VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Brno, 2021 Yuliia Kyselova

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ
DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

ÚNIK INFORMACÍ PROSTŘEDNICTVÍM STÁVAJÍCÍCH OPTICKÝCH VLÁKNOVÝCH INFRASTRUKTUR VE VNITŘNÍCH PROSTORÁCH BUDOV

LEAKAGE OF INFORMATION THROUGH EXISTING FIBRE OPTIC INFRASTRUCTURES INSIDE BUILDINGS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE — Yuliia Kyselova
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE — doc. Ing. Petr Münster, Ph.D.
SUPERVISOR

BRNO 2021

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

Bakalářská práce

bakalářský studijní program **Telekomunikační a informační systémy**

Ústav telekomunikací

Studentka: Yuliia Kyselova ***ID:*** 193808
Ročník: 3 ***Akademický rok:*** 2020/21

NÁZEV TÉMATU:

Únik informací prostřednictvím stávajících optických vláknových infrastruktur ve vnitřních prostorách budov

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Cílem práce je analýza možností detekce akustických a mechanických vibrací (lidská řeč, chůze, otevření dveří, apod.) prostřednictvím stávajících optických datových infrastruktur uvnitř budov. Teoretická část práce bude obsahovat rozbor možností realizace datových rozvodů uvnitř budov, metody realizace optických vláknových mikrofonů a srovnání jejich základních parametrů. V rámci praktické části práce bude připraveno testovacího pracoviště pro měření akustických/mechanických vibrací. Následně bude provedeno měření pomocí vybraného typu distribuovaného optického vláknového senzoru. Součástí práce bude vyhodnocení naměřených dat a analýza rizik včetně možností eliminace těchto rizik.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] RAMASWAMI, Rajiv, Kumar N. SIVARAJAN a Galen H. SASAKI. Optical networks: a practical perspective. 3rd ed. Boston: Elsevier/Morgan Kaufmann, c2010. ISBN 978-0123740922.

[2] UDD, Eric a William B SPILLMAN. Fiber optic sensors: an introduction for engineers and scientists. 2nd ed. Hoboken, N.J.: John Wiley, 2011, xiii, 498 p. ISBN 978-047-0126-844.

Termín zadání: 1.2.2021 ***Termín odevzdání:*** 31.5.2021

Vedoucí práce: doc. Ing. Petr Münster, Ph.D.

prof. Ing. Jiří Mišurec, CSc.
předseda rady studijního programu

UPOZORNĚNÍ:
Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské 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

Bakalařská práce se zabývá možnostmi detekce akustických a mechanických vibrací prostřednictvím stávajících optických datových infrastruktur uvnitř budov. Práce zahrnuje popis optického vlákna a teoretický rozbor možností realizace datových rozvodů uvnitř budov, dále je zahrnut rozbor metod realizace optických vláknových mikrofonů. V praktické části práce bylo provedeno měření optickým vláknovým mikrofonem a následně realizováno měření pomocí interferometru a senzoru založeného na metodu polarizace.

KLÍČOVÁ SLOVA

Optické vlákno, vnitřní datové rozvody, interferometr, polarimetr, šíření zvuku.

ABSTRACT

The bachelor thesis deals with the possibilities of detecting acoustic and mechanical vibrations through existing optical data infrastructures inside buildings. The work includes a description about optical fiber and a theoretical analysis of the possibilities of implementing data distribution inside buildings, it also includes an analysis of methods for implementing optical fiber microphones. In the practical part of the work, the measurement was performed with an optical fiber microphone and then using an interferometer and a sensor based on the polarization method.

KEYWORDS

Optical fiber, fibre optic infrastructures inside buildings, interferometer, polarimeter, sound propagation.

Vysázeno pomocí balíčku `thesis` verze 4.03; `http://latex.feec.vutbr.cz`

Prohlášení autora o původnosti díla

Jméno a příjmení autora:	Yuliia Kyselova
VUT ID autora:	193808
Typ práce:	Bakalářská práce
Akademický rok:	2020/21
Téma závěrečné práce:	Únik informací prostřednictvím stávajících optických vláknových infrastruktur ve vnitřních prostorách budov

Prohlašuji, že svou závěrečnou práci jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucí/ho závěrečné 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 závěrečné práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této závěrečné 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 autorky*

*Autor podepisuje pouze v tištěné verzi.

PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych poděkovala vedoucímu diplomové práce panu doc. Ing. Petru Münsterovi, Ph.D. za odborné vedení, konzultace, trpělivost a podnětné návrhy k práci.

Obsah

Úvod **17**

1 Optická vlákna **19**
1.1 Optické vlákno 19
1.2 Princip přenosu světla optickým vláknem 19
1.3 Typy optických vláken 21
1.3.1 Mnohavidové (MM-multimode) optické vlákno 21
1.3.2 Jednovidové (SM-single mode) optické vlákno 22
1.3.3 Základní standardy 22

2 Vnitřní datové rozvody **23**
2.1 Strukturovaný kabelový systém 23
2.2 Standardizované optické kabelové systémy 25
2.2.1 Strukturovaná kabeláž 25
2.2.2 Centralizovaná kabeláž 26
2.3 Umístění a provedení vnitřní kabeláže 26
2.4 Požadavky na vnitřní optický kabel 27

3 Optické vláknové mikrofony a senzory **29**
3.1 Princip činnosti optického vláknového mikrofonu 29
3.2 Optické vláknové senzory a jejich dělení 30
3.3 Amplitudové optické vláknové senzory 30
3.4 Optické vláknové akustické snímače na základě FBG 31
3.5 Interferometrické optické vláknové akustické senzory 32
3.6 Polarizační optické vláknové senzory 35

4 Chování zvuku v uzavřeném prostoru **37**
4.1 Interakce zvuku s překážkou 37
4.2 Šíření zvuku 38
4.3 Akustika lidského hlasu 39

5 Návrh testovacího pracoviště a realizace úniku informace **41**
5.1 Detekce lidské řeči 42
5.1.1 Výsledky a zpracování v programu Matlab 44
5.2 Detekce akustických a mechanických vibrací místnosti 46
5.2.1 Simulace otevírání dveří 46
5.2.2 Simulace chůze 47
5.2.3 Výsledky a zpracování v programu Matlab 48

5.3 Simulace telefonního hovoru 51
5.3.1 Výsledky a zpracování v programu Matlab 52
5.4 Zhodnocení výsledku 52

6 Únik informace prostřednictvím stávajících optických vláknových infrastruktur 55
6.1 Návrh testovacího pracoviště 55
6.2 Detekce otevření/zavření racku 57
6.2.1 Zpracování měření při použití kabelu o průměru 2 mm 57
6.2.2 Zpracování měření při použití kabelu o průměru 0,25 mm . . . 59
6.3 Detekce pohybu projekčního plátna 61
6.3.1 Zpracování měření při použití kabelu o průměru 2 mm 61
6.3.2 Zpracování měření při použití kabelu o průměru 0,25 mm . . . 63
6.4 Vyhodnoceni naměřených dat 64

Závěr 65

Literatura 67

Seznam příloh 69

Seznam obrázků

1.1 Konstrukce optického vlákna [1]. 19
1.2 Vstup světla do optického vlákna [2]. 20
1.3 Lom světla [2]. 20
1.4 Typy optických vláken. 21
2.1 Struktura SKS [4]. 24
2.2 Strukturovaný kabelový systém uvnitř budovy [9]. 24
2.3 Systém optické strukturované kabeláže [9]. 25
2.4 Centralizovaný kabelážní systém [9]. 26
3.1 Obecné schéma optického vláknového mikrofonu. 29
3.2 Optický vláknový mikrofon [12]. 30
3.3 Princip měření FBG senzorem [11]. 31
3.4 FBG [11]. 32
3.5 Optický Machův-Zehnderův interferometr. 33
3.6 Optický Michelsonův interferometr [6]. 33
3.7 Základní diagram Sagnacova interferometru 34
3.8 Fabry-Perotův interferometr 34
3.9 Optický vláknový senzor založený na polarizaci [18]. 35
4.1 Interakce zvuku s překážkou 37
4.2 Pole přímých vln a pole odražených vln [8]. 38
5.1 Schéma testovacího prostředí: (1) zdroj zvuku; (2) optický vláknový mikrofon; (3) optické vedení 41
5.2 Umístění bodů zvuku v místnosti. 42
5.3 Umístění bodů zvuku v místnosti. 43
5.4 Oscilogram signálu 44
5.5 Výsledný spektrogram pro referenční měření lidské řeči. 44
5.6 Graf závislosti intenzity zvuku na vzdálenosti. 45
5.7 Výsledný oscilogram měření lidské řeči v bodě 6. 45
5.8 Výsledný spektrogram měření lidské řeči v bodě 6. 46
5.9 Schéma pro referenční měření. 46
5.10 Schéma pro měření: 1 - umístění mikrofonu u podlahy, 2 - umístění mikrofonu pod stropem, 3 - zdroj zvuku. 47
5.11 Schéma měření chůze: červený bod - mikrofon, bod 1 až 5 - úseky chůze 48
5.12 Oscilogram signálu při umístění mikrofonu nad dveřmi. 49
5.13 Spektrogram signálu při umístění mikrofonu nad dveřmi 49
5.14 Oscilogram spektrum signálu chůze. 50
5.15 Spektrogram signálu chůze. 50

5.16 Schéma pro detekci volání (pro referenční měření): 1 - umístění mikrofonu, 2 - umístění mobilu. 51
5.17 Oscilogram signálu mobilního hovoru. 52
5.18 Spektrogram signálu telefonního hovoru. 52
5.19 Spektrogram originální nahrávky řeči, první 10 sekund. 53
5.20 Spektrogram řeči, první 10 sekund. 53
6.1 Schéma místnosti: (1) - platno, (2) - rack, (3) - židle, (4) - optický kabel. 55
6.2 Fotoukázka místnosti. 56
6.3 Blokové schéma zapojení pro měření. 56
6.4 Fotoukázka zapojení uvnitř racku. 57
6.5 Oscilogram signálu otevření/zavření racku (měřeno interferometrem). 58
6.6 Spektrogram signálu při otevření/zavření racku (měřeno interferometrem). 58
6.7 Oscilogram signálu otevření/zavření racku (měřeno polarimetrem). . . 59
6.8 Spektrogram signálu při otevření/zavření racku (měřeno polarimetrem). 59
6.9 Oscilogram signálu otevření/zavření racku (měřeno interferometrem). 60
6.10 Spektrogram signálu při otevření/zavření racku (měřeno interferometrem). 60
6.11 Oscilogram signálu otevření/zavření racku (měřeno polarimetrem). . . 61
6.12 Spektrogram signálu při otevření/zavření racku (měřeno polarimetrem). 61
6.13 Oscilogram signálu při manipulaci s platném (měřeno interferometrem). 62
6.14 Spektrogram signálu při manipulaci s platném (měřeno interferometrem). 62
6.15 Oscilogram signálu při manipulaci s platném (měřeno polarimetrem). 63
6.16 Spektrogram signálu při manipulaci s platném (měřeno polarimetrem). 63
6.17 Oscilogram signálu při manipulaci s platném (měřeno interferometrem). 64
6.18 Spektrogram signálu při manipulaci s platném (měřeno interferometrem). 64

Seznam tabulek

5.1 Vzdálenost bodů k mikrofonu. 42

Úvod

Cílem této práce je analýza možností detekce akustických a mechanických vibrací prostřednictvím stávajících optických vláknových infrastruktur uvnitř budov. Teoretická část práce je zaměřena na rozbor možností realizace datových rozvodů uvnitř budov, je zahrnut i popis možností umístění kabelových tras a požadavky na optické kabely.

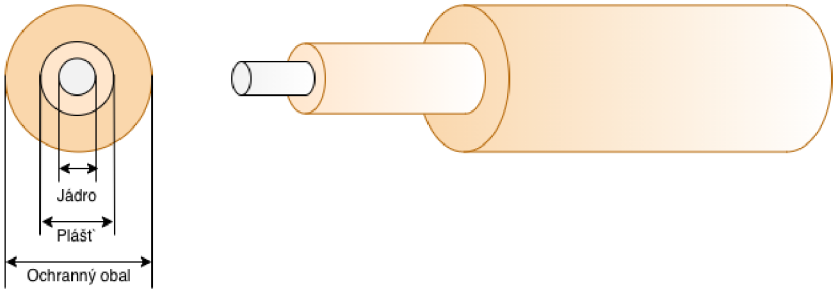
Dále práce obsahuje popis optických vláken, jejich rozdělení podle typu a standardu. Poté byl kladen důraz na rozbor metod realizace optických vláknových mikrofonu a srovnání jejich základních parametrů. Byl proveden rozbor principů činnosti optického vláknového mikrofonu, probrány byly interferometrické metody: Machova-Zehnderova, Michelsonova, Sagnacova a Fabryova-Perotova v realizaci optického vláknového snímání. Práce rovněž obsahuje popis chování zvuku v uzavřeném prostředí: jak se zvuk šíří a akustické vlastnosti lidského hlasu.

Výsledkem práce je návrh testovacího pracoviště pro měření akustických a mechanických vibrací a realizace odposlechu informace. Odposlech je realizován ve třech scénářích, vyzkoušené jsou možnosti detekce pomocí optického vláknového mikrofonu různých druhů zvuků. Dále nasledovalo měření pomocí interferometru a polarimetru, vyzkoušená detekce více druhů zvuku a manipulací pro následnou analýzu dat.

1 Optická vlákna

1.1 Optické vlákno

Optické vlákno je velmi tenký (srovnatelný s tloušťkou lidského vlasu) válcový skleněný vlnovod skládající se ze tří částí: vnitřní část vlákna se nazývá jádro, okolo jádra je plášť a primární ochrana obr. 1.1. K vazbě optického signálu na jádro musí být index lomu jádra vyšší, než má obal. Hlavním materiálem pro výrobu jádra a opláštění optického vlákna je křemenné sklo. Používá se však velké množství jiných transparentních materiálů, zejména polymerních sloučenin. Jádro a opláštění jsou navrženy tak, aby udržovaly světelné signály vedené uvnitř, což umožňuje přenos světelného signálu na dlouhé vzdálenosti [1].



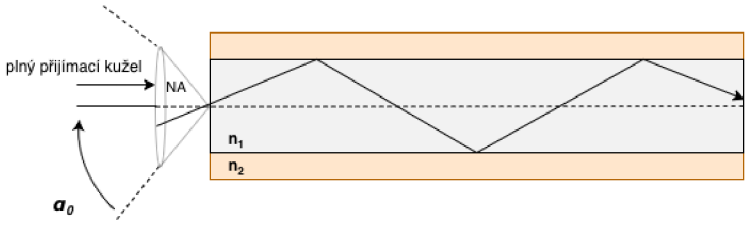
Obr. 1.1: Konstrukce optického vlákna [1].

1.2 Princip přenosu světla optickým vláknem

Paprsek světla vstupuje do vlákna pod malým úhlem a. Schopnost optického vláknového kabelu přijímat světlo skrz jeho jádro je určena jeho numerickou aperturou (NA), což je maximální úhel dopadu světelného paprsku na konec optického vlákna, při němž nastává jev úplného vnitřního odrazu [2].

$$NA = \sin \alpha_0 = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \tag{1.1}$$

Kde a_0 je maximální úhel vstupu (tj. mezní úhel mezi osou a úhlem úplného odrazu jádra), n_1 je index lomu jádra a n_2; index lomu pláště. Celkový přijímací kužel optického vlákna je definován jako $2a_0$.

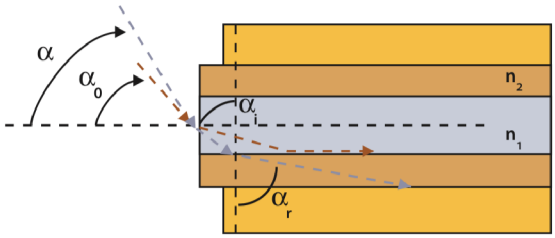


Obr. 1.2: Vstup světla do optického vlákna [2].

Šíření světla optickým vláknem

Šíření paprsku světla v optickém vlákně se řídí Snell-Descartesovým zákonem. Jev lomu je vyjádřen změnou úhlu průchodu paprsku světla hranicí dvou prostředí. Pokud $a > a_0$, pak je paprsek zcela lomený a opouští jádro [2].

$$n_1 \sin(a_i) = n_2 \sin(a_r) \tag{1.2}$$



Obr. 1.3: Lom světla [2].

Odraz je změna směru světelného paprsku na rozhraní mezi dvěma prostředími. V tomto případě se světelný paprsek vrací do jádra, ze kterého pochází. Pokud $a < a_0$, pak se paprsek odráží a zůstává v jádru [2].

Princip šíření

Světelné paprsky vstupují do vlákna pod různými úhly a nenásledují stejnou cestou. Světelné paprsky vstupující do středu jádra vlákna pod velmi malým úhlem budou mít relativně přímou cestu středem vlákna. Světelné paprsky vstupující do jádra vlákna pod velkým úhlem dopadu nebo v blízkosti vnějšího okraje jádra vlákna budou mít méně přímou a delší cestu skrz vlákno, budou vláknem procházet pomaleji [2].

Rychlost šíření

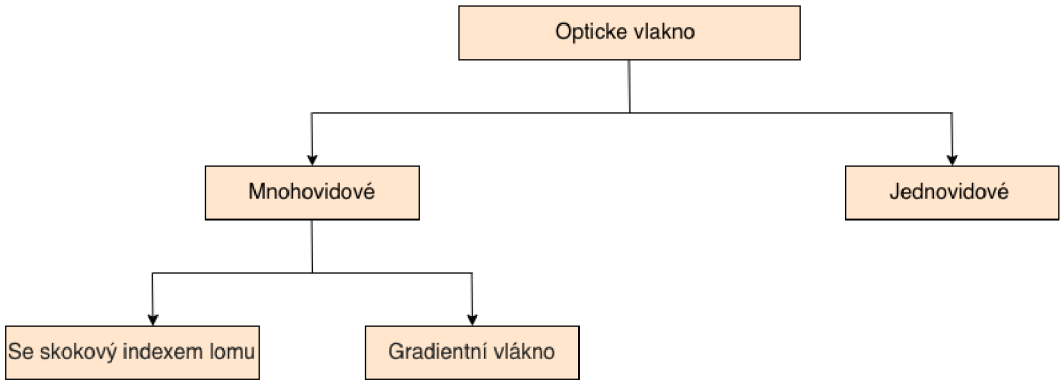
Rychlost, kterou světlo prochází přenosovým prostředím, je určena indexem lomu přenosového prostředí. Index lomu (n) je bezjednotkové číslo, které představuje poměr rychlosti světla ve vakuu k rychlosti světla v přenosovém prostředí. Běžné hodnoty n pro sklo, jako je optické vlákno, jsou mezi 1,45 a 1,55. Zpravidla platí, že čím vyšší je index lomu, tím nižší je rychlost v přenosovém prostředí [2].

$$n = c/v \tag{1.3}$$

Kde n je index lomu přenosového prostředí, c je rychlost světla ve vakuu (2,99792458 $\times 10^8$ m/s) a v je rychlost světla v přenosovém médiu [2].

1.3 Typy optických vláken

Vlákno je klasifikováno jako multi-mode nebo single-mode na základě způsobu, jakým světlo skrz něj prochází. Typ vlákna úzce souvisí s průměrem jádra a pláště a s tím, jak jím prochází světlo [2].



Obr. 1.4: Typy optických vláken.

1.3.1 Mnohavidové (MM-multimode) optické vlákno

Mnohavidové vlákno umožňuje díky svému velkému jádru přenos světla pomocí různých cest (více modů) podél spoje. Primárními výhodami vícevidového vlákna je jeho snadné připojení ke světelným zdrojům a jiným vláknům, levnější světelné zdroje (vysílače), např. LED, a zjednodušené procesy spojování. Jeho relativně vysoký útlum a malá šířka pásma však omezují přenos světla přes mnohavidové vlákno na krátké vzdálenosti. Mnohavidová vlákna dělíme na vlákna se skokovým indexem lomu a gradientní vlákna [2].

1.3.2 Jednovidové (SM-single mode) optické vlákno

Výhodou SM vlákna je jeho vyšší výkon s ohledem na šířku pásma a útlum. Zmenšený průměr jádra jednovidového vlákna omezuje světlo pouze na jeden způsob šíření, čímž zcela eliminuje vidovou disperzi = menší zkreslení.

Se správnými součástmi kompenzujícími rozptyl může vlákno s jedním režimem přenášet signály o rychlosti 10 a 40 Gb/s, nebo vyšší na dlouhé vzdálenosti. Nosnost systému může být dále zvýšena vstřikováním více signálů mírně odlišných vlnových délek (multiplexování s dělením vlnových délek) do jednoho vlákna.

Malá velikost jádra SM vlákna obecně vyžaduje dražší světelné zdroje a vyrovnávací systémy, aby se dosáhlo účinného spojení. Jako zdroj světla se používají laserové diody. Kromě toho je spojování také poněkud komplikované. Nicméně pro vysoce výkonné systémy nebo pro systémy, které jsou delší než několik kilometrů, zůstává jednovidové vlákno nejlepším řešením.

Index lomu SM vlákna je typicky 1,465 [2].

1.3.3 Základní standardy

ITU-T G.652 Doporučení popisuje optické vlákno, které se často označuje jako standardní single-mode vlákno. Tento typ vlákna je optimalizován pro přenos při 1310 nm.

ITU-T G.653 Oficiálně nazvaný „Dispersion Shifted Single Single Mode Optical Fiber“. Tento typ optického vlákna má nulovou disperzi při 1550 nm a někdy se označuje jako optické vlákno s nulovou disperzí.

ITU-T G.655 Doporučení G.655 popisuje jednovidové vlákno s koeficientem chromatické disperze (absolutní hodnota) vyšším než určitá nenulová hodnota při všech vlnových délkách větších než 1530 nm.

Optimalizováno pro použití v předepsaném rozsahu vlnových délek 1530 nm až 1565 nm. Je poskytována podpora pro přepínání na vyšší vlnové délky až do 1652 nm a na nižší až do 1460 nm.

ITU-T G.657.A Vlákna popsaná v doporučení G.657 umožňují velmi malé poloměry ohybu. Hlavním účelem je vedení uvnitř budov. G.657.A specifikován pro makro ohyby o poloměru nad 15 mm.

ITU-TG 657.B Obdobné parametry jako G.657.A. Specifikováno pro makro ohyby o poloměru nad 10 mm.

ITU-T G.657.C Specifikováno pro makro ohyby o poloměru nad 5 mm.

2 Vnitřní datové rozvody

2.1 Strukturovaný kabelový systém

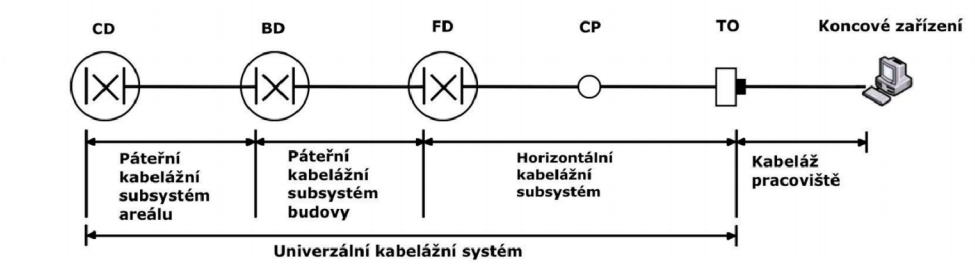
Strukturovaná kabeláž se skládá z pasivního komunikačního zařízení:
Kabel se používá jako médium pro přenos dat SKS [9].
Zásuvky slouží pro připojení koncových uživatelských zařízení. Telekomunikační zásuvky bývají umístěny přímo v pracovních prostorách každé budovy, a to buď přímo ve zdi, v parapetních žlabech, nebo případně v podlahových systémech tak, aby byly lehce dostupné [9].
Patch panely patch panely jsou umístěny v rozvaděčích v telekomunikační místnosti, a nejsou tedy běžným uživatelům přístupné. Patch panely slouží správci sítě k připojení jednotlivých uživatelů do aktivních zařízení, jako jsou switche nebo telefonní ústředny [9].
Propojovací kabely se používají k připojení kancelářského vybavení ke kabelové síti budovy, k organizaci struktury kabelového systému ve spínacích centrech [9].

SKS je obvykle dělen na tzv. subsystémy. Podle mezinárodních standardů existují tři subsystémy: páteřní kabeláž areálu, páteřní kabeláž budovy a horizontální kabeláž [9].

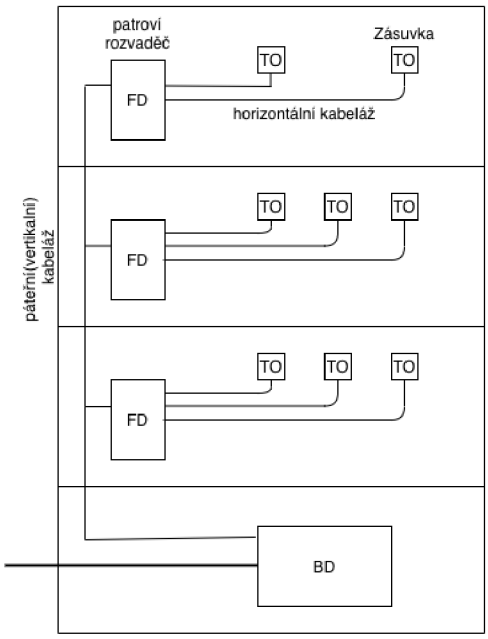
Páteřní kabeláž areálu slouží k propojení různých budov. Je zpravidla implementována na optickém kabelu (méně často měděném) a umožňuje připojit budovy, které jsou ve vzdálenosti několika kilometrů [9].

Páteřní kabeláž budovy spojuje patra budovy, poskytuje propojení jednotlivých rozvaděčů mezi sebou [9].

Horizontální kabeláž je umístěna mezi telekomunikační zásuvkou na pracovišti a patrovým patch panelem v rozvaděči. Doporučuje se provozovat každé patro budovy s vlastním horizontálním subsystémem. Pro každé pracoviště musí být zajištěny nejméně dva horizontální kabely [9].



Obr. 2.1: Struktura SKS [4].



Obr. 2.2: Strukturovaný kabelový systém uvnitř budovy [9].

Funkční prvky kabeláže [9]:

- rozvodný uzel areálu (CD)
- páteřní kabel areálu
- rozvodný uzel budovy (BD)
- páteřní kabel budovy
- rozvodný uzel podlaží (FD) – datový rozvaděč
- horizontální kabel – datový kabel
- konsolidační bod (CP)
- kabel konsolidačního bodu (CP kabel)
- sestava TO pro více uživatelů
- telekomunikační vývod (TO) – datová zásuvka

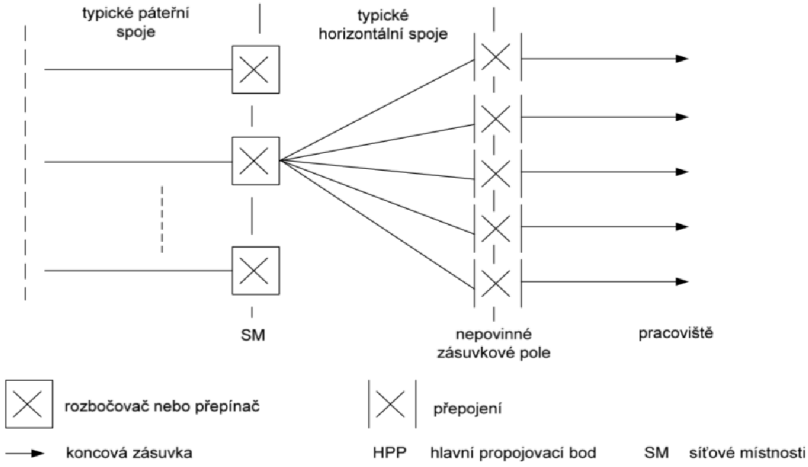
2.2 Standardizované optické kabelové systémy

2.2.1 Strukturovaná kabeláž

Strukturovaná kabeláž je osvědčenou metodou optického připojení, jejíž koncept je popsán v TIA-568-C. Tento standard umožňuje použití single-mode a multi-mode vlákna, i když dřívější verze standardu (-A) aktivně podporovala použití multi-mode kabelu v horizontální kabeláži a single-mode v páteřních rozvodech [9].
Montáž a instalace SKS podléhá mezinárodním normám (ISO/IEC 11801 a EN 50173) a normám platným v ČR (ČSN EN 50173 – 1, 50174 – 1,2 a 3).

Datové rozvody neboli strukturovaný kabelážní systém (SKS) spojují a vedou všechny slaboproudé aplikace počítače, telefonu, zabezpečovací vybavení atd. Tento kabelážní systém je nezávislý na koncovém zařízení, což umožňuje vytvořit flexibilní komunikační infrastrukturu budovy [9].

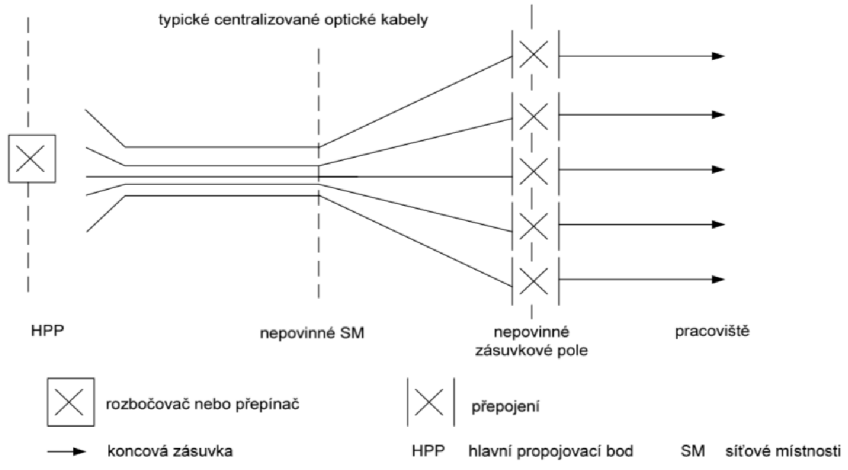
Jak je vidět na obr. 2.3, páteřní kabely pocházejí z jednoho distribučního bodu do telekomunikačních místností umístěných v budově. V každé telekomunikační místnosti přenáší optický rozbočovač nebo přepínač síťový signál na jednotlivé horizontální kabely [9].



Obr. 2.3: Systém optické strukturované kabeláže [9].

2.2.2 Centralizovaná kabeláž

Systém centralizované kabeláže byl poprvé popsán v TSB-72 „Centralized Optical Fiber Cabling Guidelines“. Vláknová optika může podporovat dlouhé vzdálenosti, zatímco měděné kabely to neumožňují. S ohledem na tuto skutečnost je zcela možné vést optický kabel z hlavního propojovacího bodu přímo na pracoviště. Tato topologie je znázorněna na obr.2.4. V tomto případě nemá strukturovaný přístup pro optické připojení smysl a je nahrazen centralizovaným kabelážním systémem [9].



Obr. 2.4: Centralizovaný kabelážní systém [9].

Centralizovaný systém má dvě výhody. Cena každého kabelu je nižší, protože systém eliminuje použití alespoň dvou konektorů na každém kabelu stejně jako související náklady na připojení a náklady na propojovací panel v každém telekomunikačním zařízení. Druhou výhodou je použitelnost centrálního HUBu, jenž lépe využívá porty a zjednodušuje správu sítě [9].

2.3 Umístění a provedení vnitřní kabeláže

Způsob vedení vnitřní kabeláže se může lišit podle konstrukce budovy.

Vedení kabelových tras v podlaze

Prázdné prostory pod podlahou jsou užitečné pro instalaci kabelů. Jeden ze způsobů je uložení kabeláží v dvojité podlaze, kdy na pevnou betonovou podlahu jsou umístěny vzpěry, na ty se staví bloky samotné podlahy a vzniklý prostor pak je využit k uložení kabelu. Je to docela výhodné řešení, trasa nemusí být vedená podél stěn, čímž se zkracuje délka trasy. Další výhodou je snadná údržba, kdy stačí pouze odstranit pár dílů podlahy. Nevýhodou takového řešení je, že zapojení tímto způsobem je možné pouze při stavbě, nebo úplné rekonstrukci budovy [9].

Vedení kabelových tras v podhledech

Jedním z nejpohodlnějších způsobů organizace vedení kabelů je využití prostoru v podhledu. Pokud je ve všech místnostech instalován zavěšený strop, lze napájecí kabel pokládat kamkoli bez narušení interiéru. Podhledy jsou snížením vlastního stropu a u nových budov se využívají často [9].

Norma ANSI/TIA/EIA-569-A obsahuje následující pokyny pro instalaci kabelových systémů v prostorech mezi podhledem a konstrukčním stropem:

- Mezi stropními deskami a kabelovými trasami musí být zajištěno minimálně 75 mm prostoru.
- Neklaďte kabely přímo na stropní desky nebo na její mřížku.

Výhody: skrytí kabelážního vedení a snadná přístupnost pro případný servis. Nevýhody: Nebezpečí rušení při vedení v blízkosti zářivek. Nutnost vybavenosti budovy tímto systémem.

Vedení kabelových tras ve žlabech a lištách

Při tomto způsobu vedení jsou kabely vedené v plastových lištách, jež se nejčastěji umísťují u podlahy nebo na úrovni okna. Je tady i možnost vést kabelový žlab ve stěně a pouze ho překrýt krytem, který je v jedné úrovni se stěnou. Výhodou je snadná instalace a údržba. Nevýhodou je, že do takového žlabu může být umístěn omezený počet kabelů [9].

2.4 Požadavky na vnitřní optický kabel

Vnitřní kabeláž, i když se ve srovnání s venkovní kabeláží snadno instaluje, bývá často poškozena. Výše uvedené naznačuje, že kabel by měl být opatřen dobrou a spolehlivou ochranou. Ve srovnání s optickým vláknovým kabelem pro venkovní použití má vnitřní optický kabel nižší teplotní a mechanické namáhání, ale musí být nehořlavý, v případě hoření musí vyzařovat nízkou hladinu kouře. Vnitřní optické kabely umožňují malý poloměr ohybu, aby bylo možné je přizpůsobit vertikální instalaci a snadno s nimi manipulovat [9].

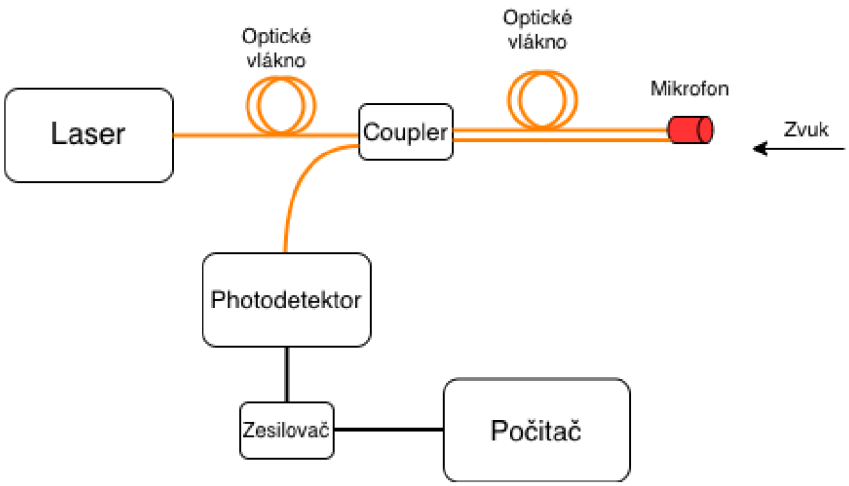
Většina vnitřních optických kabelů má pevnou konstrukci, obvykle se skládá z následujících komponent uvnitř kabelu: FRP, což je nekovový zesilovací člen, optického vlákna, kevlaru, který se používá k dalšímu posílení struktury kabelu, a z vnějšího pláště kabelu. Trendem je použít k výrobě pláště kabelu LSZH nebo jiné PVC materiály vyhovující RoHS; to pomůže chránit životní prostředí a zdraví koncových uživatelů [3].

Při instalaci vnitřní optické kabeláže musí být použito i vyhovující vlákno. Vyhovující jsou optická vlákna ITU-T 652 a ITU-T 657 popsaná, viz kapitola 1.

3 Optické vláknové mikrofony a senzory

3.1 Princip činnosti optického vláknového mikrofonu

Mikrofon z optických vláken převádí akustické vlny na elektrické signály, na rozdíl od tradičních mikrofonů reaguje na změny intenzity světla místo detekce změn kapacity nebo magnetických polí. Optické vláknové mikrofony používají princip modulace intenzity laserového paprsku obr. 3.2: světelný paprsek ze zdroje laseru je směrován přes optické vlákno a dopadá na mikrofonní membránu. Když membrána vibruje, modulovaný světelný tok jde podél druhého vlákna k fotodiodě, která převádí signál na střídavý proud obr. Membránu lze obecně umístit ve vzdálenosti několika desítek (stovek) metrů od zdroje světla a fotodiody kvůli nízkým ztrátám v přenosu signálu přes vlákno [11].



Obr. 3.1: Obecné schéma optického vláknového mikrofonu.

Mikrofon nevyzařuje žádné elektromagnetické záření a sám je necitlivý na elektromagnetické pole. Díky své malé velikosti jej lze umístit na jakékoli těžko přístupné místo. Optický vláknový mikrofon může pracovat v silných magnetických, elektrických nebo rádiových polích. Malé rozměry membrány optického mikrofonu 1,85x1,85 mm (pouze malá plocha na membráně se používá k modulaci světelného paprsku o průměru menším než 0,5 mm) snižuje přechodové a difrakční zkreslení a umožňuje plošnou odezvu v širokém frekvenčním rozsahu od několika hertzů do 10 kHz [11].

Díky výše uvedeným výhodám a s vývojem vláknové technologie a technologie snímání pomocí optických vláken byly vyvinuty vláknové mikrofony založené na různých metodách a strukturách, jako např. Braggovy vláknové mřížky, interferometrický metodách: Fabry-Pérotova, Mach-Zehnderova, Michelsonovy interferometry, Sagnacův interferometr.

Obr. 3.2: Optický vláknový mikrofon [12].

3.2 Optické vláknové senzory a jejich dělení

Optické vláknové senzory lze definovat jako senzory, které používají optické vlákno buď jako snímací prvek, nebo světlo je vedeno prostřednictvím optického vlákna ze vzdáleného senzoru na elektroniku, která signály zpracovává.

Optické vláknové senzory můžeme rozdělit podle způsobu snímaní na [18]:

- Bodové senzory: jsou určené měřit změny v konkrétních místních bodech uvnitř struktury nebo podél snímacího vlákna.
- Distribuované (rozprostřené) senzory: distribuované optické senzory poskytují prostorové a časové informace měřeného parametru z libovolného bodu podél jednoho optického vlákna.
- Kvazi-distribuované senzory: jsou vhodné pro měření parametrů v konečném počtu pozic podél optického vlákna.

Klasifikace na základě pracovního principu [18]:

- amplitudové (intenzitní) optické vláknové senzory,
- spektrometrické vláknové senzory,
- fázové (interferometrické) optické vláknové senzory,
- polarizační optické vláknové senzory.

3.3 Amplitudové optické vláknové senzory

Amplitudové senzory jsou jedním z prvních typů a možná nejjednodušším typem senzorů z optických vláken. Optický signál přenášen optickým vláknem a poté je jeho intenzita modulována různými způsoby: ohybem vláken, odrazivosti nebo změnou

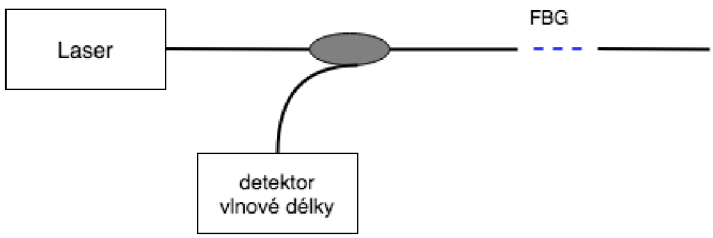
média, kterým prochází světlo. Hlavní výhody amplitudových senzorů jsou: jeho snadná výroba, jednoduchý detekční systém [18].

3.4 Optické vláknové akustické snímače na základě FBG

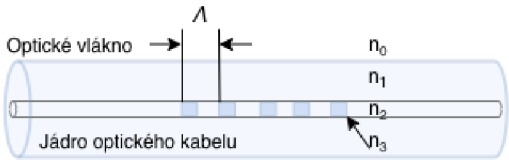
Spektrometrické vláknové senzory vykazují změnu v optické vlnové délce při interakci s vnějším rušením. Běžné založené na vlnové délce optické senzory jsou senzory založené na Braggově mřížce (FBG).
Vláknová Braggova mřížka (FBG) je část optického vlákna, v jehož jádru se index lomu pravidelně mění v podélném směru. Taková periodická struktura funguje jako filtr pro světlo cestující po vláknu. Má tu vlastnost, že odráží světlo v předem určeném rozsahu vlnové délky. Když dopadající světlo vstupuje do vláknové Braggovy mřížky (FBG), vztah mezi centrální vlnovou délkou odrazu B, indexem lomu n a mřížkovou periodou je následující [6]:

$$\lambda_B = 2n\Lambda \tag{3.1}$$

Princip fungování optického senzoru využívajícího FBG (Fiber Bragg Grating) je ukázán na obr. 3.3. Použitím laditelného laserového zdroje je úzkopásmový laserový zdroj vyladěn na vlnovou délku FBG se středním odrazem. Světlo se odráží od FBG a poté vstupuje do fotodetektoru. Změna výšky tónu FBG způsobená akustickou vlnou je demodulována změnou odražené intenzity. Tento FBG senzor s optickými vlákny lze použít pro akustické měření. Ale pro praktické použití tohoto FBG senzoru z optických vláken musí být vysoce citlivá senzorová hlava [6].



Obr. 3.3: Princip měření FBG senzorem [11].



Obr. 3.4: FBG [11].

3.5 Interferometrické optické vláknové akustické senzory

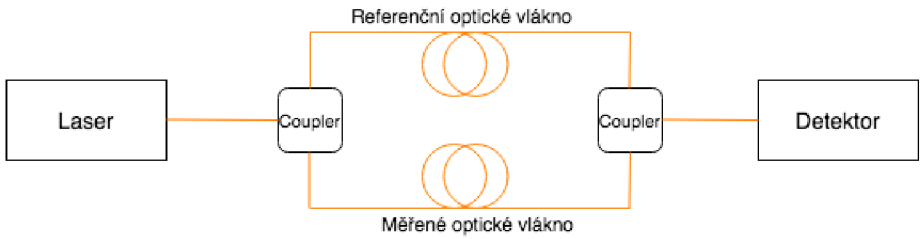
Interference

Vlnová interference je jev, ke kterému dochází při přidání dvou vln, v důsledku čehož dochází ke zvýšení, nebo snížení výsledných oscilací v různých bodech v prostoru. Pro vytvoření stabilního interferenčního obrazce je nutné, aby vlnové zdroje měly stejnou frekvenci a konstantní fázový rozdíl svých kmitů. Takovým vlnám se říká koherentní. Jako koherentní nazveme vlny tehdy, pokud mají stejnou frekvenci a jejich fázový rozdíl se v daném místě nemění (je konstantní). U běžných zdrojů světla (Slunce, žárovka, plamen) nelze interferenci pozorovat, protože se jedná o nekoherentní vlnění. Světlo, které vyzařují tyto zdroje, je výsledkem chaotických vln o různé frekvenci.

Příkladem praktického využití interference světelného vlnění jsou interferometry, které detekují intenzitu dvou vln.

Mach-Zenderův interferometr

Mach-Zehnderův interferometr (MZI) je jednoduché zařízení pro demonstraci interference dělením amplitudy. Základní technika použití MZI jako senzoru je znázorněna na obr. 3.4. MZI má dvě ramena, jedno použité jako snímací a druhé použité jako referenční rameno. Snímací rameno je vystaveno vnějšímu působení, zatímco referenční rameno je udržováno izolované od vnějšího vlivu. Celkový výstup na výstupním portu Mach-Zehnderova interferometru má interferenční komponenty v závislosti na rozdílu optické fáze, která může být snadno detekována analýzou variace v interferenčním signálu [6].



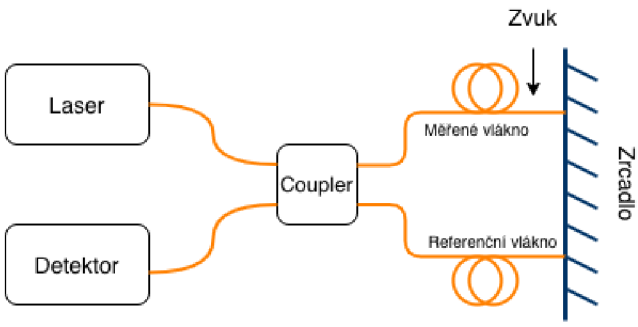
Obr. 3.5: Optický Machův-Zehnderův interferometr.

Michelsonův interferometr

Schéma snímací optické dráhy založené na Michelsonově optickém vláknovém interferometru je uvedeno na obr.3.6. Po průchodu spojkou je signál vyzařovaný světelným zdrojem rozdělen do dvou kanálů, jeden přes rameno referenčního vlákna, druhý přes měřené rameno, které je rušeno vnějším zvukem. Když dosáhne zrcadla, dva paprsky světla se odráží zpět do děliče. Rušivé světlo pak přenáší zvukové informace. Jakmile byl signál detekován fotoelektrickým detektorem, předpokládá změnu intenzity světla a nakonec ji převede na elektrický signál. Poté to může demodulovat zvukový signál zpracováním signálu [6]. Intenzita světla přijímaného fotodetektorem může být vyjádřena jako:

$$P = P_0(1 + cos(\Delta\phi)) \tag{3.2}$$

kde je fázový rozdíl způsobený akustickým tlakem mezi světlem vedeným referenčním vláknem a světlem měřeného vlákna.

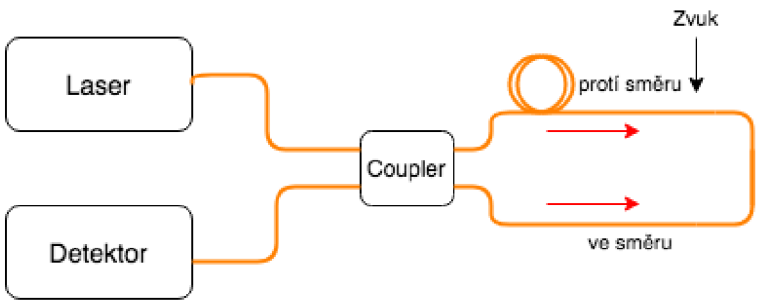


Obr. 3.6: Optický Michelsonův interferometr [6].

Ve srovnání s interferometrem Mach-Zehndera využívá struktura Michelsonova interferometru méně vláknových vazebních děličů a tím snižuje optickou ztrátu.

Sagnacův interferometr

Sagnacův interferometr byl vynalezen Georgesem Sagnacem v roce 1913.



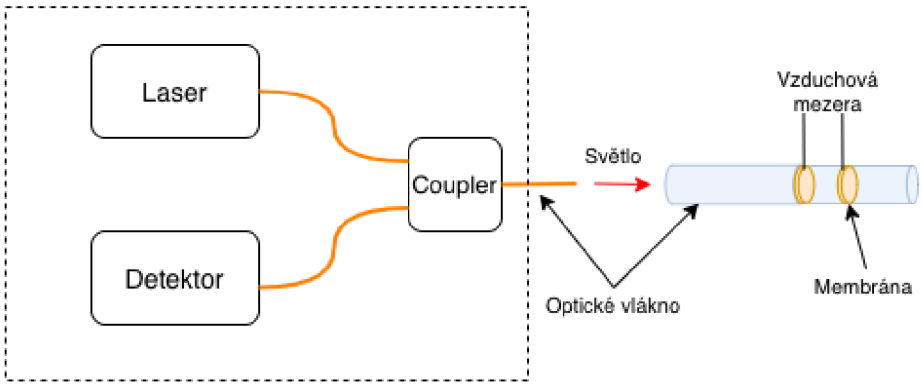
Obr. 3.7: Základní diagram Sagnacova interferometru

Činnost tohoto typu interferometru spočívá v rozdělení světelného svazku do dvou ramen, podobně jako je tomu u Mach-Zehnderova nebo Michelsonova interferometru. Zde se však rozdělené světelné svazky šíří proti sobě po jedné optické dráze.

Světelný svazek je rozdělen děličem světelného svazku na dva. První světelný svazek se šíří systémem po směru hodinových ručiček, zatímco druhý světelný svazek putuje proti směru hodinových ručiček. Dráhy, které paprsky urazily, jsou stejné, proto spolu interferují se stejnou fází. Pokud se však interferometr bude otáčet, paprsek šířící se v protisměru otáčení urazí kratší vzdálenost. Z tohoto důvodu paprsky na konci své dráhy budou interferovat s jinou fází [6].

Fabry-Perotův interferometr

Fabry-Perotův interferometr (FPI) používá hlavně Fabry-Perotovu dutinu jako sondu pro snímání optických vláken, která umožňuje detekci vnějších proměnných, jako jsou akustické vlny, deformace, tlak atd. Dutina Fabry-Perota se skládá ze dvou paralelních reflektorů rozdělených určitou vzdáleností [6].



Obr. 3.8: Fabry-Perotův interferometr

Záření laserové diody se zavádí do vlákna a je přenášeno přes vazební člen do Fabry-Perotovy dutiny. Část světelného záření se odráží od konce vlákna, zatímco

druhá část je vyzářená do vzduchové mezery, potom se odráží od membrány a vrací se zpět do vlákna. Paprsek odrážený od konce vlákna interferuje s paprskem odraženým od membrány, poté fotodetektor přijímá interferenční signál a převádí jej [6].

3.6 Polarizační optické vláknové senzory

Je známo, že optické vlákno optické vlákno je přenosové médium s dvojlomem. Když se světelná vlna šíří optickým vláknem, mění se její polarizační stav v důsledku rozdílu fázové rychlosti obou polarizačních složek ve vlákně. Polarizační vlastnosti světla šířícího se optickým vláknem mohou být ovlivněny různými parametry působícími na něj, stejně jako u polarimetrického senzoru optického vlákna změří se změna stavu polarizace a použije se k získání parametru snímání [18].

Obr. 3.9: Optický vláknový senzor založený na polarizaci [18].

Obrázek 3.9 ukazuje optický vláknový senzor založený na polarizaci. Skládá se ze zdroje světla, polarizátoru optického vlákna, optického vlákna, které se použije jako měřicí, analyzátoru a forodetektoru.
Stav polarizace na výstupu je převeden na intenzitu pomocí analyzátoru. U takových polarimetrických senzorů změna výstupní intenzity I při vlnové délce λ v důsledku externě aplikované poruchy může být popsáno vzorcem:

$$I_s(\lambda) = \frac{I_0}{2} + cos(\Delta\Phi) \tag{3.3}$$

Vzhledem k vysoké citlivosti polarimetrického senzorů na vnější parametry je často hlavním problémem těchto typů senzorů křížová citlivost [18].

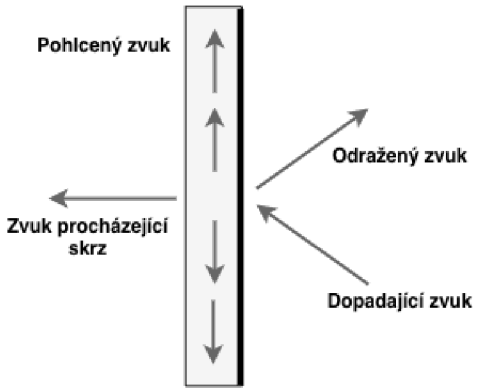
4 Chování zvuku v uzavřeném prostoru

Zvuk je mechanické vlnění v látkovém prostředí, které je schopno vyvolat sluchový vjem.

Šíření zvuku v uzavřeném prostoru (v místnosti) se zásadně liší od podmínek jeho šíření ve volném prostoru, protože zvuková vlna na své cestě naráží na poměrně velké množství překážek (stěny, strop, podlaha, nábytek, interiérové předměty atd.) [8].

4.1 Interakce zvuku s překážkou

Zvukové vlny, které na své cestě narazí na překážku, jsou částečně pohlceny, částečně se od nich odrážejí, tzn. jsou znovu vyzařovány překážkou zpět do místnosti a částečně procházejí skrz překážku obr. 4.1.



Obr. 4.1: Interakce zvuku s překážkou

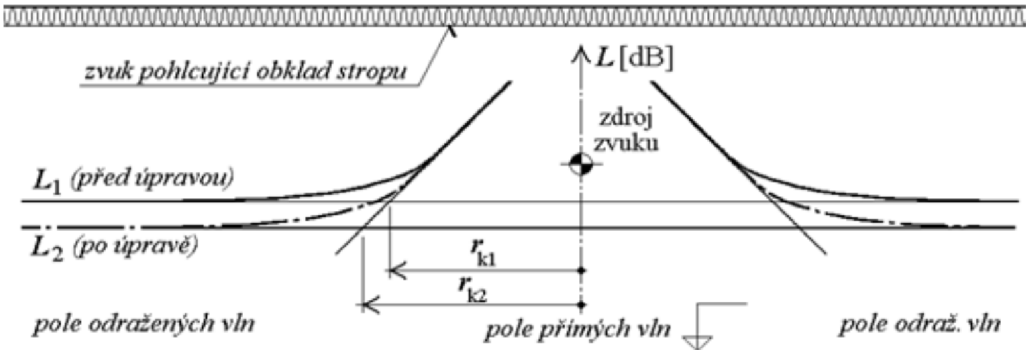
Procentní podíl těchto procesů se bude lišit pro zvukové vlny různých délek, což je způsobeno zvláštnostmi chování vln. Důležitou roli navíc hrají vlastnosti samotné překážky, jako jsou její tloušťka, hustota materiálu, ze kterého je vyrobena, a také povrchové vlastnosti (hladká, reliéfní, hustá) [8].

Útlum zvuku

Za každou překážkou na cestě šíření zvuku, jejíž rozměry převyšují vlnovou délku, se vytváří zvukový stín, ve kterém lze pozorovat snížení intenzity zvuku oproti stavu volného šíření zvukových vln bez překážky. Útlum intenzity zvuku závisí na poloze zdroje zvuku a geometrickém tvaru překážky, na poloze pozorovatele za překážkou a na vlnové délce zvuku. Vznik a vlastnosti zvukového stínu lze vysvětlit pomocí ohybu vlnění. Zákonitosti ohybu platí pro každé vlnění, tedy i pro vlnění elektromagnetické včetně světla [8].

4.2 Šíření zvuku

Akustické vlastnosti místnosti významně ovlivňují povahu zvuku a řeči. Při šíření zvuku v uzavřeném prostoru se vyskytuje dvoje vlnění, a sice pole přímých vln a pole odražených vln: zvukové pole v místnosti je tvořeno nejen přímou vlnou přicházející od zdroje po nejkratší cestě, ale také odrazy od stěn, stropu, podlahy a předmětů v místnosti. Část zvukové energie je tedy distribuována prostorem odražením od povrchů. Víme, že zvuk se šíří určitou rychlostí. K přímým zvukům přicházejícím k posluchači se začnou míchat „zpožděné“ zvuky odražené od povrchů. Tím pádem v místnosti, kde se nachází zdroj zvuku, je pole zvukových vln vytvářeno z přímých a odražených vln a vytváří takzvané difúzní zvukové pole obr. 4.2 [8].
Je však důležité vědět, že zvuk odrážející se od povrchů ztrácí na cestě určitou energii. Postupný útlum zvuku v místnosti a následný zvuk se nazývá dozvuk. Rychlost, s jakou dozvuk zmizí, se nazývá doba dozvuku měřená v sekundách. Čím méně zvukové energie je absorbováno odrazy, tím delší je doba dozvuku. Doba dozvuku je přitom doba, za kterou hustota akustické energie po vypnutí zdroje zvuku klesne na 10^{-6} původní hodnoty [8].



Obr. 4.2: Pole přímých vln a pole odražených vln [8].

Na obr.3.8 je schéma řezu uzavřeným prostorem (místností) se zdrojem zvuku, který se nachází uprostřed místnosti. Na svislé ose diagramu je stupnice hladin akustického tlaku L[dB], na vodorovné ose je vzdálenost označená r[m] od zdroje zvuku. Jestliže se zvýší celková pohltivost prostoru například obložením stropu místnosti obkladem pohlcujícím zvuk, hladina v poli odražených vln $L1$[dB] se sníží na hodnotu $L2$[dB]. Zároveň s tím se zvětší dozvuková vzdálenost z hodnoty r_{k1}[m] na hodnotu r_{k2}[m]. Z vyobrazení je zřejmé, že zvýšením celkové pohltivosti prostoru nelze snížit hladinu akustického tlaku v bezprostřední blízkosti zdroje, kde se nachází pole přímých vln. To znamená, že akustický výkon vyzařovaný zdrojem musí být celý pohlcován ohraničujícími povrchy místnosti. Po spuštění zdroje zvuku se hladina akustického tlaku

v poli odražených vln ustálí právě na takové hodnotě, která zajistí stav rovnováhy mezi vyzářeným a pohlceným akustickým výkonem [7].

4.3 Akustika lidského hlasu

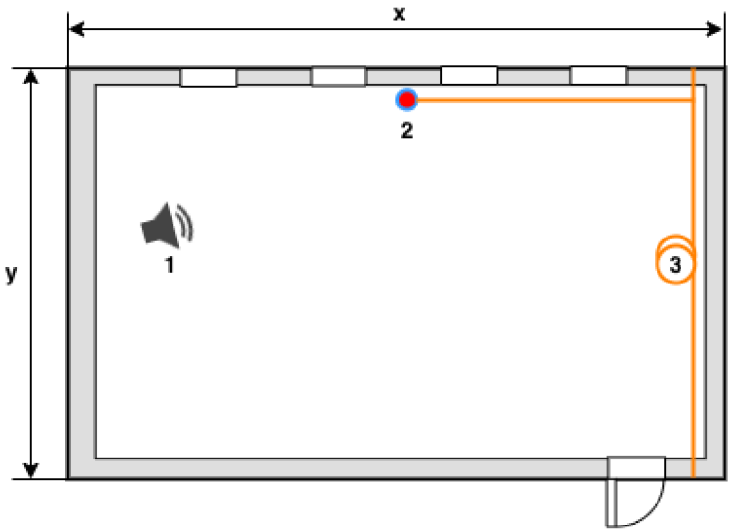
Lidský hlas obsahuje velký počet harmonických složek, které rozhodují o druhu vyslovené hlásky. Některé souhlásky jako např. f nebo s zní jako šelesty, mají velký počet vrchních tónů harmonických, blíží se nehudebním zvukům. Ostatní souhlásky, např. b a k jsou krátkodobé nepravidelné zvuky [10].
Převážná část energie lidského hlasu připadá na tóny prostředních výšek kolem frekvence 500 Hz a jen poměrně malá část připadá na frekvence od 1000 do 5000 Hz, ale právě ty jsou nejdůležitější pro porozumění lidské řeči, jelikož se podílejí na barvě hlasu. Pokud v reprodukované mluvě chybí, je řeč nesrozumitelná. Naopak když z řeči odstraníme frekvence pod 500 Hz, je reprodukovaná mluva sice tišší, ale srozumitelná [10].
Výška mluvního hlasu u mužů se uvádí kolem 120 Hz, u žen 220 Hz, děti mají obvykle hlas vyšší. Při zpěvu však může výška dostoupit až na 1000 Hz [10]. Normální hovor ve vzdálenosti 1 m má sílu kolem 60 dB. Velmi slabý řečový signál je slyšitelný, ale není srozumitelný, má sílu 25 dB [10].

5 Návrh testovacího pracoviště a realizace úniku informace

Realizace odposlechu na optickém kabelovém vedení vyžaduje delší přípravu, ale výsledkem je vysoce spolehlivý, účinný a těžko detekovatelný odposlech.

V budovách s vnitřními optickými rozvody (což je dnes naprostá většina komerčních prostor) představuje odposlech dost velké riziko. Na optické linky lze navázat mikrofony či kamery, z nichž je pak možno přenášet signál na velmi dlouhé vzdálenosti dosahující i několika kilometrů.

Jako testovací prostředí byla zvolena místnost v prostorách fakulty. Pro přehlednost je schéma místnosti na obr. 5.1, kde X souřadnice označuje délku místnosti 10 m, Y souřadnice označuje šířku místnosti 7 m.



Obr. 5.1: Schéma testovacího prostředí: (1) zdroj zvuku; (2) optický vláknový mikrofon; (3) optické vedení

Pro realizaci samotného měření bude použit komerční optický vláknový mikrofon, zdroj zvuku (reproduktor), počítač pro záznam výsledného signálu a pro měření intenzity zvuku použijeme aplikaci Sound Detector.

Postup realizace úniku informace

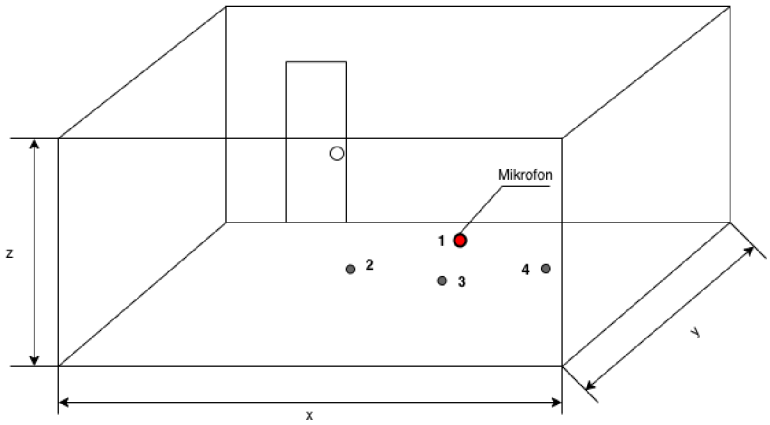
1. Jako první krok provedeme instalaci mikrofonu podle jeho umístění.

2. Využijeme jako zdroj zvuku např. reproduktor (zdroj zvuku může být změněn podle požadavku).

3. Zapojíme zařízení pro uložení výsledných dat a zpracování.

5.1 Detekce lidské řeči

Nejprve bylo provedeno referenční měření pro stanovení intenzity zvuku v bodě vysílání zvuku a v bodě, kde ten signál bude přijat, tj. v bodě umístění mikrofonu. Následně byla změřena intenzita při vysílání zvuku z každého zvoleného bodu, obr. 5.2, jejichž vzdálenost je uvedená v tab. 5.1. Tři body jsou ve stejné vzdálenosti od zdroje zvuku a nachází se ve 140°. Výsledné intenzity zvuku jsou v tab. 5.1.



Obr. 5.2: Umístění bodů zvuku v místnosti.

Bod	Vzdálenost k mikrofonu [m]
1	-
2	1.0
3	1.0
4	1.0

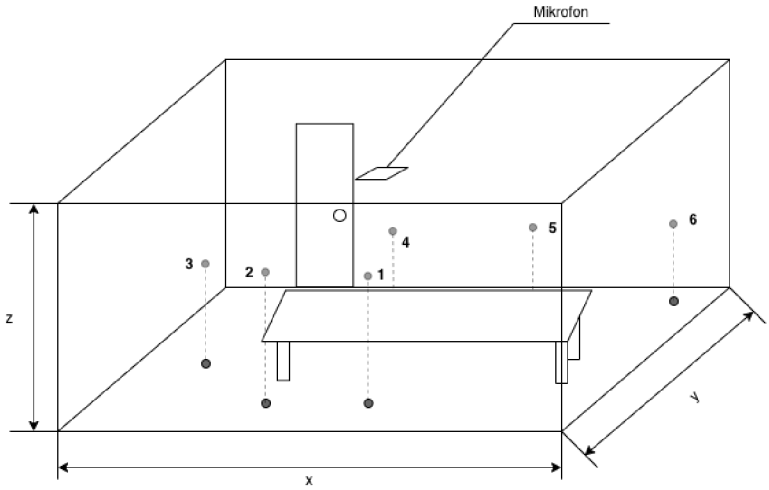
Tab. 5.1: Vzdálenost bodů k mikrofonu.

Číslo bodů	Intenzita zvuku [dB]	Frekvence [Hz]
1 (bod výskytu zvuku)	58.4	70 - 10000
2	52.8	70 - 9000
3	53.1	70 - 9000
4	53.2	70 - 9000

Tab. 5.2: Intenzita zvuku reproduktoru.

Pro další měření bylo zvoleno 6 bodů, jak je na obr. 5.3, mikrofon je umístěn pod stropem ve výšce 2.8 metru. Tato výška umístění zdroje, z něhož je vysílán zvuk,

počítá s průměrnou výškou člověka 165 cm. Šedou barvou jsou označeny body, z nichž je zvuk vysílán a jejichž vzdálenost je uvedená v tab. 5.1.



Obr. 5.3: Umístění bodů zvuku v místnosti.

Bod	Vzdálenost k mikrofonu [m]
1	1.35
2	2.75
3	3.94
4	4.70
5	5.57
6	8.31

Tab. 5.3: Vzdálenost bodů k mikrofonu.

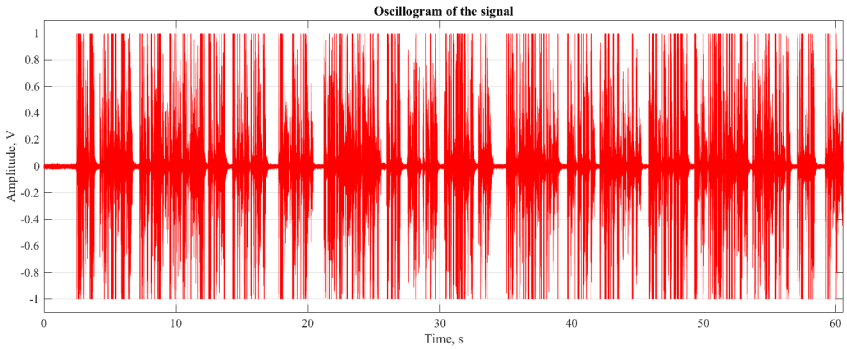
Bod	Intenzita zvuku [dB]	Frekvence [Hz]
1	49.1	70 - 9000
2	47.9	70 - 9000
3	45.8	70 - 9000
4	43.4	70 - 9000
5	41.1	70 - 9000
6	37.8	70 - 9000

Tab. 5.4: Intenzita zvuku reproduktoru.

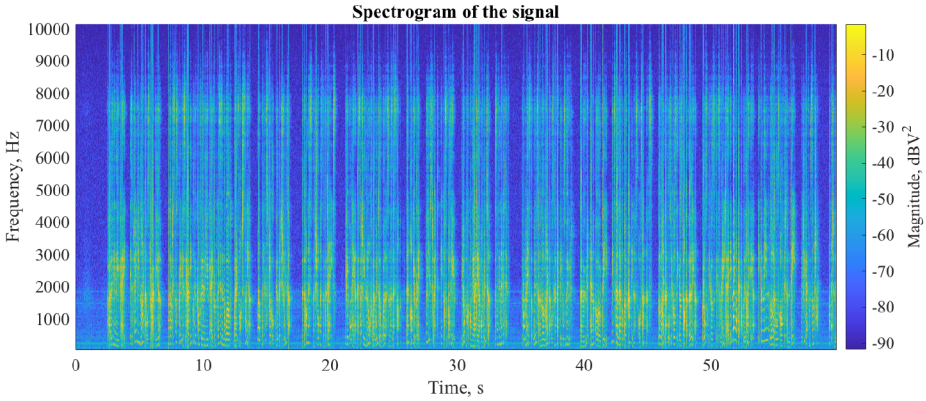
5.1.1 Výsledky a zpracování v programu Matlab

Analýza výsledných záznamů signálu byla provedena pomocí programu MATLAB. Výstupní signál z interferometru (oscilogram) obr. 5.4 a spektrogram obr. 5.5. Ze spektrogramu referenčního měření je vidět, že mikrofon zachytil vlnové frekvence dosahující 10 kHz, což odpovídá frekvenčnímu rozsahu lidské řeči. Převážná část připadá na oblast do 3 kHz (jsou to základní frekvence charakteru zvuku), a právě frekvence kolem 8 kHz definuje dobrou srozumitelnost zvuku, z čehož je možné usoudit, že se jedná o poměrně kvalitní záznam řečového signálu.

Při umístění zdrojů zvuku ve stejné vzdálenosti k mikrofonu, ale pod různými úhly bylo zjištěno, že intenzita zvuku je skoro stejná a z toho vyplývá, že mikrofon je všesměrový.

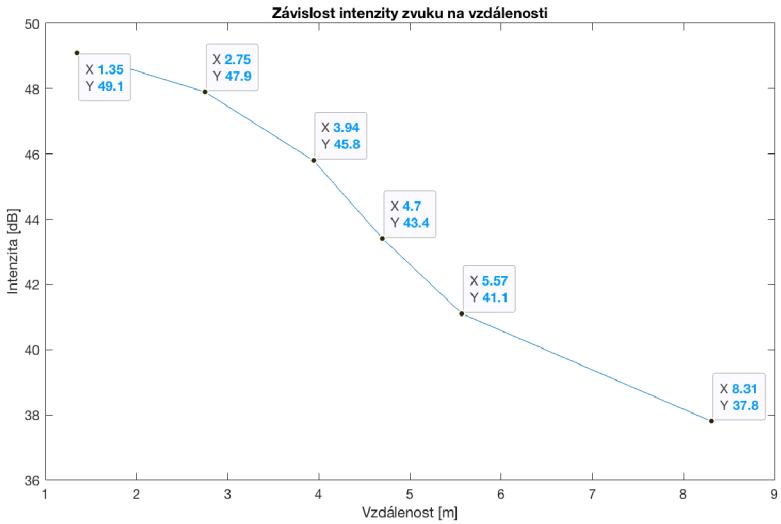


Obr. 5.4: Oscilogram signálu

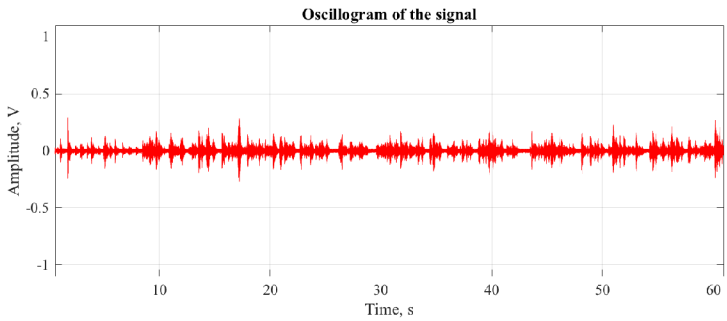


Obr. 5.5: Výsledný spektrogram pro referenční měření lidské řeči.

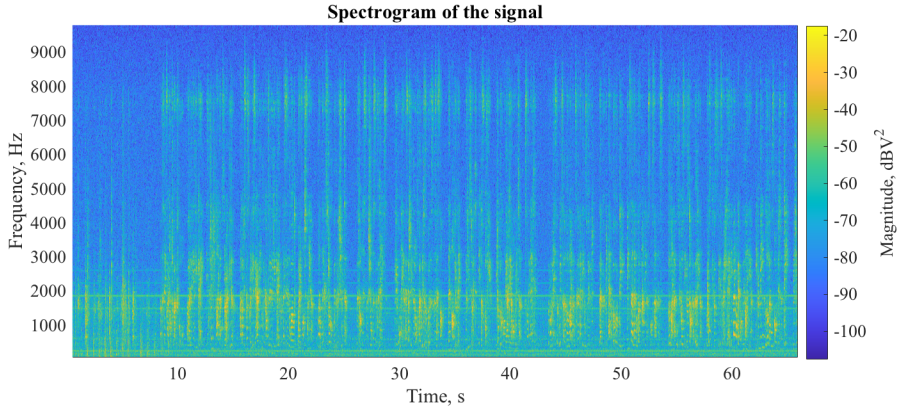
Při umístění mikrofonu do podhledu a simulaci odposlechu místnosti bylo dosaženo těchto hodnot tab. 5.1. Pro přehlednost byl sestrojen graf závislosti obr.5.5. Je vidět, že s rostoucí vzdáleností klesá intenzita zvuku, z čehož plyne, že ani srozumitelnost řeči není příliš kvalitní. Je to patrné z obr. 5.6 a obr. 5.7.



Obr. 5.6: Graf závislosti intenzity zvuku na vzdálenosti.



Obr. 5.7: Výsledný oscilogram měření lidské řeči v bodě 6.



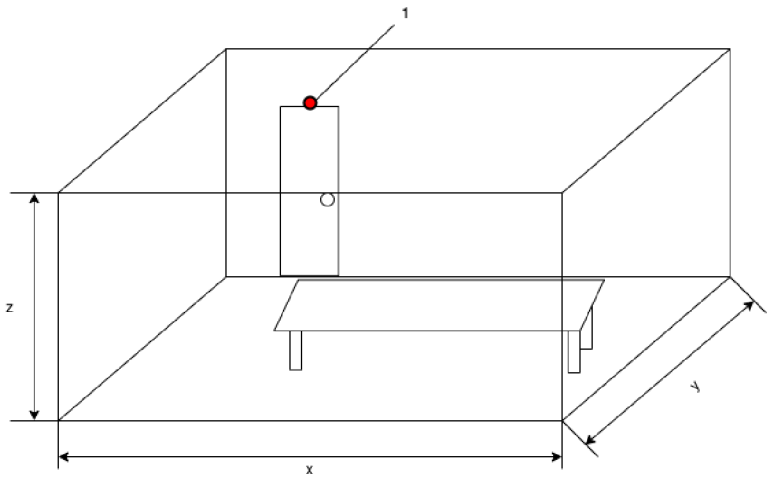
Obr. 5.8: Výsledný spektrogram měření lidské řeči v bodě 6.

5.2 Detekce akustických a mechanických vibrací místnosti

V této kapitole bude realizován odposlech mechanických a akustických vibrací místnosti. Jako příklad vzniku takových vibrací bylo zvoleno otevírání/zavírání dveří a chůze.

5.2.1 Simulace otevírání dveří

Pro toto měření bylo opět nejdříve provedeno referenční měření přímo v bodě výskytu zvuku, viz obr. 5.9. Mikrofon byl instalován nad dveřmi a zaznamenána byla intenzita zvuku tab.5.5.

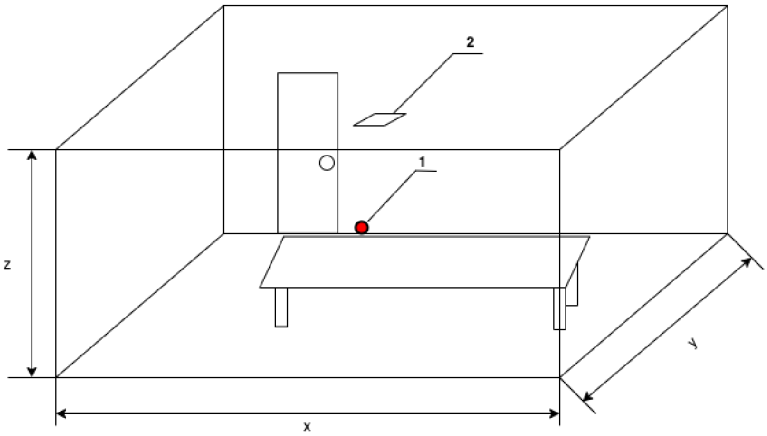


Obr. 5.9: Schéma pro referenční měření.

Umístěni	Intenzita zvuku [dB]
1	79.8

Tab. 5.5: Úroveň hlasitosti v bodě pro referenční měření.

Pro další měření bylo zvoleno více možností umístění mikrofonu: v liště podlahy a následně pod stropem, jak je na obr. 5.10. Výsledné hodnoty intenzity zvuku a vzdálenosti mikrofonu jsou k nahlédnutí v tab.5.6.



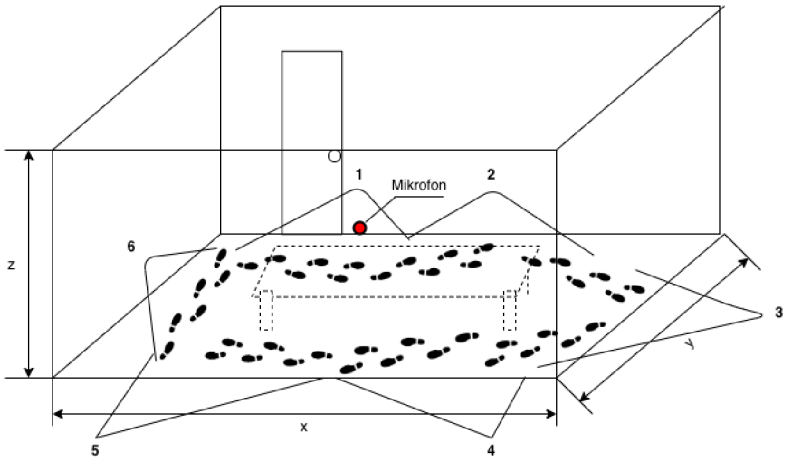
Obr. 5.10: Schéma pro měření: 1 - umístění mikrofonu u podlahy, 2 - umístění mikrofonu pod stropem, 3 - zdroj zvuku.

Umístěni	Intenzita zvuku [dB]	Vzdálenost [m]
1	81.1	0.50
2	70.9	4.80

Tab. 5.6: Výsledky měření.

5.2.2 Simulace chůze

Účelem měření bylo zaznamenat mechanické a akustické vibrace místnosti způsobené chůzí. Simulaci měření ilustruje obr. 5.11. Místo instalace mikrofonu bylo zvoleno v liště podlahy pro zajištění skrytého odposlechu. Chůze byla rozdělena do několika úseků a pro určení jednotlivých úseků byl použit zvuk signalizující konec každého úseku chůze.



Obr. 5.11: Schéma měření chůze: červený bod - mikrofon, bod 1 až 5 - úseky chůze

Číslo bodů	Vzdálenost [m]
1	1.10
2	2.50
3	4.80
4	7.20
5	5.10
6	4.60

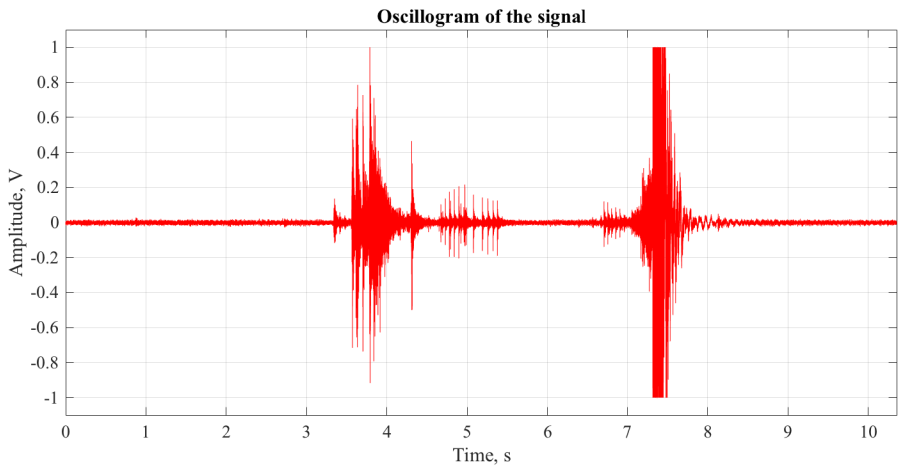
Tab. 5.7: Vzdálenost úseku chůze k mikrofonu.

Číslo bodů	Intenzita zvuku [dB]
1	38.6
2	37.1
3	36.0
4	34.8
5	35.7
6	36.2

Tab. 5.8: Úrovně hlasitosti pro jednotlivé úseky chůze.

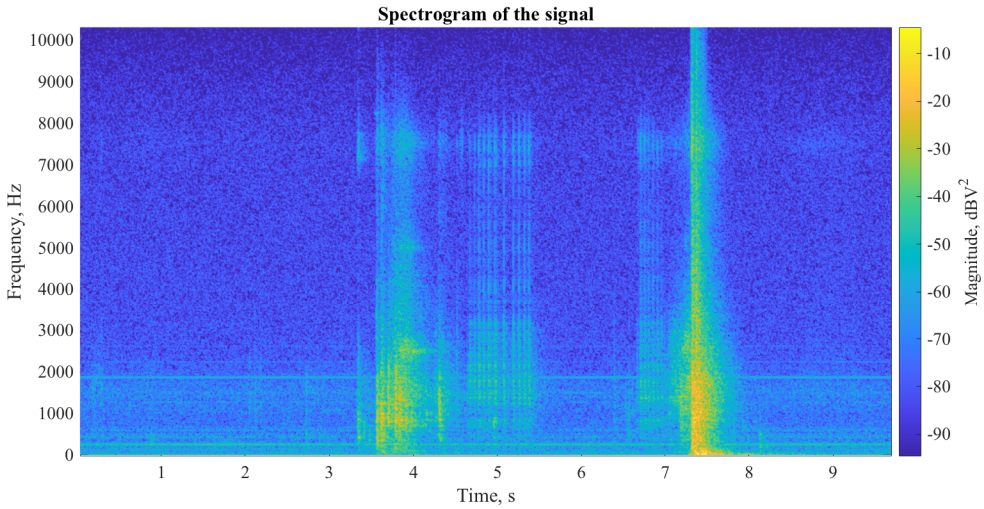
5.2.3 Výsledky a zpracování v programu Matlab

Pro každé měření (simulace otevírání/zavírání dveří a chůze) opět použijeme pro analýzu grafy amplitudy signálu a oscilogram. Z obr. 5.12 a obr. 5.13 je dobře vidět, že v čase mezi 3. a 5. sekundou a 7. a 8. sekundou jsou zaznamenané signály. To odpovídá okamžiku, kdy byly dveře nejprve otevřeny a poté zavřeny.



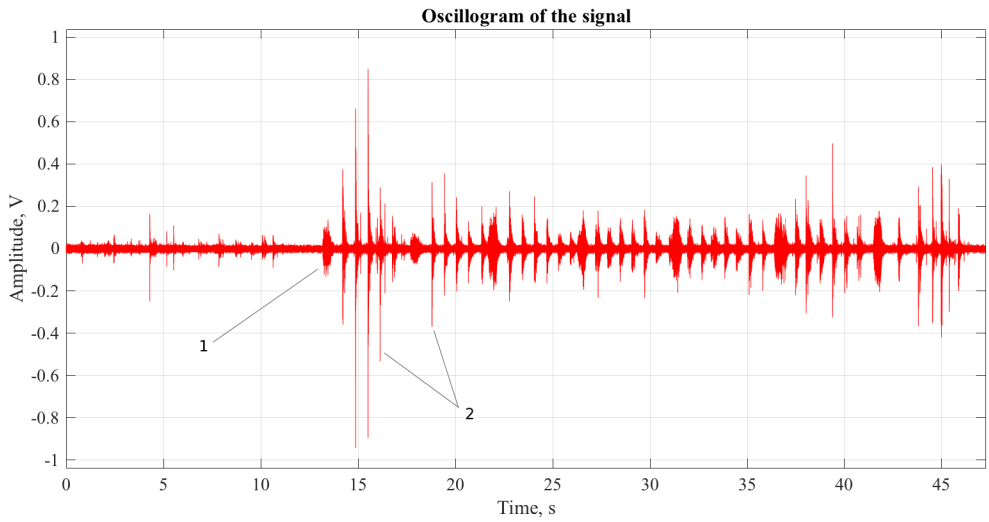
Obr. 5.12: Oscilogram signálu při umístění mikrofonu nad dveřmi.

Ze spektrogramu signálu lze vypozorovat, že signál při otevírání dveří dosahuje 8,5 kHz, převážná část energie zvuku dosahuje 8000 Hz. Při zavírání dveří přes 10 kHz se převážná část energie zvuku nachází na hodnotě do 4 kHz.

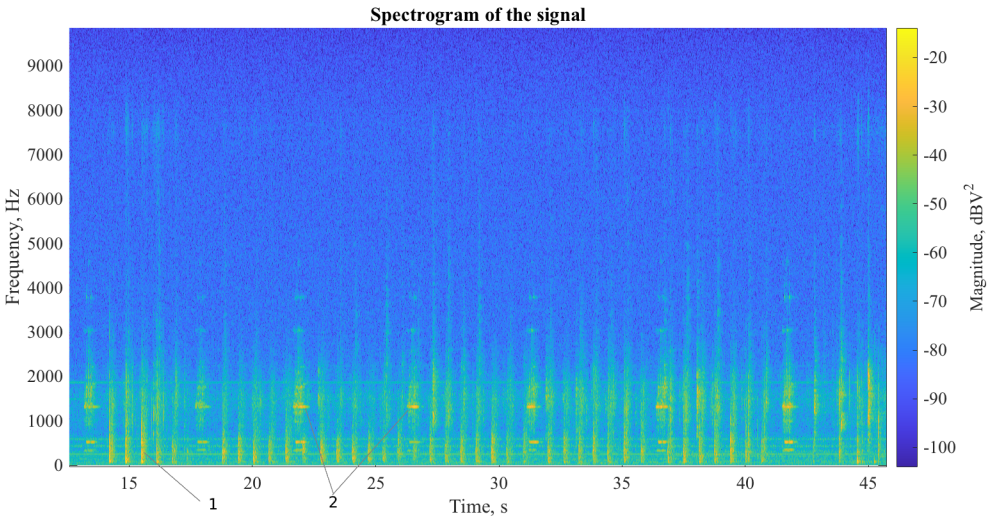


Obr. 5.13: Spektrogram signálu při umístění mikrofonu nad dveřmi

Na obr. 5.14 a obr. 5.15 je zobrazena amplituda a frekvenční analýza chůze. (1) odpovídá jednotlivým krokům z úseků chůze, (2) je okamžik zvuku signalizujícího konec/začátek úseku. Převážná část energie zvuku se nachází do 1000 Hz pro kroky a kolem 1,5 kHz pro signalizující zvuk.



Obr. 5.14: Oscilogram spektrum signálu chůze.



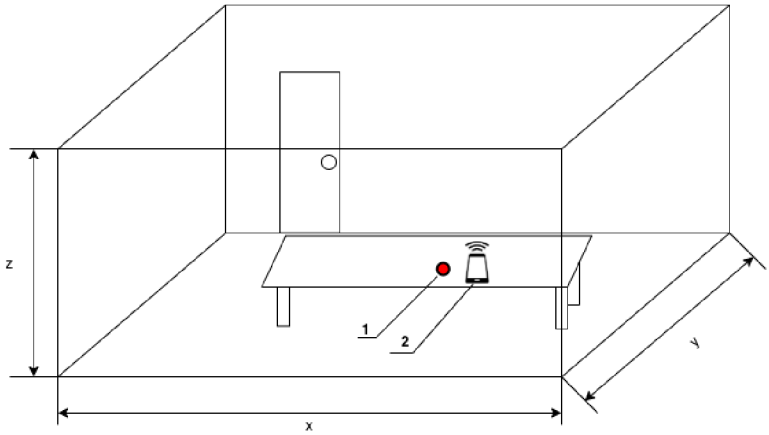
Obr. 5.15: Spektrogram signálu chůze.

Na základě provedení těchto druhů měření je možné posoudit, že mikrofon dobře detekuje i takové druhy zvuku. Bylo vyzkoušeno různé umístění mikrofonu při detekci zvuků způsobených otevřením/zavřením dveří a z výsledku se dá dobře poznat, že se jednalo o tyto zvuky.

Protože byl použit signalizační zvuk pro detekci konce/začátku úseku chůze, při detekování chůze je možné spočítat počet kroků od začátku do konce úseku.

5.3 Simulace telefonního hovoru

Cílem tohoto měření byla simulace telefonního hovoru pro následné odposlouchávání mikrofonem. Byla zvolena stejná nahrávka řeči jako pro scénář měření lidské řeči. Na začátku byl umístěn mobil a mikrofon na stole pro realizaci referenčního měření, poté byl instalován do podhledu místnosti a mobilní telefon jako zdroj zvuku byl umisťován v bodech s různou vzdáleností od mikrofonu. Body umístění (první tři) jsou stejné jako ve scénáři s měřením lidské řeči, obr. 5.3.



Obr. 5.16: Schéma pro detekci volání (pro referenční měření): 1 - umístění mikrofonu, 2 - umístění mobilu.

Umístěni	Intenzita zvuku [dB]	Frekvence [Hz]
1	45.1	300 - 3400

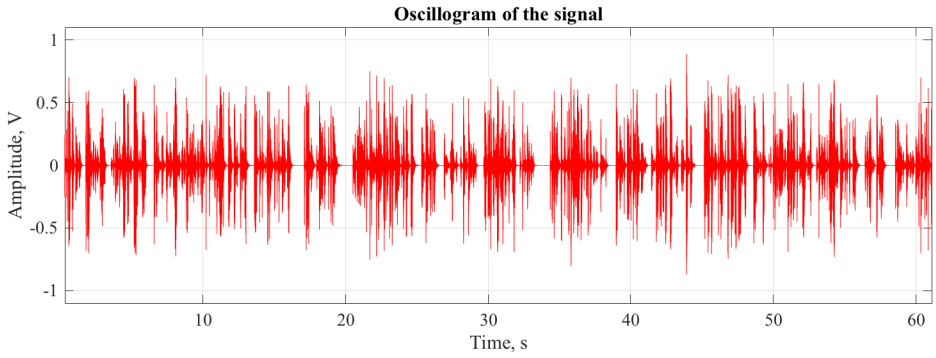
Tab. 5.9: Úroveň hlasitosti v bodě pro referenční měření simulace telefonního hovoru.

Umístěni	Intenzita zvuku [dB]	Vzdálenost [m]
1	35.7	1.35
2	34.1	2.75
3	32.4	3.94

Tab. 5.10: Úroveň hlasitosti při umístění mobilu v různé vzdálenosti k mikrofonu.

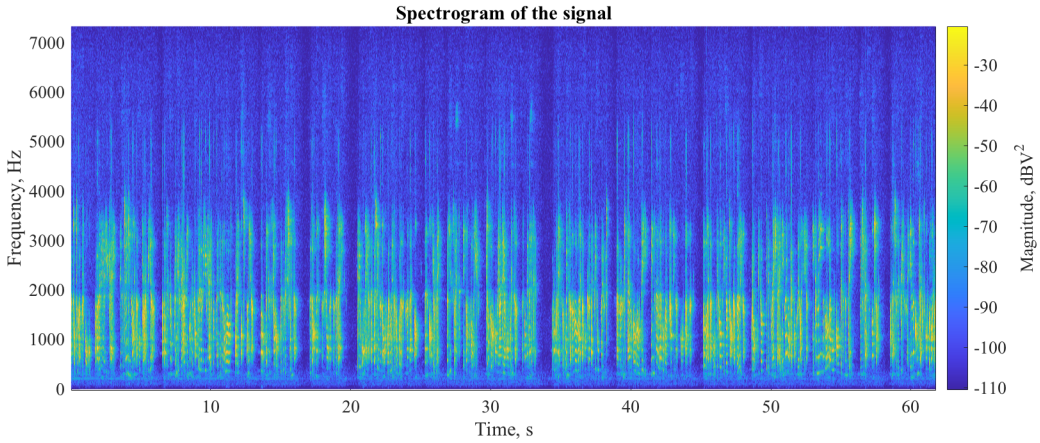
5.3.1 Výsledky a zpracování v programu Matlab

Výstupem z tohoto měření je posouzení možnosti odposlechu telefonního hovoru, dosazené hodnoty jsou v tab. 5.9 a tab. 5.10. Analýza nahrávky odposlechu hovoru je na obr. 5.17 a obr. 5.18.



Obr. 5.17: Oscilogram signálu mobilního hovoru.

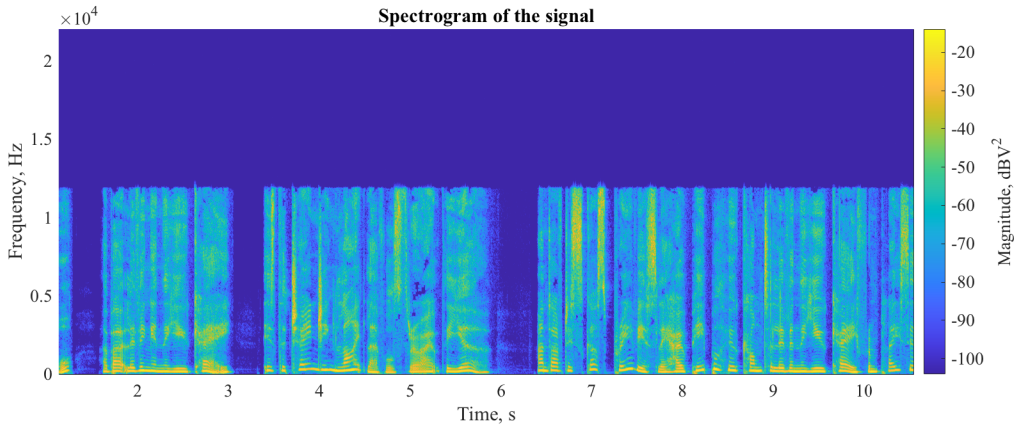
Výsledný spektrogram znázorňuje, že základní složky signálu lidské řeči z telefonního hovoru se nachází od 300 do 2000 Hz a signál dosahuje kolem 3500 Hz.



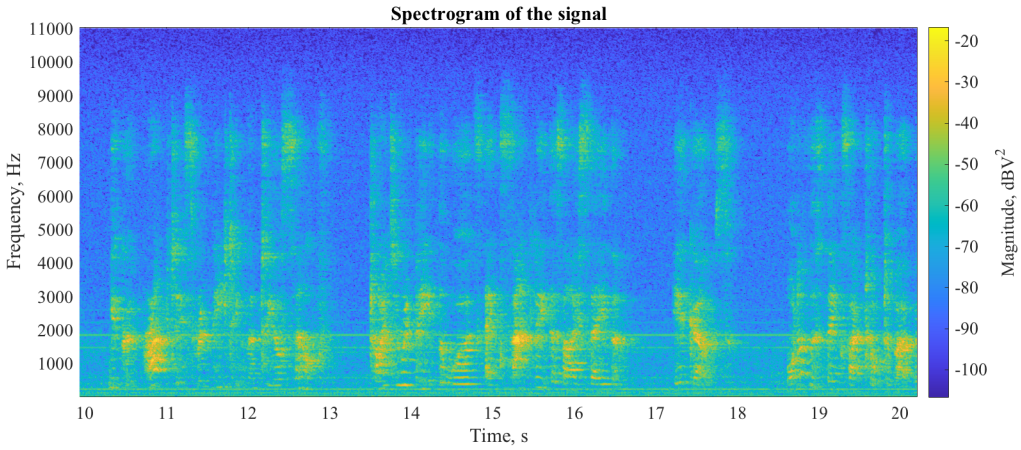
Obr. 5.18: Spektrogram signálu telefonního hovoru.

5.4 Zhodnocení výsledku

Z výše uvedených scénářů je podle grafu a získaných hodnot vidět, že mikrofon je schopen detekovat řeč vysílanou v místnosti, jelikož je velmi citlivý, ale přitom zachycuje jiné zbytečné zvuky a vibrace obr. 5.20. Spektrogram s originální nahrávkou použitou pro měření je na obr. 5.19.



Obr. 5.19: Spektrogram originální nahrávky řeči, první 10 sekund.



Obr. 5.20: Spektrogram řeči, první 10 sekund.

Pro porovnání výsledků jednotlivých scénářů byly zvoleny detekce lidské řeči a detekce telefonního hovoru. Tato měření nejvíce vyhovují pro tento účel, protože byla použita stejná nahrávka řeči a zvolené byly shodné body umístění zvuku. Při detekci řeči byl frekvenční rozsah výrazně větší než při detekci telefonního hovoru. To je způsobeno tím, že pro přenos srozumitelné řeči telefonního hovoru postačuje frekvenční pásmo od 300 Hz do 3400 Hz.

Telefonie využívá takové kmitočtové pásmo, protože právě hlavně v něm se nacházejí formanty, které určují srozumitelnost řeči. Z tohoto důvodu se frekvence v elektromagnetickém spektru mezi 300 - 3 400 Hz nazývají také kmitočty hlasu (i když se jedná o elektromagnetickou energii, nikoli o akustickou energii) [13].

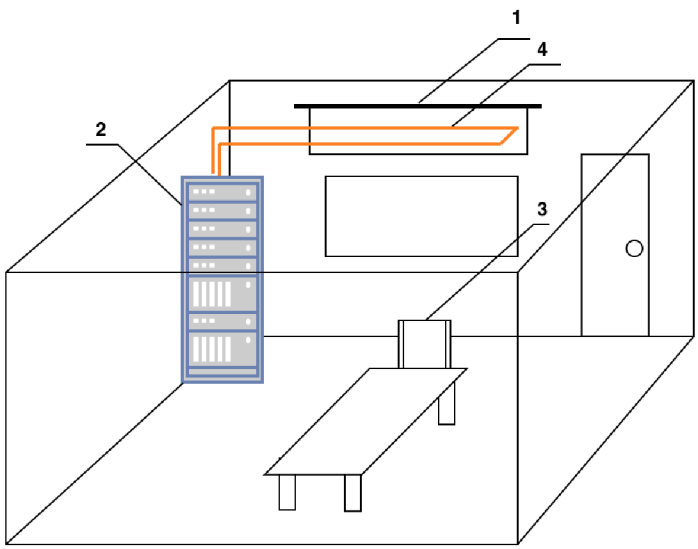
Z pohledu odposlouchávání místnosti je vhodnější scénář detekce řeči, je více možností pro odposlech v různé vzdálenosti se zachováním srozumitelnosti, tím se zvětšují možnosti následné analýzy obdržené informace. Scénář detekce hovoru je možný, ale mikrofon by se měl umisťovat těsně vedle zdroje akustických vibraci.

6 Únik informace prostřednictvím stávajících optických vláknových infrastruktur

Tato kapitola se věnuje měření a detekci akustických a mechanických vibrací prostřednictvím stávajících vláknových infrastruktur pomocí distribuovaného optického vláknového senzoru. Zvoleno bylo provedení měření pomocí interferometrického a polarizačního senzoru.

6.1 Návrh testovacího pracoviště

Měření se provádělo ve vnitřních prostorách fakulty, byla použita místnost, která je schematicky zobrazena na obr. 6.2. Délka místnosti je 10 m, a šířka 7,2 m.

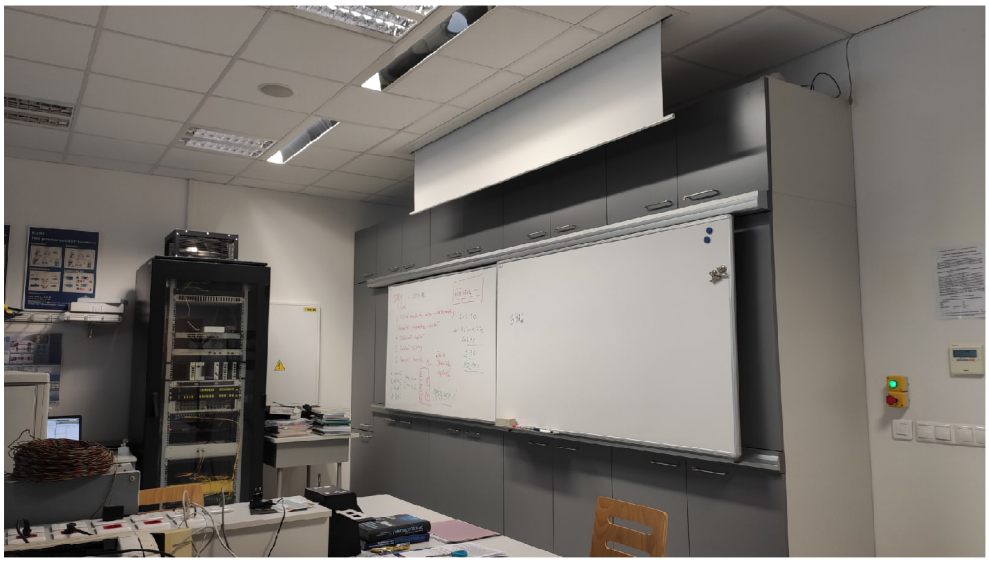


Obr. 6.1: Schéma místnosti: (1) - platno, (2) - rack, (3) - židle, (4) - optický kabel.

Princip měření a použité přístroje:

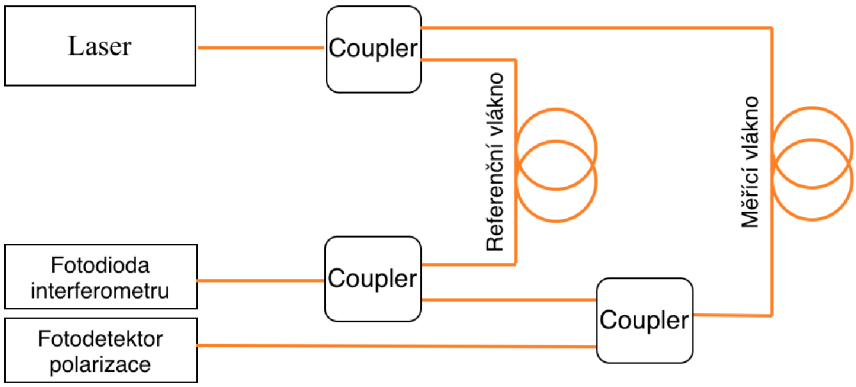
Pro pochopení principu měření slouží schéma obr. 6.3, zapojení se skládá z(e):

- zdroje, zdrojem je laser od Pure Photonics s nastavením výkonu na 850 mW a délkou vlny 1550 nm,
- optického patch kabelu s délkou 10 metrů,
- tří optických vláknových spojek,
- fotodiody interferometru,
- PBS polarimetru.



Obr. 6.2: Fotoukázka místnosti.

Měřicí optický kabel byl nainstalován v podhledu místnosti. Místo instalace je označeno (4) na schematickém obrázku místnosti pro měření obr. 6.3 , referenční optický kabel se nacházel v racku, na obrázku je označen (2).



Obr. 6.3: Blokové schéma zapojení pro měření.

Byly provedené a analyzované následující scénáře měření:

- Otevření/zavření racku (50 krát),
- Pohyb plátna (6 krát).

Měření byly provedené na dvou odlišných optických kabelech. Přičemž první měl průměr 2 mm a měl primární i sekundární ochranu, druhý s průměrem 250 μm měl jenom primární ochranu.

V dalších podkapitolách bude následovat popis a ukázka výsledků dvou vybraných scénářů měření.

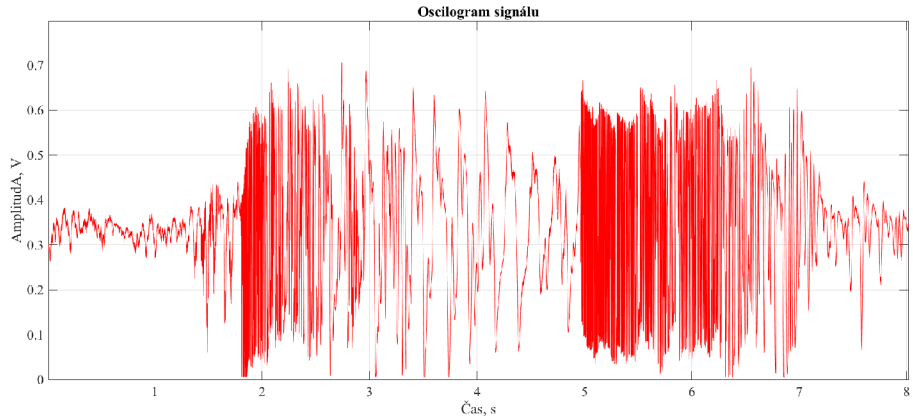
Obr. 6.4: Fotoukázka zapojení uvnitř racku.

6.2 Detekce otevření/zavření racku

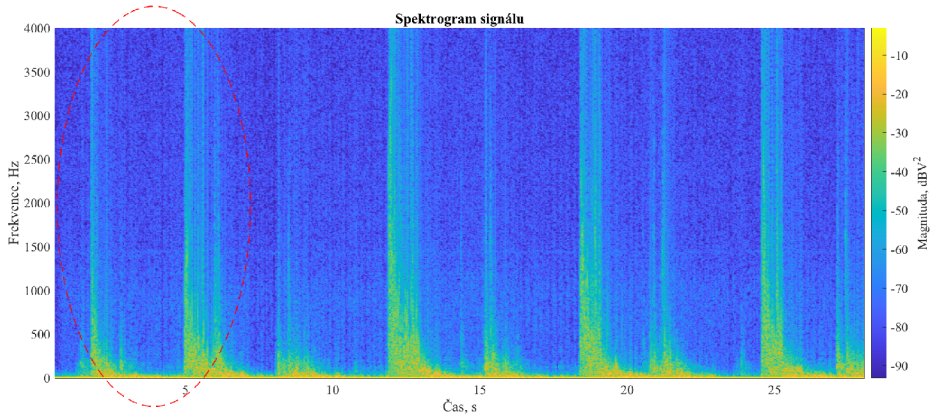
Jako jedna z možných ukázek bylo zvoleno provedení detekce otevření/zavření dveří racku. Měření pro posouzení možných výsledků proběhlo 50krát. Výsledky vycházející z interferometru a detektoru polarizace jsou zobrazeny na příslušných obrázcích demonstrujících oscilogram signálu a frekvenční analýzu v čase.

6.2.1 Zpracování měření při použití kabelu o průměru 2 mm

Měření probíhalo na kabelu s primární ochranou s celkovým průměrem 2 mm. Analýza měření byla udělána pomocí nástroje Matlab. Pro zobrazení výsledků byla použita amplitudová charakteristika signálu a provedena FFT analýza, jejímž výsledkem je spektrogram signálu, na němž je možné pozorovat frekvenční analýzu v časových okamžicích.



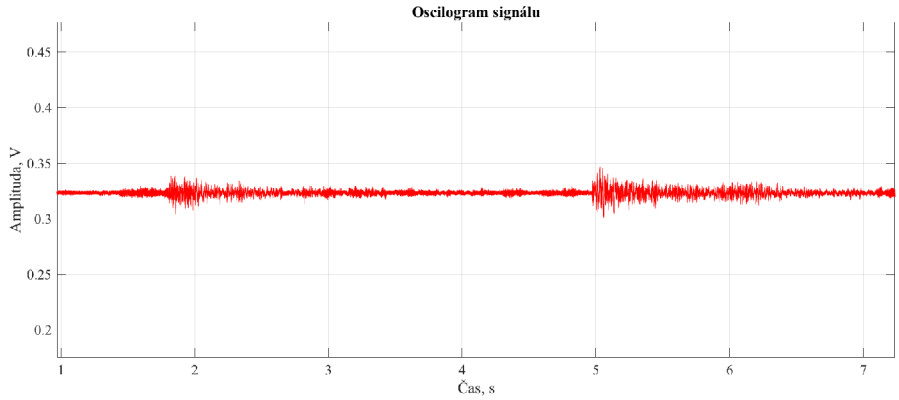
Obr. 6.5: Oscilogram signálu otevření/zavření racku (měřeno interferometrem).



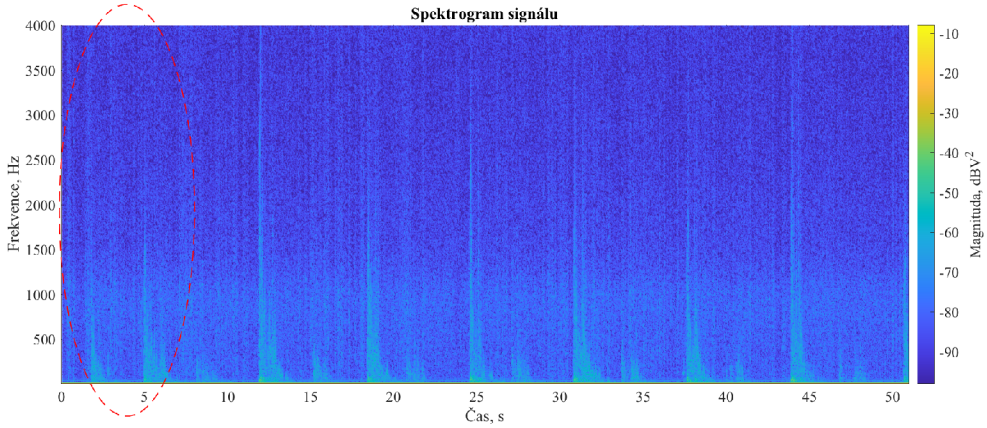
Obr. 6.6: Spektrogram signálu při otevření/zavření racku (měřeno interferometrem).

Na obr. 6.5 a obr. 6.6 jsou zobrazeny oscilogram a spektrogram průběhu signálu naměřeného interferometrem. Na oscilogramu je událost zobrazena právě v okamžiku otevření a zavření dveří racku. Je možné říct, že signál měl dobrou intenzitu, a proto je možné rozlišit samostatné okamžiky každé události.

Na spektrogramu je demonstrován stejný okamžik reprezentovaný ve frekvenční analýze. Je to poznat z označené oblasti spektrogramu. Frekvenční složky tohoto signálu dosahují kolem 4000 Hz.



Obr. 6.7: Oscilogram signálu otevření/zavření racku (měřeno polarimetrem).



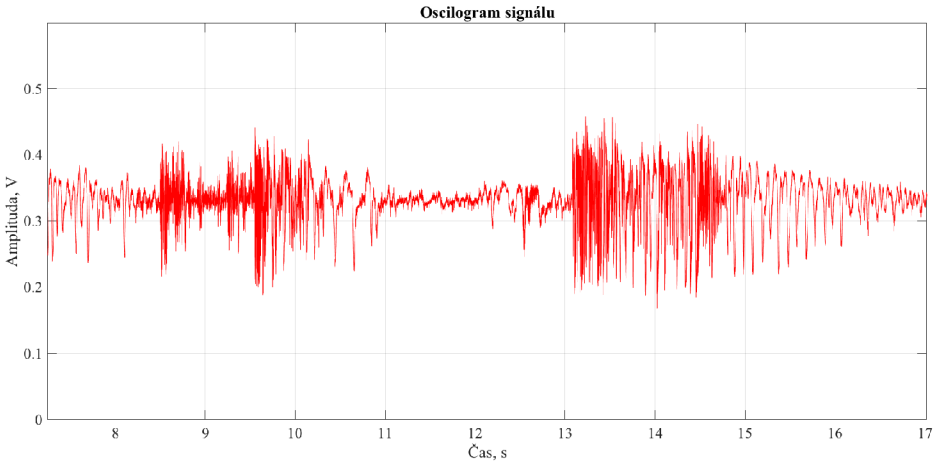
Obr. 6.8: Spektrogram signálu při otevření/zavření racku (měřeno polarimetrem).

Na obr. 6.7 a obr. 6.8 k nahlédnutí oscilogram a spektrogram průběhu signálu naměřeného polarimetrem. Signál je výrazně méně intenzivní, než to bylo v měření s interferometrem, ale přesto dostatečné, aby bylo možné rozlišit okamžiky otevření a zavření dveří racku.

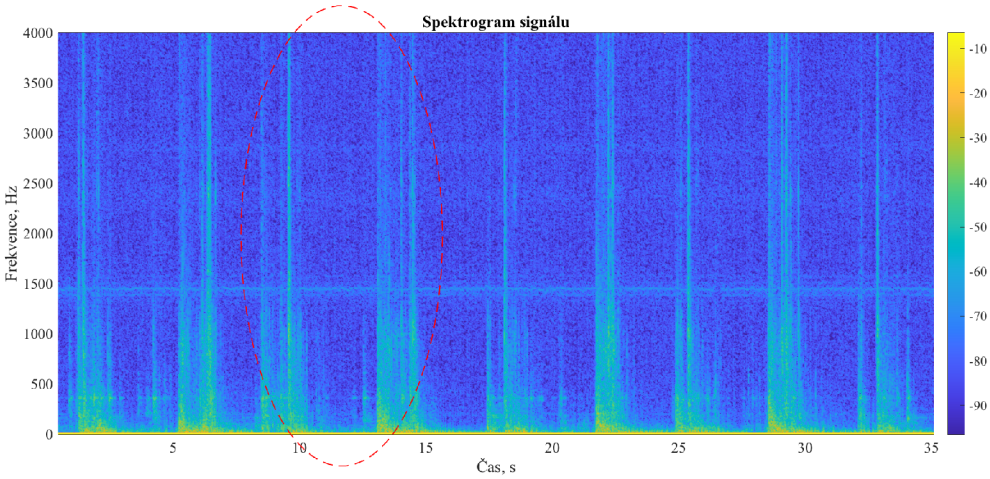
6.2.2 Zpracování měření při použití kabelu o průměru 0,25 mm

Stejným způsobem bylo provedeno měření s použitím optického kabelu bez sekundární ochrany a výstupy z interferometru a polarimetru jsou uvedené níže.

Na obr. 6.9 a obr. 6.10 jsou zobrazeny oscilogram a spektrogram průběhu signálu naměřeného interferometrem. Je dobré vidět pohyb dveří racku, takže není problematické poznat, že opravdu se jedná o tento druh manipulace. Stejný okamžik je reprezentován ve frekvenční analýze.

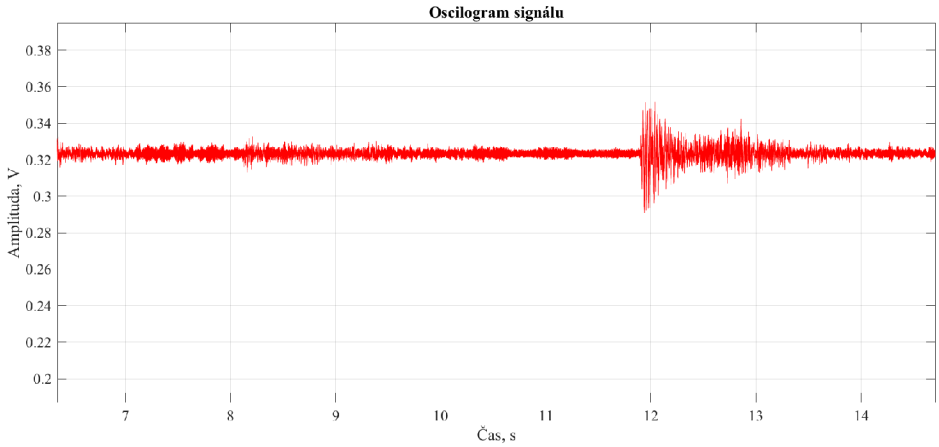


Obr. 6.9: Oscilogram signálu otevření/zavření racku (měřeno interferometrem).

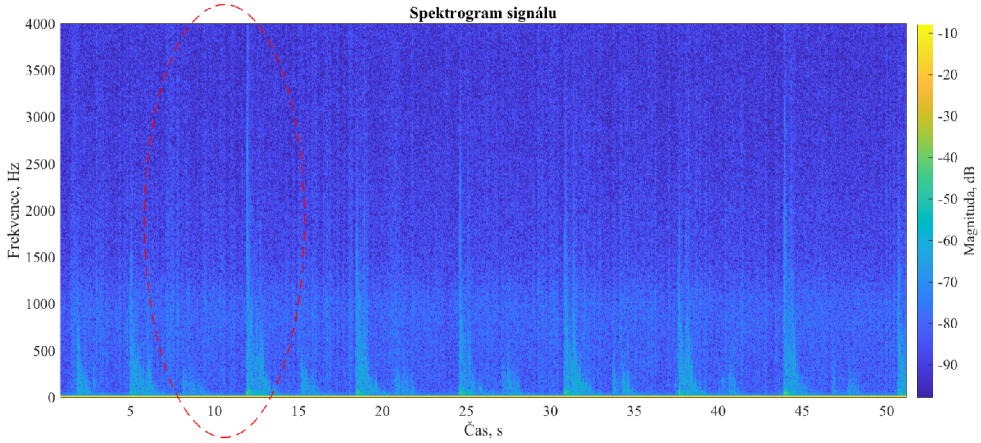


Obr. 6.10: Spektrogram signálu při otevření/zavření racku (měřeno interferometrem).

Na obr. 6.11 a obr. 6.12 jsou zobrazeny oscilogram a spektrogram průběhu signálu otevření/zavření dveří racku naměřeného polarimetrem. Je vidět, že větší amplituda odpovídá okamžiku zavření dveří. To samé je znázorněno ve frekvenční analýze, kde výraznější vrchol nastával při zavření dveří.



Obr. 6.11: Oscilogram signálu otevření/zavření racku (měřeno polarimetrem).



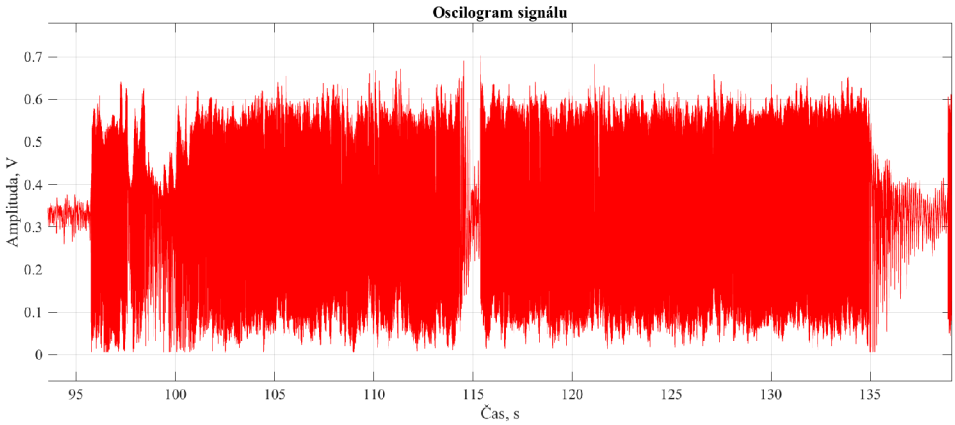
Obr. 6.12: Spektrogram signálu při otevření/zavření racku (měřeno polarimetrem).

6.3 Detekce pohybu projekčního plátna

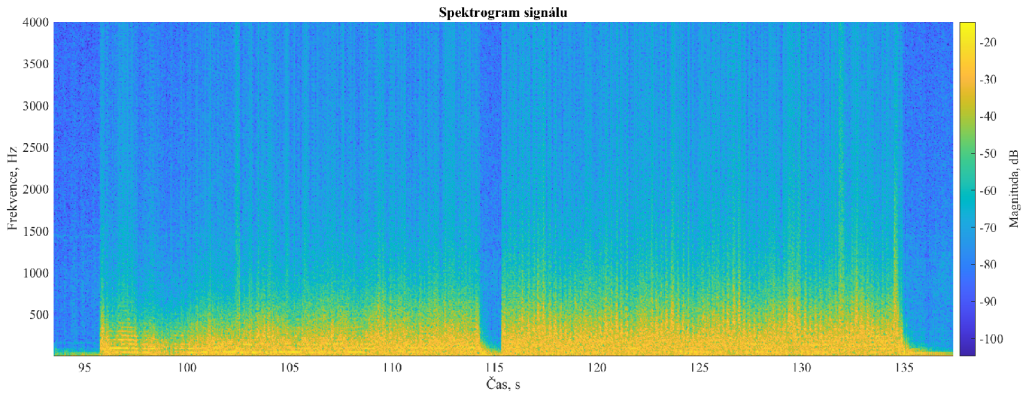
Za další možnou ukázku bylo zvoleno provedení detekce pohybu projekčního plátna. Pro posouzení možných výsledků bylo zkoušeno 6 krát manipulovat s plátnem, kdy na začátku vyjíždělo směrem dolů a za krátký okamžik jelo zpátky nahoru, přičemž každý zmíněný pohyb buď směrem nahoru, nebo dolů byl doprovázen charakteristickým zvukem.

6.3.1 Zpracování měření při použití kabelu o průměru 2 mm

Z amplitudové charakteristiky a provedené frekvenční analýzy obr. 6.14 obdržené z interferometru je možné pozorovat okamžiky posunutí plátna. Obr. 6.14 a 6.15 demonstrují zachycenou samotnou manipulaci.

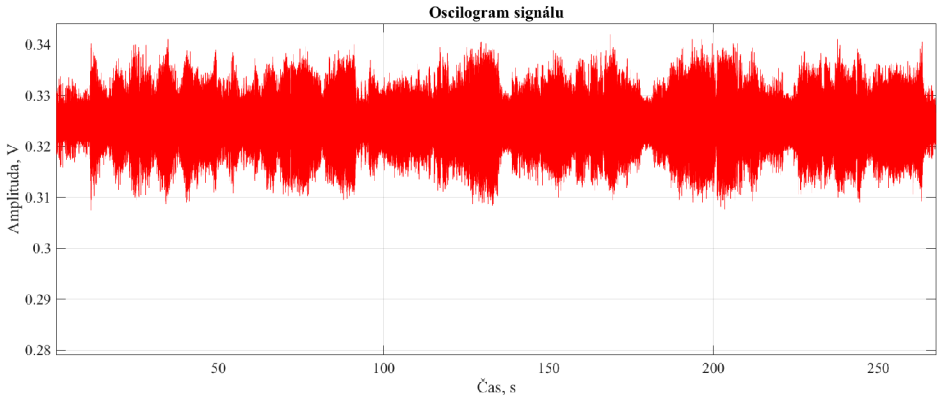


Obr. 6.13: Oscilogram signálu při manipulaci s platném (měřeno interferometrem).

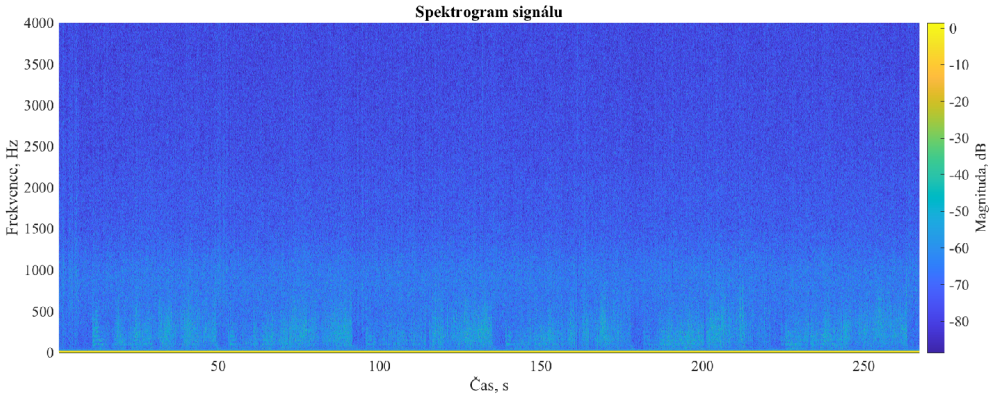


Obr. 6.14: Spektrogram signálu při manipulaci s platném (měřeno interferometrem).

Na obr. 6.13 je amplitudová charakteristika signálu a je dobře vidět, že na začátku se plátno rovnoměrně posouvalo, potom se krátce zastavilo a následně se posouvalo pravděpodobně zpátky. Frekvenční analýza pak znázorňuje, že převážná část energie signálu je pod 500 Hz, avšak frekvenční složky dosahují 4000 Hz.



Obr. 6.15: Oscilogram signálu při manipulaci s platném (měřeno polarimetrem).



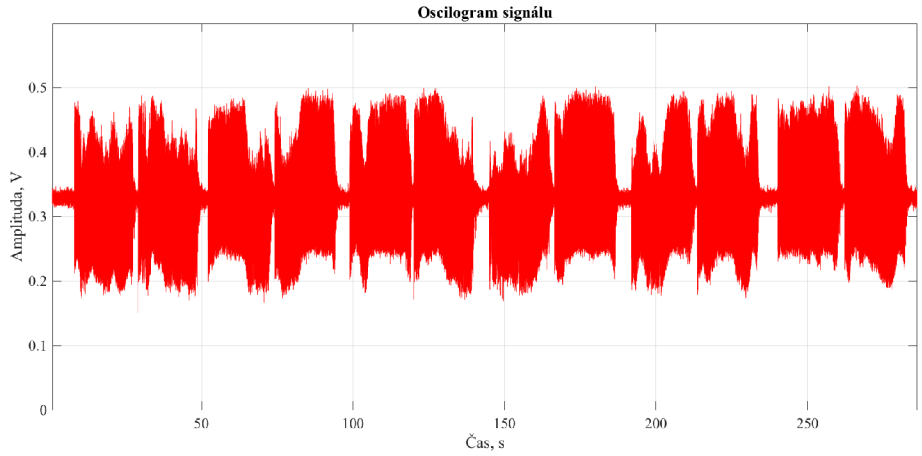
Obr. 6.16: Spektrogram signálu při manipulaci s platném (měřeno polarimetrem).

Výsledky z polarimetru: na obr. 6.15 je amplitudová charakteristika průběhu celého signálu, jde rozlišit jednotlivé pohyby plátna, ale nejsou tak dobře srozumitelné jako při použití interferometru.
Ze spektrogramu pak je vidět jenom frekvenční složky do 500 Hz, s velkou pravděpodobností je příčinou obsah šumu výsledného záznamu.

6.3.2 Zpracování měření při použití kabelu o průměru 0,25 mm

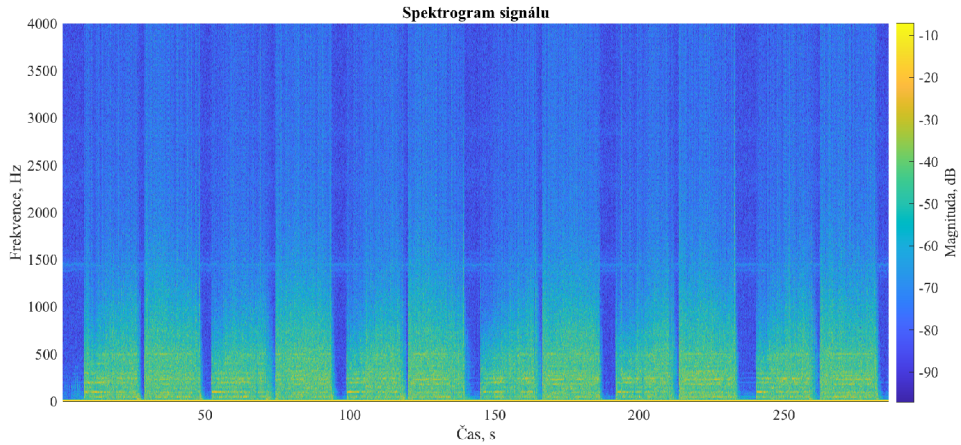
Výstup z tohoto měření byl probrán na základě celého záznamu signálu z interferometru. Je patrné z obr. 6.17, že celkem bylo šest momentů manipulace, je možné také pozorovat momenty postupného pohybu plátna dolů a následně nahoru.

Obr. 6.18 je spektrogramem celého záznamu signálu pohybu plátna, z něhož je možné odvodit, že převážná část energie signálu je kolem 1000 Hz a celkově frekvenční rozsah je kolem 4000 Hz. Také byl zachycen konstantní šum s frekvencí 1500 Hz, podobný záznam je při měření otevření/zavření racku 6.10. Při měření v laboratoři se nacházela další elektrická zařízení, která mohla vyvolat zvuk z tohoto



Obr. 6.17: Oscilogram signálu při manipulaci s platném (měřeno interferometrem).

rozsahu frekvence. Takže můžeme připustit, že je to záznam toho zvuku.



Obr. 6.18: Spektrogram signálu při manipulaci s platném (měřeno interferometrem).

6.4 Vyhodnoceni naměřených dat

Celá sada scénářů měření byla analyzována a vyhodnocena pomocí nástroje Matlab. Základními způsoby pro analýzu byly zvolené reprezentace skutečného obrazu zvukového vlnění, frekvenční analýza v čase. V práci jsou zahrnuté analýzy dvou scénářů: detekce otevření/zavření dveří racků a manipulace s projekčním plátnem.
Jak už bylo zmíněno dříve, měření se uskutečnila prostřednictvím dvou optických vláknových kabelů: s průměrem 2 mm a 0,25 mm. Oba dva jsou vhodné pro provedení takových činností. Z výše uvedených vyhodnocení měření je patrné, že data obdržená z interferometru vypadá přesnější než s polarimetru.

Závěr

Tato práce je věnovaná úniku informací prostřednictvím stávajících optických vláknových infrastruktur uvnitř budov. Bylo probráno jak vnitřní datové rozvody se realizují, zmíněny zde základní kabelážní systémy a možností vedení vnitřní kabeláži uvnitř budov. Byly analyzovány možnosti detekce akustických a mechanických vibrací místnosti prostřednictvím optického vláknového mikrofonu, probrané metody realizace optických vláknových mikrofonu: Mach-Zehnderova, Michelsonova, Sagnacova a Fabryova-Perotova a optické vláknové snímaní založené na Braggových vláknových mřížkách. V kapitole chování zvuku v uzavřeném prostoru popsáno, že šíření zvuku uzavřeném prostorem se liší od šíření volném prostorem kvůli výskytu více překážek při šíření zvukové vlny.

Praktická část práce spočívala v měření optickým vláknovým mikrofonem podle vybraných scénářů měření: detekce lidské řeči, detekce akustických a mechanických vibraci místností a detekce telefonního hovoru. Měřením dospělo k výsledku, že mikrofon z optických vláken je dost citlivý nastroj a pro takový účel jak detekce výše zmíněných zvuku je vhodný, jen že vyžaduje pro kvalitní odposlech splnění určitých podmínek podle toho o detekcí jakého druhu informaci se jedna. Taký pro analýzu obdržených dat bude potřeba provést filtrací šumu jelikož kvůli vysoké citlivosti výsledné nahrávky to obsahuji. Mikrofon je těžko detekovatelný, nevyzařuje žádné elektromagnetické záření a díky svému malému rozměru může být umístěn skrytě. Taký se uskutečnilo měření pomocí distribuovaného optického vláknového senzoru. Provedená analýza dvou scénářů měření: detekce pohybu projekčního platná a otevíraní/zavírání dveří racku. Dosazené výsledky dovolují říct, že optické vláknové senzory pro zkoumaní takových manipulací a odposlech místnosti jsou vyhovující.

Z pohledu prevence odposlechu je potřeba pochopit, kde a jak lze organizovat odposlech. Ochranu proti němu lze provést preventivní vizuální kontrolou. Jako ochranu soukromých konverzací je možné používat speciální zkontrolované prostory. Protože je optické vláknové senzory jsou navázané na vnitřní optický rozvod, doporučuje se, aby se optické kabely pokládaly co nejvíce izolovaně od vnějšího vlivu.

Literatura

[1] RAMASWAMI, Rajiv, Kumar N SIVARAJAN a Galen H. (Galen Hajime) SASAKI. *Optical networks: a practical perspective.*San Francisco: Morgan Kaufmann Publ., 1998. Morgan Kaufmann series in networking. ISBN 1-55860-445-6.

[2] J. LAFERRIERE, G. LIETAERT, R. TAWS a S. WOLSZCZAK. Reference Guide to Fiber Optic Testing. Second edition. 2011. [cit. 2020-11-21].

[3] Indoor Fiber Optic Cable. In: Indoor Fiber Optic Cable [online]. [cit. 2020-11-21]. Dostupné z URL: <https://www.huihongfiber.com/indoor-fiber-optic-cable.html>

[4] Strukturovaný kabelážní systém příručka. Dostupné z URL: <https://docplayer.cz/16238535-Strukturovany-kabelazni-system-manual.html>

[5] *ANSI/TIA/EIA-569-A.* 1998.

[6] YU WANG, HONGYU YUAN, XIN LIU, QING BAI, HONGJUAN ZHANG, YAN GAO a BAOQUAN JIN.A Comprehensive Study of Optical Fiber Acoustic Sensing. IEEE Access.

[7] Doc. Ing. KAŇKA J., Ph.D., Stavební fakulta ČVUT Praha. Šíření zvuku v uzavřeném prostoru – difúzní zvukové pole. [cit. 2020-12-6] Dostupné z URL: <https://stavba.tzb-info.cz/akustika-staveb/227-sireni-zvuku-v-uzavrenem-prostoru-difuzni-zvukove-pole>

[8] Základy šíření zvuku. Dostupné z URL: <http://electrovoice.com.ua/articles.php?id=65>

[9] Strukturované kabelové systémy. Dostupné z URL: <https://it.rfei.ru/course/ 9xb8/ Qu6kzK0x/ SxPTsKi5>

[10] KRÁLOVÁ, Magda. ZÁKLADY FYZIOLOGICKÉ AKUSTIKY. In: Základy fyziologické akustiky| Eduportál Techmania [online]. [cit. 2020-12-11]. Dostupné z URL: https://edu.techmania.cz/cs/encyklopedie/fyzika/akustika/zaklady fyziologicke-akustiky>

[11] FiberScience. Optický vláknový mikrofon. Dostupné z URL: <http://www.contact-centr.ru/idei-dlya-biznesa/fiberscience-optovolokonnyiy-mikrofon.html>.

[12] Sennheiser Introduces Optical Microphone For Industrial Medical Applications. Dostupné z URL: <https://www.prosoundweb.com/sennheiser-introduces-optica l-microphone-for-industrial-medical-applications/>.

[13] Hovorový kanál [online]. [cit. 2020-12-7]
Dostupné z URL: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Hovorovový-kanál>.

[14] Optimic microphones [online]. [cit. 2020-12-7].
Dostupné z URL: <https://www.optoacoustics.com/industrial/optimic-microphones/optimic-1155>

[15] Fiber Bragg Grating [online]. [cit. 2020-12-7].
Dostupné z URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/File:FiberBraggGrating-en.svg>

[16] prof. PhDr. KRČMOVÁ M., CSc, Filozofická fakulta Masarykovy univerzity. Fonetika a fonologie. [cit. 2020-12-6] Dostupné z URL: <https://is.muni.cz/elportal/estud/ff/ps09/fonetika/tisk-2009/ch07.html>

[17] Interference. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2020-12-2]. Dostupné z URL: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Interference>

[18] OPTICAL FIBER SENSORS: Advanced Techniques and Applications [online]. CRC Press. Boca Raton, FL: Taylor Francis Group, 2015 [cit. 2021-5-15]. ISBN 978-1-4822-2829-8. Dostupné z: <https://books.google.cz/books?id=Vk-3BgAAQBAJlpg=PP1ots=YllitJ7271lrpg=PA2v=onepageqf=false>

Seznam příloh