

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

**Fakulta strojní – Ústav přístrojové a řídicí techniky**



**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Jak pracuje LiFi?**

**Jan Mareš**

**2017**

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem předloženou bakalářskou práci zpracoval samostatně a souhlasím s tím, že její výsledky mohou být dále využity dle uvážení vedoucího této práce jako jejího spoluautora. Souhlasím také s případnou publikací výsledků bakalářské práce nebo její podstatné části, pokud budu uveden jako její spoluautor.

V Praze dne .....

Podpis.....

## **Poděkování**

Rád bych tímto poděkoval vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Martinu Novákovi, Ph.D. za jeho rady a čas, který mi věnoval při řešení dané problematiky a při realizaci experimentu.

**Anotace**

Tato bakalářská práce si klade za cíl popsat, jak pracuje LiFi technologie a jaké součásti potřebuje k fungování. Popíše, jaké typy modulací se k přenosu využívají a nastíní i možné využití LiFi v běžném životě. Poté se porovnájí dvě technologie, LiFi a Wi-Fi. Další součástí této práce budou i dva experimenty. První experiment bude mít za cíl přenést analogový signál pomocí LED diod a fotovoltaického článku. Druhý experiment pomocí Arduina a LED diod zobrazí fungování pulzně šířkové modulace.

**Abstract**

This bachelor thesis aims to describe how LiFi technology works and what components it needs for working properly. It is going to describe what types of modulation are used for the transmission and outline the possible use of LiFi in everyday life. Then this thesis is going to compare two technologies, LiFi and Wi-Fi. Next part of the work are two experiments. The first experiment is going to show how to transfer an analog signal using LEDs and a photovoltaic cell. The second experiment by using Arduino and LEDs is going to show the operation of pulse width modulation.

**Obsah**

Seznam použitých zkratek .....	7
Úvod.....	8
1. Historie .....	9
2. Základní informace .....	10
2.1. Součásti LiFi .....	11
3. Princip fungování .....	12
4. Vysílání signálu.....	12
4.1. LED dioda .....	13
4.2. Modulační techniky .....	13
4.2.1. OOK.....	13
4.2.2. OFDM.....	14
4.2.3. PWM.....	15
5. Příjem signálu .....	15
5.1. Fotovoltaický článek .....	16
5.2. Fotorezistor.....	17
5.3. Fotodioda .....	18
6. Způsoby komunikace .....	18
6.1. LiFi GigaDock.....	19
6.2. GigaBroadcasting.....	19
6.3. LiFi Hotspot.....	20
7. Možnosti využití LiFi v praxi .....	20
8. Porovnání s Wi-Fi .....	23
9. Experiment – Přenos zvukového záznamu.....	26
9.1. Návrh .....	26
9.2. Princip experimentu.....	26
9.3. Zapojení s tabulkou použitých součástek.....	26
9.4. Měření .....	31
9.5. Výsledky, zhodnocení .....	34
10. Experiment – Pulzně šířková modulace .....	35
10.1. Návrh.....	35
10.2. Princip experimentu .....	35
10.3. Schéma zapojení, tabulka použitých součástek .....	35

10.4. Měření.....	37
10.5. Výsledky, zhodnocení.....	41
Závěr.....	42
Zdroje.....	44
Seznam obrázků.....	46
Seznam tabulek.....	48
Seznam použitého softwaru.....	49

Tabulka č. 1

**Seznam použitých zkratk**

LiFi <i>Light fidelity</i>	Bezdrátový přenos dat pomocí LED diod
Wi-Fi <i>Wireless fidelity</i>	Wi-Fi
VLC <i>Visible Light Communication</i>	Komunikace viditelným světlem
PCB <i>Printed Circuit Board</i>	Deska plošných spojů
LED dioda <i>Light-Emitting Diode</i>	Světlo vyzařující dioda
OFDM <i>Orthogonal Frequency Division Multiplexing</i>	Širokopásmová modulace využívající frekvenční dělení kanálu
OOK <i>On-Off Keying</i>	Dvoustavová (binární) modulace
ASK <i>Amplitude-Shift Keying</i>	Amplitudová modulace
PWM <i>Pulse Width Modulation</i>	Pulzně šířková modulace
GigaDock	Giga dokovací stanice
GigaBroadcasting	Giga vysílání
GigaHotspots	Giga hotspoty

## Úvod

V této bakalářské práci se budeme snažit popsat, jak funguje technologie LiFi. Popíšeme komponenty, na jejichž základě LiFi pracuje, a představíme vysílače a přijímače, na kterých tato technologie bude v praxi nacházet využití. Dále v praktické části navrhne a sestavíme experiment, na kterém dokážeme schopnost světla předávat digitální informaci.

Toto téma jsme si zvolili proto, že nás zajímá princip, na kterém je technologie LiFi založena a zajímá nás, jaké formy přenosu využívá a jak vzdálené je implementování technologie do běžného života. Zároveň se chceme zamyslet nad místy, kde by se dala technologie bez problému využít a v jakých případech by naopak mohlo být její umístění nevýhodné.

Dále nás zajímalo, jak si bude LiFi stát v porovnání se současně používanou technologií Wi-Fi. V práci proto porovnáme obě technologie z hlediska dosahu signálu, bezpečnosti, rychlosti přenosu dat a následně shrneme výhody a nevýhody obou těchto uvedených technologií.

Podstatným těžištěm této práce budou dva experimenty, pomocí nichž si prakticky vyzkoušíme a ověříme fungování přenosu signálu pomocí viditelného spektra světla. V prvním experimentu se pomocí LED diod a fotovoltického článku budeme snažit docílit přenesení hudebního souboru z MP3 přehrávače na reproduktor a zaznamenat, jaké hodnoty jsou na vstupu a výstupu. Ve druhém experimentu se přes LED diody a Arduino budeme snažit zobrazit pulzně šířkovou modulaci. Nejprve zobrazíme PWM se zapojeným potenciometrem a následně vyměníme potenciometr za MP3 přehrávač.



## 1. Historie

Počátek historie přenosu informací pomocí světla můžeme spatřit už v pravěku, kdy díky ohni mezi sebou lidé komunikovali na velké vzdálenosti. Hranice ze dřeva byly zapalovány a sloužily lidem k předávání důležitých zpráv, např. zpráv o blížící se hrozbě. S viditelným spektrem světla pracovali i indiáni, kteří ohněm šířili kouřové signály a tím mezi sebou komunikovali. Postupem času bylo světlo, resp. oheň ve svíčkách, používáno např. v majácích a lodě tak byly upozorňovány, že se blíží k pobřeží. Později, v důsledku technologického vývoje, byly svíčky v majácích nahrazeny reflektory.

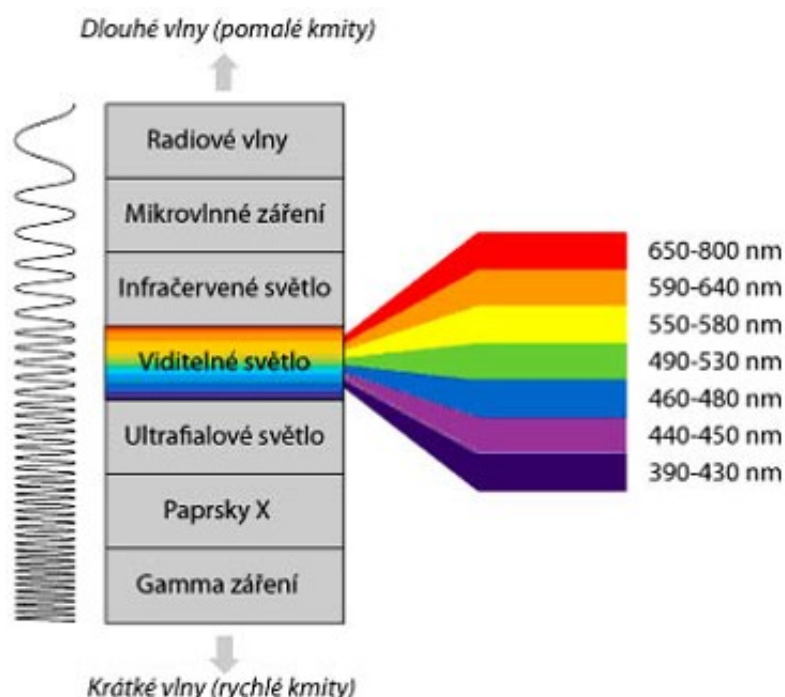
Šíření dat pomocí umělého světla se začalo využívat od 90. let 20. století. Že lze skrze LED diody posílat informace, zjistili poprvé vědci ve vyspělých zemích, jako jsou Německo, Jižní Korea nebo Japonsko. Přenášení informací přes LED diody se obecně nazývá komunikace ve viditelném spektru (VLC), LiFi je jednou částí této komunikace.

O LiFi se poprvé veřejně zmínil profesor německého původu, Harald Haas, předseda katedry Mobilních komunikací na Univerzitě v Edinburghu a také spoluzakladatel společnosti pureLiFi Ltd. Pan profesor začal zkoumat tuto technologii v roce 2004, zkoumal ji až do roku 2011, kdy ji 12. srpna poprvé veřejně prezentoval prostřednictvím internetové stránky TED. V přednášce také při streamování videa kvetoucích rostlin o rozlišení 5 K demonstroval, jak LiFi dokáže z LED diody vyzařovat datový signál a nastínil, jakým způsobem se signál přenáší. Během přednášky několikrát zakryl rukou fotovoltaický článek, aby ukázal, že se signál šíří jen v případě, kdy mezi vysílačem a přijímačem není žádná neprostupná překážka. Poté ukázal, že i přes bavlněný kapesník je možné signál přijímat. Zmenšila se sice energie dopadající na fotovoltaický článek, avšak video se stále přehrávalo ve stejné kvalitě. [1] [2]

## 2. Základní informace

LiFi je technologie přenosu datového signálu pomocí viditelného spektra světla, kterou popisuje standard 802.15.7. Viditelné světlo, o kterém budeme v souvislosti s LiFi hovořit, je elektromagnetické záření, jehož vlnové délky se pohybují v rozmezí od 390 nm do 800 nm. Viditelné světlo se nachází mezi ultrafialovým a infračerveným světlem. Jako jediné elektromagnetické záření může být spatřeno lidským okem.

Vlnové délky viditelného světla jsou  $10^{-9}$  krát kratší než radiové vlny, jejíž vlnové délky se pohybují od několika decimetrů až po několik kilometrů. Frekvence viditelného světla je oproti radiovým vlnám až  $10^3$  krát větší. Srovnání s radiovými vlnami jsme zde uvedli proto, abychom nastínili, jaký druh elektromagnetického záření používá k přenosu dat Wi-Fi.



Obrázek 1 Spektrum vlnových délek [1]



### **3. Princip fungování**

LiFi technologie je založená na principu vysílání dvou stavů, buď vysílá nulu nebo jedničku. Jestliže chceme, aby LED dioda vysílala, musíme mít jedničku na výstupu a LED dioda bude svítit. Nulu na výstupu získáme v případě, že LED dioda bude zhasnutá. Pro funkčnost je nutná přítomnost emitoru na vysílacím konci a foto detektoru na přijímacím konci.

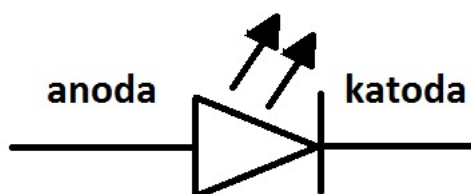
V současné době se díky světlu, konkrétně infračervenému záření, dají přenášet soubory nebo se mohou udělovat pokyny, jako např. vypnout/zapnout televizi. Infračervené světlo je lidským okem nepozorovatelné, světlo z LED diod už člověk vidí. Co však oko nevidí je vysokofrekvenční spínání LED diody. Vysokofrekvenční spínání je rychlé vypínání a zapínání diody. Tímto způsobem dochází k vysílání signálu, což si blíže popíšeme v další kapitole.

### **4. Vysílání signálu**

Vysílání signálu musí probíhat ze zařízení, které je schopno vyzařovat světlo, jelikož LiFi je přenosem signálu pomocí světla. Klasické halogenové žárovky se i v návaznosti na vydané právní předpisy Evropské unie nahrazují úspornějšími LED diodami. To jednoznačně „hraje do karet“ LiFi, neboť klasická žárovka nezvládá časté vypínání a zapínání. Při takovém spínání by v brzké době následovalo prasknutí wolframového vlákna, a tedy rozbití žárovky. To u LED diody nehrozí. LED dioda je na rychlé vypínání a zapínání uzpůsobena a připravena a nečiní jí žádné problémy. V této době se tedy jedná o jediný vysílač, který lze použít.

#### 4.1. LED dioda

LED dioda je elektronická polovodičová součástka, obsahující přechod P-N. Je schopna vyzařovat světlo, a proto je v současnosti používána do různých osvětlení, počínaje displeji telefonů nebo tabletů a různými druhy osvětlení konče. Její hlavní výhodou jsou nízké náklady na provoz, obzvláště ve srovnání s klasickou žárovkou. Klasická žárovka má oproti LED diodě 10krát menší účinnost. LED diody mají sice větší pořizovací náklady, poté je ovšem jejich provoz finančně méně náročný. Klasickou žárovku lze pořídit do cca. 20 Kč/kus, zatímco LED dioda se pohybuje od ceny 100 Kč/kus.



Obrázek 3 Symbolické označení LED diody [3]

#### 4.2. Modulační techniky

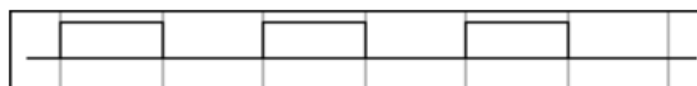
Je nezbytné modulovat data na signál, který se poté světlem přenáší. Signály se skládají ze světelných pulzů (vlnění). Nyní si představíme některé z nejčastěji využívaných metod přenosu světelných pulzů.

##### 4.2.1. OOK

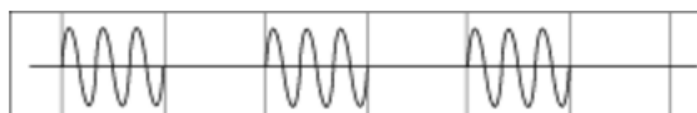
*(On Off Keying – Binární modulace)*

Tato modulační technika je podmnožinou modulace nazývané amplitudovou modulací (dále jen „ASK“). Binární modulace je z ASK

nejjednodušší a zároveň se také nejčastěji používá. Dříve se používala pro vysílání Morseovy abecedy. Dvoustavová modulace je založena na velmi rychlém vypínání a zapínání LED diody, které lidské oko není schopno pozorovat. To je přesně důvodem, proč je pro LiFi technologii potřeba právě LED dioda, a nikoli klasická žárovka, která není k tak rychlému spínání stavěna. Nositelkou binárního signálu je sinusoida, binární signál nabývá hodnot 0 nebo 1.



Unipolární binární signál v základním pásmu



Výsledný modulovaný signál pomocí OOK

Obrázek 4 Porovnání signálů [4]

#### 4.2.2. OFDM

*(Orthogonal Frequency Division Multiplexing – Ortogonální multiplex s frekvenčním dělením)*

*„Modulační metoda OFDM spočívá v použití několika desítek až tisíců nosných kmitočtů s rovnoměrným odstupem. Nosné kmitočty jsou dále modulovány dle potřeby různě robustními modulacemi. Jednotlivé nosné kmitočty jsou vzájemně ortogonální (tj. jejich skalární součin je nulový), takže maximum každého nosného kmitočtu by se mělo překrývat s průchody nulou ostatních. Datový tok celého kanálu se tak dělí na stovky dílčích datových toků jednotlivých nosných kmitočtů. Tím, že ve výsledku jsou toky na jednotlivých nosných kmitočtech přenášeny relativně nízkou modulační rychlostí, je OFDM odolná vůči vícecestnému*

šíření. Dále se využívá vkládání ochranného intervalu – času, kdy se nevysílá žádná nová informace. Na přijímací straně je tak možné nerušeně přijmout právě vysílaný symbol. OFDM se tedy vyznačuje vysokou odolností vůči interferencím. Velkou výhodou použití OFDM u bezdrátových sítí je lehké přizpůsobení měnícím se podmínkám přenosového média. Vyskytuje-li se v přenosovém pásmu silně rušené sub pásmo, je možné jej vynechat (za cenu snížení přenosové rychlosti).“ [6]

#### **4.2.3. PWM**

*(Pulse Width Modulation – Pulzně šířková modulace)*

Pulzně šířková modulace je modulace, která přenáší analogový signál pomocí dvouhodnotového signálu, buď 0 nebo 1. Nulu opět získáváme při vypnuté diodě a jedničku v době, kdy je dioda zapnutá. Přenos signálu PWM je zobrazen pomocí střídy. Střída je poměr signálu za určitý čas, a tedy poměr mezi 0 a 1 za čas, během kterého je střída zobrazena. K PWM se ještě vrátíme v druhém experimentu, kde bude střída názorně zobrazena. Signál, který je přenášen, se bude demodulovat. K demulaci signálu se využívá dolnofrekvenční propusti.

### **5. Příjem signálu**

Příjem signálu probíhá za pomoci foto detektorů. Foto detektory přijímají signál z emitoru, který je v případě LiFi reprezentován LED diodami. Přijímaný signál poté detektor dekóduje a takto dekódovaný analogový signál následně šíří okruhem dál. Nyní si ukážeme, jaké fotodetektory lze použít v praxi a které zároveň nachází uplatnění i pro technologii LiFi. Mobilní telefony by mohly signál přijímat

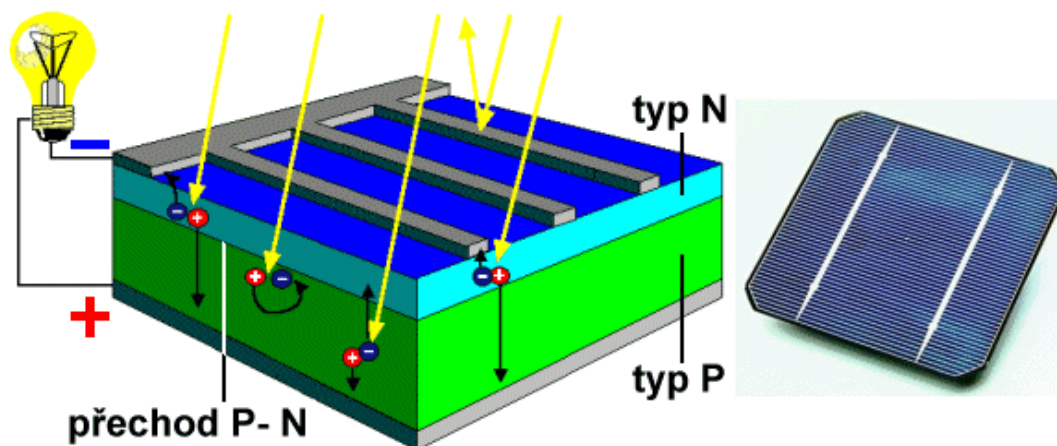
i kamerami. Další možností by mohlo být nalepení speciální fólie, která by dokázala přijímat data, na displej telefonu.

### **5.1. Fotovoltaický článek**

Fotovoltaický článek, taktéž sluneční nebo solární článek, je polovodičová dioda. Tato dioda umí přetvářet světelné záření na elektrickou energii. Článek se skládá ze dvou částí, z tenké křemíkové destičky s vodivostí typu P a z tenké vrstvy polovodiče s vodivostí typu N. Přechod mezi oběma vrstvami, tzv. P-N přechod je znázorněn na Obrázku 5. Fotovoltaický článek dostal název podle jevu, který v něm probíhá, a to fotovoltaického jevu. Fotovoltaický jev je jedna část vnitřního fotoelektrického jevu. Ten vzniká, když na článek dopadne světelné záření. Toto záření dodá energii fotonu, který poté uvolní záporný elektron z valenční vrstvy. V místě uvolněného elektronu vznikne díra. Po vytvoření díry se promíchají volné elektrony z oblasti N do oblasti P.

Přechod P-N lze zapojit dvěma způsoby, v závěrném směru nebo v propustném směru. Když je článek zapojen v závěrném směru, rozšíří se hradlová vrstva na přechodu a obvodem neprochází proud. Propustným zapojením proud protéká. Propustné zapojení má polovodič P připojen na kladný pól zdroje a polovodič N na záporný pól. Hradlová vrstva v propustném směru se zmenší na minimum a tím se zmenší také odpor článku. Hradlová vrstva a zapojení v obou směrech je názorně ukázáno na Obrázku 7.

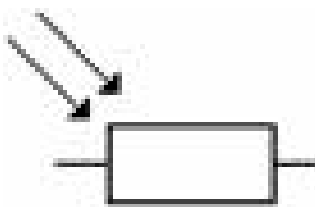




Obrázek 5 Fotovoltaický článek [5]

## 5.2. Fotorezistor

Fotorezistor je stejně jako fotovoltaický článek součástka, která využívá vnitřní fotoelektrický jev a která s dopadajícím světlem zmenšuje svůj odpor. Opět se zde tvoří pár elektron-díra. Vyrábí se nejčastěji ze sulfidu kadmnatého (CdS) nebo selenidu kadmnatého (CdSe). Fotorezistor se může využívat jako expozimetr pro měření osvětlení, jako fotobuňka nebo v zabezpečovacích zařízeních. Pro LiFi ale tato technologie nebude v těch nejrychlejších provedeních využívána, neboť má oproti ostatním článkům pomalejší přenos dat.

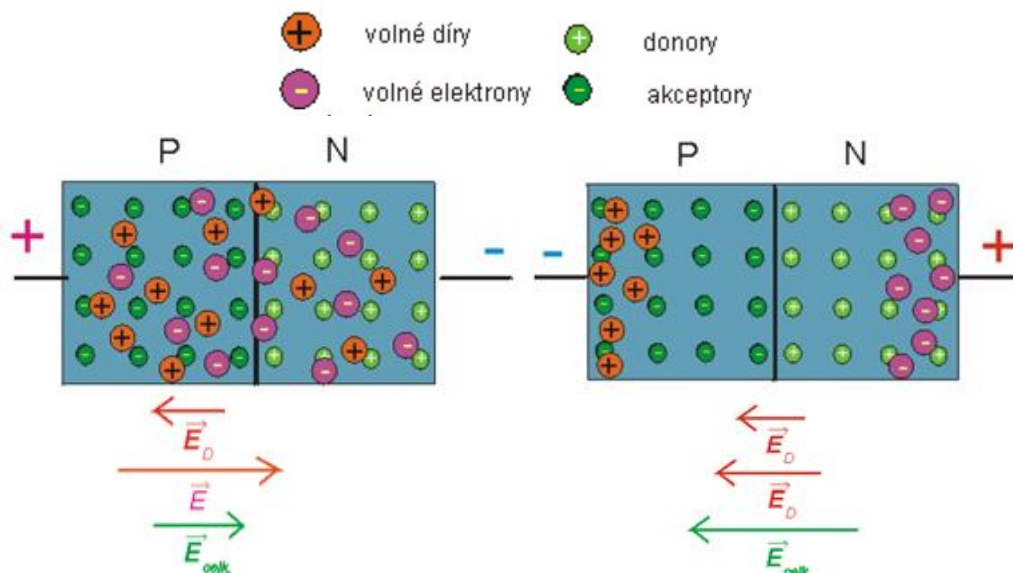


Obrázek 6 Schématická značka fotorezistoru [6]

### 5.3. Fotodioda

Fotodioda stejně jako předchozí dvě součástky funguje na principu fotoelektrického jevu. Když je fotodioda zapojena v závěrném směru, je osvětlený přechod P-N také vodivý.

Na Obrázku 7 je názorně ukázáno, jaké je při propustném a závěrném směru rozmístění elektronů a děr. Zároveň je patrná hradlová vrstva, která je v propustném směru minimální a v závěrném směru naopak velice patrná.



Obrázek 7 Hradlová vrstva při zapojení v propustném (vlevo) a v závěrném (vpravo) směru [7]

## 6. Způsoby komunikace

V této kapitole si ukážeme provedení LiFi komunikace podle Fraunhoferova Institutu pro fotonní mikrosystémy (IPMS).

### 6.1. LiFi GigaDock

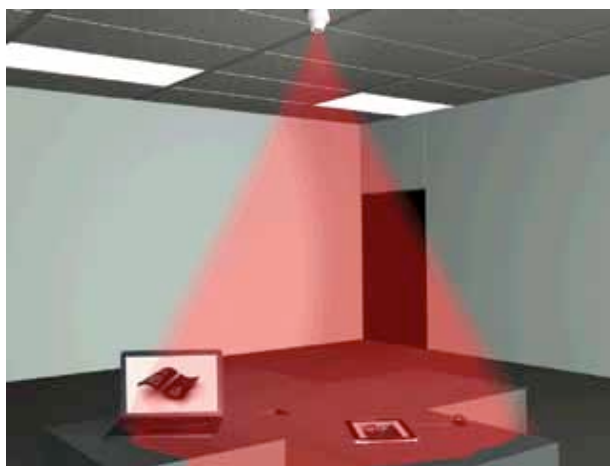
Jedná se o přenos dat na velmi krátkou vzdálenost ( $\leq 10$  cm) velkými rychlostmi (až 12,5 Gb/s). Vlnové délky jsou na horní hranici vlnového spektra až těsně u infračerveného záření.



Obrázek 8 GigaDock [8]

### 6.2. GigaBroadcasting

Tento způsob, nazývaný také jako „sprcha“, poskytuje jednosměrný datový tok pro určitou plochu, která může dosahovat až 10 metrů čtverečních.

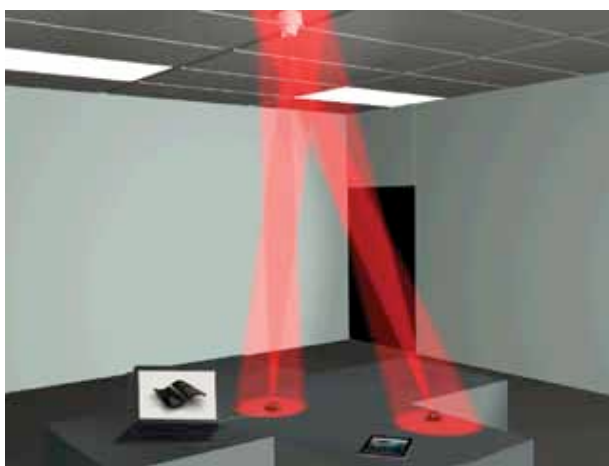


Obrázek 9 GigaBroadcasting [9]

### 6.3. LiFi Hotspot

Tento způsob komunikace může dosahovat rychlosti až 1 Gb/s a oproti výše zmíněným umožňuje využívat plnou šířku pásma každého spojení LiFi díky tomu, že se neruší s ostatními Hotspoty

Kromě vysílání dat v jednom směru umí LiFi Hotspot vysílat data zpět. Ve skutečnosti by se mohla poloha vysílače vysílat zpět ke zdroji původního signálu, a tím by se docílilo zjištění přesné polohy přijímače. LiFi Hotspoty by se daly jednoznačně využít k určování přesné polohy různých zařízení uvnitř budov, a tedy by mohlo sloužit jako navigace při pohybu po budově.



Obrázek 10 LiFi Hotspot [10]

## 7. Možnosti využití LiFi v praxi

Dnešní doba je velmi rychlá a vyžaduje rychlé věci, ať už se jedná o mobilní telefony nebo o rychlost připojení k internetu. LiFi technologie sama o sobě telefon rychlejší neudělá, ovšem připojení k internetu by mohla citelně zrychlit a zároveň i umožnit přijímání signálu v místech, ve kterých to do té doby nebylo možné. Jedná se například o nemocnice, letadla nebo komunikaci pod vodní hladinou. Využitím LiFi ve veřejném

prostoru by se dalo předcházet nehodám mezi automobily, kolonám na rušných křižovatkách nebo možnosti špatného odbočení v tunelu.

Při využití uvnitř budov by tato technologie mohla, jak již bylo zmíněno výše, posloužit k navigaci. V případě, že by v dané budově byly nainstalovány LED diody v každé místnosti a na chodbách, dala by se pomocí LiFi přesně určit poloha daného uživatele, a to s přesností až na 3 centimetry. Využití v praxi se nabízí například v supermarketech, kde by si člověk zadal do aplikace daného supermarketu seznam položek, které chce nakoupit a aplikace by mu sama vytvořila nejrychlejší trasu, která by zobrazila, jak se dostat k vybraným položkám a následně přesně lokalizovala, kde se zákazník nachází a navigovala zákazníka k hledanému produktu. To by lidem zajisté ušetřilo čas při nakupování v supermarketech a zajistilo by jim pohodlnější život, ve kterém by měli více času na jiné věci. To vše díky využití moderních technologií.

V nemocnicích je šíření signálu problematické kvůli přítomnosti velkého množství lékařských přístrojů. Světlo ale pro lidi nebezpečné není, a tak by se LiFi dala použít na operačních sálech. Tam by díky vysokým přenosovým rychlostem mohla tato technologie najít využití při komunikaci odborníků během složitých zákroků a operací.

V letadlech je v současnosti zakázáno používat mobilní telefony a tablety při vzletu a při přistání letadla z důvodu možnosti ovlivnění některých systémů rádiovými frekvencemi. Tento problém s bezpečností by LiFi mohla snadno vyřešit, jelikož by signál mohl být dostupný jen v prostoru pro cestující a neovlivňoval by přístroje umístěné v pilotní kabině.

Komunikace pod vodou pomocí rádiových frekvencí je složitá, ale světlo skrz vodu dobře prochází a signál by se tudíž mohl šířit. Využití LiFi

by mohly například ponorky a jiná zařízení určená k práci pod vodou. Otázkou ovšem zůstává, zda by možnost přístupu k internetu pod vodou vůbec k něčemu prakticky sloužila. Ve velkých hloubkách už také dochází k problému s pronikáním světla, a v návaznosti na tom i s šířením signálu.

Využití LiFi ve veřejném prostoru je pro většinu lidí aktuálnější otázkou, zejména z hlediska usnadnění a z pohodlnění běžného života. Novější auta už mají vestavěná LED světla, a tudíž by díky rychlému připojení auta mohla jejich prostřednictvím komunikovat mezi sebou. Auta by mohla rychle komunikovat i se semaforey, lampami a jiným značením na silnicích, jako jsou například výstražná světla u železničního přejezdu. U novějších aut by například systém stop-start mohl dostat signál od semaforu, že se brzy rozsvítí zelená a auto by tak ideálně samo mohlo načasovat nastartování motoru, aby poté nezdržovalo ostatní pomalým výjezdem z křižovatky. Komunikovat by auta mohla také s výstražnými světly na železničních přejezdech, kde by například signál z výstražných světel mohl zabránit autu vjet do prostoru kolejí a předcházet tak srážce s vlakem.

Autá by mohla dále komunikovat mezi sebou. V případě, že by LED diody byly umístěny i na brzdových světlech, přijíždějící auto by zachytilo jejich signál a mohlo by včas samo zastavit, aniž by došlo ke srážce. Touto technologií by se daly nahradit některé senzory, které toto včasné zastavení v dnešní době umožňují. Nevýhodou by byl fakt, že by ve světlech musel být jak přijímač, tak i vysílač a z tohoto důvodu by po nehodě bylo nutné vyměnit obě tyto části a oprava by tedy byla nejspíše dražší než u senzorů.

Další možnost využití, která připadá v úvahu, je možnost šíření signálu v tunelu. Pro GPS navigace, které mají mapy stažené off-line a k navigování internet nepotřebují, jsou i přes to tunely problematické. Signál GPS bohužel přes vrstvu zeminy nepronikne, a tak navigace neví,

kde se automobil přesně nachází a nemůže určit, kdy přesně má z tunelu odbočit. Datový signál, vyzařovaný z osvětlení uvnitř tunelu, by v tomto případě pomohl jak se signálem pro navigace, které potřebují být připojené k internetu, tak s určením polohy, kde se daný automobil nachází. Světla by mohla shromažďovat informace o stavu provozu a věděla by o dopravních omezeních a zácpách. Osvětlení v lampách by prostřednictvím světla mohlo navigaci umístěné v automobilu sdělit tyto nástrahy a předejít tak uvíznutí automobilu v koloně prostřednictvím naplánování objízdne trasy.

Novější lampy veřejného osvětlení, které jsou vybaveny LED diodami, by mohly signál také vysílat. Mohly by pomoci v již zmíněné komunikaci s automobily, zároveň by mohly sloužit lidem i jiným způsobem. Využití by mohlo například být nalezeno v systému placení za parkování. Po připojení k internetu by se na mobilním telefonu mohla zobrazit stránka, na které by se dalo zaplatit za parkovné. Placení mobilem bude v budoucnu ještě více rozšířené a spojení těchto nových technologií by mohlo takovou platbu značně zrychlit. Lidé by tak u sebe nemuseli nosit mince do parkovacích automatů, ani by si nemuseli chodit rozměňovat papírové bankovky. Nevýhodou ovšem je, že placení za parkování probíhá většinou během dne, kdy lampy nesvítí. Z tohoto pohledu velký rozmach tohoto využití neočekáváme.

## **8. Porovnání s Wi-Fi**

V této části porovnáme výhody a nevýhody obou uvedených technologií. Nejprve se zaměříme na rychlosti. Wi-Fi má maximální přenosovou rychlost kolem 54 Mb/s dle standardu 802.11 g. Rychlost LiFi by dle standardu 802.15.7 měla přesahovat 1 Gb/s, v budoucnu se předpokládají provozní rychlosti větší než 10 Gb/s. V současnosti se estonské firmě Velmenni OÜ, která se zabývá vývojem LiFi technologie,

daří v laboratorních podmínkách dosáhnout až rychlostí 100 Gb/s. Předpokládá se ovšem, že teoretická rychlost LiFi by mohla být ještě větší a mohla by dosahovat až 224 Gb/s. Ve skutečnosti by ale záleželo na rychlosti připojení od poskytovatele internetového připojení a na rychlosti jednotlivých serverů, případně na jejich vyžití v konkrétních časech.

Jako další porovnáme bezpečnost připojení. Porovnáme-li rozsah dostupnosti, tak zabezpečení, co se týká nechtěného připojení cizího uživatele, vyznívá lépe pro LiFi. Světlo neprochází stěnami, proto je nemožné zachytit signál z vedlejší místnosti, zatímco rádiové frekvence, jimiž se šíří signál Wi-Fi, zdmi prostupují. Je tedy možné, aby se k Wi-Fi připojil i někdo nacházející se v dosahu vln, ale mimo místnost. To nahrává neautorizovanému připojení cizích zařízení z širšího okolí v dosahu Wi-Fi.

Co je na jednu stranu výhodou, může být na druhou stranu nevýhodou. Vzhledem k neprůchodnosti světla skrze stěny bychom např. v bytě museli mít LED diody umístěné v každé místnosti a na každé by musel být speciální čip. V případě Wi-Fi stačí jen jediný silný router k pokrytí celého bytu. Wi-Fi router je většinou někde skrytě umístěn tak, aby nebyl na očích. Pro šíření signálu LiFi bychom museli mít stále rozsvícené světlo, což je lepší pro šíření v noci, jelikož v noci nedopadá na přijímač světlo ze Slunce, který by mohlo signál zhoršovat. Nicméně vědci z projektu pureLiFi tvrdí, že budou přes filtry schopni zajistit šíření plnohodnotného signálu i za denního světla. Venku by ovšem dávalo největší smysl doplňování LiFi pomocí Wi-Fi a systémy by mohly pracovat v symbióze.

Pro stahování souborů přes noc nebo pro práci v noci by světlo muselo neustále svítit. LED diody jsou sice úsporné a jejich provoz nestojí tolik, co stojí provoz klasické žárovky, svícení v pokoji v noci by



ale nemuselo mít dobrý vliv na lidi přítomné v místnosti. Představa, že by člověk měl spát v pokoji s rozsvíceným světlem, aby byl schopen přijímat např. emailovou poštu i v průběhu noci, by rozhodně neprospěla klidnému spánku. Pokud bychom světlo na noc standardně vypínali, tak by se ráno, aniž by člověk vstal a rozsvítil světlo, LiFi signál nevysílal a nemohlo by tak tedy dojít k připojení k internetu. V tomto aspektu je výhodnější použití Wi-Fi.

Se stále se zvyšující poptávkou po internetu věcí je potřeba spárovat a propojit více zařízení. Každé zařízení bude nějakým způsobem přijímat a vysílat signál, ovšem použitelné spektrum bude čím dál tím více zahuštěné a mohlo by dojít i k vyčerpání volných rádiových frekvencí. Tady přichází zásadní výhoda LiFi, jelikož spektrum světla je dosud k přenosu informací nepoužívané a nehrozí žádné kolize s jinými zařízeními. Spektrum viditelného světla není v současné době používané pro přenos dat a ani není licenčně zpoplatněné.

LED diodami jsou dnes kromě kanceláří a automobilů vybavené například ledničky, o kterých se v souvislosti s internetem věcí také mluví. Lednička by se mohla rozsvítil, mohla by sama zjistit co se uvnitř ní nachází a pak přes internet poslat seznam potřebných věcí majiteli nebo přímo sama udělat objednávku u některých společností, které rozvázejí potraviny a lidé by se pak jen domluvili na konkrétním čase, kdy si zboží doma pohodlně převezmou.

## **9. Experiment – Přenos zvukového záznamu**

### **9.1. Návrh**

V praktické části této bakalářské práce jsme se rozhodli uskutečnit experiment, ve kterém chceme demonstrovat, že je možné prostřednictvím světelného záření přenést data v reálném čase. Digitální signál bude v našem případě představovat zvukový záznam. Přenos zvuku bude probíhat mezi LED diodami a fotovoltaickým článkem. Vysílací okruh bude tvořen z přehrávače MP3, rezistorů a LED diod, které budou zapojeny v nepájivém poli společně s rezistory a celý vysílací okruh bude připojen k laboratornímu zdroji. Příjímací okruh bude tvořen fotovoltaickým článkem, který bude pomocí kroko svorek připojen na reproduktor.

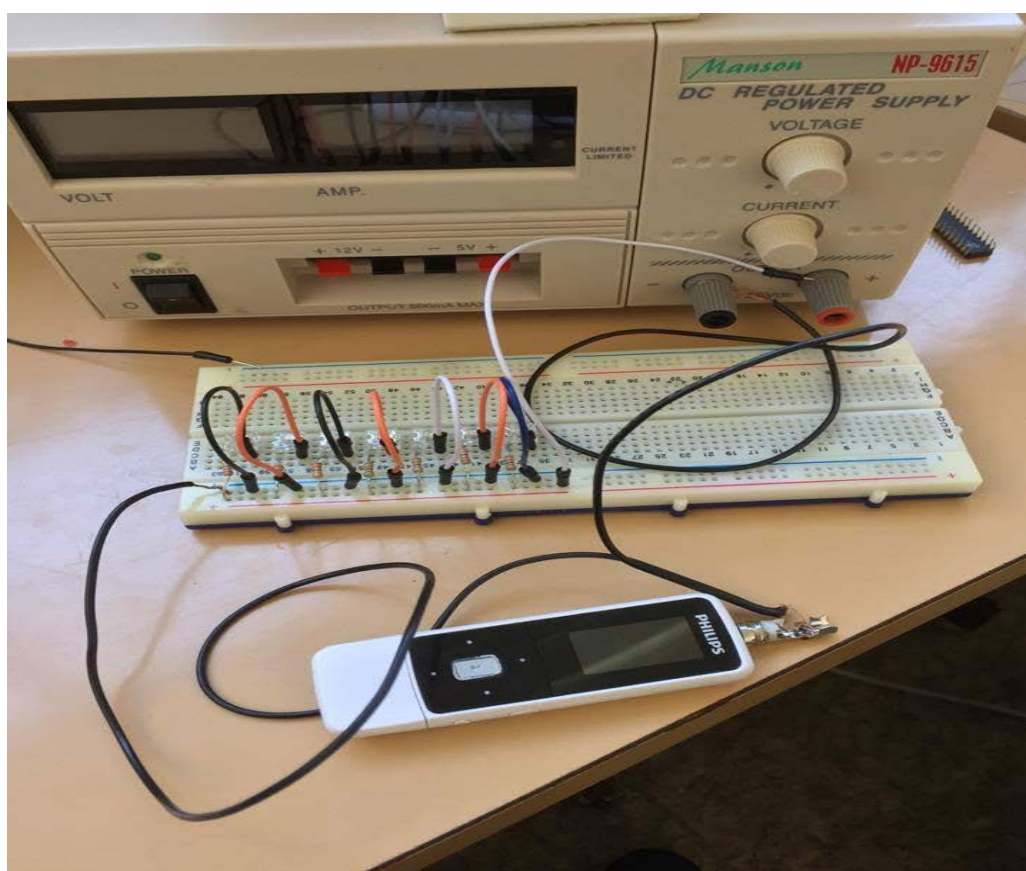
### **9.2. Princip experimentu**

Vysílání signálu bude uskutečněno pomocí LED diod, které budou přijímat signál z MP3 přehrávače, budou vysokofrekvenčně spínat a tím budou vysílat signál. Vysílaný signál bude dekodován pomocí fotovoltaického článku, který signál opět přemění na analogový, a ten bude následně přehráván reproduktorem.

### **9.3. Zapojení s tabulkou použitých součástek**

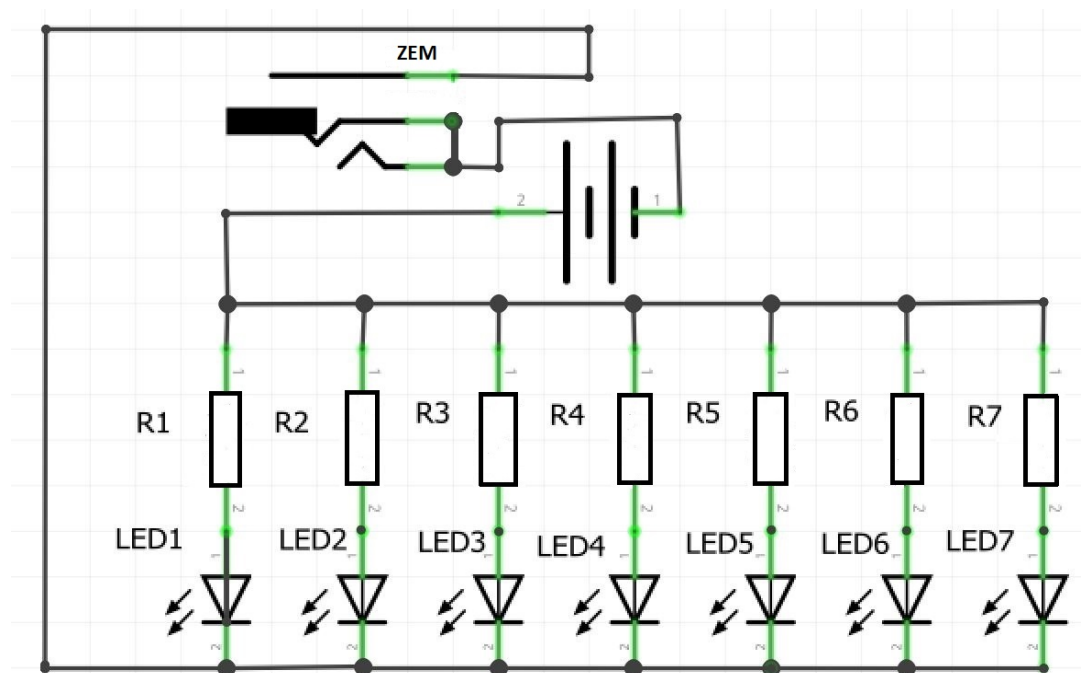
V první části realizování experimentu jsme začali se sestavováním vysílacího obvodu. Nejprve jsme museli vyřešit spojení 3,5 mm audio jacku s obvodem. Ke spojení kabelu a audio jacku jsme použili pájku, když jsme kabel připájeli k levé a pravé části audio jacku, druhý kabel jsme pak připájeli k zemní části.

Poté následovalo zapojení nepájivého kontaktního pole. LED diody a rezistory jsme zapojili podle schémat uvedených níže, propojili jsme katodu se zemí 3,5mm konektoru. Poté, co jsme vše zapojili podle schématu, zapnuli jsme zdroj stejnosměrného proudu. Na zdroji jsme nastavili počáteční hodnotu proudu na 0,02 A a hodnotu napětí na 3,2 V. V této chvíli se nám rozsvítily LED diody. To znamenalo, že vysílací obvod byl připraven k vysílání. Následně jsme spustili na MP3 přehrávači zvukový soubor.



Obrázek 11 Zapojení vysílače

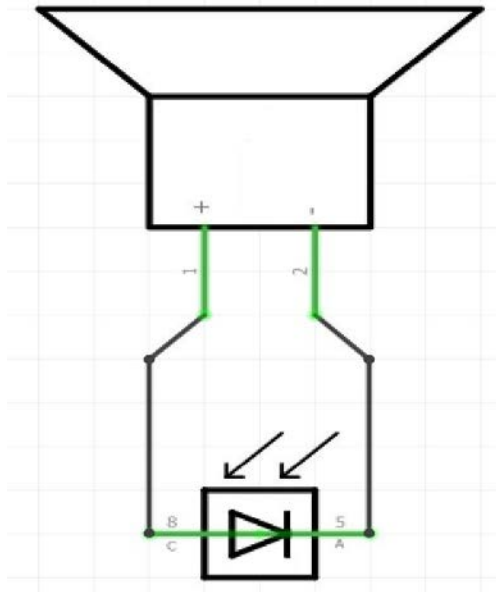
Na Obrázku 11 je zaznamenáno sestavení vysílacího obvodu v takové podobě, ve které následně probíhalo i měření. Zapojení je provedeno podle schématu, které se nachází dále na Obrázku 12. Schéma na Obrázku 12 je vytvořeno pomocí programu Fritzing.



Obrázek 12 Schéma vysílače

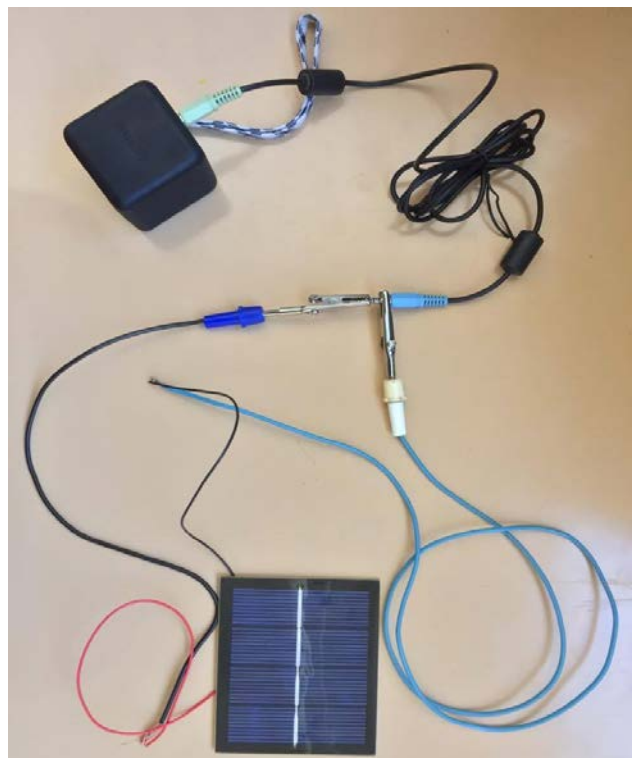
Zapojování přijímacího obvodu bylo jednodušší a daleko rychlejší, než jsme očekávali. Fotovoltaický článek jsme zapojili opět podle schématu zobrazeného na Obrázku 13, kdy jsme od anody vedli kabel přes kroko svorky na spodní část 3,5 mm audio jacku a katodu jsme stejným způsobem spojili s horní částí audio jacku.

Následně jsme druhý konec audio jacku připojili na reproduktor a ten jsme zapnuli. Je důležité zmínit, že náš reproduktor obsahoval zesilovač, bez kterého by nebylo možné zvuk zřetelně slyšet. Přijímací obvod byl tímto připravený k použití.



Obrázek 13 Schéma přijímacího okruhu

Zde je na Obrázku 14 zobrazeno, jak vypadal při měření přijímací okruh s fotovoltaickým článkem, který byl kroko svorkami spojen s reproduktorem.



Obrázek 14 Zapojení přijímače

Tabulka 2

**Seznam použitých součástek v prvním experimentu**

<b>Součástka</b>	<b>Počet kusů</b>
Audio jack 3,5 mm	1
Kabel s 3,5 mm jack na obou stranách	1
Zdroj Manson NP-9615	1
Dioda LED super flux červená OSER7161D	7
Odpor 220R	7
Fotovoltaický solární článek 1 W 2 V/0,5A	1
Reproduktor Philips BT1300	1
Nepájivé pole Pro's Kit BX-4112 N	1
Propojovací kabely	12
MP3 přehrávač	1
Kroko svorky 4 mm	2

Dalším přístrojem, který jsme při pokusu použili, byl digitální osciloskop Hantek DSO-2090 USB, díky kterému jsme mohli porovnat amplitudy signálu na vstupu a na výstupu. Dále jsme ještě použili pájku pro spojení 3,5 mm audio jack konektoru s kabely. Na změření vzdálenosti, do které je ještě zvuk slyšet jsme pak použili 5 metrový metr.

#### 9.4. Měření

Měření jsme provedli ve školních prostorách u oken za slunečného počasí. Místnost se nedala zcela zatemnit, proto nebylo v našich silách vyzkoušet přenos zvuku i za tmy a porovnat, zda se přenos nějakým způsobem liší. Předpokládali jsme však, že DC složka byla odfiltrována zesilovačem umístěným v reproduktoru.

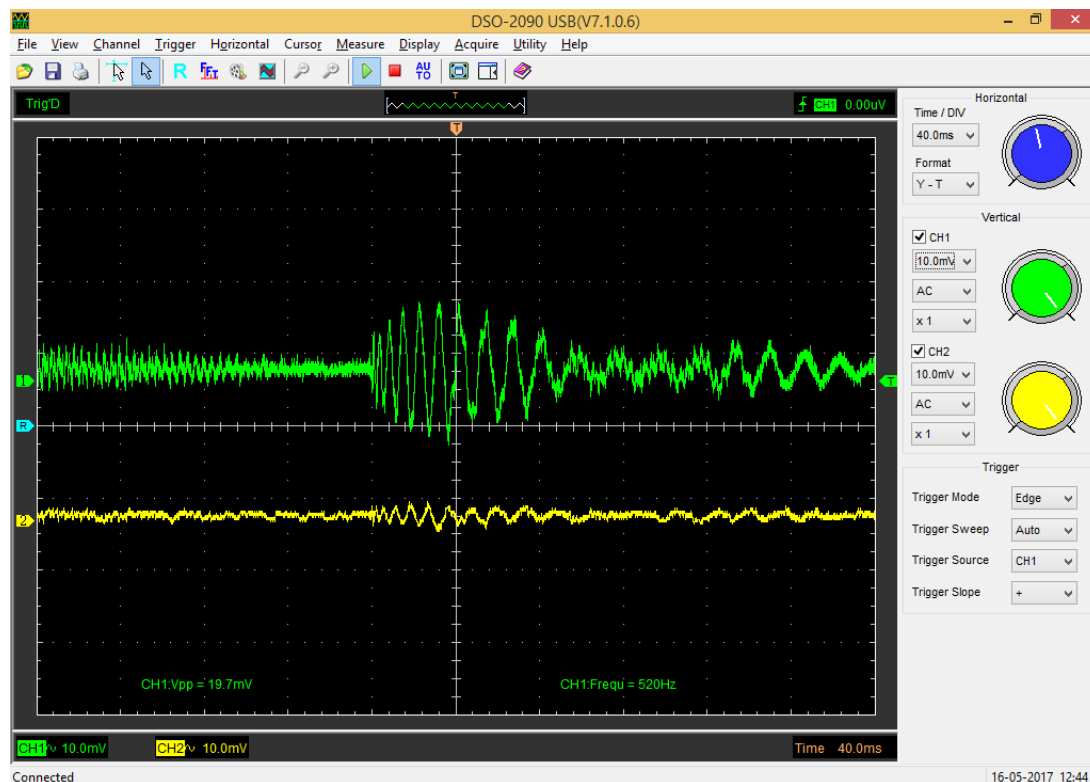
V první části jsme zjišťovali, při jakých hodnotách proudu a napětí bude hlasitost zvuku největší. Po počátečním nastavení proudu na hodnotu 0,02 A a napětí na 3,2 V jsme následně zkoušeli, zda při jiných hodnotách zdroje bude zvuk hlasitější. Po pár pokusech jsme získali interval, pro který byly hodnoty slyšitelně nejvyšší. Tento interval se lišil jen v hodnotách napětí, které se pohybovaly mezi 2,4 V až 2,8 V, hodnota proudu byla konstantní, a to 0,01 A.

V druhé části pokusu jsme zkoumali, v jaké vzdálenosti přijímače od vysílače bude zvuk vycházející z reproduktoru slyšitelný naprosto zřetelně. Zároveň jsme zkoumali, jaká vzdálenost od vysílače bude už natolik veliká, že zvuk z reproduktoru nebude téměř slyšitelný a k poslechu bude nutné přiložit ucho na reproduktor.

Metr jsme natáhli po místnosti od vysílače až ke zdi místnosti. Následně jsme posouvali fotovoltaický článek tak, aby byl vždy kolmý na metr a světlo z emitoru dopadalo vodorovně s položeným metrem. Pro hlasitost, která byla bez problému po místnosti slyšitelná, jsme naměřili vzdálenost mezi vysílačem a fotovoltaickým článkem v intervalu od 0 do 30 centimetrů. Poté jsme fotovoltaický článek posouvali dále od vysílače. Na vzdálenosti od 30 do 185 centimetrů už byla hudba slyšet jen v bezprostřední blízkosti reproduktoru. Od vzdálenosti 185 centimetrů od zdroje byla hlasitost zvuku velmi malá, ale s přiloženým uchem na reproduktoru stále slyšitelná. Slyšitelná hudba

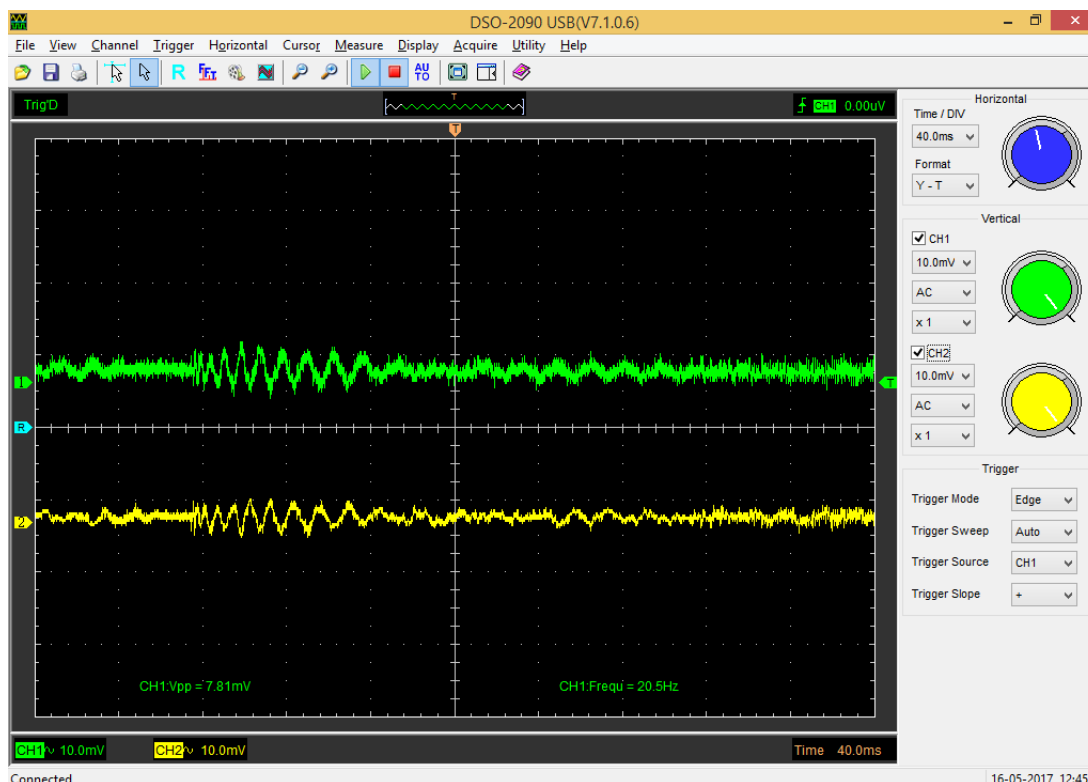
byla až do vzdálenosti 445 centimetrů od zdroje světla. Po celou dobu pokusu jsme si dávali záležet, aby nestála mezi LED diodami a fotovoltaickým článkem žádná překážka. Zde uvedené hodnoty vzdáleností byly měřeny pro proud 0,01 A a napětí 2,7 V.

Při měření do vzdálenosti 50 cm jsme měli na vysílací okruh a přijímací okruh připojený osciloskop Hantek DSO-2090 USB. Zkoumali jsme, jestli se shodují frekvence a amplitudy jednotlivých okruhů. Po nastavení totožné počáteční pozice pro oba kanály jsme počkali, až se přenos ustálí. Následně jsme pozorovali, jakou frekvenci mají oba okruhy. Při hodnotách proudu 0,02 A a napětí 2,7 V jsme usoudili, že frekvence obou okruhů se shodují, jak je ostatně viditelné z Obrázku 15. To samé lze konstatovat i pro amplitudy, které jsou u obou okruhů totožné. Pro úplnost doplníme, že žlutou barvou je na obrázku zobrazen vysílací okruh a zelená barva symbolizuje okruh přijímací, který byl vzdálený od vysílacího okruhu 10 cm.



Obrázek 15 Amplitudový posuv z blízka





Obrázek 16 Amplitudový posuv oddálený

Na Obrázku 16 jsme vysílací a přijímací okruh oddálili na vzdálenost 50 cm, abychom zjistili, jak se průběhy liší. Z obrázků je patrné, že frekvence se se změnou vzdáleností nemění, ale mění se amplituda, a to tak, že s rostoucí vzdáleností je amplituda menší.

V další části jsme zkoušeli, zda se signál bude vysílat i přes překážku. Přes silné předměty, jako třeba lidská ruka nebo sešit, světlo z LED diod neproniklo. Následně jsme vyzkoušeli, jestli světlo pronikne přes papírový kapesník jako v pokusu prof. Haase. Nerozbalený papírový kapesník světlo také nepropustil, jelikož se skládal z více vrstev papíru a ty postupně veškeré záření pohltily. Jakmile jsme ale kapesník rozložili a nechali světlo zářit jen přes jednu vrstvu, tak se zvuk přenášel. Oproti ničím nerušenému přenosu se hlasitost zvuku snížila, ale byla to jediná vlastnost, která se změnila. Papírový kapesník by se tudíž dal nazvat filtrem, který jen upravuje hlasitost, jakou hudba z reproduktoru hraje.

## 9.5. Výsledky, zhodnocení

Po sestavení vysílacího a přijímacího obvodu, spuštění všech zařízení a zapnutí hudby na MP3 přehrávači se začala ozývat hudba. To pro nás znamenalo příjemné zjištění, jelikož jsme si potvrdili, že jsme při zapojení postupovali správně, a že je možné přenášet hudbu pomocí světelného záření. Z této informace jsme usoudili, že i jiné typy datových souborů je možné přenášet pomocí technologie LiFi.

Po zjištění funkčnosti systému jsme zkoumali, pro jaké hodnoty napětí a proudu bude hlasitost největší. Interval s nejvyšší hlasitostí byl od 2,4 V až do 2,8 V. V další části jsme měřili vzdálenosti, do kterých se světelný signál šíří. To, že na vzdálenost přibližně do dvou metrů bude hudba slyšet bez problémů, nás nepřekvapilo. Ovšem to, že hudbu šlo slabě slyšet až na vzdálenost pěti metrů od vysílače, lze považovat za překvapivé zjištění.

V další části jsme poté zkoušeli obdobný pokus jako prof. Harald Haas ve své přednášce na internetové stránce TED. Zkoušeli jsme mezi vysílač a přijímač umístit lidskou ruku a papírový kapesník. Přes lidskou ruku záření neprocházelo a hudba tedy podle předpokladu nehrála. S vícevrstevným kapesníkem se jev nezměnil, ovšem po jeho rozbalení došlo k zajímavému jevu. Světlo procházející skrze kapesník pořád předávalo signály fotovoltaickému článku, ovšem hudba se díky menší intenzitě dopadajícího světla ztišila.

Experiment dle našeho názoru naplnil cíl, který jsme si před začátkem pokusu stanovili. Potvrdili jsme možnost přenosu dat skrze světlo díky realizaci tohoto experimentu.

## **10. Experiment – Pulzně šířková modulace**

### **10.1. Návrh**

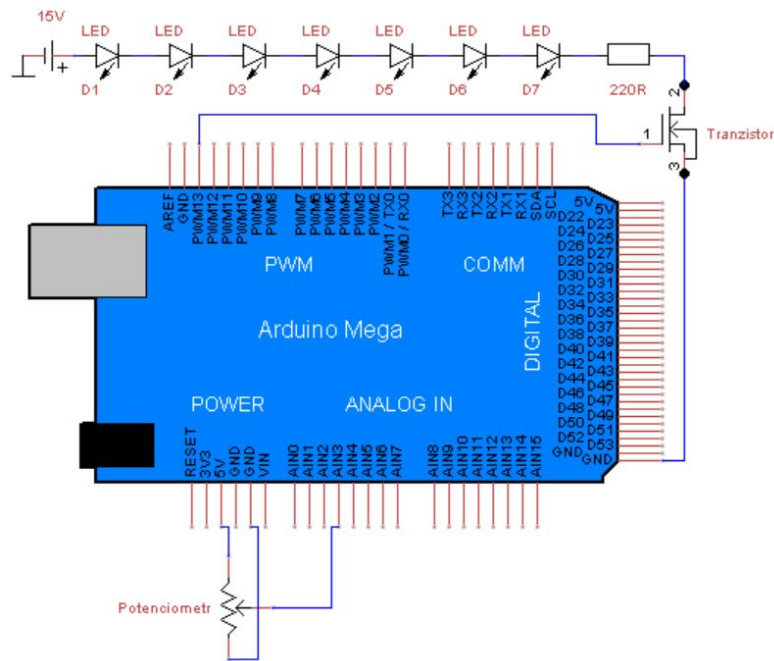
Po změření prvního experimentu jsme se rozhodli ještě zkoumat šíření signálu pomocí pulzně šířkové modulace (PWM). K pokusu jsme se rozhodli použít Arduino Mega 2560, ke kterému napíšeme kód v programu Arduino. Po zapojení všech součástek a připojení osciloskopu zobrazíme pulzy vycházející z MP3 přehrávače. Nejprve si pulzy zobrazíme v zapojení s potenciometrem, a poté místo potenciometru připojíme MP3 přehrávač.

### **10.2. Princip experimentu**

LED diody spojíme v obvodu sériově s jedním rezistorem, aby Arduinem neprotékal vyšší proud, než které je schopno Arduino pojmout. Sériově zapojené LED diody připojíme přes tranzistor na Arduino. Na Arduino připojíme také potenciometr a budeme v počítači sledovat pulzy zobrazené osciloskopem. Po pozorování a zaznamenání pulzů vycházejících z potenciometru vyměníme potenciometr za MP3 přehrávač, u kterého budeme také na osciloskopu zkoumat pulzy a výsledky si také zaznamenáme.

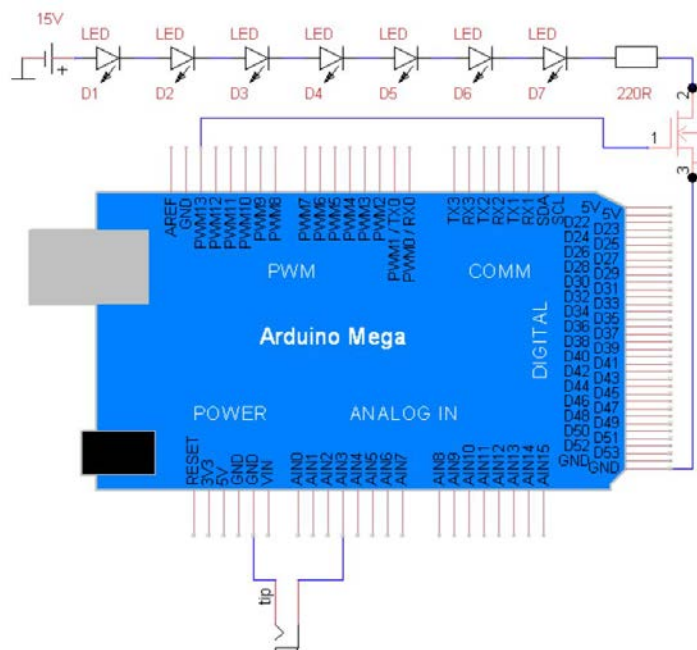
### **10.3. Schéma zapojení, tabulka použitých součástek**

Schéma zapojení, které je zobrazeno na Obrázku 17, jsme u tohoto experimentu vytvořili pomocí programu Tiny CAD. Na schématu je názorně vidět, do jakých částí Arduina jsme zapojovali jednotlivé části. Do analogového vstupu číslo 3 (AIN3) jsme připojili potenciometr, jehož další 2 části jsme spojili se zemí (GND) a zdrojem o napětí 5 V z Arduina. Na kanálu 13, který pracuje s pulzně šířkovou modulací (PWM13) jsme připojili sériově zapojené LED diody a odpor 220R. LED diody byly napájeny napětím 15 V ze zdroje.



Obrázek 17 Zapojení Arduino s potenciometrem

Na dalším schématu je pak zobrazeno výsledné schéma s 3,5 mm jackem. Zapojení LED diod zůstalo zcela nezměněné, pouze MP3 přehrávač již nebylo nutné napájet napětím 5 V, jinak analogový vstup 3 zůstal stejný.



Obrázek 18 Zapojení Arduino s 3,5 mm jackem

Tabulka 3

**Seznam použitých součástek v druhém experimentu**

<b>Součástka</b>	<b>Počet kusů</b>
Arduino Mega 2560	1
Potenciometr	1
Zdroj Manson NP-9615	1
Tranzistor IRF 640	1
MP3 přehrávač	1
Audio 3,5 mm jack	1
Nepájivé pole Pro's Kit BX-4112 N	1
Dioda LED super flux červená OSER7161D	7
Odpor 220R	1
Propojovací kabely	15

K zobrazení a zaznamenání průběhu jsme opět použili osciloskop Hantek DSO-2090 USB.

**10.4. Měření**

První měření jsme vyzkoušeli na zapojení s potenciometrem, abychom zjistili, zdali je potenciometr správně připojen na Arduino. Po zapojení potenciometru a tranzistoru do obvodu jsme zkoušeli měnit

intenzitu záření LED diod v závislosti na změně na potenciometru, který slouží jako odporový napěťový dělič. Intenzita záření LED diod se měnila, což znamenalo funkčnost obvodu. Po nahrání zdrojového kódu, který je zobrazen na Obrázku 19, do Arduina Mega 2560, jsme si zkontrolovali, zda jsou vstupy a výstupy uvedené ve zdrojovém kódu totožné se zapojením ve skutečnosti. Po kontrole jsme zapnuli osciloskop a začali pozorovat, jak se se změnou odporu mění na potenciometru šířky pulzů.

```
Analogue_Write
int ledPin = 13;

int analogPin = 3;

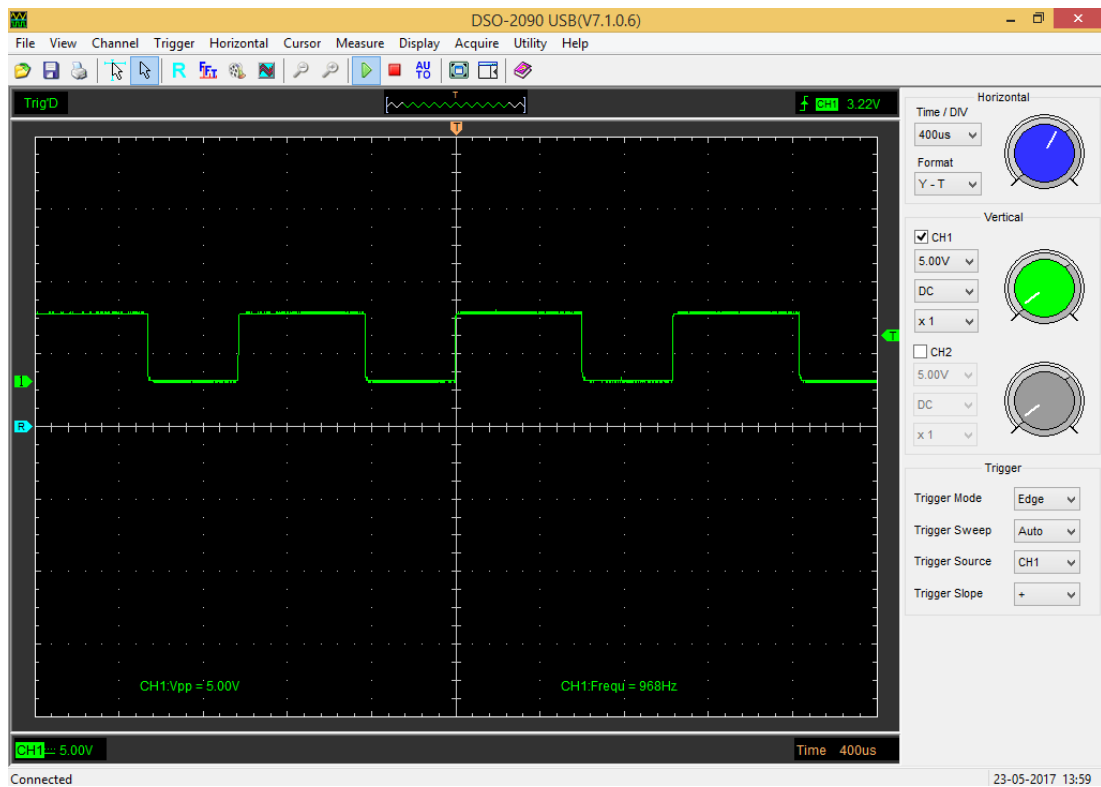
int val = 0;

void setup() {
  pinMode(ledPin, OUTPUT);
}

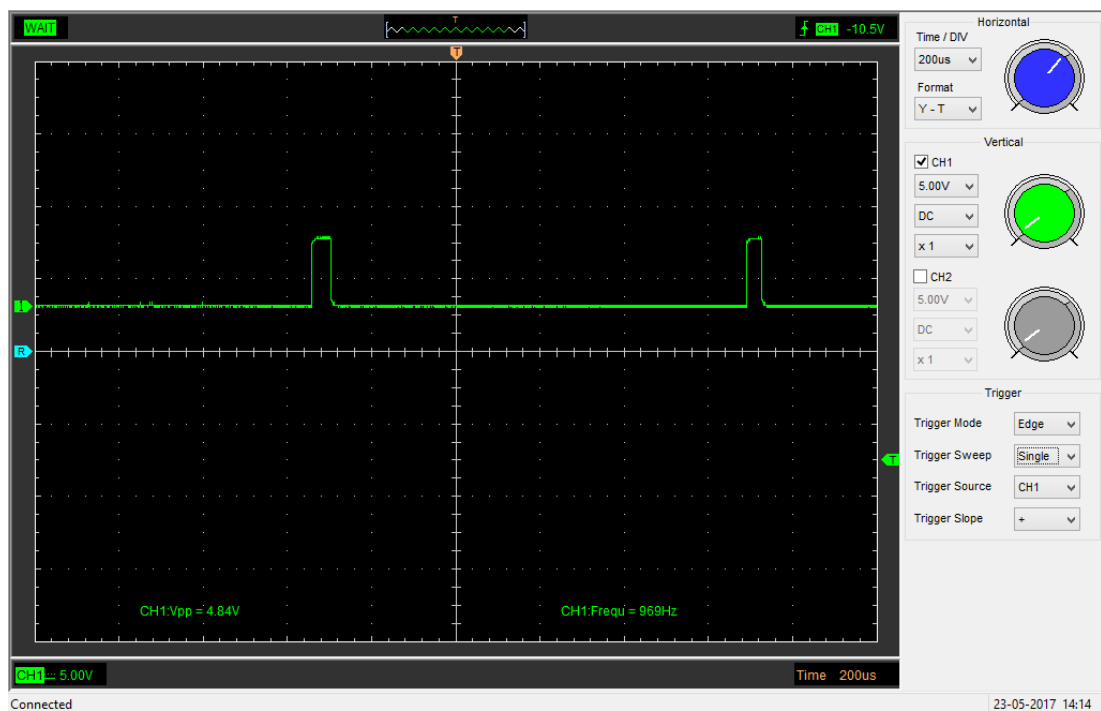
void loop() {
  // put your main code here, to run repeatedly:
  val = analogRead(analogPin);
  analogWrite(ledPin, val / 4);
}
```

Obrázek 19 Zdrojový kód pro Arduino Mega 2560

V závislosti na změnách nastavení potenciometru jsme pozorovali na osciloskopu, jak se šířky pulzů mění. Pro znázornění toho, co jsme na osciloskopu viděli, jsme přiložili Obrázek 20 a 21. Jelikož potenciometr vysílal konstantní signál, tak jsme mohli měřit na režim Auto. Z Obrázku 20 je dále nejvíce patrné, jak pulzně šířková modulace funguje a to tak, že nabývá jen nuly a jedničky a poměr mezi těmito stavy spolu s časem je výslednou hodnotou přenášeného systému.



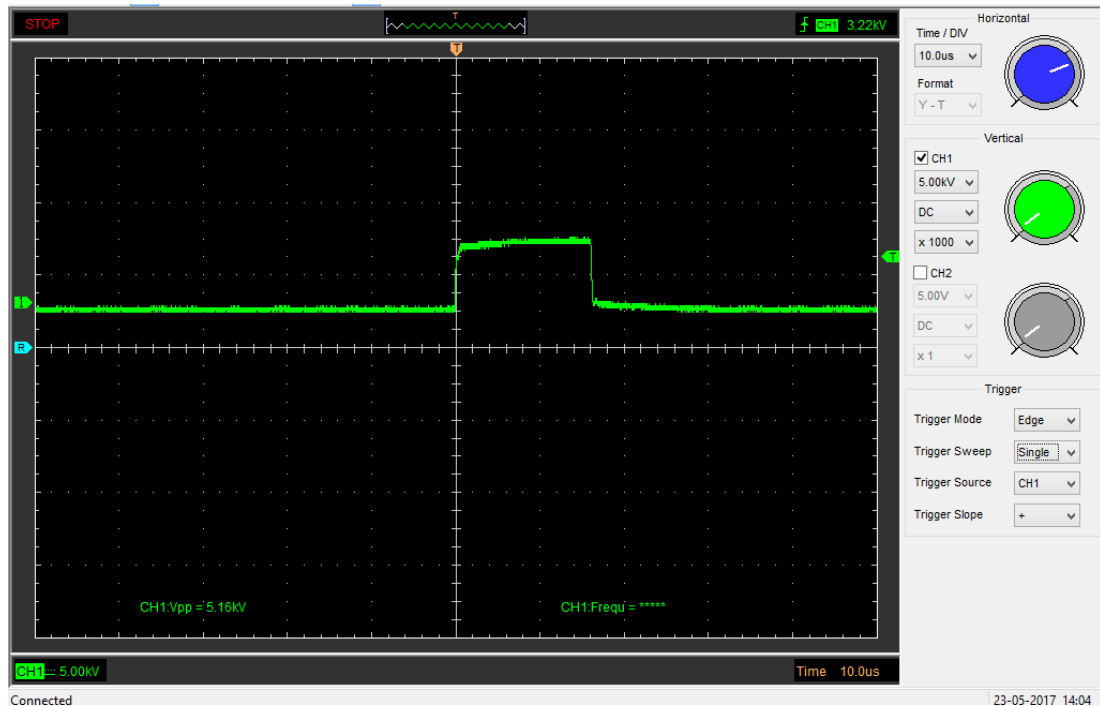
Obrázek 20 PWM s potenciometrem



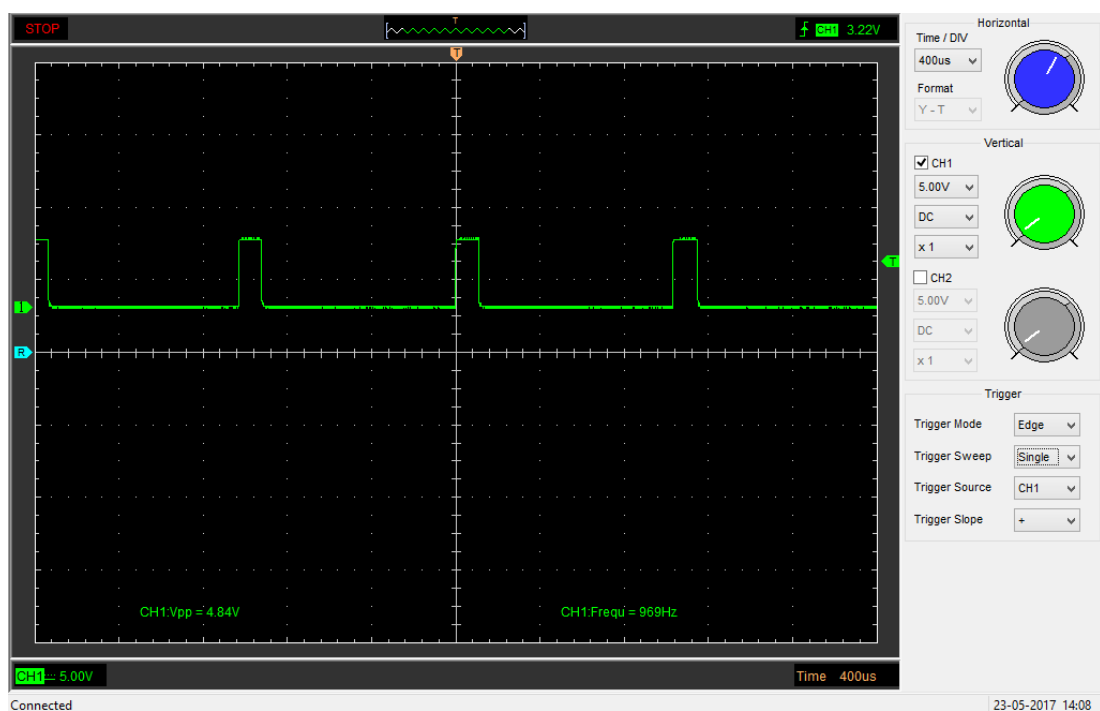
Obrázek 21 PWM s potenciometrem

Po naměření pulzních vln s potenciometrem jsme vyměnili potenciometr za 3,5 mm jack. Po zapojení do obvodu jsme spustili

na MP3 přehrávači hudbu a provedli jsme zobrazení pulzů na osciloskopu, které vysílal MP3 přehrávač, stejně jako tomu bylo s potenciometrem.



Obrázek 22 PWM s MP3 přehrávačem



Obrázek 23 PWM s MP3 přehrávačem



Na Obrázku 22 a 23 bylo potřeba měřit pulzy pomocí režimu Single, abychom byli schopni vidět přenos signálu zřetelně. Průběh zobrazený na Obrázku 22 byl snímán při čase 10  $\mu$ s a je z něho patrný náběh na hodnotu jedna a následná změna zpět na nulu. Obrázek 23 měřený na stejném časovém úseku jako Obrázek 20 zobrazuje, jak probíhal přenos zvukového signálu z MP3 přehrávače. Rozdíl mezi oběma obrázky je v šířce pulzů a v jejich poměru.

### 10.5. Výsledky, zhodnocení

Ve druhém experimentu jsme se rozhodli názorně předvést jeden ze způsobů přenosu signálu, a to konkrétně pulzně šířkové modulace. Chtěli jsme demonstrovat, jak tato technologie funguje a jaký má průběh.

V první části jsme oproti minulému experimentu změnili zapojení LED diod z paralelního na sériové uspořádání. Poté jsme napsali v programu Arduino kód Analog\_Write a zkusili nejprve na LED diodě Arduina. Vyzkoušeli jsme, jestli s tím, jak budeme otáčet potenciometrem, se bude měnit i intenzita malé LED diody na Arduinu. Když se LED dioda začala na náš povel měnit, zhodnotili jsme, že je vše zapojeno správně a zaznamenali jsme si pomocí osciloskopu 2 průběhy. Poté jsme zapojili sériově spojené LED diody a s pomocí potenciometru zkusili měnit intenzitu záření i na našich LED diodách. Opět zapojení fungovalo, a tak zbývalo vyměnit zdroj pulzů, tedy potenciometr vyměnit za MP3 přehrávač. Po spuštění zvukového souboru jsme na osciloskopu pozorovali, jak se pulzy měnily.

Experiment splnil náš cíl, a to zobrazit pulzně šířkovou modulaci na našem zapojení.

## Závěr

V této bakalářské práci jsme se seznámili s technologií LiFi, která je schopna bezdrátově přenést analogový signál pomocí viditelného spektra. Nejdříve jsme se podívali, jaké byly v historii formy přenosu informací prostřednictvím světla a kdy se poprvé začalo mluvit o technologii LiFi. Následně jsme popsali, v jaké části spektra světla se tento přenos odehrává.

Poté jsme pokračovali s popisem základního principu přenosu dat pomocí světla a s popisem komponent, ze kterých se LiFi skládá. Popsali jsme, které vysílače mohou světlený signál vysílat. Vysílačem je LED dioda. Popsali jsme také přijímače, kterých existuje více než vysílačů, konkrétně fotovoltaický článek, fotorezistor a fotodiodu. Všechny součástky jsou založeny na fotoelektrickém jevu.

Na základě zjištěných informací z teoretické části této bakalářské práce jsme se v praktické části rozhodli sestavit experiment, který názorně ukázal, že prostřednictvím světla může docházet k přenosu dat. Jako vysílač jsme v experimentu zvolili LED diody, které jsme umístili na nepájivé pole společně s rezistory. Z přijímačů, které jsme v práci zmínili, jsme se k pokusu rozhodli použít fotovoltaický článek. Po počáteční úvaze jsme následně experiment sestavili a přijímací i vysílací okruh schematicky zaznamenali v programu Fritzing. Po zaznamenání jsme experiment provedli. Při měření jsme prováděli pokusy se zakrýváním přijímače i vysílače, měřili jsme vzdálenosti, do kterých je zvuk bez problému v místnosti slyšitelný a zkoumali jsme, při jakých hodnotách napětí je zvuk nejhlásitější.

Ve druhém experimentu jsme chtěli pomocí Arduina zobrazit metodu pulzně šířkové modulace. K tomuto experimentu jsme využili Arduino Mega 2560, pro které jsme napsali kód a poté jsme přistoupili

k praktickému provedení. Nejprve s potenciometrem a poté s MP3 přehrávačem. Experiment se podařil a my zaznamenali výsledky, které se nám zobrazily na osciloskopu. Výsledky potvrdily, že dochází k pulzně šířkové modulaci a experiment jsme také považovali za úspěšný.

Z našeho pohledu je LiFi technologie perspektivní do budoucna a má spoustu výhodných vlastností. Ať už se jedná o velmi rychlé přenosové rychlosti, možnosti využití a existující infrastrukturu. Věříme, že maximální rychlosti přenosu se budou ještě dále vyvíjet a zvětšovat. Rychlost přenosu bude do budoucna hlavním rozdílem mezi Wi-Fi a LiFi, vzhledem k tomu, že se nedá předpokládat zvýšení rychlosti přenosu technologie Wi-Fi s tak zásadním rozdílem, jako je tomu u technologie LiFi.

Vzhledem k tomu, že k přenosu signálu prostřednictvím LiFi bude zapotřebí mít světla zapnutá, je užitečné LiFi využít v prostorech, ve kterých se světly svítí i během dne. Proto očekáváme první využití LiFi technologie zejména v kancelářích, na univerzitách, v nemocnicích a supermarketech. Další vlnu implementace této technologie do běžného života očekáváme v dopravě, ať už se jedná o metro, letadla nebo komunikaci mezi automobily. O prvním začlenění LiFi do běžného života dle našeho odhadu můžeme na území České Republiky hovořit v horizontu 2-3 let. Vše bude záležet na zájmu veřejného sektoru o použití této technologie.

**Zdroje:**

- [1] Ppt-on-lifi-technology. *www.slideshare.net* [online]. [cit. 2017-05-03]. Dostupné z: <https://www.slideshare.net/tanshu9871/ppt-on-lifi-technology>
- [2] Harald HAAS. Wireless data from every light bulb. *Www.ted.com* [online]. 2011 [cit. 2017-31-05]. Dostupné z: [https://www.ted.com/talks/harald\\_haas\\_wireless\\_data\\_from\\_every\\_light\\_bulb](https://www.ted.com/talks/harald_haas_wireless_data_from_every_light_bulb)
- [3] Harald HAAS, Liang YIN, Yunlu WANG a Cheng CHEN. What is LiFi? *Journal of Lightwave Technology*. 2016, str. 1533-1534. DOI: 10.1109/JLT.2015.2510021
- [4] Rishabh JOHRI. Li-Fi, complementary to Wi-Fi. *ieeexplore.ieee.org* [online]. 2016 [cit.2017-05-05]. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7557216/>
- [5] Li-Fi: A New Paradigm in Wireless Communication. *Electronicsforu.com* [online]. 2013 [cit. 2017-05-05]. Dostupné z: <http://electronicsforu.com/technology-trends/li-fi-new-paradigm-wireless-communication>
- [6] Zdeněk BUMBÁLEK. Modulační techniky v moderních bezdrátových sítích. *Access.feld.cvut.cz* [online]. 2010 [cit. 2017-05]. Dostupné z: <http://access.feld.cvut.cz/view.php?cisloclanku=2010020004>
- [7] Anshu ADWANI a Smita NAGTODE. Li-Fi: Infomation transferring through LED's. *ieeexplore.ieee.org* [online]. 2016 [cit. 2017-31-05]. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=7755065>

- [8] Noof Al ABDULSALAM, Raya Al HAJRI, Zahra Al ABRI, Zainab Al LAWATI a Mohammed M. BAIT-SUWAILAM. Design and implementation of a vehicle to vehicle communication system using Li-Fi technology. *International Conference on Information and Communication Technology Research (ICTRC)*, Abu Dhabi. 2015, str. 136-139. DOI: 10.1109/ ICTRC.2015.7156440
- [9] Bec CREW. Li-Fi Has Just Been Tested in The Real World, And It's 100 Times Faster Than Wi-Fi. *Www.sciencealert.com [online]*. 2015 [cit. 2017-05-05]. Dostupné z: <http://www.sciencealert.com/li-fi-tested-in-the-real-world-for-the-first-time-is-100-times-faster-than-wi-fi>
- [10] David JAVŮREK. Li-Fi aneb světelný přenos tam, kde Wi-Fi nestačí. *Www.zive.cz [online]*. 2014 [cit. 2017-05]. Dostupné z: <http://www.zive.cz/clanky/li-fi-aneb-svetelny-prenos-tam-kde-wi-fi-nestaci/sc-3-a-176346/default.aspx>
- [11] David GILBERT. What is Li-Fi? Meet the revolutionary wireless technology that is 100 times faster than Wi-Fi. *International Business Times [online]*. 25.11.2015 [cit.2017-31-05]. Dostupné z: <http://www.ibtimes.com/what-li-fi-meet-revolutionary-wireless-technology-100-times-faster-wi-fi-2199883>
- [12] Clayton WALK. Transmit music file over the visible light spectrum using LiFi to speaker. *Github.com [online]*. 2016 [cit. 2017-05-05]. Dostupné z: <https://github.com/cwalk/LiFi-Music>

**Seznam obrázků**

- [1] Oko3. *Sarka-pribylova.webnode.cz* [online]. [cit. 2017-03-03]. Dostupné z: <http://files.sarka-pribylova.webnode.cz/200000202-a50a6a6041/oko3.jpg>
- [2] Přeloženo z *How\_VLC\_works. Purelifi.co.uk* [online]. [cit. 2017-05-03]. Dostupné z: [http://purelifi.co.uk/wp-content/uploads/2013/08/How\\_VLC\\_works.png](http://purelifi.co.uk/wp-content/uploads/2013/08/How_VLC_works.png)
- [3] 15-Znacka\_LED. *Www.proelektrotechniky.cz* [online]. [cit. 2017-05-03]. Dostupné z: [http://www.proelektrotechniky.cz/vzdelavani/obrazky/15-Znacka\\_LED.jpg](http://www.proelektrotechniky.cz/vzdelavani/obrazky/15-Znacka_LED.jpg)
- [4] Noloc\_ook. *Zone.ni.com* [online]. [cit. 2017-05-03]. Dostupné z: [http://zone.ni.com/images/reference/en-XX/help/373380F-01/noloc\\_ook.gif](http://zone.ni.com/images/reference/en-XX/help/373380F-01/noloc_ook.gif)
- [5] K32-1. *Www.cez.cz* [online]. [cit. 2017-05-03]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/microsites/solarni/obr/k32-1.gif>
- [6] Image027. *Fyzika.jreichl.com* [online]. [cit. 2017-05-03]. Dostupné z: [http://fyzika.jreichl.com/data/E\\_polovodice\\_soubory/image027.jpg](http://fyzika.jreichl.com/data/E_polovodice_soubory/image027.jpg)
- [7] Dioda35. *Elektross.gjn.cz* [online]. [cit. 2017-05-03]. Dostupné z: <http://elektross.gjn.cz/obrazky/dioda35.gif>
- [8] Fig\_2a. *Electronicsforu.com* [online]. [cit. 2017-05-03]. Dostupné z: [http://electronicsforu.com/wp-content/uploads/2016/03/fig\\_2a.jpg](http://electronicsforu.com/wp-content/uploads/2016/03/fig_2a.jpg)

- [9] **Fig\_2c. *Electronicsforu.com* [online]. [cit. 2017-05-03]. Dostupné z: [http://electronicsforu.com/wp-content/uploads/2016/03/fig\\_2c.jpg](http://electronicsforu.com/wp-content/uploads/2016/03/fig_2c.jpg)**
- [10] **Fig\_2d. *Electronicsforu.com* [online]. [cit. 2017-05-03]. Dostupné z: [http://electronicsforu.com/wp-content/uploads/2016/03/fig\\_2d.jpg](http://electronicsforu.com/wp-content/uploads/2016/03/fig_2d.jpg)**

**Seznam tabulek:**

- [1] Seznam použitých zkratk
- [2] Seznam použitých součástí v prvním experimentu
- [3] Seznam použitých součástí v druhém experimentu



**Seznam použitého softwaru:**

- Fritzing
- Tiny CAD
- Arduino
- DSO-2090 USB