáření dozimetru. Fotoluminiscenční

dozimetry jsou v porovnání s termoluminiscenčními dozimetry jednodušší, protože standardizace výsledků se lépe provádí s LED diodou než při tepelném vyhřívání t. [2]

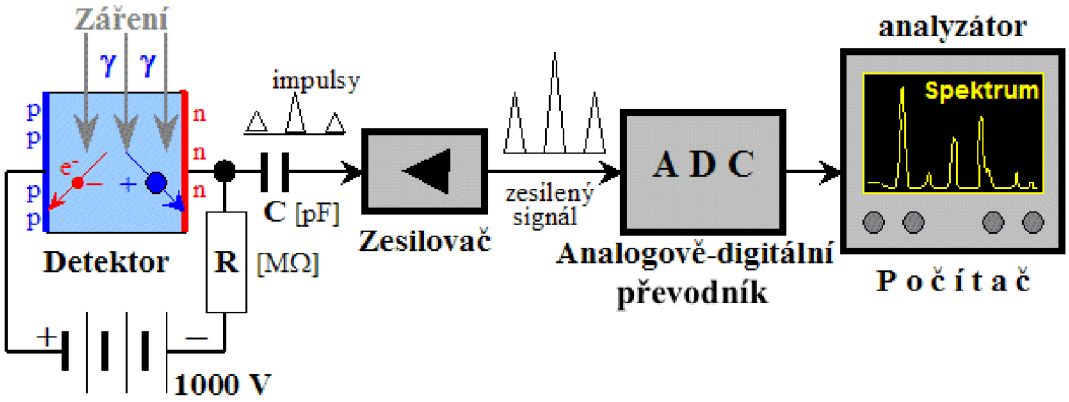
Oba typy výše popsaných dozimetrů se nejčastěji používají jako prstové detektory výhodné pro kontrolu při laboratorních pracích, nebo jako dozimetry celotělové. U obou typů dozimetrů se často používají různé filtry nebo oddělené detekční elementy. Ve srovnání s filmovými detektory mají jako termoluminiscenční, tak fotoluminiscenční dozimetr tu výhodu, že jsou přesnější a citlivější, méně reagují na vlivy okolního prostředí a dají se opakovaně využívat. [2]

2.4 Polovodičové detektory

Základním principem funkce polovodičových materiálů je vnik ionizujícího záření do aktivní vrstvy detektoru, což způsobí v polovodiči přeskok elektronů do vodivostního pásma a tím i vznik elektron-vodivých páru, které vedou ke vzniku nábojového impulzu. Jako detektor bývá využita dioda zapojená v závěrném směru v elektrickém obvodu s vysokým napětím připojená přes ohmický odpor. Na pracovním odporu vznikne úbytek napětí a elektrický impulz se přes kondenzátor převede k zesilovači, který je nábojově citlivý. Výsledný impulz na výstupu zesilovače je úměrný k náboji, neboli k energii jež se absorbovala při průchodu přes detektor. Za pomoci amplitudové analýzy lze provádět spektrometrickou analýzu detekovaného záření. Velkou výhodou polovodičových detektorů je jejich energetická rozlišovací schopnost. Nevýhodou je nižší detekční účinnost pro γ záření a taktéž delší mrtvá doba (tvoří ji: kapacita detektoru, rozlišovací schopnost a hodnota pracovního odporu). Jejich využití nalezneme především tam, kde je vyžadována co nejlepší energetická rozlišovací schopnost, tj. rentgen-fluorescenční analýza, zjišťování druhu radionuklidů či jejich čistota. [2][9]

Pro konstrukci polovodičových detektorů je nejčastěji využíváno monokrystalů křemíku či germania v kombinacích: germánium se stopovým množstvím lithia - Ge(Li) detektory, superčité germánium - HPGe detektor. Pro detekci měkkého γ záření a X záření s požadavky na vysoké rozlišení se nejlépe osvědčili detektory křemíkové.

Multidetektorové polovodičové detektory jsou další, dnes hojně využívanou alternativou. Díky svým výhodným elektro-mechanickým vlastnostem je zle minimalizovat a integrovat do jednotlivývh polovodičových elementů. Tímto spojením dostaneme multidetektorový systém, ze kterého dostaneme informaci jak o energii



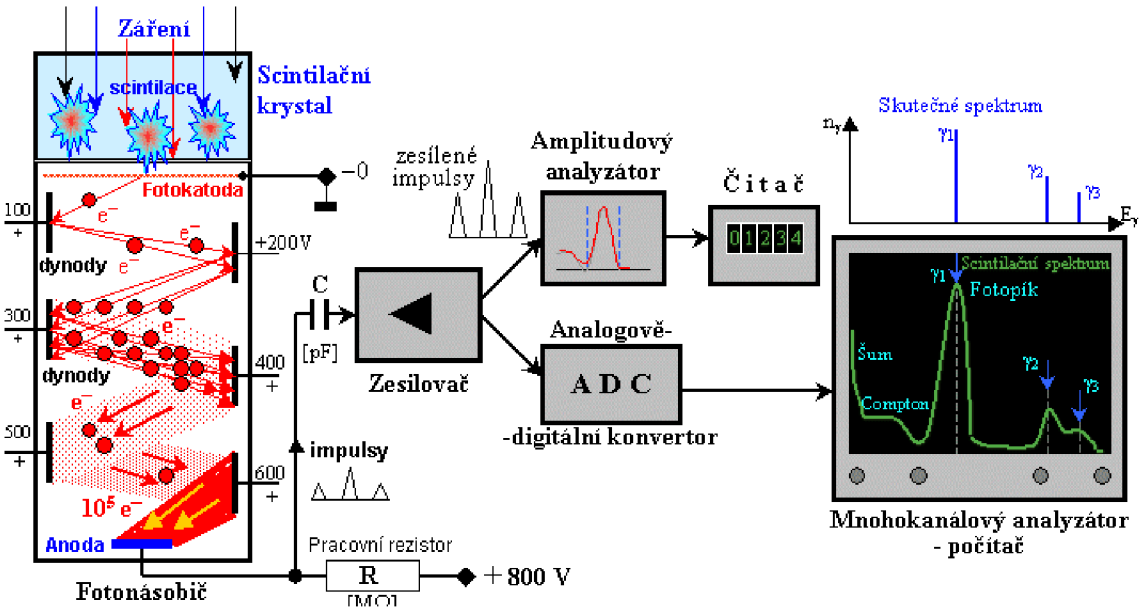
Obr. 2.4: Schéma principu polovodičového detektoru, převzato z [2]

záření, tak o místě dopadu záření či letové dráze částice. Kombinací těchto vlastností dostávame i vlastnost zobrazovací. Multidetektorové systémy máme trojího druhu: pole polovodičových detektorů, pixelové polovodičové detektory a polovodičové driftové detektory. Tyto detektory nalézají uplatnění v radiologii jako flat panely nebo v gamakamerách. [2][9]

2.5 Scintilační detektory s fotonásobičem

Scintilační detektory ionizujícího záření jsou používány pro látky, které po dopadu ionizujícího záření vykazují světelné záblesky (scintilaci). Látky s touto vlastností nazýváme scintilátory. Scintilátory mohou být anorganické, kapalné nebo plastické. Princip stintilačního detektoru je založen vniknutí záření do scintilačního krystalu, kde se část energie záření přemění na světelný záblesk. Záblesk je dále registrován pomocí přiloženého fotonásobiče. **Fotonásobič** je optoelektronická součástka, která slouží pro citlivou detekci slabých světelných toků a zároveň je přeměňuje na elektrický signál. Fotonásobič je vysoce vakuová elektronka složená z fotokatody a několika dynod, které plní funkci elektronových zesilovačů. Fotokatoda je tvořena tenkou kovou vrstvou, která je napařena na sklo a její vlastnost je, že má nízkou vazebnou energii elektronů. Dopadající fotony způsobí vyražení elektronů z fotokatody, proud elektronů je pak přitahován první dynodou. Počet dynod ve fotonásobiči se pohybuje okolo 8 -12-ti a čím dále jsou od zdroje scintilace, tím je na ně přivedeno větší napětí (kladné). Na dynodách probíhá zesilování světelného toku pomocí opakovaného násobeného vyražení sekundárních emisí elektronů z povrchu dynody, který je pokryt tenkou vrstvou kovu s nízkou výstupní prací elektronu. Na konci

soustavy dynod tedy získáváme zesílený počet elektronů jejich počet se pohybuje v rozmezí $10^5 - 10^8$ elektronů. Tento počet je dostatečný k tomu, aby vyvolal takový elektrický impulz, který lze změřit. K převod proudu elektronů na elektrický impulz je využito anody nebo speciální fotodiody. Impulz o amplitudě A, na pracovním odporu R, jde přes oddělovací kondenzátor C k zesilovači. Za zesilovačem následují další části systému, které slouží ke zpracování signálu (viz. obrázek 2.5). Využití scintilačních detektorů závisí na použitém scintilátoru, který může být: pro obecné využití a spektrometrii γ záření je volen planární scintilační krystal, tenké krystaly (1-5 mm) nalézají uplatnění v oboru detekce měkkého γ záření a X záření, naopak pro vysokoenergetické γ záření jsou nejvhodnější velkoobjemové scintilační krystaly, studnové nebo příčně vrtané scintilační krystaly jsou vhodné pro měření vzorků ve zkumavkách. [2][3][7]



Obr. 2.5: Schéma principu scintilačního detektoru, převzato z [2]

3 MOŽNOSTI URČOVÁNÍ POZIČNÍCH SOUŘADNIC NA ZEMI POMOCÍ NAVIGAČNÍHO SYSTÉMU

3.1 Úvod

GPS (global position system) vznikl jako vojenský družicový navigační sytém vyvinutý Ministerstvem obrany Spojených států amerických. Do provozu byl uveden v sedmdesátých letech minulého století, zpočátku nebyl přístupný veřejnosti. Po zpřístupnění veřejnosti, v devadesátých letech, byl však systém selektivně přístupný, tzn. byl uměle zkreslován (odchylka 20-30 m) a byl dostupný pouze v určitých oblastech. K velkému průlomu došlo 1. 5. 2000 kdy se systém stal plně dostupný pro širokou veřejnost (byla zrušena selektivní dostupnost). Systém GPS tedy slouží pro nepřežité určování polohy s časovými údaji na jakékoliv části planety.[11][12][13]

3.2 Princip určování polohy

3.2.1 Segmenty GPS systému

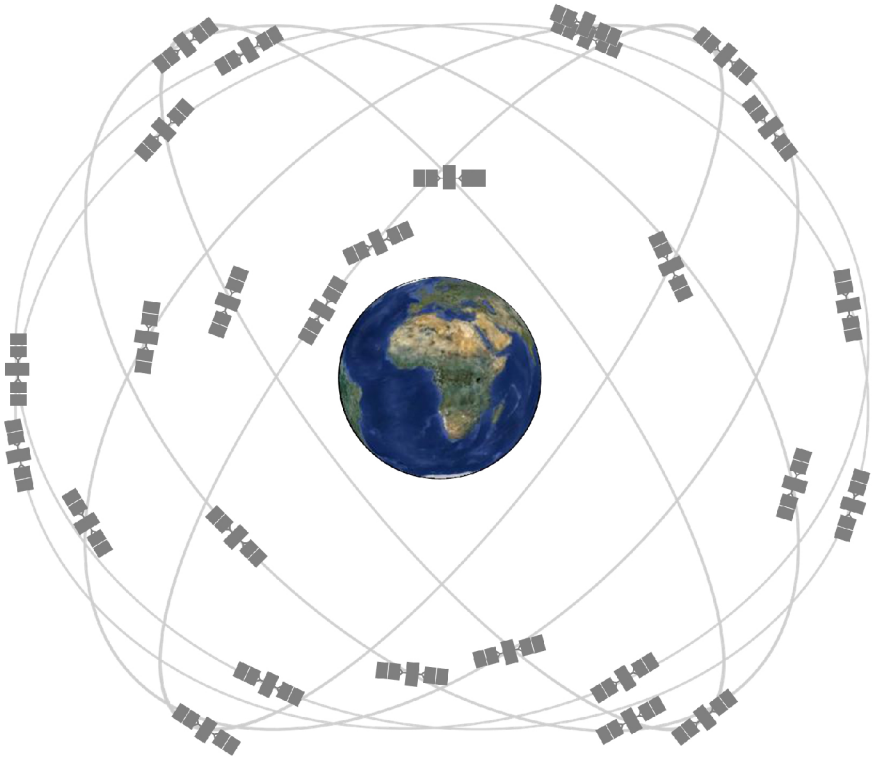
Určování polohy systém GPS je postaveno na poloze satelitů, které obíhají planetu Zemi. Jejich poloha není stálá, nýbrž se pohybují velkou rychlostí okolo Země a neustále udávají informace o svojí poloze. Poloha satelitů je neustále kontrolována v několika observačních centrech. [10][12]

Samotný GPS systém tvoří tři segmenty, které svojí kombinací poskytují informace o poloze, rychlosti pohybu a čase. Jsou to segmenty: kosmický, řídící a uživatelský. [10][11][12][13]

Kosmický segment se skládá z počtu 24 družic, každá družice vysílá signál skládající se z následujících složek: dvě sinusové vlny, dva digitální kódy a navigační zprávy. Kódy a navigační zpráva mají binární podobu. Navigační zpráva obsahuje souřadnice jako funkce času. Nezbytnou součást uvnitř družice tvoří atomové hodiny.[11][12]

Již zmíněné družice se okolo Země pohybují po šesti téměř kruhových drahách, mající sklon 55° k rovině rovníku. Umístěny jsou ve vzdálenosti 20 200 km nad

povrchem Země. Čas, za který oběhne družice okolo planety po své dráze činí 11 hodin a 58 minut, proto se v následující den nachází na svém výchozím místě vždy o 4 minuty dříve. [11][12]



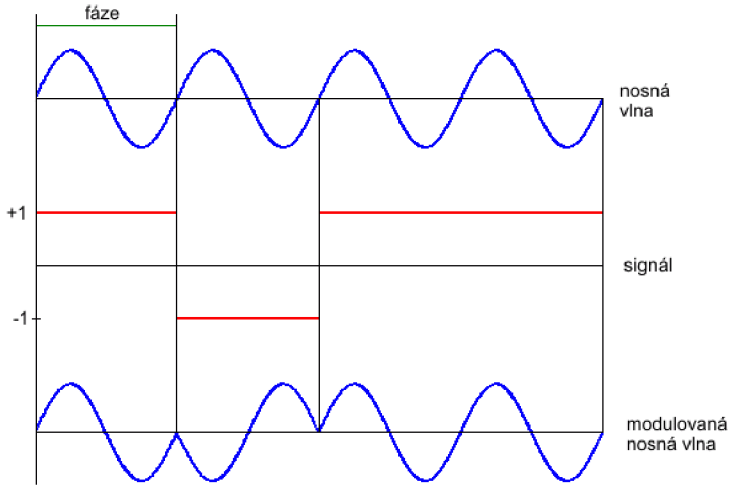
Obr. 3.1: Ukázka rozložení satelitů v kosickém segmentu, převzato z [30]

Řídící segment je soustava kontrolních stanic rozmístěných rovnoměrně podél rovníku s hlavním sídlem v Colorado Springs v USA. Hlavním úkolem kontrolních stanic je sledování satelitů, předpověď jejich polohy, zajištění integrity. Zpracovávají se zde telemetrické údaje, stejně jako zde probíhá zpracování výsledků ze sledování pohybu družic ze všech kontrolních center. Dalším úkolem hlavní řídící stanice je kontrola družicových hodin a výpočet **efemerid**. Efemeridy jsou předpovědi poloh astronomických těles vypočtené ze známe dráhy pro určité datum. [11][12][14]

Uživatelský segment zahrnuje veškeré přijímače GPS signálu ať v civilní nebo vojenské oblasti. GPS přijímač je zařízení, které je tvořené anténou (s předzesilovačem), radiofrekvenční jednotkou, mikroprocesorem, komunikační jednotkou, pamětí a zdrojem napájení. Podle použití pak dělíme GPS přijímače na: navigační, geodetické a přijímače pro časovou synchronizaci. [11][12]

3.2.2 Struktura GPS signálu

Základem GPS signálu z družic jsou atomové hodiny, které jsou na družici dvoje až čtvery (cesiovým nebo rubidiovým standardem) a dvě základní nosné vlny, vlna L1 s frekvencí 1575,42 MHz a vlna L2 s frekvencí 1227,6 MHz. Vlny přenáší navigační zprávy, které obsahují informace o satelitu (efemeridy - údaje o poloze satelitu, údaje o funkčnosti satelitu, údaje o atomových hodinách, data pro korekce),které jsou pro všechny satelity stejné. Vlny dále přenášejí dva kódy: P-kód a C/A kód (pseudokódy), které se od sebe navzájem liší. Nosná vlna je modulována fázovou modulací, pro modulaci se používá již zmíněných PRN kódů (pseudonáhodných) jež jsou unikátní pro každou družici. Pseudonáhodné kódy tvoří velmi složitou unikátní posloupnost nul a jedniček, které jsou generovány družicí z níž vychází. Na první pohled pseudokódy vypadají jako šum či náhodně generovaná čísla ale ve skutečnosti se jedná o posloupnosti generované matematickými algoritmy. Na obrázku 3.2 je znázorněna modulace nosně vlny pomocí signálu, který představuje pseudokód. Binární nula v kódu je reprezentována číslem -1, binární jednička odpovídá hodnotě $+1$. [11][12][15]



Obr. 3.2: Modulace nosné vlny, převzato z [15]

P-kód je chráněný pseudokód, který je modulován na obou nosných vlnách L1 a L2, je také nazývána jako dvoufázová modulace, protože nosná vlna je posunutá o 180°. Tento kód slouží pouze pro autorizované uživatele, tj. takové uživatele, kteří mají přístup k vojenským datům GPS. V důsledku použití dvou frekvencí dochází k odstranění troposférických i ionosférických refrakcí, systém se stává velice přesný, jeho přesnost se pohybuje v řádech milimetrů. P-kód je tak dlouhá sekvence binárních čísel, že k jeho opakování dochází až po 266 dnech. V porovnání s C/A kódem je výrazně rychlejší, jeho rychlost je 10,23 Mbps. Kód je rozdělen do 38 segmentů, každé družici, po dobu jednoto týdne, přísluší 1 segment P-kódu, který se mění vždy v noci se soboty na neděli (nový satelitní týden). [11][12][15]

C/A kód je posloupnost 1023 binárních čísel, které se opakují v každé milisekundě. Je modulován pouze na L1 nosné vlně, není šifrován a je dostupný neautorizovaným uživatelům. Rychlost C/A kódu činí 1023 Mbps, což je výrazně menší rychlost v porovnání s P-kódem. [11][12][15]

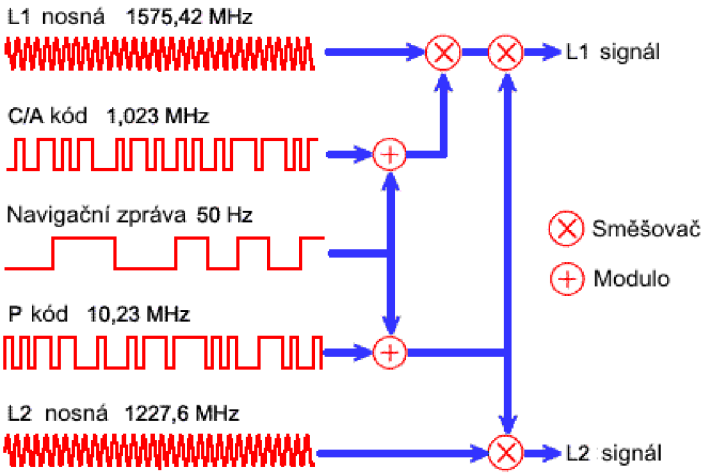
Navigační zpráva představuje datový tok v podobě 25 rámců, každý má délku 1500 bitů. Navigační zpráva se přidává k L1 i L2 nosné vlně, je vysílána s nízkou rychlostí 50 kbps. Kompletní navigační zpráva je dlouhá 37 500 bitů a její přenos zabere 12,5 minuty. Navigační zpráva obsahuje například: podobu souřadnic GPS satelitů jako funkce času, stav satelitu, odchylku atomových hodin, almanach (méně přesné informace o poloze satelitu), atmosférické údaje a další informace o satelitech. Každá družice vysílá svou vlastní navigační zprávu. [11]

Výsledná struktrura GPS signálu je dána kombinací nosných vln spolu s kódy a navigační zprávou, viz. obrázek 3.3

3.2.3 Měření vzdáleností mezi družicí a přijímačem

Pro měření vzdálenosti satelitu od přijímače je využíváno časového posunu vyslaného kódu. Právě z určeného času posuvu se dopočítává vzdálenost. Způsob měření je dvojího typu. [11][12]

Kódové měření je založené na faktu, že družice v předem přesně daný čas generuje PNR kódy. Přijímač ve stejný čas začne generovat repliku vyslaného kódu. Problém nastává, že hodiny na družici mají mnohem větší přesnost než hodiny v přijímači, téměř nikdy nejsou zcela synchronizované (záleží zde na každé milisekundě), což je zdrojem velkých nepřesností. Po příjmu vyslaného kódu z družice jsou oba signály porovnány. Porovnání se provede tak, že se signály posouvají po pomyslné



Obr. 3.3: Schéma složení signálu GPS, převzato z [15]

časové ose do té doby, než je nalezen jejich schodný posuv. Tento posuv odpovídá času, ze který dorazil signál z družice. Z výsledného času lze pak snadno odvodit "pseudovzdálenost"dle vzorce:

$$\rho = c \cdot (t_k - t^i), \tag{3.1}$$

kde ρ je pseudovzdálenost, c je rychlost světla, t_k odpovídá času zachycení signálu a t^i je časem, kdy došlo k odeslání signálu z družice. [11][12]

Fázové měření je ve srovnání s kódovým měřením daleko přesnější, proto se využívá zejména v aplikacích geodetického měření. Je založena na měření fázové posuvu nosné vlny. U tohoto měření je problém, že jsme schopni přesně určit fázový posun, ale nastává problém určit počet celých vln (takzvaných ambiguid), které jsme obdrželi před měřenou vlnou. Pokud známe všechny potřebné údaje, vzdálenost se vypočte pomocí následujícího vzorce:

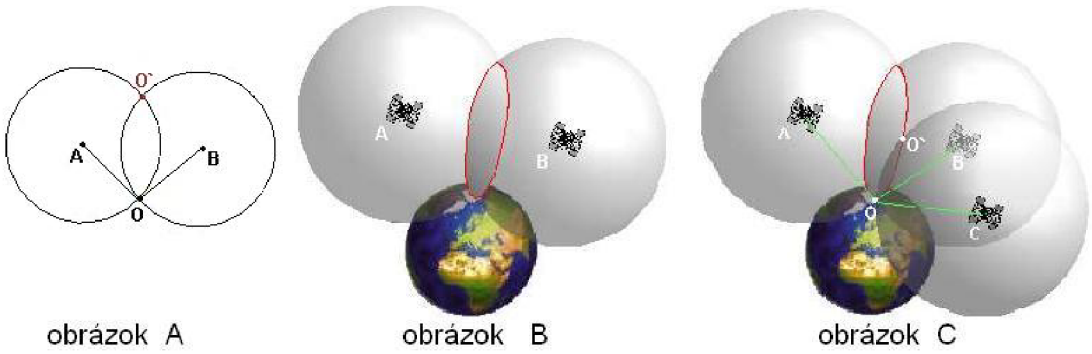
$$S = N \cdot L + f, \tag{3.2}$$

kde S je měřená vzdálenost, N odpovídá počtu všech ambiguit, f je měřená fáze a N se musí určit speciálním postupem při zpracování. [11][12]

3.2.4 Určování pozice přijímače

Z výše popsaných parametrů tedy známe možnosti učení vzdálenosti. Příslušná vzdálenost pak odpovídá poloměru koule, jejíž střed odpovídá poloze družice, plocha koule pak popisuje možné místo výskytu uživatele.Pro určení polohy uživatele

je jedna takováto plocha zcela nedostatečná, proto se pro určení polohy uživatele používají minimálně tři průniky takovýchto kulových ploch - viz. obrázek 3.4. Tatko získáme dva body. Jelikož se jedná kulové plochy, jeden ze dvou bodů se nachází mimo povrch Země, ten tedy lze vyloučit za předpokladu předpokladu, že se pozorovatel vyskytuje na povrchu Země. Jak již bylo několikrát popsáno vše by fungovalo naprosto bezchybně za předpokladu že by jak v přijímači tak ve vysílači byli přesné atomové hodiny s absolutní přesností. Tato skutečnost není možná, proto se pro opravu nepřesnosti času zavádí čtvrtá koule, která reprezentuje družici, jejíž poloha a čas je známá. Povrchy všech čtyř koulí by se měly protnout přesně v jednom bodě. Tato korekce vede nejen ke zpřesnění polohy ale je také zdrojem velmi přesného času. [10][11][12][18]



Obr. 3.4: Ukázka protnutí tří kulových ploch při lokalizaci pomocí GPS systému, převzato z [16]

3.2.5 Zdroje chyb měření

Systém GPS je zatížen mnoha chybami, které snižují přesnost určení pozice.

Jednou z nejzákladnějším problémů nepřesnosti, které si všimne snad každý uživatel, je ubývající přesnost se vzrůstajícím počtem překážek v okolí. To je způsobeno odrazem signálu od těchto překážek, jako dobrý příklad zle uvést úzkou uličku mezi vysokými domy. Pro odstranění problému se využívá polarizovaného signálu. Přímočarý signál je pravotočivý, zatímco odražený signál GPS je levotočivě polarizovaný. [11][12][17]

Útlum signálu je taktéž zdrojem nepřesné lokalizace. Nejčastějším způsobem zeslabení signálu je jsou opět překážky (zdivo, vegetace, sklo...), kdy dochází k útlumu nebo absorpci signálu. Útlum taktéž způsobe silné elektromagnetické pole. [11][12][17]

Mezi další chyby patří chyby atmosférické. Dochází k nim při výpočtu vzdálenosti. Měří se totiž čas, kdy dojde signál od družice k přijímači a následně je vynásoben rychlostí světla. Rychlost světla však není není ve všech atmosferických podmínkách konstantní. [11][12][17]

Vzhledem k tomu, že GPS systém používá satelity, které jsou od přijímačů vzdálené desetitisíce kilometrů a zároveň měření času, tak k chybám dochází vlivem i nepatrné časové nepřesnosti. Pokud budou satelitní hodiny nepřesné o jednu biliontinu sekundy, výsledná chyba v měřené délce bude 30 cm. S touto chybou zároveň souvisí i problém nepřesného času na přijímači. [11][12][17]

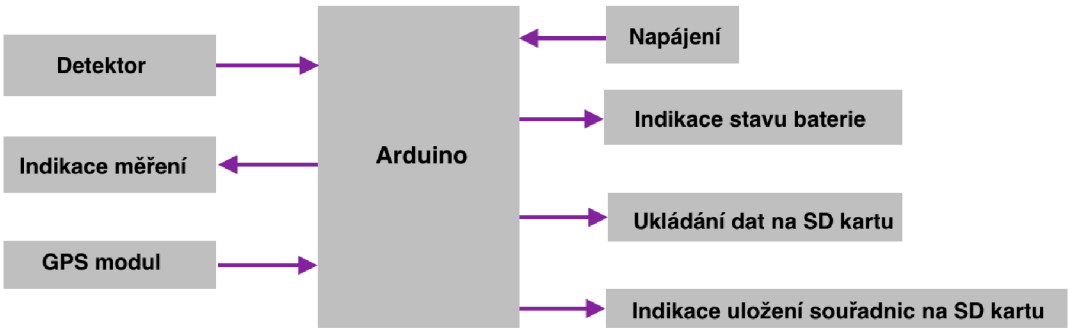
Veškeré příčiny, které způsobují chyby a nepřesnosti u GPS systémů si můžeme roztřídit do následujících šesti skupin: efemeridy (chyby v přenášené lokalizaci satelitů), satelitní hodiny, ionosféra, troposféra, multipath (odražené signály) a přijímače. [17]

4 NÁVRH ZAŘÍZENÍ PRO ZÁZNAM GEOLOKACE

Zařízení pro záznam geologace je navrhnuto tak, že pokud dojde ke správnému příjmu GPS dat jsou data zapsána na SD kartu v intervalu 10 sekund. Pokud jsou data správně uložena, rozsvítí se na 3 sekundy dioda D1. Následně uživatel sepnutím spínače aktivuje měření radioaktivního pozadí. Měření probíhá po dobu 30 sekund, zároveň v tomto čase indikuje dioda D2 dobu měření. Celé zařízení je mobilní a je napájeno z baterií. Dioda D3 slouží jako ukazatel vybití baterií.

4.1 Hardwarové řešení

V této kapitole bude popsáno hardwarové řešení detekčního zařízení. Budou popsány jednotlivé komponenty, jejich technické parametry, funkce a využití ve vzájemném propojení. Součástí diplomové práce je příloha, jejímž obsahem je celkové schéma zapojení.



Obr. 4.1: Blokové schéma

4.1.1 Základní deska

Základ celého zařízení tvoří vývojová deska Arduino Uno R3 disponující mikroprocesorem ATmega328P, 16MHz taktovací CPU, 32kB flash pamětí, 2kB SRAM pamětí, 1kB EEPROM pamětí. Připojení k této desce je řešeno přes port USB, který zároveň slouží jako napájení. Provozní napětí vývojové desky je 5V. Arduino R3 poskytuje 14 digitálních O/1 pinů, z toho je 6 PWM výstup a 6 analogových vstupů. Celkové rozměry desky činí 69 x 53 x 12mm. [19][20]

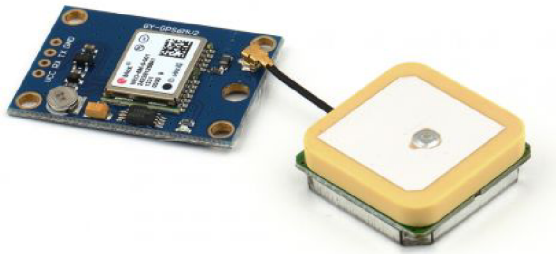
Deska je napájena pomocí napětí 5V. K desce jsou dále připojeny, a pomocí ní také ovládány, prvky: GPS přijímač, SD čtečka karet, generátor simulující detektor radioaktivního záření.

Obr. 4.2: Vývojová deska Arduino UNO R3, převzato z [29]

4.1.2 Přijímač GPS

Pro příjem GPS souřadnic byl použit modul s integrovaným obvodem NEO-6M od firmy U-blox, který komunikuje s okolím na UART rozhraní. Přenosová rychlost modulu je 9600bps. Pracovní napětí bylo v souvislosti s komunikací s vývojovou deskou Arduino zvoleno na 5V. K modulu je připojena vestavěná anténa EEPROM. Modul obsahuje baterii pro zálohu dat (datum a čas), dále je opatřen indikační diodou, která poskytuje uživateli informaci o tom, zda modul přijímá GPS data. V případě, že dioda nesvítí, nepřijímá GPS modul žádný signál. Pokud bliká LED dioda na GPS modulu , znamená to, že GPS modul navázal spojení s družicemi, neznamená to však příjem platných dat. Platnost dat se ověřuje vždy po příjmu, pokud jsou data platná, dojde k jejich uložení na SD kartu. Uložení platných dat indikuje dioda D1. Uložení dat probíhá každých 10 sekund, za předpokladu dostupného signálu a správně dekódované zprávy. Data jsou přijímána/vysílána každou sekundu a to ve formátu NMEA. [21][22]

Pro propojení s vývojovou deskou Arduino bylo zapotřebí propojit: VCC modulu s 5V Arduina, GND modulu s ND Arduina, Rx pin modulu s pinem číslo 3 na Arduinu a pin Tx s digitálním pinem číslo 4 u Arduina. [22][23]



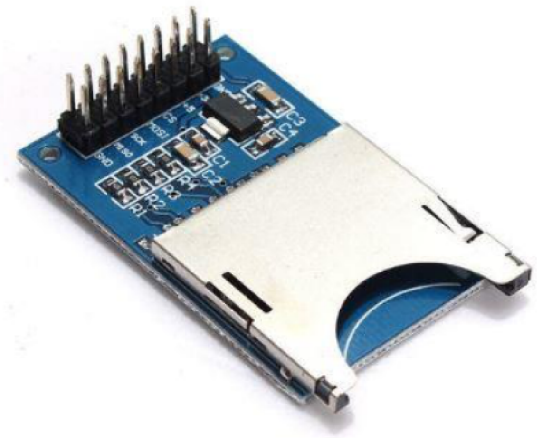
Obr. 4.3: GPS modul NEO-6M s anténou, převzato z [28]

4.1.3 Ukládání dat na SD kartu

Ukládání naměřených dat z GPS modulu je realizováno pomocí čtečky SD karet od výrobce LC STUDIO. Samotný modul neobsahuje žádnou indikační diodu, proto je indikace uložení dat realizována pomocí D1 na nepájivém poli. Tato dioda blikne na dobu 3 sekund vždy, když dojde k uložení dat na SD kartu.

Na SD kartu jsou také ukládána výstupní data z detektoru. Tyto data se vždy uloží po ukončení měření, tj. po zhasnutí diody D2.

Modul je propojen s Arduinem pomocí 6 vodičů. GND1 modulu je s pojeno s GND Arduina, 5V modulu SD karty je spojeno s 5V Arduina, pin CS (chip select) z modulu je připojen k digitálnímu pinu číslo 10 na vývojové desce, pin s označením MOSI (master OUT, slave IN) ze čtečky je přiveden k digitálnímu pinu číslo 11 na Arduinu, pin SCK (clock) je propojen s digitálním pinem číslo 12 na Arduinu a pin nesoucí na čtečce karet označení MISO (master IN, salve OUT) je s Arduinem spojen pomocí digitálního pinu číslo 13. [24]



Obr. 4.4: Čtečka SD karet, převzato z [24]

4.1.4 Napájení a indikace stavu baterie

Napájení je realizováno pomocí tří, do série zapojených, baterií typu AAA. Z baterií dostaneme výstupní napětí v rozmezí 2,7 - 4,5V (jsou brány v potaz jak jednorázové, tak i nabíjecí baterie, u kterých je výstupní napětí nižší), pro napájení vývojové desky Arduino je však zapotřebí 5V. Proto je k bateriím přidán Step-up měnič umožňující změnu napětí na 5V. Měnič má ve svém modulu diodu, která ukazuje aktivní stav, nikoliv však ukazatel stavu baterie. Ukazatel stavu vybití baterií je vyřešen pomocí samostatné diody D3, která se rozsvítí, pokud dojde k poklesu výstupního napětí z baterií na 2,8V a indikuje tedy, že je nutno baterie vyměnit. USB Step-up měnič umožňuje měnit vstupní napětí z rozsahu 0.9V-5V na 5V. [25] [24]

Obr. 4.5: Step-up měnič napětí, převzato z [27]

4.1.5 Detekční zařízení

V této práci byl pro testování realizován generátor impulzů, kterým je možno nastavit dle potřeby a tím lze odsimulovat různě vysoké hodnoty radiace. Generátor je sestaven z vývojové desky Arduino UNO, jejíž výstupem jsou pseudonáhodné jehličkové impulzy, odpovídající výstupu z Geiger Mullerova detektoru.

4.1.6 Schéma zapojení

Schéma zapojení je součástí přílohy této diplomové práce.

4.2 Softwarové řešení

Základem softwarového řešení je ukázkový kód ze zdroje [22], který slouží k ovládání GPS modulu. K tomuto kódu byly dále doplňovány ostatní potřebné části kódu pro zbylé komponenty.

V úvodní části kódu nalezneme inicializaci tří knihoven, které jsou potřebné pro správnou funkci kódu. Jedná se o knihovny : *TinyGPS*, která slouží pro správnou komunikaci s GPS modulem, *SD* knihovna pro práci s SD čtečkou a knihovna *SoftwareSerial* pro komunikaci s porty vývojové desky. Níže v inicializační části kódu následuje definování všech potřebných statických proměnných, které definují, co je ke kterému pinu připojeno. Například:

```
int LED=5;   //pripojeni LED na 5 pin
```

V uvedené části definujeme nastavení pinů Rx, Tx pro komunikaci mezi GPS modulem a vývojovou deskou Arduino. Dále zde nesmí chybět definování parametru konverzní faktor, Výpočet konverzního faktoru je specifický pro druh užité Geiger Mullerovi trubice. V tomto případě je nastavena hodnota dle zdroje [26]. Podrobnější popis výpočtu konverzního faktoru se nachází v kapitole 1.2.2.

V bloku *void setup*, a v níže uvedené ukázce, je nastavení komunikace po sériové lince pro vývojovou desku, o řádek níž potom pro nastavení komunikace vývojové desky a GPS modulem. Obě zařízení pracují na přenosové rychlosti 9600 baudů.

```
Serial.begin(9600);// zahájení komunikace po sériové lince
swSerial.begin(9600);// zahájení komunikace s GPS modulem
                        po softwarové sériové lince
```

V bloku probíhá kontrola inicializace SD karty. Pokud karta není vložena vypíše se hláška: "Vložte SD kartu". Dále si v tomto bloku definujeme nastavení pinů, zda mají sloužit jako vstupy či výstupy. Je zde také umístěn příkaz, který definuje počítání náběžných hran z výstupu z generátoru:

```
attachInterrupt(0,pocetPulzu,RISING);
  //pocitani nabeznych hran
```

V bloku *void loop* začínáme tím, že si vytvoříme dočasné proměnné, které využijeme při komunikaci s GPS modulem, zejména při ověřování platnosti dat. Nyní budeme ve *for cyklu* každých 10 sekund kontrolovat, zda GPS modul přijímá platná data. Platná data obsahují: správně dekódovanou zeměpisnou šířku a zeměpisnou délku, počet satelitů, ze kterých signál přijímáme, přesnost, stáří dat, nadmořskou výšku a rychlost příjmu zprávy v km/h. Hodnoty datum a čas se vytvářejí samostatně v této části:

```
else {
  // vytvoření proměnné pro vytištění data a času
  char datumCas[32];
  Serial.print("Datum a cas: ");
  // poskládání celé zprávy do proměnné datumCas a poté
  // její vytištění, %02d znamená desetinné číslo uvedené
  // za uvozovkami
  s přesností na 2 číslice
  sprintf(datumCas, "%02d/%02d/%02d %02d:%02d:%02d", mesic,
   den, rok, hodina, minuta, sekunda);
  Serial.println(datumCas);
  dataFile.println(datumCas);
  dataFile.close();
```

Pokud dojde k příjmu neplatných dat, do *sériového monitoru* se vypíše hodnota 0, pokud jsou data platná uloží se a jsou zobrazena v *sériovém monitoru* v tomto formátu:

```
::Dostupne GPS udaje::
Zemepisna sirka: 49.196990 delka: 16.600769 Pocet satelitu: 4
Presnost: 307 Stari dat: 820 Nadmorska vyska: 212.00
Rychlost v km/h: 3.35
Datum a cas: 05/11/2017 08:08:55
Detekovane znaky: 16899, slova: 14, chyby pri kontrole dat: 0
```

Pokud máme platná data, dojde k uložení dat SD kartu. Na SD kartu jsou ukládány pouze hodnoty: zeměpisná šířka, zeměpisná délka, nadmořská výška, datum a čas. Pokud by nedošlo k zápisu dat, vypíše se hláška: "Data nezapsána". V případě, že k zápisu dojde se po dobu 3 sekund rozsvítí dioda, která je připojena k pinu číslo 5 na Arduinu. Nyní je uvedena část kódu, kde dochází k zápisu dat na SD kartu, pod ním navazuje ukázka rozsvícení diody při zápisu dat na kartu.

```
File dataFile = SD.open("datalog.csv", FILE_WRITE);
   if (dataFile)
 {
   //zapis na SD kartu
   dataFile.print("Zemepisna sirka: " ";");
   dataFile.print(zSirka == TinyGPS::GPS_INVALID_F_ANGLE ? 0.0 :
    zSirka, 6 );
   dataFile.print(";");
   dataFile.print(" delka: " ";");
   dataFile.print(zDelka == TinyGPS::GPS_INVALID_F_ANGLE ? 0.0 :
    zDelka, 6 );
   dataFile.print(";");
   dataFile.print(" Nadmorska vyska: " ";");
   dataFile.print(gps.f_altitude() == TinyGPS::GPS_INVALID_F_ALTITUDE
   ? 0 : gps.f_altitude());

 } else {
   Serial.println("Data nezapsana");
   ...
  //pokud se data zapisou,dioda zacne svitit
   digitalWrite(LED, HIGH); //nastaveni pinu 5 na vysokou hodnotu
   delay(3000);  //cekej 3s
   digitalWrite(LED, LOW); //nastaveni pinu 5 na nizkou hodnotu
   delay(5);
```

Následující oddíl kódu slouží ke spuštění měření a současné indikaci. Toto měření spouští sám uživatel pomocí spínače. Po sepnutí spínače dochází k měření z detekčního zařízení, a to po dobu 30 sekund. Po uplynutí stanového času se naměřená hodnota vynásobí dvěma pro doplnění hodnoty měření na minutu. Následně se počet pulzů vynásobí hodnotou konverzního faktoru (podrobněji popsán v kapitole 1.2.2). Do *sériového monitoru* se vypíše hodnota *cpm*, která odpovídá počtu naměřených pulzů v jedné minutě a přepočítaná hodnota odpovídající dávce v jednotkách

$\mu Sv/h$.[26] Po dobu měření (30 sekund) svítí signalizační dioda. Po ukončení měření proběhne zápis výše uvedených hodnot na SD kartu, přiřadí se k odpovídající hodnotě ze souřadnic z GPS modulu. Pokud uživatel nechá sepnuté tlačítko dojde k měření vždy po získání souřadnic z měření, souřadnice se přestanou zapisovat v intervalu 10 sekund, vyčkají na dokončení měření. To má za následek, že na SD kartu se vždy na řádek s odpovídajícími souřadnicemi zapíše i výsledná hodnota měření a nevznikají zápisy pouze s hodnotami souřadnic. Ukázka měření hodnot pulzů při sepnutém spínači:

```
  if(digitalRead(TLACITKO))
   {
     if (millis()-casMereni > 30000){ //mereni 30sekund
    pulzyZaMinutu = 2*count; //doplneni na minutu
    hodnotaRadiace = pulzyZaMinutu * KONVERZNI_FAKTOR;
    casMereni = millis();
    Serial.print("cpm = ");
    Serial.print(pulzyZaMinutu,DEC);
    Serial.print(" - ");
    Serial.print("uSv/h = ");
    Serial.println(hodnotaRadiace,4);
```

Poslední částí kódu ve smyčce *void loop* tvoří kontrola stavu baterií. Hodnota je počítána z analogového vstupu z pinu A3, který je spojen přes AD převodník s napájením. Pokud hodnota výstupního napětí zdroje poklesne pod 2,8V, rozsvítí se dioda D3, která značí nutnost výměny, popřípadě dobití, baterií.

```
 if (analogRead(vybiti)<143){
      digitalWrite(LED3, HIGH); //zapni diodu
      delay(300);
     }
```

V poslední části je volána funkce pro čítač počtu pulzů podle náběžné hrany:

```
void pocetPulzu(){
  detachInterrupt(0);
  count++;
  while(digitalRead(2)==0){
  }
  attachInterrupt(0,pocetPulzu,RISING);
}
```

Samostatný skript *generator.ino* slouží pro realizaci generování pulzů simulující výstup z Geiger Mullerova čítače. Uživatel si může pomocí nastavení volit různý počet impulzů a tím tak simulovat různé hodnoty radiace.

```
  int vystup = 11; //nastavení pinu 11 jako výstup z generátoru
  int cas = 100; //nastavení casové prodlevy v ms

void setup() {
   pinMode(vystup, OUTPUT); // nastaveni pinu 11 jako vystup
   }

void loop() {
  digitalWrite(vystup, HIGH);
  // nastaveni vystupu na vysokou hodnotu (generování pulzu)
  delay(2);                        // počká 2 ms
  digitalWrite(vystup, LOW);    // nastaveni vystupu na nizkou hodnotu
  cas = random(15, 150); // generování náhodného času dle rozsahu
  delay(cas);                        // počka dle generovaného času
 }
```

5 ZHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ PRÁCE

Hlavním cílem této práce byl návrh a realizace mobilní zařízení umožňující měření radioaktivního zařízení s možností geolokace.

Zařízení se podařilo nejen navrhnout ale i realizovat. Výsledné zařízení je plně mobilní, napájené z bateriového zdroje s indikací poklesu výstupního napětí ze zdroje.

Téma bylo původně vypsáno pro spolupráci s firmou VF, a.s., která se zabývá radiační ochranou. Během řešení bylo obtížné navázat spolupráci. Přes prvotní příslib spolupráce nebylo nakonec možné zajistit potřebný detektor, proto byl detektor nahrazen generátorem pulzů v pseudonáhodném sledu v podobě modulu Arduino UNO. Generátor si uživatel může nastavit na libovolné hodnoty a tím tak simulovat různé hodnoty radiace. Z důvodu věrohodné náhrady detektoru byla brána zřetel při generování pulzů na výsledky z práce [31], kde byl realizován Geiger Mullerův detektor vč. tvarování signálu. Simulace pulzů tedy plně nahrazuje reálný detektor. Celý koncept zařízení je tak plnohodnotně připraven náhradu generátoru pulzů Geiger Mullerovým čítačem.

U ověřování funkčnosti realizace nenastaly žádné problémy. Jako nevýhody lze diskutovat příjem GPS signálu. Příjem většinou nefunguje uvnitř budov, je potřeba se alespoň přiblížit k oknu místnosti s volným přístupem k obloze. I tak se stává, že modul chytá signál i několik minut. Tento problém však nenastává na volném venkovním prostranství, pouze pokud je velmi pod mrakem, signál není zachycen okamžitě, ale do minuty jej máme.

Celkové ověření funkčnosti si zle ověřit uloženými výsledky na SD kartě, kde se nachází uložené souřadnice a nadmořskou výškou, časem a datem. Dále vždy k těmto souřadnicím je uložena hodnota naměřené radiace.

6 ZÁVĚR

Cílem diplomové práce bylo prostudovat problematiku radioaktivity, možnosti její detekce a popsat jednotlivé druhy detektorů. Tato problematika je řešena v úvodní teoretické části práce.

Dalším cílem práce bylo navrhnout detekční zařízení, jež bude umožňovat záznam geolokace. Výstupem této práce je jednat návrh a schéma zapojení mobilního detekčního zařízení a nedílnou součástí práce je praktická realizace. Realizace umožňuje měření se záznamem geolokace a následným uložením výsledků na SD kartu. Zařízení je plně mobilní s indikací stavu vybití baterií. Ověření funkčnosti je možno si ověřit z uložených dat na SD kartě, kde nalezneme záznam souřadnic GPS, nadmořskou výšku, datum a čas pořízení záznamu a také hodnoty z měření.

LITERATURA

[1] NAVRÁTIL, Leoš. *Medicínská biofyzika.* Vyd. 1. Praha: Grada, 2005, 524 s. ISBN 80-247-1152-4.

[2] ULLMANN, Vojtěch. Jaderná fyzika a fyzika ionizujícího záření.[Online] [cit. 2016-10-08] Dostupné z: http://astronuklfyzika.cz/.

[3] HRAZDIRA, Ivo a Vojtěch MORNSTEIN. Lékařská biofyzika a přístrojová technika. 1. vyd. Brno: Neptun, 2001, 381 s. ISBN 80-902896-1-4.

[4] Co je to radiaktivita? [online]. [cit. 2016-12-31]. Dostupné z: http://www.surao.cz/cze/Uloziste-radioaktivnich-odpadu/Radioaktivni-odpady/Co-je-radioaktivita

[5] KUSALA, Jaroslav. Jaderná energetika [online]. In: . 2004 [cit. 2016-12-01]. Dostupné z: https://www.cez.cz/edee/content/microsites/nuklearni/nuklear.htm

[6] INES Mezinárodní stupnice hodnocení závažnosti jaderných a radiačních událostí - uživatelská příručka [online]. Státní úřad pro jadernou bezpečnost, 2016, s. 171 [cit. 2016-12-01]. Dostupné z: https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/d*okumenty/publikace/INES* − 2008$_c z_p$*reklad.pdf*

[7] ŠVEC, Jiří. Radioaktivita a ionizující záření: doplňující učební text pro předměty Bakalářská fyzika, Aplikovaná fyzika, Ochrana před zářením. Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2005. ISBN 80-866-3462-0.

[8] DVOŘÁK, Viktor a Václav HUŠÁK. Přístroje pro měření radioaktivního záření: přesnost měření a kontrola funkce. Přemyšlení: Tesla, výzkumný ústav přístrojů jaderné techniky, 1977.

[9] DOLEŽAL, Z. Polovodičové detektory v jaderné a subjaderné fyzice. Text k přednášce JSF101p1a, 2007, 20: 12. [online]. [cit. 2016-12-31]. Dostupné z: http://www-ucjf.troja.mff.cuni.cz/dolezal/teach/semicon

[10] MAREK, J. - ŠTĚPÁNEK, L. Přesnost satelitního navigačního systému GPS a jeho dostupnost v kritických podmínkách. Perner´s Contacts, 2009, vol. 4, no. 3, s. 162-173. ISSN: 1801-674X.

[11] EL-RABBANY, Ahmed. Introduction to GPS: the Global Positioning System. Boston, MA: Artech House, c2002. ISBN 1580531830.

[12] ČÁBELKA, Miroslav. Úvod do GPS [online]. Katedra aplikované geoinformatiky a kartografie, Přírodovědecká fakulta UK v Praze, 2008 [cit. 2017-01-01]. Dostupné z: https://www.natur.cuni.cz/geografie/geoinformatika-kartografie/ke-stazeni/vyuka/gps/skriptum-uvod-do-gps/

[13] RYDVAL, Slávek. Princip a fungování GPS. In: NaWEBka [online]. 2005 [cit. 2017-01-01]. Dostupné z: http://www.rydval.cz/phprs/view.php?cisloclanku=2005110301

[14] Slovník cizích slov. Praha: Ottovo nakladatelství, 2000. ISBN 80-718-1376-1.

[15] KVAPIL, Jiří. Kosmický segment GPS a jeho budoucnost. In: Aldebaran: bulletin [online]. 2/2005, 2012 [cit. 2017-01-01]. Dostupné z: *http* : *//www.aldebaran.cz/bulletin/*$2005_02_g ps.php$

[16] Čo je GPS? [online]. In: . [cit. 2017-05-16]. Dostupné z: *http* : *//www.depe.sk/gps/gps*01.*htm*

[17] Globální polohovací a navigační satelitní systémy. Geoinformatika [online]. VŠB-TU Ostrava, 2006 [cit. 2017-01-02]. Dostupné z: http://geologie.vsb.cz/geoinformatika/kap09.htm

[18] WAGNER, Vladimír. Přesnost atomových hodin, GPS a teorie relativity. [online]. In: . ÚJF AVČR Řež a FJFI ČVUT Praha [cit. 2017-01-02]. Dostupné z: http://hp.ujf.cas.cz/ wagner/popclan/gps/gps.html

[19] $Atmel-8271J-AVR-ATmega48A/48PA/88A/88PA/168A/168PA/328/328P-Datasheet_11/2015$ [online]. Atmel Croporation, 2015 [cit. 2017-05-10]. Dostupné z: $http://www.atmel.com/images/Atmel-8271-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega48A-48PA-88A-88PA-168A-168PA-328-328P_datasheet_Complete.pdf$

[20] Arduino UNO Genuino UNO [online]. [cit. 2017-05-10]. Dostupné z: https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno

[21] NEO-6 u-blox 6 GPS Modules Data Sheet [online]. In: . [cit. 2017-05-12]. Dostupné z: $https://www.u-blox.com/sites/default/files/products/documents/NEO-6_DataSheet_(GPS.G6-HW-09005).pdf$

[22] Arduino GPS modul Neo-6M. ARDUINO NÁVODY [online]. [cit. 2017-05-14]. Dostupné z: $http://navody.arduino-shop.cz/navody-k-produktum/arduino-gps-modul-neo-6m.html$

[23] Forum: Topic: Arduino GPS Shield by iteadstudio.com. ARDUINO [online]. [cit. 2017-05-12]. Dostupné z: *https* : *//forum.arduino.cc/index.php?topic* = 113603.0

[24] ECLIPSERA MODULES: Čtečka SD karet. ARDUINO NÁVODY [online]. [cit. 2017-05-13]. Dostupné z: *http* : *//navody.arduino* − *shop.cz/docs/texty/*0/64/1427787012.*pdf*

[25] Step-UP měnič. ARDUINO-SHOP.CZ [online]. [cit. 2017-05-15]. Dostupné z: *http* : *//arduino* − *shop.cz/arduino/*1020 − *step* − *up* − *menic* − *z* − 0 − 9*v* − 5*v* − *na* − 5*v* − *usb* − 1433533942.*html*

[26] Geiger Counter - Radiation Sensor Board for Arduino and Raspberry Pi. In: Cooking Hacks by Libelium [online]. [cit. 2017-05-17]. Dostupné z: *https* : *//www.cooking* − *hacks.com/documentation/tutorials/geiger* − *counter* − *radiation* − *sensor* − *board* − *arduino* − *raspberry* − *pi* − *tutorial/*

[27] 0.9V-5V input, 5V USB Output Boost Regulator Module. In: Thaoyu electronics [online]. [cit. 2017-05-12]. Dostupné z: *http* : *//www.hotmcu.com/*09*v*5*v* − *input* − 5*v* − *usb* − *output* − *boost* − *regulator* − *module* − *p* − 151.*html*

[28] GPS modul NEO-6M. In: GM electronic [online]. [cit. 2017-05-13]. Dostupné z: *https* : *//www.gme.cz/gps* − *modul* − *neo* − 6*m*

[29] UNO R3 - CLON 100% + USB kabel. In: SANTY.CZ [online]. [cit. 2017-05-12]. Dostupné z: *http* : *//www.santy.cz/data/product/*229_1074.jpg

[30] MAI, Thuy, ed. Global Positioning System. In: NASA [online]. 2015 [cit. 2017-05-17]. Dostupné z: *https* : *//www.nasa.gov/directorates/heo/scan/communications/policy/GPS.html*

[31] DYNTAROVÁ, M. Měření radioaktivního záření [online]. Brno: Vysoké učení technické v Brně. Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. 2016.

SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

CCD Charge-coupled device

DT Dead Time

GPS Global Positioning System

PET Positron Emission Tomography

PRN Pseudo Random Number

NMEA National Marine Electronics Association

SEZNAM PŘÍLOH

A Seznam použitých součástek **51**

B Obsah přiloženého CD **52**

PŘÍLOHY

A SEZNAM POUŽITÝCH SOUČÁSTEK

Tab. A.1: Použité součástky

označení	**typ**
C1	100 nF
C2	100μF
D1	zelená LED
D2	zelená LED
D3	zelená LED
D4	červená LED
D5	schottkyho dioda
E50P	operační zesilovač LM2621
L1	47μH
R1	470Ω
R2	470Ω
R3	470Ω
R4	20kΩ
R5	1kΩ
Spinac1	0/1
Spinac2	0/1
ARDUINO	UNO R3
SD_CTECKA	LC STUDIO
ZDROJ	3xAAA
GPS_MODUL	NEO-6M

B OBSAH PŘILOŽENÉHO CD

- *generator.ino*
- *HlavniSkript.ino*
- *schema_zapojeni.png*