

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Katedra technologických zařízení staveb



Bakalářská práce

**Možnosti uplatnění technologie LiFi v bytovacích
zařízeních**

Sirotek Petr

© 2023 ČZU v Praze

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Petr Sirotek

Procesní inženýrství
Technologická zařízení staveb

Název práce

Možnosti uplatnění technologie LiFi v ubytovacích zařízeních

Název anglicky

Possibilities of applying LiFi technology in accommodation facilities

Cíle práce

Cílem práce je posouzení vhodnosti nasazení technologie LiFi v případě ubytovacích provozů a diskutovat klady a zápory takového nasazení technologie. Realizovat návrh řešení pro konkrétní objekt včetně změn topologie lokální sítě a její správy. Součástí projektu je i finanční kalkulace.

Metodika

1. Úvod
2. Cíl práce a metodika
3. Fyzikální principy technologie
4. Teoretické parametry a limity
5. Možnosti nasazení v konkrétním provozu
6. Praktické ověření – projekt
7. Finanční kalkulace a změny v topologii sítě
8. Závěry a doporučení

Doporučený rozsah práce

30 až 40 stran textu včetně obrázků, grafů a tabulek

Klíčová slova

FSO, LiFi, LAN

Doporučené zdroje informací

Almadani, Y.; Plets, D.; Bastiaens, S.; et al.: Visible Light Communications for Industrial Applications-Challenges and Potentials, ELECTRONICS Volume: 9 Issue: 12 Article Number: 2157
Published: DEC 2020
firemní literatura Philips např.: <https://www.lighting.philips.cz/vzdelavani/blog-budoucnost-svetla/svetlo-ve-meste/pripojeni-pomoci-osvetleni-li-fi>
"IEEE 802.15 WPAN Task Group 7 (TG7) Visible Light Communication". IEEE 802 local and metro area network standards committee. 2009. Retrieved June 28, 2011
Lee, I.E.; Sim, M.L.; Kung, F.W.L.; , "Performance enhancement of outdoor visible-light communication system using selective combining receiver," Optoelectronics, IET , vol. 3, no. 1, pp. 30–39, February 2009.
PragueBest s.r.o. "Free Space optics (FSO) with capacity 10 Gigabits Full Duplex – EC System". www.ecsystem.cz. Retrieved 14 March 2018.

Předběžný termín obhajoby

2022/2023 LS – TF

Vedoucí práce

Ing. Zdeněk Votruba, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra technologických zařízení staveb

Elektronicky schváleno dne 1. 2. 2022

doc. Ing. Jan Malaták, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 23. 2. 2022

doc. Ing. Jiří Mašek, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 03. 03. 2023

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Možnosti uplatnění technologie LiFi v ubytovacích zařízeních" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu použitých zdrojů na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval panu Ing. Zdeňku Votrubovi, Ph.D. za pomoc při výběru téma, jeho pomocné rady a vedení při tvorbě této bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat svojí přítelkyni za podporu a pomoc při tvorbě formální stránky této práce. Závěrečné poděkování patří mojí rodině, která mi umožnila v klidu tvořit.

Možnosti uplatnění technologie LiFi v ubytovacích zařízeních

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá možnostmi uplatnění technologie LiFi v ubytovacích zařízeních. V první části práce je vysvětlen rozdíl optických bezdrátových přenosů, princip fungování a dostupné komerční produkty. Poté je definováno a rozděleno do podle klasifikace ubytovací zařízení. Po určení a vysvětlení dnešních požadavků a nároků ubytovacích zařízení na bezdrátové sítě, jsou provedeny úvahy nad použitím této technologie. Vysvětleny výhody i nevýhody této technologie oproti stávajícím systémům. V druhé části práce je provedeno měření na vybraných produktech. Hlavní zaměření bylo na dosah jednotlivých produktů a jejich rychlost v závislosti na vzdálenosti vysílače od přijímač, dále odezva a čas na opětovné připojení. Následně byl zhotoven finanční model jednotlivých produktů na zhotovení sítě a porovnání se produkty založené na principu rádiové technologie.

Klíčová slova: LiFi, LAN, optický přenos, bezdrátové sítě, optický bezdrátový přenos, ubytovací zařízení.

Possibilities of applying LiFi technology in accommodation facilities

Abstract

This bachelor's thesis deals with the possibility of applying LiFi technology in accommodation facilities. The first part of the thesis explains the difference between optical wireless transmissions, the principle of operation and available commercial products. It is then defined and divided into according to the classification of accommodation facilities. After determining and explaining today's needs and requirements of accommodation facilities for wireless networks, considerations are made for the use of this technology. The advantages and disadvantages of this technology compared to existing systems are explained. In the second part of the work, measurements are made on selected products. The main focus was on the range of individual products and their speed depending on the distance of the transmitter from the receiver, as well as the response and the time to reconnect. Subsequently, a financial model of individual products was made for the construction of the network and compared with products based on the principle of radio technology.

Keywords: LiFi, LAN, optical transmission, wireless networks, optical wireless transmission, accommodation facilities.

Obsah

1	Úvod	1
2	Cíl práce	2
2.1.	Metodika	2
3	Bezdrátové komunikační technologie	3
3.1	Rádiové	3
3.2	Mikrovlnné	4
3.3	Optické	5
4	LiFi	7
4.1	Historie	7
4.2	Princip fungování	10
4.3	LiFi komponenty	14
4.4	Výrobci	15
4.4.1	Porovnání nabízených produktů	16
5	Porovnání s WiFi	21
6	Ubytovací zařízení	23
6.1	Klasifikace ubytovacích zařízení	23
6.2	Historický vývoj a dnešní nároky na připojení	25
6.3	Způsoby zabezpečení bezdrátových sítí	26
7	Úvaha pro použití LiFi	27
8	Topologie sítě	30
8.1	Možnosti připojení	33
8.2	Změny v topologii	34
8.3	Možnosti kombinace s WiFi	34
9	Praktická realizace	38
9.1	Použité LiFi komponenty	38
9.1.1	Trulifi 6002	38
9.1.2	Trulifi 6013	39
9.2	Měřicí prostředí	40
9.3	Vyhodnocovací software	40
9.4	Metodika měření	42
10	Výsledky měření	42
10.1	Měření na zařízení Trulifi 6002	43
10.2	Měření na zařízení Trulifi 6013	45

11	Zhodnocení naměřených výsledků	47
12	Finanční kalkulace přechodu na LiFi.....	48
13	Závěr.....	50
14	Seznam zdrojů	51
15	Přílohy	54

Seznam Obrázků:

Obr. 1	Porovnání VLC s LiFi	6
Obr. 2	Znázornění „Fotofónu“	8
Obr. 3	Zobrazené spektrum použité u LiFi a porovnání velikostí s rádiovými vlnami	10
Obr. 4	Zobrazení vzájemného rušení, kdy červené plochy zobrazují překrývající se signály.....	12
Obr. 5	Přenosová rychlost závislá na zdroji světla	13
Obr. 6	Pokrytá plocha podle výšky umístění vysílače TruLiFi 6002.....	18
Obr. 7	Dongle od firmy PureLiFi, připojený k uživatelskému počítači	19
Obr. 8	Porovnání technologie WiFi (vlevo) s LiFi (vpravo)	21
Obr. 9	a)hexagonální model b)poissonův model c)mřížkový model d)Hardcore bodový model	31
Obr. 10	Ukázka možnosti realizace sítě pomocí TruLiFi 6002.....	32
Obr. 11	a)Giga Dock b)GigaBeam c)Giga shower d)Giga MIMO	33
Obr. 12	Schéma hybridní sítě.....	37
Obr. 13	Zařízení Trulifi A)dongle B)vysílač C modem (AP)	39
Obr. 14	Zařízení TruLiFi 6013 A)vysílač/přijímač B)přenos mezi vysílačem a přijímačem	39
Obr. 15	Program TamoSoft ve verzi server	41
Obr. 16	Program TamoSoft ve verzi klient	41

Seznam tabulek:

Tab. 1	Přehled používaných frekvencí jejich dosah a přenosová rychlost.....	4
Tab. 2	Přehled cen a parametrů jednotlivých LiFi produktů	20
Tab. 3	Průměrné hodnoty z měření na zařízení Trulifi 6002.....	43
Tab. 4	Průměrné hodnoty z měření na zařízení Trulifi 6013.....	45
Tab. 5	Realizace sítě pomocí Signify.....	48
Tab. 6	Realizace sítě pomocí Oledcomm	49
Tab. 7	Realizace sítě pomocí PureLiFi	49
Tab. 8	Realizace sítě pomocí WiFi	49

Seznam grafů:

Graf 1 Přenosové rychlosti v závislosti na vzdálenosti Trulifi 6002	43
Graf 2 odezva a čas při opětovném připojení Trulifi 6002	44
Graf 3 Přenosové rychlosti v závislosti na vzdálenosti Trulifi 6013	45
Graf 4 Odezva a čas při opětovném připojení Trulifi 6013	46

Seznam zkratk:

WAN	Wide Area Network
MAN	Metropolitan Area Network
LAN	Local Area Network
WiFi	Wireless Fidelity
FSO	Free Space Optics
OBS	Optický Bezdrátový Spoj
VLC	Visible Light Communications
LiFi	Light Fidelity
LED	Light Emitting Diode
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
AP	Access Point
IR	Infrared
ČTÚ	Český Telekomunikační Úřad
SCM	Single Carrier Modulation
OOK	ON-OFF Keying
PPM	Pulse Position Modulation
PAM	Pulse Amplitude Modulation
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
CSK	Color Shift Keying
NOMA	Non Orthogonal Multiple Access
RGB	Red Green Blue

1 Úvod

V 70. letech 20. století vznikl jeden z největších vynálezů lidstva internet. S jeho rozvojem se stával čím dál důležitější. Z propojení několika studentských počítačů na Havaji se postupně rozšířil do celého světa. Dnes si bez něho nedokážeme představit chod společnosti. Jeho využití je ve všech odvětvích na světě. Plně digitalizované je dnes bankovníctví, ale i další důležité instituce, u kterých by mohlo dojít k odcizení dat, nebo při odpojení od sítě by mohlo dojít k nedozírným následkům, které si snad už ani nedokážeme představit. Proto je důležitá jeho bezpečnost a provozuschopnost. Jsou však místa, kde současné technologie nefungují jak by měly, nebo u nich nelze v daném prostředí zaručit jejich technické parametry.

Z tohoto důvodu, ale také pro další vývoj a třeba i větší ekologii, jsou potřeba alternativy ke stávajícím systémům, které je buď úplně nahradí nebo s nimi budou spolupracovat. Jedním z nich je i nový systém LiFi, který byl představen teprve v roce 2011 a slibuje parametry, kterých nynější technologie nedosahují a to vše ještě s úsporou energie. LiFi je sice stále v procesu vývoje, ale spousta lidí věří, že jednou bude rozšířené a zcela běžné jako wifi, nebo ji zcela nahradí.

Toto téma bylo vybráno z důvodu zájmu o nové technologie, jejich vývoj, porovnává současné technologie a jejich uplatnění.

Nejprve bude představena technologie LiFi, bude řečeno, proč je převratná, co může nabídnout, jakých rychlostí lze dosáhnout a jaká je její historie, z jakých komponent se skládá. Současné výrobce a bude posouzen vývoj oproti očekávání při odhalení v roce 2011, poté porovnání s technologií radiových vln tedy wifi, jak si proti nyní nejrozšířenější technologii stojí, v čem je výhodnější a kde má zatím problémy. Porovnání technických parametrů a jak se liší jednotliví výrobci od teoretických hodnot. Poté se přejde ke klasifikaci ubytovacích zařízení a vysvětlení aktuálních nedostatků současných technologií, které se zde používají a pokusí se vysvětlit v čem by mohla být LiFi technologie výrazně lepší.

Na závěr budou vysvětleny rozdíly v topologii sítě a způsoby připojení k síti u každé zvlášť. Nakonec proběhne ověření dat udávaných výrobcem jednoduchým experimentem a zkontroluje se dosah přístrojů. Proběhne sestavení finančního modelu pro realizaci ve virtuálním hotelu za využití, jak WiFi, tak LiFi.

2 Cíl práce

Cílem této práce je posouzení vhodnosti použití technologie LiFi v ubytovacích zařízeních. Pro toto zjištění je nutné si představit samotnou technologii. Zjistit princip fungování, její limity použití. Zároveň je nutné si představit aktuální produkty a jejich technické parametry. Porovnat technologii LiFi se stávajícími používanými bezdrátovými technologiemi, především WiFi. Poté je nutné definovat ubytovací zařízení, jejich kategorie a úrovně. Zjistit současné požadavky ubytovacích zařízení na bezdrátové sítě. Zasadit LiFi do prostředí ubytovacích zařízení a zjistit, výhody a nevýhody jejich použití. Po tomto zjištění, lze vytvořit několik úvah na možnosti využití a aplikací ve stávajících provozech. Na závěr prakticky ověřit teoretické parametry zařízení Trulifi, udávané výrobcem s naměřenými hodnotami a dosahované vzdálenosti.

2.1. Metodika

První část této práce byly studovány materiály a odborné články o bezdrátových sítích. Poté byly studovány odborné články za účelem zjištění principu fungování technologie LiFi, její teoretická omezení, dosavadní vývoj a dosažené úspěchy. Dále byly zjišťováni výrobci LiFi zařízení a jejich komerční produkty. V závěru této části byly studovány materiály ohledně nejrozšířenější bezdrátové technologií WiFi, aby bylo možné tyto dvě technologie porovnat.

V druhé teoretické části budou byly prostudovány materiály a odborné články o ubytovacích zařízeních jejich definice a rozdělení do kategorií. Studování proběhlo od historie po jejich vývoj až do současnosti. Byly zkoumány i současné požadavky na bezdrátové sítě v ubytovacích zařízeních. Na základě znalostí definic ubytovacích zařízení byla provedena úvaha nad použitím technologie LiFi. Na závěr byly studovány odborné práce ohledně topologie LiFi a změnám oproti současným bezdrátovým sítím.

Pro ověření teoretických dat bylo provedeno měření. Byly použity přístroje od společnosti Signify, model Trulifi 6002 a Trulifi 6013. Bylo nutné nastudovat příručky a materiály ohledně těchto zařízení. Poté byl nastudován program na zaznamenání měřených dat TamoSoft. Aby bylo možné naměřená data porovnat, bylo nutné nastudovat parametry obou modelů.

3 Bezdrátové komunikační technologie

Bezdrátové komunikační systémy pracují bez fyzického spojení, tedy bez kabelu, propojují uživatele s vysílačem signálu. Jejich rozvoj způsobil masivní požadavky při vývoji internetu, jejich použití je všestranné, v WAN, MAN a LAN sítích nebo se používá i pro komunikaci ve vesmíru mezi družicemi. Systémy můžou fungovat na typu spojení bod-bod, tedy spojení dvou pevných či jednoho pohyblivého cíle, nebo bod-více bodů, nejčastěji používáno v LAN sítích, kde umožňuje mobilitu. Uplatnění této technologie lze nalézt ve všech odvětvích od ovladače na televizi přes školství, telekomunikaci, domácnosti, kanceláře až po letectví. Vývoj začal po druhé světové válce a v posledních desetiletích je vývoj a poptávka takřka exponenciální. *“Bezdrátová datová komunikace se stala nezbytnou součástí našeho osobního i profesního života.”* přeloženo z (1). O tomto tvrzení svědčí i fakt, že nyní se na trhu nachází technologie 5. generace. (1) (2)

bezdrátové komunikační systémy lze rozdělit na systémy využívající rádiové vlny, mikrovlnné systémy a optické zařízení, kdy každý z nich se liší používaným zařízením ale i využívaným zdrojem k přenosu. Bezdrátové komunikační systémy se dají dělit i z hlediska použití na vnitřní a venkovní. (3, s. 1)

3.1 Rádiové

Rádiové bezdrátové systémy využívají k přenosu dat rádiové vlny, jedná se o nejrozšířenější bezdrátovou technologii. Rozvoj této technologie odstartoval vynález radaru koncem druhé světové války a po jejím ukončení začal vývoj i v civilním světě. Rádiové spoje se nejčastěji dělí podle použité frekvence, buď licencované nebo nelicencované. Rádiové bezdrátové systémy pracují na principu bod-více bodů, tedy systém, kde se k jednomu vysílači může připojit více uživatelů. (4)

Regulace licenčních pásem frekvence je kontrolována na evropské úrovni pomocí orgánu CEPT, český úřad zabývající se kontrolou na našem území se nazývá Český telekomunikační úřad (ČTÚ). Kontrola a omezení frekvencí se zavedlo z důvodu rušného provozu a vzájemné blokáce. Proto mají tyto úřady na starosti bezpečný a bezproblémový chod pro telekomunikační účely, ale i pro vojenskou činnost či družice. Je nutné si uvědomit, že regulaci podléhá cokoli, co využívá rádiové vlny ke komunikaci, jedná se tak například i o RC hračky. Za využívání licencovaných frekvencí se hradí poplatek a ČTÚ musí tyto frekvence regulovat, aby se nepřekrývaly, pokud bude mezi body probíhat komunikace pomocí jedné frekvence na dlouhou vzdálenost nikdo mezi těmito body nesmí využívat stejnou frekvenci, aby nedošlo k blokáci a ztrátě spojení. Systémy pracující v licencovaných pásmech mají tedy výhodu, že nejsou nikým rušeny. Mobilní operátoři využívají celé rádiové

spektrum, aby optimalizovali svůj výkon u každé služby. U nelicencovaných systému jsme limitováni a zvyšování výkonu není možné. (4) (5)

Licencované frekvence se nejčastěji používají pro komunikaci bod-bod a jejich použití je od 4GHz do 80GHz (viz. tab. 1). *“Čím nižší je frekvence rádiového spoje, tím nižší je úbytek vyzářené energie při dešti a v prostředí.”* (4). Tady se již pohybujeme s dosahem v řádu jednotek až desítek kilometrů.

Frekvenční pásmo [GHz]	Vhodné pro délku spojení [km]	Přenosová kapacita [Gb/s]	Licence ČTÚ
2,4	0,25	0,3	Volná
5	0,14	0,9	Volná
6	60	0,5	Placená
10	15	0,5	Volná
11	35	1,4	Placená
18	20	2	Placená
42	5	2	Placená
60	0,25	10	Volná
80	3	10	Volná

Tab. 1 Přehled používaných frekvencí jejich dosah a přenosová rychlost (Zdroj: (4) - upraveno dle autora)

Nelicencované frekvence se nejčastěji používají v LAN sítích, jedná se o frekvence využívané technologií Wireless-Fidelity (WiFi), která se stala nejrozšířenější technologií pro LAN sítě. *“WiFi, ačkoli bylo původně zamýšleno především jako bezdrátové rozšíření kancelářských ethernetů”* přeloženo z (5), se dnes stal všudy přítomný. Jedná se o střední frekvence 2,4, 5 a 60 GHz. Jelikož se jedná o lokální sítě, dosah při použití nižších frekvencí je do 100 m, při použití frekvence 60GHz do 250 m. Frekvence 60GHz se řadí do nelicencovaných, díky snaze pro zvětšení rozsahu volně přístupné frekvence a zamezení jejího nedostatku, ale také pro její použití na krátké vzdálenosti. WiFi se dělí podle zavedených standardů 802.11, první zavedený standard byl v roce 1999 a nesl označení 802.11a a nejnovější standard z roku 2021 nese označení 802.11 ax. (4) (5)

3.2 Mikrovlnné

“Mikrovlnný bezdrátový přenos energie je technologie, která využívá mikrovlnná zařízení k přeměně elektrické energie na elektromagnetickou energii a bezdrátově přenáší mikrovlnnou elektromagnetickou energii v prostoru prostřednictvím vysílací antény a přeměňuje elektromagnetickou energii na elektrickou energii a dodává ji elektrické zátěži po nápravě.” přeloženo z (6). Nad 100MHz se elektromagnetické vlny šíří přímočaře, jejich energie se poté směřuje do úzkého paprsku. Aby technologie fungovala je zapotřebí dvou parabolických antén

v přímé viditelnosti. Díky úzkému paprsku nedochází k vzájemnému rušení, paprsek může být využíván na dlouhé vzdálenosti, ale většinou kvůli krajině nebo zakřivení země se jedná o desítky kilometrů, ovšem paprsek lze však zachytit anténou a poslat dále, vytvoří se tedy jakési body sítě podobné Mesh sítím WiFi. Systém se skládá z mikrovlnného generátoru, vysílací antény, přijímací antény a zesilovače signálu. Výkon celého systému závisí na anténách. (6)

Technologie má výhodu vysoké přenosové rychlosti na dlouhé vzdálenosti, pracuje se stejnosměrným zdrojem energie. Další výhodou této technologie je nejen přenos, ale cílové zařízení se dá tímto přenosem i nabíjet. V praxi by se to dalo využít například u bezpilotních letounů. (6)

3.3 Optické

Optické bezdrátové spoje používají k přenosu světelný paprsek, hlavní rozdělení této technologie je podle zdroje světla. FSO český název není zaveden, ale nejčastěji je používán název optický bezdrátový spoj (OBS), který využívá laseru. Systém VLC z jehož koncepce později vznikla technologie Light-fidelity (LiFi) používá jako zdroj LED diody.

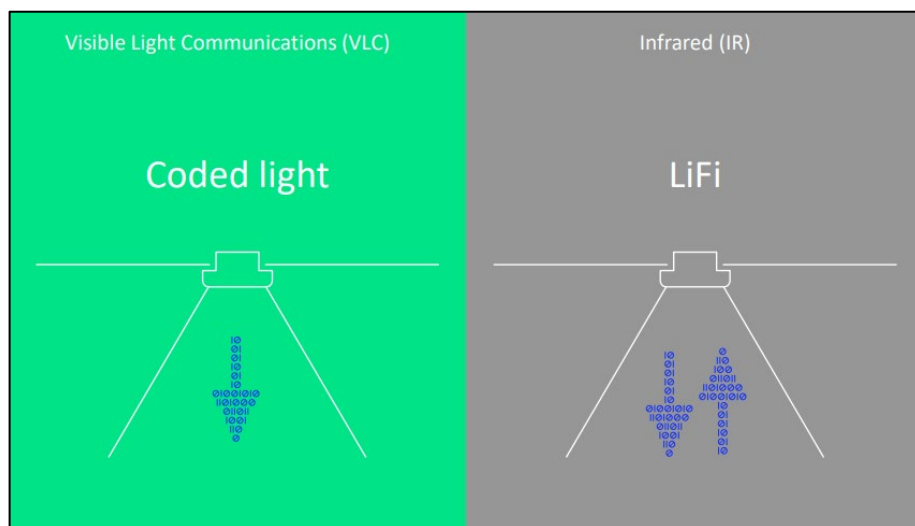
Technologie FSO je určena pro vnitřní i venkovní použití. Vnitřní použití FSO není povoleno z bezpečnostního hlediska používání laseru na výkon, který by mohl ohrozit lidské zdraví. Proto nedosahují přenosových rychlostí a vzdáleností jako venkovní systémy a nejsou výhodné ani z energetického hlediska. Právě zde nachází své hlavní uplatnění LED dioda. (3, s. 6)

Uplatnění FSO je nejčastěji ve spojení bod-bod, může tvořit i síť vysílačů a jeho využití je například pro komunikaci pozemních stanic s družicemi nebo komunikace satelitů mezi sebou, pozemní využití našlo své uplatnění pro některé vládní budovy pro svou bezpečnost nebo místa, kde není pokládání kabelů možné, nebo je finančně velmi nákladné. (3, s. 11)

Systém musí být navržen tak, aby vlnová délka laseru nezpůsobila zranění očí či pokožky, systém musí být vybaven automatickou detekcí vstupu do paprsku a tím musí snížit vyzařovaný výkon paprsku. *“Mikrovlny a paprsky gama jsou absorbovány lidským okem a mohou způsobit vysoký stupeň poškození čoček a sítnice. Blízké ultrafialové (UV) vlnové délky jsou absorbovány v čočce a způsobují jejich zakalení, což vede ke slabému vidění nebo rozmazání”* přeloženo z (3, s. 32) *“Lasery mohou způsobit poškození naší kůže tím, že způsobí tepelné popáleniny nebo fotochemické záření reakce. Průnik laserového paprsku do lidského těla závisí na volbě provozní vlnové délky. UV paprsky jsou absorbovány vnější vrstvou kůže a mohou způsobit rakovinu, nebo předčasná stárnutí kůže.”* Přeloženo z (3, s. 33).

Klasifikace použitého laseru se řadí od třídy 1, tedy laser s velmi nízkým výkonem a velkou bezpečností použití pro lidské zdraví, až po třídu 4 velmi výkonné lasery s velkým nebezpečím pro lidské zdraví. (3, s. 35)

“LiFi je bezdrátová komunikační technologie, která využívá infračervené a viditelné spektrum světla pro vysokorychlostní přenos dat.” Přeloženo z (2). LiFi vychází z technologie VLC, která používá k bezdrátové komunikaci LED diody jako světelný zdroj. Systém byl navrhnut na přenos mezi body, tedy jako náhrada kabelů. Byl zaveden standard v rámci IEEE 802.15.7, ale v současné době je v něm zahrnuto i LiFi, které se od VLC liší v obousměrné komunikaci (viz. obr. 1) za pomoci infračerveného světla v přijímači. Realizuje komunikaci bod-více bodů a více bodů-bod. LiFi už nepopisuje pouze náhradu kabelů, ale celou síť a umožňuje tak uživateli mobilitu. (2) (7)



Obr. 1 Porovnání VLC s LiFi (Zdroj: (16))

“LiFi je pokračováním trendu přechodu na vyšší frekvence v elektromagnetickém spektru. Konkrétně lze LiFi klasifikovat jako komunikaci na vlnách nm.” přeloženo z (7). LiFi se v dnešní době začalo označovat za technologii konkurující 5G, tedy technologiím 5. generace a někteří už i LiFi do 5. generace zařazují. (1)

Na rozdíl od OBS využívá LiFi pro svůj přenos LED diody, a proto je vhodnější pro použití uvnitř budov jak z hlediska bezpečnosti, tak energetického. LiFi je do budoucna zamýšleno i pro použití mimo budovy například ve veřejném osvětlení. (3)

4 LiFi

S narůstajícím počtem zařízení je jasné, že stávající technologie nebudou stačit pro bezproblémový chod sítí. Proto se musí najít technologie, které mají buď větší rozsah pro úplné nahrazení nebo pro doplnění ke stávajícím systémům, aby nemuseli být stávající sítě omezeny.

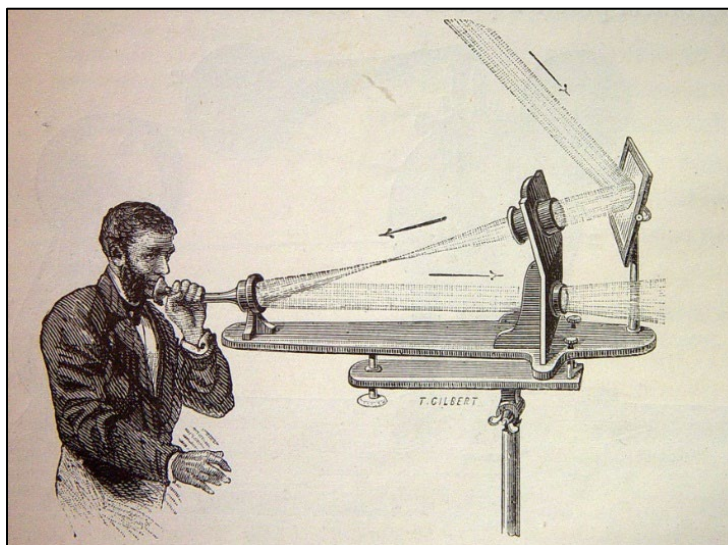
Šířka pásma světla používaného LiFi, (viditelné a infračerveného světla) je přibližně 2600krát větší než u rádiových frekvencích, která je 300 GHz. Podle statistik za posledních 10 let byl každoroční nárůst bezdrátových zařízení okolo 60 %, pokud by tento trend vydržel po dobu dalších dvaceti let, bude potřeba 12000 násobek současné šířky pásma. Pokud se vezme šířka pásma 5,4 GHz, což je nelicencované a nejvíce využívané pásmo WiFi, tak rozsah je přibližně 500 MHz. Pokud se tato šířka vynásobí požadavkem za 20 let tedy 500×12000 MHz vznikne výsledek 6THz. Pokud se vezme v potaz rozsah rádiové frekvence 0,3THz, bude zjištěno, že bude potřeba 20x větší spektrum. A to se jedná o celou šířku rádiové frekvence, pokud se vezme pouze nelicencovaná šířka pásma, jedná se o 667x větší spektrum. Když se zpět vezme LiFi, tak 6THz je pouze 0,8 % šířky pásma použití (viz. obr. 3). *“Průmysl bezdrátové komunikace na tuto výzvu reagoval tím, že zvážil využití rádiového spektra nad 10 GHz (komunikace na mm vlnách). Vyšší frekvence f však znamenají, že ztráty na cestě L se zvyšují ...”* přeloženo z (7). Celosvětově je používáno k přenosu pomocí rádiových vln momentálně okolo 1,4 milionu vysílacích věží. (2) (7)

Z těchto dat, tedy vyplývá, že se technologie LiFi hodí pro budoucí možné nahrazení, nebo alespoň ke kombinaci k rádiovým systémům.

4.1 Historie

Začátky optických přenosů sahají dávno do minulosti, kdy se pomocí ohňů a kouře dávaly signály na velké vzdálenosti, později takto sloužily např. majáky. Při popisu historie technologie LiFi nesmí být zapomenuto na VLC.

V 19. století se o přenos dat pomocí světla začal zajímat Alexander Graham Bell a byl to právě on, kdo si roku 1880 nechal patentovat tzv. “Fotofon” (anglicky photophone). Byl to přístroj pro přenos komunikace za pomoci světla z parabolického zrcadla a běžného světla (viz. obr. 2), který měnil jeho intenzitu a vysílal signál do přijímače, ten měnil světlo zpátky na zvuk. I když je dnes znám hlavně jako vynálezce telefonu nebo gramofonu, sám Bell považoval tento svůj vynález za největší. Bohužel se neuchytil, protože měl několik nedostatků, např. nefungoval za špatného počasí, dosáhl jen na malé vzdálenosti nebo komunikace mohla probíhat pouze jednosměrně. Jednalo se tedy o první systém VLC, který přenášel jako informace zvuk. Technologie byla upravena začátkem 20. století, ale díky rozvoji radiotechniky o ní nakonec zájem upadl. (8)



Obr. 2 Znárodnění „Fotofónu“ (Zdroj: (8))

Další rozvoj optických přenosů začal koncem 60. let 20. století, když Theodore H. Mainman vynalezl první funkční laser a od té doby začal vývoj FSO. Již v 70. letech se k vývoji přidalo americké letectvo s projektem komunikace satelitů s pozemní stanicí. Program dosáhl prvního velkého úspěchu v 80. letech, kdy při pokusu demonstrovali přenos dosahující 1Gb/s. Test probíhal přenosem dat z letadla na pozemní stanici. Poté probíhalo několik dalších testů, avšak další zásadní milník byl test v letech 1995-1996, kdy NASA otestovala přenos do vesmíru. (3, s. 4)

Další výrazný rozvoj přišel s nástupem LED diod, kdy v 90. letech 20. století vědci z Německa, Koreji a Japonska zjistili, že pomocí LED žárovek se dají posílat informace. Japonští vědci z Nakagawa laboratories z univerzity v Keio vytvořili v roce 2000 koncept VLC a simulovali systém pro vnitřní použití. Poté v roce 2009 vytvořili systém s přenosovou rychlostí dosahující až 100Mb/s. V Evropské unii zahájili v roce 2008 projekt OMEGA na prozkoumání VLC, který přišel se systémem teoreticky dosahující až 1,25Gb/s, ovšem při testování dosáhli rychlosti pouze 300Mb/s. (9)

Samotný pojem LiFi předvedl v červenci 2011 prof. Herald Haas na konferenci TEDGlobal. Demonstroval přenos dat pomocí světla za pomoci speciálně upravené stolní lampičky. Přenášel data, která pouštěla video. Rychlost přenosu byla okolo 10Mb/s, o dva měsíce později dosáhl 123Mb/s. Ještě v roce 2011 zkonstruoval německý vědec systém, za pomoci LED žárovky s modrou, červenou, zelenou a žlutou, který měl přenosovou rychlost 800Mb/s. Profesor Herald Haas a jeho tým z Edinburské univerzity začali zkoumat VLC v roce 2006, avšak většina jejich výzkumu a vývoje se zaměřovala na oboustrannou komunikaci, tedy právě nově pojmenovanou technologii LiFi. Později v roce 2012 pomohl založit firmu zabývající se LiFi a jeho vývojem pod názvem PureVLC, jedná se o originální firmu vyrábějící produkty LiFi nebo upravující stávající LED systémy. (10)

V září 2013 se začal prodávat první přístroj LiFi. V lednu 2014 se přejmenovává pureVLC na PureLiFi. Ve stejném roce prof. Haas se svým týmem uskutečnil pokus s jednobarevnou diodou o výkonu 5mW a dosáhli rychlosti 3,5Gb/s při vzdálenosti jednoho metru. Při oddálení na vzdálenost 10 metrů, klesla rychlost na 1,1Gb/s. Avšak prof. Haas upozornil, že kdyby test probíhal s diodou, která by kombinovala červenou, modrou a zelenou, mohla by rychlost dosáhnout až 10Gb/s. Pro porovnání s WiFi, jejíž tehdejší standard 802.11.ac dosahoval teoretické rychlosti pouze 1300Mb/s. V roce 2015 na TEDGlobal prof. Herald Haas představuje LiFi za pomoci solárních článků, kde demonstruje přenos pomocí videa a pomocí kapesníku simuluje mlhu. Přesto se video stále přehrává, ale došlo k poklesu přenosové rychlosti. Zařízení tedy nejen přijímá signál, ale i se nabíjí. (8) (10)

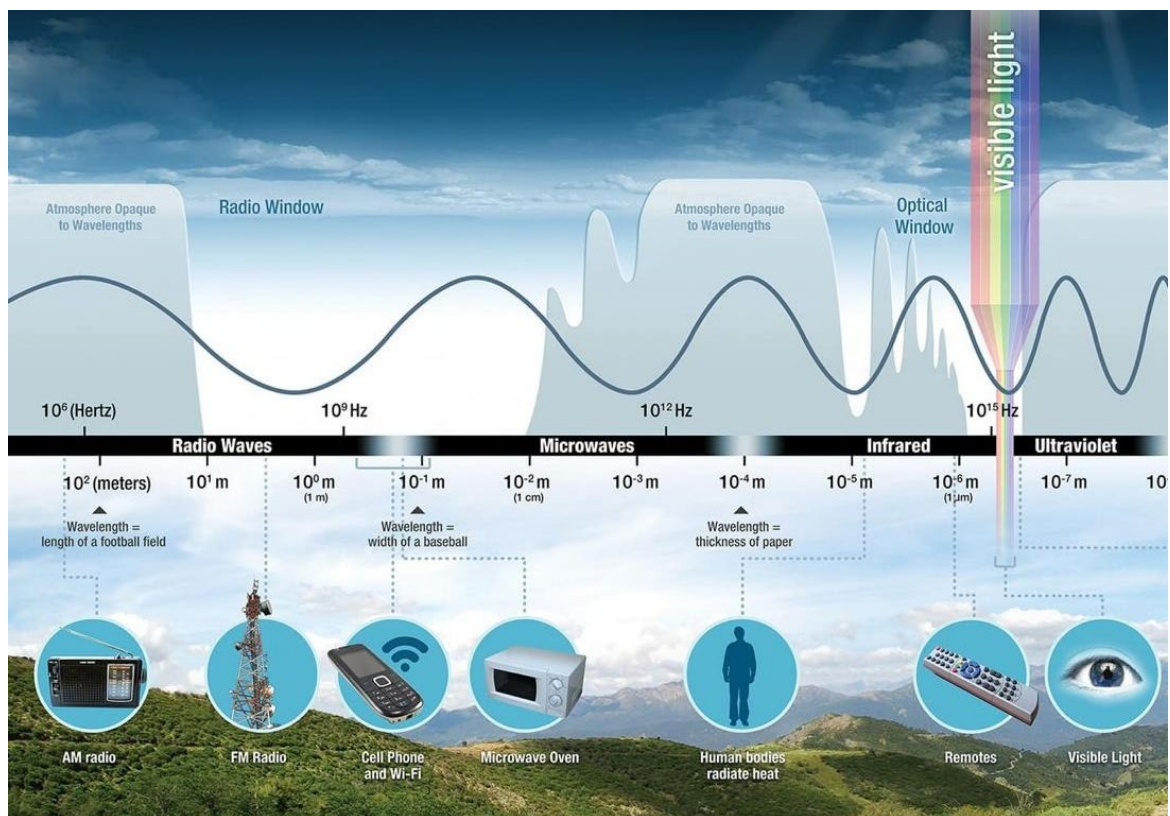
V roce 2016 PureLiFi a společnost Lucibel montují systém na několik míst v Microsoft sídle v Paříži. V říjnu 2017 PureLiFi vytvořilo systém LiFi-XC. Jedná se o malé zařízení, které se pomocí USB připojí k notebooku, telefonu či tabletu a přijímá signál, který poté předává do zařízení. V červnu tohoto roku nabídla společnost LiFi starter kits k akademickým výzkumům a prodejcům elektroniky dovolila přidat tento set do jejich nabídky. V roce 2018 si nechává Li-Fi nainstalovat O2 do hlavního sídla do čekacích místností, aby seznámila návštěvníky s technologií. Zaznamená velký úspěch a společnost se rozhodne o rozšíření i do jiných částí sídla. Zřejmě největší přelom pro tuto technologii, byl v roce 2019, když byla technologie LiFi poprvé nasazena v letadle v komerčním letu na lince Paříž – Toulouse v airbusu A321. Rychlost přenosu byla dosažena až 1Gb/s, kdy vysílače byly na stropě nad sedadly a přijímače umístěny v sedadle před cestujícími a připojeny k monitoru. Projekt byl veden firmou Oledcomm, Latécoère, Air France a Ubisoft. Později byl systém otestován ještě při letu do Las Vegas. Nyní už je tato technologie dostupná v několika pravidelných linkách. Asi poslední dosavadní velká zmínka ohledně LiFi, byla v roce 2021, kdy proběhla první demonstrace telefonu s vestavěným LiFi přijímačem, jehož koncept byl představen v únoru 2018. (9) (10) (11)

Předpokládalo se, že LiFi bude rozšířeno pro veřejnost do roku 2022, je však zřejmé, že se tyto předpoklady nenaplnily. Samozřejmě nějaké úspěchy už tato technologie zaznamenala a ve vývoji přibývá stále více větších a známějších firem. Lze předpokládat, že se jednou tato technologie opravdu dostane až mezi širokou veřejnost. Nyní je zásadní si uvědomit, že technologie je stále ve stádiu vývoje a nejedná se o globálně rozšířenou technologii jako WiFi. Výrobci prezentují LiFi jako možný doplněk ke stávajícím systémům a v žádném případě neuvažují o plném nahrazení WiFi. Víze prof. Haase avšak je, že jednou bude každá LED dioda vysílač LiFi a půjde tak o jednu celosvětovou síť. (9)

Oproti tomu technologie FSO je dnes již celkem rozšířená a mnohdy je její použití dokonce levnější než pokládání optických kabelů. Např. v Mexico City tuto technologii využívají vládní budovy i některé banky, protože pokládání kabelů v historické části města je zcela nemožné. Lze vidět, že přenos pomocí optických systémů může fungovat a dokonce se celosvětově rozšířit. Je nutné si uvědomit, že vývoj FSO začal o přibližně 30 let dříve, než vývoj technologie LiFi a lze tedy pouze očekávat podobný či větší úspěch. (12)

4.2 Princip fungování

“LiFi využívá k optické bezdrátové komunikaci vizuální světelné spektrum. Rozsah vizuálního spektra se pohybuje od 300 GHz do 700 GHz. (viz. obr. 3) Ze všech elektromagnetických vln je pouze vlnová délka vizuálního spektra viditelná lidským okem.” přeloženo z (1). Jedná se tedy o stejný druh světla, používané při našem každodenním životě. Komunikace je založena na binárním systému, zjednodušeně, když LED dioda svítí znamená to “1”, když nesvítí tak “0”. Přepínání mezi těmito stavy je příliš rychlé pro zaznamenání lidským okem a vizuálně to tedy nemá na funkci diody žádný vliv. Jelikož LiFi pracuje oboustranně je zapotřebí zpětné odesílání, které se nazývá uplink. “Optický uplink se realizuje pomocí vysílače na uživatelském zařízení, často s využitím infračerveného zdroje (takže je pro uživatele neviditelný).” Přeloženo z (2) Výhodou je malá spotřeba energie a zpětným optickým signálem nedochází k rušení příchozího signálu. (1) (2)



Obr. 3 Zobrazené spektrum použité u LiFi a porovnání velikostí s rádiovými vlnami

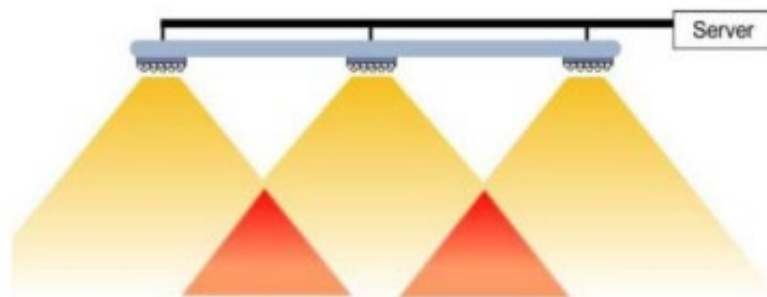
Aby systém fungoval, musí být zajištěn převod elektrického signálu na binární, to zajišťují modulační techniky. Přenášený signál nejdříve prochází modulací, kdy záleží na modulační technice, na jaký digitální signál bude převeden. Poté fotodetektor zachytí binární signál a převede ho na elektrický signál, který je demodulován v demodulační jednotce, odkud jde až do přijímače. Záleží tedy jaká modulační technika je použita, mnoho těchto technik bylo modifikováno z rádiových vln pro použití optickou bezdrátovou technologií. Nejprve pro FSO a později stejné nebo podobné techniky používá LiFi. Využívají se tři hlavní modulační techniky, modulace s jednou nosnou, modulace s více nosnými a specifická modulace pro LiFi. (1)

- Modulace s jednou nosnou (SCM) je energeticky účinnější než s více nosnými, nejčastěji se využívají tyto technologie:
 - Klíčování ON-OFF (OOK), “ OOK, pokud není přenášen žádný signál, označuje 0 bit, a pokud je signál přenášen, označuje 1 bit.” přeloženo z (1). Jedná se o jednoduché schéma, poskytující kompromis mezi výkonem a složitostí. (1)
 - Pulzní modulace polohy (PPM) “ U PPM se amplituda a šířka nemění a poloha impulsu se mění podle referenčního impulsu vstupního signálu“ přeloženo z (1), “oproti OOK je tato metoda úspornější, ale má nižší spektrální účinnost“ přeloženo z (7).
 - Pulzní amplitudová modulace (PAM) “ PAM mapuje data signálu pro výběr LED“ přeloženo z (1).
- Modulace s více nosnými Především techniky s jednou nosnou nejsou vhodné pro vysoké rychlosti přenosu dat, docházelo by k rušení a lineárnímu zkreslování signálu. Proto se při vysokorychlostní optické bezdrátové komunikaci nejčastěji používá, nebo se preferuje právě modulace s více nosnými, která se více hodí pro rychlé přenosy. Oproti technologii s jednou nosnou má efektivnější šířku pásma, ale menší energetickou účinnost. Zde se používá nejčastěji “Ortogonální multiplexování s kmitočtovým dělením (OFDM), které je založeno na rychlé Fourierově transformaci. Z tohoto důvodu je implementace zpracování signálu výpočetně efektivní.” přeloženo z (1). Tato modulace se používá pro jednoduché víceuživatelské přístupy k jednomu vysílači. (7)
- Specifická modulace pro LiFi. Vysílače LiFi jsou ve většině případů určeny jak k přenosu signálu, tak pro osvětlení. LED diody pro osvětlení mají buď modrou barvu a žlutý fosforový povlak nebo se používá míchání barev pomocí barevných LED. Právě vícebarevné LED mohou poskytnout další modulace. “Modulace CSK (Color Shift Keying) je specifická technika modulace intenzity pro vizuální světelnou komunikaci.” přeloženo z (1). Intenzita vyzařovaných barev

(červená, modrá, zelená) se liší a právě do intenzity je zakódován signál. Tato modulace má několik výhod, jednou z nich je nepřetržitý světelný tok, nedochází k žádnému blikání a je zvýšena spolehlivost LED diod. (7)

Modulační techniky slouží hlavně k bezproblémovému chodu, vždy záleží na přesné konfiguraci systému. Hlavními úkoly modulace je určení šířky kanálu, zmírnění rušení, spravedlnost a vysoká propustnost systému. (7)

Jako u ostatních technologií bezdrátového přenosu i zde může docházet k rušení, či různými parametry k ovlivňování výkonnosti přenosu. Jedním z ovlivnění výkonnosti sítě LiFi je umístění access point (AP), tedy přístupových bodů, většinou vysílače. Sousední AP se mohou překrývat a tím dochází k vzájemnému rušení (viz. obr. 4), ale bez překrývání by nedocházelo k předávání uživatelů mezi jednotlivými AP. Další parametr je dán faktorem, že AP slouží jak pro síť LiFi, tak pro osvětlení. Proto značně závisí na realizaci, je nutné rovnoměrné pokrytí signálem, ale i osvětlení v místnosti. (7)



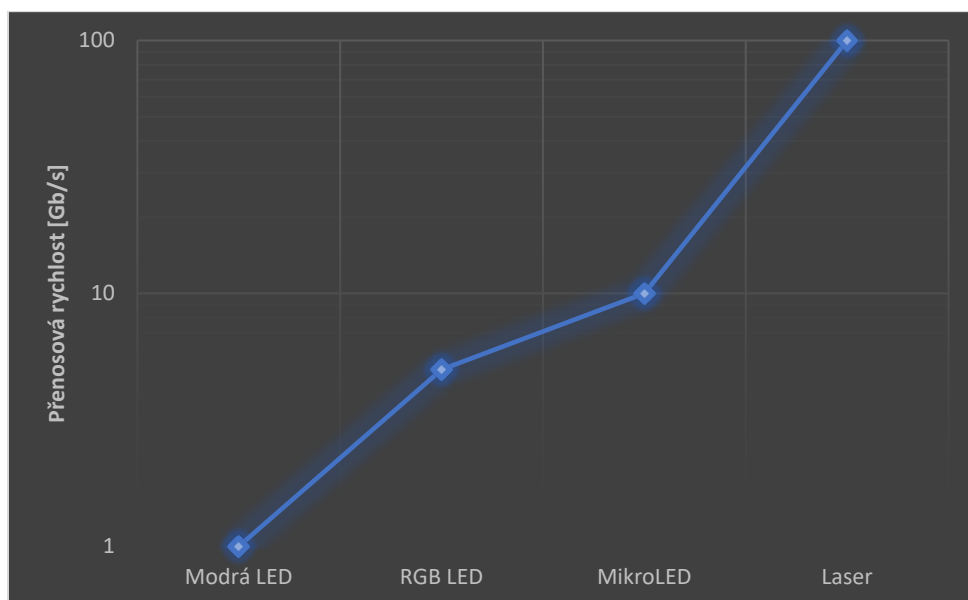
Obr. 4 Zobrazení vzájemného rušení, kdy červené plochy zobrazují překrývající se signály (Zdroj: (2))

Rušení vzniká hlavně u víceuživatelského přístupu, kde se musí počítat se snížením přenosu, proto se s ním snaží každá modulace vypořádat. Z toho důvodu vznikl "plánovač zdrojů" NOMA. Jedná se o technologii neortogonálního přidělování zdroje, jejíž aplikací lze zvýšit výkonost sítě. Pracuje na základě rušení signálů a jejich kolísání, proto detekuje kvalitu kanálu a pokud je jeho výkon menší než užitečný, považuje ho za šum. Proto si nejdříve AP zjistí hodnoty kanálu s každým uživatelem a přidělí mu index, na jehož základě vyvažuje přenosové rychlosti. Pokud má někdo horší rovnost kanálu, AP mu přidělí větší výkon, aby tento rozdíl vyrovnalo. Zajišťuje tak rovnoměrnost přenosové rychlosti, ale zvyšování výkonu lze pouze do jeho omezovacího limitu. Toto řešení platí pouze při použití jednoho AP, při použití více AP vedle sebe k pokrytí většího prostoru dochází k překrytí signálů a zde ani NOMA nezmiří rušení. (2) (7)

U optických přenosů je třeba brát v potaz i vliv prostředí ve kterém je provozován, většinou se jedná o atmosférické prostředí, ale u OBS se může využívat i v kosmu. Šíření světla vyjadřuje "koeficient

útlumu“ udává se v dB/km. Jeho hodnota např. pro vlnovou délku 850nm je přibližně 0,41 dB/km, tato hodnota závisí na použité vlnové délce. Tento vliv je dán absorpcí plynů a malých částic, jako například prach nebo kouř. S tímto vlivem se musí počítat hlavně u FSO systémů provozovaných na dlouhé vzdálenosti LiFi, které má dosah do několika metrů je tento vliv zanedbatelný. U venkovních spojů se musí počítat s rezervou na počasí, může dojít k poklesu výkonu vlivem deště, sněhu nebo mlhy. Moderní systémy už sice umí s těmito vlivy pracovat, ale k poklesu přenášeného výkonu dojde vždy. Útlum při lehké mlze s viditelností přibližně 800 m je na hodnotě od 14 do 20 dB/km, při silné mlze s viditelností do 200 m je tato hodnota na 89,6 dB/km. Pro srovnání velmi silný déšť způsobuje útlum maximálně do hodnoty 7,1 dB/km. (3, s. 45) (13)

Dle měření autora (14) bylo zjištěno, že přenos pomocí LiFi lze provozovat i přes průhledné materiály. Při použití čirého skla nedošlo ke snížení přenosové rychlosti, při použití barevného skla došlo ke snížení rychlosti, ale nedošlo k odpojení. Dále bylo zjištěno, že je realizovatelné provádět přenos pomocí odrazu, ale dojde ke snížení přenosových rychlostí a vysokým ztrátám až okolo 80 %. Dále bylo testováno provozování LiFi zařízení v zakouřeném prostředí, při kterém bylo zjištěno, že přístroj využívající infračervené spektrum nebyl tímto prostředím téměř ovlivněn, zatímco přístroj využívající viditelné spektrum byl výrazně zpomalen a při vyšší koncentraci kouře by ztratil konektivitu úplně. (14)



Obr. 5 Přenosová rychlost závislá na zdroji světla (Zdroj: (vlastní)- dle autora (2))

Nejvyšší zatím dosažené rychlosti bylo 3,5 Gb/s pomocí modré LED diody a 1,7 Gb/s pomocí bílé LED diody. Díky tomuto se podařilo prokázat, že druh světla dokáže ovlivňovat rychlost LiFi. Dnes komerčně prodávané LED diody mají většinou modrou barvu s fosforovým povlakem, který vznikající modré světlo přemění na žluté, kombinací těchto dvou barev dojde k bílému světlu.

Ovšem fosfor zpomaluje frekvenci odezvy, to znamená silný útlum při vyšší frekvenci. Z tohoto důvodu je šířka pásma pouze 2MHz. Při použití modrého filtru se redukuje žlutá vrstva a může se dosáhnout rychlosti až 1Gb/s. LED diody RGB (red, green, blue), tedy dioda s červenou, zelenou, modrou, umožňují dosahovat rychlostí okolo 5Gb/s. Modrá dioda s fosforovým povlakem je nejlevnější způsob výroby bílého světla, protože RGB LED vytváří bílé světlo za pomoci míchání všech tří barev. Dále mikrodioda dosahuje rychlosti až 8Gb/s a pomocí laseru dokáže dosáhnout rychlostí až 100 Gb/s. Z toho vyplývá, že další parametry ovlivňující rychlost závisí na použitém světelném zdroji (viz. Obr.5) a digitální modulaci. (1) (2) (9)

Jelikož se nejedná o globálně rozšířenou technologii a mnoho lidí s ní ještě nemá žádné zkušenosti, vznikají mylné představy o fungování či nefungování v různých situacích. Jednou z nich je, že světelný paprsek musí být v přímém kontaktu, to znamená vysílač a přijímač v přímé viditelnosti bez žádné překážky. V tomto případě, ale platí, že systém umí pracovat i s odraženým světlem. Rychlost se sice výrazně sníží a bude záležet na konkrétní situaci, o jaký předmět či stěnu se odráží. Hraje zde roli např. barva, kdy u bílé stěny dojde k lepšímu odrazu než od černé. Další mylnou představou je, že LiFi nefunguje na přímém slunečním světle. LiFi používá světlo o vyšší frekvenci než 1 MHz a sluneční světlo tak lze považovat za stálý rušivý element, dá se však eliminovat pomocí použití elektrických filtrů. Naopak by se dalo říct, že sluneční světlo je přínosné, protože článek pro příjem dat může fungovat jako fotovoltaický článek a může generovat el. energii. Nakonec idea, že pro přenos dat musí stále svítit světlo, pokud by se na noc vyplo osvětlení, došlo by k odpojení a nechodily by v tu chvíli např. e-maily. Tato představa je samozřejmě mylná, LiFi má výhodu, že ho lze provozovat v osvětlení, ale tyto dvě funkce na sobě nezávisí. Lze využít funkce stmívání, kdy dojde ke ztlumení světla, ale rychlost přenosu není nijak omezena. *“Pokud jde o dostupnost, nebudete se muset starat o to, že necháte světla neustále rozsvícená, protože LED světla s podporou LiFi lze ztlumit dostatečně nízko, aby se místnost jevila jako tmavá a stále přenášela data. K dispozici je konzistentní výkon mezi 10 a 90 procenty osvětlení. V současné době může LiFi stále efektivně fungovat při úrovních osvětlení až 60 luxů.”* přeloženo z (9). Pro zpětnou komunikaci se navíc používá infračervené světlo, které je lidským okem neviditelné. Firma Signify přímo tvrdí, že pro jejich produkt mohou být světla plně vypnuta. (2)

4.3 LiFi komponenty

Základem celého systému je vysílač a přijímač. Dále se v systému objevují prvky jako u ostatních technologií, jako je modem a switch. Vysílač je LED dioda a přijímač musí být zatím externí zařízení, vznikl pro něho název “dongle”. Jedná se o malé zařízení, které lze připojit k zařízení se, které se chce k dané síti připojit. Konektivita se liší podle výrobce hlavním konektorem je USB, ale někteří

výrobci mají v nabídce i jiné konektory jako např. USB-C pro připojení mobilního telefonu. V budoucnu se počítá, že toto zařízení nebude potřeba, ale jako je dnes běžný v mobilních zařízeních rádiový přijímač, bude v každém zařízení i přijímač pro LiFi. Momentálně je v nabídce pouze tablet se zabudovaným přijímačem.

Jako zdroj signálu slouží LED dioda. Aby mohla fungovat jako vysílač, musí mít tzv. "čip vysílače", jedná se o čip s rozměry 5x6 mm. Je to o zařízení generující vysokorychlostní signály, bez tohoto čipu se jedná pouze o obyčejnou LED diodu pro osvětlení. Čip reaguje na nastavenou modulaci a podle toho ovládá LED diodu. Každý čip se skládá z kanálů, kterými může ovládat dvě LED diody najednou a takové kanály má každý čip čtyři. Pomocí toho může čip např. u modulace CSK nastavit barvu a teplotu osvětlení. (7)

Přijímací zařízení funguje na základě lavinové fotodiody, která obsahuje přijímací čip. Jelikož elektrické ztráty převyšují ty optické, je pro dosažení dostatečných vzdáleností zapotřebí vysoké citlivosti. Křemíková destička přijímacího čipu má rozměry 3x3mm. Později byla tato technologie odzkoušena i na příjem pomocí fotovoltaických článků. Ty dokáží nejen přijímat signál, ale i nabíjet zařízení, uvádí se až 15 % za den. (7)

4.4 Výrobci

Nelze říct, který z výrobců je ve vývoji v oblasti LiFi nejdále. Lze říct, že každý z nich jde trochu jinou cestou. Největší prodejní čísla mají Signify, PureLiFi a Oledcomm. Každá firma nabízí poměrně odlišné parametry a výrazně se liší i v cenách.

- PureLiFi

Jedná se o jednu z největších firem zabývajících se optickou komunikací (VLC). Byla založena v roce 2011 ve Velké Británii a jeden ze spoluzakladatelů je prof. Harald Haas, který za práci na LiFi obdržel několik ocenění. Společnost byla založena pod jménem PureVLC, ale v roce 2013 se přejmenovala na stávající název PureLiFi. Momentálně mají v nabídce několik produktů, kdy nejnovější je LiFi-XC, jedná se o zařízení propojitelné s přístroji pomocí USB. (9)

- Oledcomm

Jedná se o francouzskou telekomunikační společnost, která začala s vývojem dnešního LiFi již v roce 2005 na pařížské univerzitě. Od roku 2011, kdy začala být poptávka po LiFi produktech, založili vlastní LiFi divizi. Jako první sestrojili prototyp, který může být použit v automobilovém průmyslu. Od založení divize se stali hlavním producentem LiFi produktů. Víze společnosti je propojit všechna světla na planetě v jednu bezpečnou a výkonnou síť. (9)

- Signify

Jedná se o nizozemskou společnost Philips, která byla založena v roce 1891. Poté co začala společnost vyrábět VLC produkty, se tato divize přejmenovala na Signify. Jedná se o společnost s největší historií ve vývoji LiFi a největším výzkumným centrem. Společnost chce s LiFi vytvořit revoluci a stát se jedním z hlavních hráčů v "Internetu věcí" (9)

Ostatní společnosti zabývající se LiFi:

- Zero1
- Velmenni (Indie)
- Firefly LiFi (USA)
- Lucibel (Francie)
- VLNComm (USA)
- General Electric (USA)
- Lightbee (Španělsko)
- LVX Systém (USA)
- Panasonic (Japonsko)
- Basic6 (USA)

4.4.1 Porovnání nabízených produktů

Porovnání se bude zaměřovat hlavně na tyto parametry: přenosová rychlost, dosah, pokrytá plocha a cena, popřípadě počet připojitelných uživatelů. Nejvíce se zaměří na produkty od firmy Signify, Oledcomm a PureLiFi. Ceny budou převedeny na společnou měnu, českou korunu (kurz z České národní banky (ČNB), ze dne 6.11.2022). Americký dolar při převodu na českou korunu činí 24,737 Kč, libra z Velké Británie činí 27,918 Kč a nakonec euro 24,420 Kč. (15)

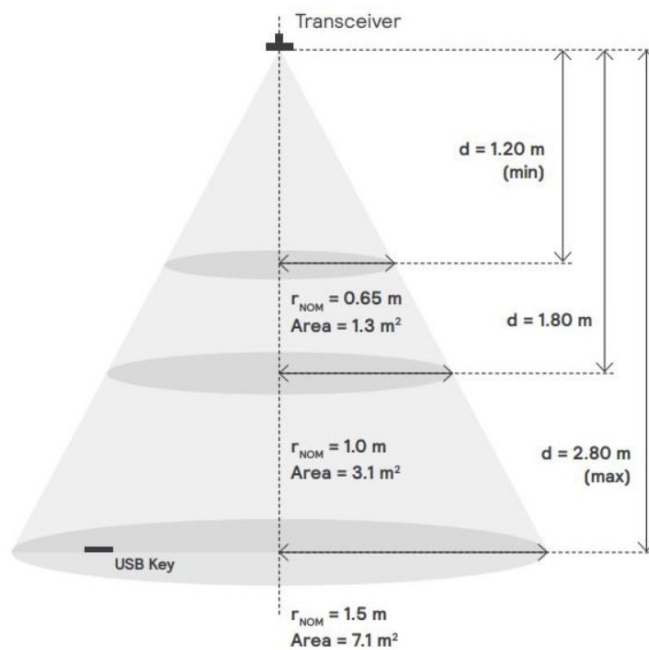
První produkt od firmy Oledcomm se nazývá LiFiMAX, jedná se o druhou generaci, která byla představena v roce 2019. Mělo by se jednat o zařízení sestavené z desetiletých zkušeností vývoje. Produkt při zahájení prodeje, tedy v září 2019 stál 21 343,08 Kč. Nyní LiFiMax kit stojí od 24 175,8 Kč po 26 615,78 Kč. Balení obsahuje 1x LiFiMax access point, 2x LiFiMax dongle a dokumentaci s návody k obsluze. Systém je jako u ostatních bez další potřebné instalace, pouze stačí připojit přijímač (dongle) k zařízení a dojde k automatickému připojení. Rychlost stahování a odesílání je

100 Mb/s. Úhel rozpětí pro komunikaci je 90 stupňů. K jednomu vysílači lze připojit najednou až 16 zařízení. Vysílač je určen především na strop, kde podle výšky může pokrývat plochu až 28 m². Využívá kabel kategorie CAT6, může být taktéž použit CAT5e. Starší kategorie kabelů jsou kompatibilní, ale je třeba si uvědomit, že nemusí dosahovat rychlostí přenosu pro tento systém. Access point se buď pomocí kabelu propojí s modemem, nebo, má-li víc vysílačů se prvně propojí do switchu a následně k modemu. Testování tohoto systému se ujal autor (11) v únoru 2022, zveřejnil, že systém dosáhl rychlosti stahování 58,94Mb/s a odesílání 21,2Mb/s, tedy výrazně méně než udávané hodnoty od výrobce. Proces připojení přijímače a poté připojení k internetu trval od 3 do 7 vteřin, což je působivý výsledek. Při testování bylo zkoušeno přehrávání videí z platformy Youtube. V rozlišení 1080p se video ani jednou nezastavilo a vše proběhlo v pořádku, při pokusu přehrání ve 2K proběhlo vše bez jediného zastavení, ale při pokusu přehrání video ve 4K, se přehrávání několikrát zastavilo přibližně na dobu 8 vteřin. Při posledním pokusu přehrání videa v 8K, se video pravidelně zastavovalo, aby stíhalo načíst data. Firma Oledcomm nedávno vydala prohlášení, že testují nový systém, který by měl mít rychlost stahování od 500Mb/s až po 1Gb/s. To by bylo výrazně víc než konkurenceschopné přenosové rychlosti k ostatním technologiím. (11)

Dále produkt My LiFi Pro fixture, jedná se o stolní lampu, která může měnit intenzitu, ale i teplotu světla. Může sloužit jako vysílač v systému LiFi, komunikuje s myLiFi dongle, který je stejný jako u produktu LiFi Max. Lampička může mít několik barev, je zapojena k síti a zároveň napájena kabelem RJ 45. Přenosová rychlost je při stahování 13 Mb/s a odesílání 10 Mb/s. Lze ji použít k rozšíření produktu LiFi Max nebo samostatně. Její cena je 34 631,8 Kč a jako všechny produkty Oledcomm funguje přenos i při vypnutém světle. (16)

Signify má momentálně v nabídce hned několik zařízení z řady Trulifi. Hlavní rozdělení mezi nimi je na zařízení pro využívání sítě pomocí osvětlení a zařízení pro komunikaci bod-bod např. pro průmysl 4.0. První zařízení využívané v osvětlení je systém Trulifi 6001, spuštěný v roce 2018, který byl umístěný přímo ve stropním světle Philips luminaires. Systém se skládal ze zařízení 6001 Powerbalance, tedy vysílač a 6001 LuxSpace, což byl přijímač. Rychlost přenosu byla 30Mb/s při stahování a 8Mb/s při odesílání. Server zvládl až 15 uživatelů najednou. Světlo s vysílačem mělo rozměr 625x625 mm. Novější verze, která vznikla o rok později, tedy v roce 2019 je Trulifi 6002. Systém se skládá z 6002 USB-C access key (dongle), zařízení pro příjem signálu, poté 6002 IR/IR transceiver vysílač, který se montuje ke světlu, ale už nebyl jeho součástí a nakonec 6002 modem, který zajišťuje připojení k vnější síti. Rychlost zde dosahuje při stahování i odesílání 150Mb/s a celkový přenos maximálně 300Mb/s. Jde tedy o výrazné zlepšení. K modemu může být připojeno až 6 vysílačů a 16 přijímačů, vysílače jsou k modemu připojeny pomocí RJ 12 kabelu, který je

současně nabíjí a přenáší data. Základní průměr oblasti pro připojení je 1,3 metru, ale záleží na vzdálenosti (výšce) umístění vysílače, kdy při maximální výšce 2,8 m může být plocha pro připojení 7,1 m²(viz. Obr.6). Systém bez problému funguje s Windows a MacOS, stačí připojit dongle pomocí USB k zařízení. Takzvaný systém “point to point”, tedy z bodu do bodu je systém Trulifi 6013 s oboustrannou přenosovou rychlostí až 250Mb/s na vzdálenosti až 8 metrů. Dostupné jsou tři barvy svícení, zařízení se nabízí se třemi druhy připojení a to 6013 POE, 6013 USB-C, 6013 RJ45. Tento systém je např. pro použití ve výrobních linkách, kde je těžké pokládat nebo umísťovat kabely. (17)



Obr. 6 Pokrytá plocha podle výšky umístění vysílače TruLiFi 6002 (Zdroj: (11))

Prohlédnou-li se výsledky z měření, které provedl autor (11), lze zjistit, že rychlost stahování dosáhla 100Mb/s a odesílání lehce přes 45 Mb/s. Dále prováděli test pomocí přehrávání videí na platformě Youtube s různou kvalitou obrazu. Test začal s videem o kvalitě rozlišení 1080p a zde nebyl jediný problém s přehráváním, poté bylo přehráváno video s rozlišením 2K a opět bez jediného zastavení nebo snížení kvality obrazu. Při přehrávání videa ve 4K rozlišení došlo dvakrát k zastavení přibližně na jednu vteřinu, doporučená hodnota pro přehrávání ve 4K je rychlost stahování okolo 100Mb/s. (11)

Systém se prodává buď jako Trulifi 6002.1 starter kit, který stojí od 40 537,2 Kč až po 54 371,93 Kč a obsahuje 1x modem, 1x Transceiver IR/IR 6002.1 (vysílač) a 2x USB klíče pro připojení. Kromě toho také obsahuje všechno příslušenství pro instalaci. Lze koupit samostatně i Trulifi 6002 USB-C access key, který stojí 16 697,48 Kč. Dále se prodává samostatně i modem za 19

665,92 Kč a transceiver za 14 471,15 Kč. Řadu 6013 lze koupit samostatně za 41 211,84 Kč nebo celý kit i s držákem na uchycení za 84 551,066 Kč. (11) (16)

PureLiFi má v nabídce celkem tři produkty, OFE-hero3, ASIC Front and Rear a pureLiFi-XC, které nás bude zajímat nejvíce. PureLiFi-XC je systém skládající se z access pointu, TX driveru (přijímač) a Station. Systém má přenosovou rychlost v obou směrech stejnou a to 43Mb/s. Jedná se tedy o nejpomalejší zařízení, avšak je nutné si uvědomit, že systém je z roku 2017 a v zásadě se jedná pouze o zdokonalenou první generaci, zatímco konkurence již má na trhu především výrobky druhé generace. Dosah je na vzdálenost 1 až 6 m. Maximální počet připojených uživatelů na jeden vysílač je 8 uživatelů. Velikost oblasti pro připojení při vzdálenosti 2,5m je 2,8m² a při vzdálenosti 3 m se oblast zvětší na 3,5m². Přijímač se k zařízení připojuje standardně pomocí USB 2.0 (viz. obr. 7) a jako u ostatních výrobců není potřeba žádná instalace, připojení probíhá automaticky. (9) (10)

Stropní světlo s vysílačem LiFi ES stojí 68 892,55 Kč a využívá kabel RJ45, jedná se o cenu pouze za vysílač, přijímače se musí koupit zvlášť. LiFi XC 4 Pack systém stojí 17 6152,18 Kč. Tento systém se prodává pouze v setu po čtyřech a obsahuje 4x stropní světlo s vysílačem a 8x přijímač. (16)



Obr. 7 Dongle od firmy PureLiFi, připojený k uživatelskému počítači (Zdroj: (15))

Firma VLNComm má v nabídce produkty Luminex-LiFi LED Panel, (vysílač) a VLNcomm Lumi Stick (přijímač). Vysílač stojí 36 487,08 Kč, plochu vhodnou pro používání má až 37 m² a může se k němu připojit najednou až 15 uživatelů. Nabízí funkci připojení i když jsou světla vypnuta. Přijímač stojí 11 997,45 Kč a nepotřebuje žádný kabel, jelikož má již v sobě zabudované USB. To znamená nevýhodu, je pro použití pouze na PC zařízení, pro použití na mobilní telefony je zapotřebí redukce. (16)

Nakonec systém, který neslouží k vytvoření sítě, ale využívá technologii LiFi k jiným účelům. Společnost Lightbee nedávno představila svůj projekt nazvaný ELIoT H2020 project. Jedná se o chytrý LiFi zamykací systém, kdy místo klasického klíče použijeme tzv. Lightkey. V prezentačním videu firmy se jedná o chytrý telefon s nainstalovanou aplikací, která ovládá “blikání” displeje. Ten se poté přiloží k přijímači na zámku a odemkne jej. Lightkey by měl splňovat i regulační směrnice při požáru a dovolit otevřít zevnitř, i když je zamčený. Celý systém je zatím ve vývoji, který začal v roce 2019 a získal již 6 milionů euro (146 520 000 Kč), jako investice z projektu Horizon 2020. Jedná se o otevřené partnerství mezi firmami, ve kterém jsou např. Nokia, Signify, Deutsche Telekom. Tento výrobek by mohl nahradit stávající systém v hotelech, kdy některé mají místo klasických zámků s klíčem přístupové karty. (11)

Předvedené výrobky se zatím nepřibližují rychlostem dosažených v laboratorních měřeních, jedná se však o výrobky, které jsou na trhu delší dobu. Většina společností oznámila, že již pracují na nových produktech, které by měly mít výrazné zlepšení v přenosových rychlostech. Například “Společnost Fraunhofer HHI vydala prototyp ..., který má dosáhnout rychlosti 1 Gbit/s při stahování.” přeloženo z (18). Takové hodnoty již potvrdil i Oledcomm a nelze očekávat, že ostatní budou zaostávat. Co se týká ceny, ta je v současné době velice nekonkurenceschopná. Je to jednoznačně dáno drahým vývojem a vysokými náklady na výrobu, protože se nejedná o masovou výrobu jako např. u rádiových zařízení. Pro srovnání můžeme vidět přenosové rychlosti FSO, přenášené pomocí přístrojů od firmy ECsystem, které jsou 1Gb/s až na vzdálenosti 15 km a 10Gb/s na vzdálenost do 1,5km, kde je možné navýšení až na 30Gb/s. (12)

Pro lepší přehled jednotlivých parametrů produktů a jejich cen, byly hodnoty vloženy do tab.2:

Výrobce	Model	Cena [Kč]	Pokrytá plocha [m ²]	Dosah [m]	Přenosová rychlost UP/DOWN [Mb/s]	Počet zařízení
Oledcomm	LiFiMAX	24175,8	28	-	100	16
Oledcomm	My LiFi Pro fixture	34631,8	-	-	10/13	-
Signify	TruLiFi 6002	40537,2	7,1	2,8	150	16
Signify	TruLiFi 6013	84551,066	-	8	250	1
PureLiFi	PureLiFi-XC	44038,045*	3,5	6	43	8
VLNComm	Luminex-LiFi LED Panel	48484,53**	37	-	-	15

*Cena za jeden vysílač a dva přijímače při koupi 4pack

**Cena při koupi vysílače i přijímače

Tab. 2 Přehled cen a parametrů jednotlivých LiFi produktů (Zdroj: [vlastní]-upraveno dle (9,10,11,16))

5 Porovnání s WiFi

Zásadní rozdíl mezi technologiemi LiFi a WiFi je rozsah, jak již bylo zmíněno v kapitole 4. Další rozdíl spočívá v tom, že LiFi zatím nepodléhá žádné licenci, zatímco u WiFi je omezení použitou frekvencí. Při využití jiné frekvence, než v nelicencovaném pásmu, je nutné si danou frekvenci pronajmout z licencovaného rozsahu.

Porovnání začne u rychlostí obou technologií. WiFi podle organizace Wireless Gigabit Alliance může pracovat, dle normy 802.11ad na třech středních frekvencích 2,4GHz, 5GHz a 60GHz. Teoretická přenosová rychlost wifi je až 7Gb/s, rychlost závisí na použitém standardu. *“U Wi-Fi standardů se uvádí takzvaná teoretická rychlost, která u 802.11ac činí 1300 Mbps – to je třikrát více, než 450Mbps u standardu 802.11n. Na první pohled se jedná o obrovský rozdíl, klíč je ale ve výrazu “teoretická”. Teoretické rychlosti se ve většině případů běžný uživatel ani nepřiblíží a nejvyšší skutečná rychlost u standardu 802.11ac dosahuje zhruba 720Mbps, zatímco u 802.11n se jedná o 240Mbps.”* (4). Je nutné si však říct, že i skutečné rychlosti jsou naměřené světové rekordy. Studie prokázaly, že LiFi dokáže dosáhnout rychlosti 3Gb/s pouze s jedinou LED a laserové LED s kombinací optického difuzoru jsou schopné přenosové rychlosti až 100Gb/s. Teoretické maximum technologie LiFi je 224Gb/s. To představuje, že pokud by byl použit dostatečně rychlý hardware, mohlo by se stáhnout až 18 filmů s průměrnou velikostí 1,5 GB. Bohužel se k této rychlosti zatím komerčně prodáváná zařízení ani zdaleka neblíží. (7)



Obr. 8 Porovnání technologie WiFi (vlevo) s LiFi (vpravo) (Zdroj: (10))

Z hlediska bezpečnosti je na tom technologie LiFi lépe, světelný paprsek neprochází stěnou, což je v tomto hledisku přínosné, signál zůstává v místnosti (viz. obr. 8). Není tedy možné, aby se útočník připojil k dané síti mimo provozovaný prostor, jako je tomu u WiFi. Je nutné brát tuto výhodu pouze

jako další vrstvu zabezpečení. Digitální zabezpečení jako je šifrování, správa klíčů a ověřování musí zůstat, jako u stávajících sítí WiFi. Co se týká narušení paprsku jako takového, u FSO systémů nebo LiFi bod-bod systémů, je rozptyl tak malý, že i na velké vzdálenosti, které zvládá FSO se jedná řádově o centimetry. Je tedy zcela nemožné narušit paprsek, aby si toho uživatel nevšiml a při přerušení paprsku útočníkem se systém vypne a začne převádět signál záložní cestou. (18)

Pokud bude provedeno porovnání účinností těchto systémů, lze zjistit, že pro bezdrátovou komunikaci se momentálně používá přibližně 1,4 miliardy rádiových stanic. Většina energie se spotřebuje na chlazení stanic, protože při vysílání rádiových vln vzniká teplo. Zatímco LED diody se již nyní používají pro osvětlení nejen v domácnosti, ale i jako veřejné osvětlení a jejich spotřeba energie s rádiovými stanicemi je zanedbatelná. Při přenosu dat se jejich spotřeba energie nezvyšuje. (1)

Dosah LiFi se liší od výrobce a použitého systému. Jedná-li se o víceuživatelský režim nebo bod-bod v případě víceuživatelského režimu se lze dostat až na 10 metrů. Pro porovnání WiFi dosahuje až na vzdálenost 100 metrů. (1)

V případě ekonomického hlediska, ohledně pořizovacích nákladů, jsou momentálně několikanásobně levnější při realizaci sítě pomocí WiFi. Je to ovlivněno několika faktory, jedná se o globálně používanou technologii s vývojem několik desetiletí a hromadnou výrobou produktů. Lze předpokládat, že pořizovací náklady na LiFi se budou v budoucnu snižovat, např. až budou přijímače přímo integrovány do zařízení, nebude potřeba dongle.

Co se týká provozních nákladů, ty jsou menší u LiFi, jelikož nezvyšuje spotřebu energie u osvětlení, nezvýší se tedy ani náklady. WiFi rádiové vysílače spotřebovávají energii a jejich spotřeba se musí přičíst k nákladům za osvětlení.

LiFi může být použito v prostředí, kde hrozí nebezpečí jiskry, např. petrolchemický průmysl, ropné těžiště, v těchto místech bývají rádiové sítě zakázané [27]. Další rozdíl může být, že LiFi nevytváří na rozdíl od WiFi elektromagnetický smog. Nakonec způsob vysílání, kdy WiFi nelze na rozdíl od LiFi používat pro spojení bod-bod. (1)

Mesh síť je označení pro LAN rádiové bezdrátové síť. Jedná se o síť tvořenou vzájemně propojenými zařízeními, kterými jsou převážně routery. Jedná se o síť podobné běžným LAN WiFi, ale místo jednotlivých AP jsou zde routery s vlastními AP vysílači. Jedná se tedy o několik sítí spojených do jedné. Zařízení mezi sebou komunikují a působí jako jedná síť, která má jeden vývod do vnější sítě. Podstata těchto sítí je stabilita, pokud jeden vysílač vypadne, nahradí ho jiný. AP si mezi sebou předávají uživatele podle vyhodnocení, kde bude mít uživatel nejkvalitnější přenos.

Vysílače zároveň využívají jak frekvenci 2,4 GHz, tak 5 GHz. Tím využívá všechny antény a překrytí jednotlivých sítí přes sebe. Po zapojení a spuštění jednotlivých routerů, se mesh sám spustí a pracuje dále automaticky. Pro síť platí, že se dá do jednoho bodu dostat více cestami. Hlavní rozdíl od běžných sítí se zesilujícími AP je ten, že každé další AP vytváří novou síť. U mesh sítí se v každém místě sítě připojuje zařízení pouze k jedné síti a přepojení k dalšímu AP je zcela automatické a uživatel ho nezaznamená. (18)(19)

A právě tyto mesh sítě fungují na podobném principu jako LiFi sítě s překrývající se oblastí.

6 Ubytovací zařízení

Jedná se o zařízení sloužící k dočasnému ubytování osob. Hosté ubytovacího zařízení mohou využít těchto služeb z několika důvodů, z historického hlediska nejčastější bývá cestovatelská návštěva dané lokality. Historicky první zmínky o ubytovacích zařízení pochází již ze starověké Mezopotámie, někdy okolo roku 2000 př.n.l., ale velký rozvoj nastal až v antickém Řecku a později starověkém Římě. (20, s. 20) Postupem času se jejich rozvoj a význam začal zvyšovat. Jejich význam záleží na poloze a v některých oblastech, zvláště v turisticky vyhledávaných destinacích, mohou ubytovací zařízení tvořit velký podíl ekonomiky státu a některé přímořské státy mohou být na turistickém ruchu plně ekonomicky závislé.

V 90. letech 20. století došlo k rozvoji velkých hotelových řetězců, které buď stavěly, nebo zkupovaly hotelové budovy po celém světě a snažily se sjednotit jejich provoz. Právě zde se začaly objevovat problémy s národními kulturami. Každá lokalita má své národní kultury, které dané hotely musí respektovat, zatímco pro své hosty zajišťují podobný standard služeb jako v jiných zemích po celém světě a zároveň by měly klientovi zprostředkovat kulturní zážitek z dané lokality. Jedná se tedy o velmi složité téma, na které vzniklo mnoho studií. (21)

6.1 Klasifikace ubytovacích zařízení

Aby se zamezilo nerovnoměrné nabídce a kvalitě služeb, *“Asociace hotelů a restaurací České republiky na základě Usnesení vlády ze dne 17. 7. 1999 č. 717 a za podpory Ministerstva pro místní rozvoj ČR a České centrály cestovního ruchu – CzechTourism sestavila Oficiální jednotnou klasifikaci ubytovacích zařízení České republiky kategorie hotel, hotel garni, penzion, apartmánový hotel a apartmánový komplex“* (22). Rozdělení podléhá normě ČSN 761110, udělení a následné obnovení, protože certifikát je platný vždy 5 kalendářních let, má na starosti Asociace hotelů a restaurací České republiky z.s., *“klasifikační znaky jsou standardně ve formě samolepek společné a jednotné.“* (22)

Rozdělení do kategorií:

“Hotel je ubytovací zařízení s nejméně 10 pokoji pro hosty, vybavené pro poskytování přechodného ubytování a služeb s tím spojených (zejména stravovací). Hotel garni má vybavení jen pro omezený rozsah stravování (nejméně snídaně)“. (22)

“Motel je ubytovací zařízení s nejméně 10 pokoji pro hosty poskytující přechodné ubytování a služby s tím spojené zejména pro motoristy.“ (22) Dalším kritériem je umístění blízko pozemní komunikace a vlastní parkovací místa. Ubytování by mělo splňovat stejné požadavky jaké jsou kladeny na hotel.

“Penzion je ubytovací zařízení s nejméně 5 a maximálně 20 pokoji pro hosty, s omezeným rozsahem společenských a doplňkových služeb. Omezené služby stravování spočívají v absenci restaurace. Penzion však musí disponovat minimálně místností pro stravování, která zároveň může sloužit k dennímu odpočinku hostů.“ (22)

Botel, jedná se o ubytování umístěné na trvale zakotvené osobní lodi. Jednotlivé pokoje se nazývají kajuty a jejich velikost se liší od ostatních typů ubytovacích zařízení. (23)

Další kategorie mohou být zařízení pro specifické zaměření, splňující, ale stejné požadavky jako standardní ubytovací zařízení. Může se jednat například o Lázeňský / Spa hotel, Golf resort nebo lázeňský hotel garni. (22)

Další významnou kategorií je depandance, jedná se o sousedící budovu k hlavní budově ubytování. Jedná se o budovu bez vlastní recepce, v maximální vzdálenosti 500 m od hlavní budovy. Depandance musí splňovat stejné požadavky jako hlavní budova. (22)

Mezi ostatní zařízení mohou být zařazeny turistická ubytovna, chatová osada nebo kemp. Splňující vlastní požadavky a kritéria na ubytování, podle společenstva, které za ně ručí. (22)

Klasifikace ubytovacích zařízení:

Každá z kategorií se dělí do tříd podle úrovně ubytování a poskytovaných služeb. Klasifikace probíhá podle tzv. “hvězdiček” od „* Tourist, ** Economy, *** Standard, **** First Class, ***** Luxury“ (22). Všechny kategorie kromě hotelu mohou získat od jedné po čtyři hvězdičky, hotel může získat až pět hvězdiček.

Dle vyhlášky č. 137/1998 sb. se liší velikost pokojů dle rozdělené třídy. Udává se nejmenší možná velikost pokoje:

- 8 m² u jednolůžkového pokoje, 12,6 m² u dvoulůžkového pokoje pro třídu jedna a dvě hvězdičky.
 - 9,5 m² u jednolůžkového pokoje, 13,3 m² u dvoulůžkového pokoje pro třídu tři hvězdičky.
 - 11,4 m² u jednolůžkového pokoje, 13,3 m² u dvoulůžkového pokoje pro třídu čtyři hvězdičky.
 - 12 m² u jednolůžkového pokoje, 16 m² u dvoulůžkového pokoje pro třídu pět hvězdiček.
- (22)

Kdy pro třídu jedna až tři při přidání každého dalšího lůžka musíme pokoj zvětšit pokaždé o 5 m².
“Hygienické zařízení ubytovací jednotky musí mít plochu nejméně 4 m².“ (22)

Z těchto údajů jasně vyplývá, že pro každou třídu bude muset být použit jiný počet vysílačů s LiFi. A každá třída bude mít jiné nároky na pokrytí pokoje signálem a rychlost sítě. Zatímco u jednohvězdičkových zařízení budou nároky na síť malé, u pětihvězdičkového hotelu bude muset být rychlá a stabilní síť. Z velikostí pokojů plyne, že produkt od společnosti Oledcomm pokryje celý pokoj v každé třídě, při použití produktů od Signify nebo PureLiFi už bude muset být použito více vysílačů na jeden pokoj. Otázkou samozřejmě stále zůstává, zda je potřeba v nižších kategoriích pokrýt signálem celý pokoj, nebo pouze postačí např. pokrytí okolo jednoho bodu, jako je pracovní stůl s židlí. Podle kategorie a třídy ubytování jsou pro hosty k dispozici zařízení, kde je na místě úvaha, zda je zapotřebí rychlý přenos pomocí LiFi, např. v bazénu, fitness či wellness. Určitě by se však uplatnilo v herně, baru, kavárně či v salonku.

6.2 Historický vývoj a dnešní nároky na připojení

Historie bezdrátových sítí v ubytovacích zařízeních začíná v roce 2002, tedy tři roky po zavedení názvu WiFi. Jako první si nechal namontovat bezdrátovou LAN síť, využívající technologii WiFi hotel Eleven. Tato technologie zažila skokový úspěch a v roce 2003 byla hromadně instalována v hotelech po celém světě. Dnes se již jedná o nedílnou součást výbavy každého ubytovacího zařízení v každé kategorii. (24)

Výzkumy z roku 2020 prokázaly, že 89 % návštěvníků považuje stabilní, rychlé a bezplatné připojení za důležité. Další výzkum ukázal na fakt, že lidé na služební cestě, potřebující připojení k internetu, v 56 % považují rychlé a stabilní připojení za nejdůležitější faktor při výběru ubytovacího zařízení. (25) Další statistický údaj přináší, že 60 % lidí by se v ubytovacím zařízení bez připojení k internetu, buď vůbec neubytovalo nebo pouze na jednu noc. (26) Z těchto údajů tedy vyplývá, jak je připojení

k internetu pro dnešní zákazníky ubytovacích zařízení důležité. Proto se z kvalitního připojení k internetu stala pro ubytovací zařízení známka kvality. Hlavně pro celosvětové řetězce hotelů, které se předhánějí, kdo bude mít kvalitnější a rychlejší připojení. Některé hotely si na svém připojení k internetu dokonce budují značku, například síť hotelů Marriott při prezentaci svého ubytování poukazuje na připojení k vysokorychlostnímu internetu. (25)

Jelikož v minulosti při výběru ubytovacího zařízení hosté nevěděli stav a rychlost sítě, vznikla služba s názvem HotelWiFiTest, která ubytovací zařízení ve vybrané lokalitě rozdělila do tří skupin podle minimální rychlosti na 2, 5, 10 Mb/s, služba spolupracovala s platformou Hotels.com. Tato služba se dala použít i jako rozšíření do prohlížeče. (27) Důležitost tohoto faktoru si začaly uvědomovat i platformy pro objednávání ubytování a rychlost připojení začaly ukazovat. Společnost Airbnb rozhodla o vytvoření parametru, který udává stav bezdrátové sítě. Kontrolu rychlosti, kterou majitel ubytovacího zařízení zadá, provádí nástroj M-lab. Majitel ubytovacího zařízení si tedy může kdykoliv lehce otestovat rychlost připojení. Nástroj využívá mobilní zařízení ubytovacího zařízení, ověří kvalitu připojení a zveřejní ji na stránce pro potenciální zájemce o ubytování. (28) Další společnost booking.com, nejpoužívanější webová stránka pro objednávání ubytování, vytvořila sekci v popisu ubytovacího zařízení, kam můžou majitelé zadávat parametry svojí bezdrátové sítě. Zadání není povinné, ale ubytování s vyplněnými hodnotami je výrazně atraktivnější.

Je důležité si uvědomit, že internetové připojení neslouží pouze pro hosty ubytovacího zařízení, ale i pro jeho samotný provoz, jako jsou např. recepce, kamerový systém, bankomaty. Proto je důležité, aby síť fungovala stabilně a rychle. Dlouhé fronty hostů čekajících na přihlášení, nedělají dobrou vizitku ubytovacímu zařízení. (25)

6.3 Způsoby zabezpečení bezdrátových sítí

Nejprve je nutné si uvědomit, proč je vlastně potřeba bezdrátovou síť v ubytovacích zařízeních zabezpečit. Nejdůležitější faktor je ochrana a soukromí hostů, útočníci se pokoušejí získat a shromažďovat data, proto by mělo být prioritou těmto útokům zamezit. Dalším faktorem pro zabezpečení sítě je ochrana samotného ubytovacího zařízení z právního hlediska. *“Ač došlo ke zrušení odpovědnosti za rušení, neznamena to, že poskytovatelé již nejsou odpovědní, pokud jsou například média chráněna autorským právem nelegálně nahrávána prostřednictvím jejich otevřené sítě. Žádné orgány nevyhlásily internet za oblast bezpráví, v níž může každý dělat a zanechávat to, co chce. Pouze první varovné oznámení, které bylo dříve zpoplatněno, je nyní bezplatné. Všechny hotely, které poskytují otevřenou síť WLAN, jsou i nadále odpovědné za zneužití ze strany svých hostů.”* (29) Z tohoto hlediska je tedy jasné, že se musí omezit přístup nežádoucími uživateli a popřípadě mít seznam stávajících uživatelů bezdrátové sítě.

Zabezpečení bezdrátových sítí v ubytovacích zařízeních je dnes převážně realizováno třemi způsoby. Jedná se buď o nezabezpečenou síť volně přístupnou komukoliv v jejím dosahu nebo připojení pomocí hesla (dnes již většinou pomocí šifrování minimálně na úrovni WPA2). To už vnáší do sítě základní vrstvu zabezpečení, ale je nutné si uvědomit, že hesla v ubytovacích zařízeních musí být jednoduchá, aby se hosté co nejjednodušeji připojili a nemuseli žádat o pomoc personál, většinou to tedy bývá název hotelu a řada čísel. Na jeho prolomení stačí tzv. metoda pokus omyl a trocha trpělivosti, zároveň se tato hesla často nemění, takže ve větších či známějších hotelech se mohou časem objevit snadno dohledatelné na internetu. Poslední a zároveň nejbezpečnější systém je připojení pomocí zabezpečovacího serveru, jedná se o připojení, kdy je uživatel po připojení k síti přepojen na přihlašovací web, kde musí vyplnit údaje, většinou číslo pokoje, jméno, délka pobytu a až po tomto kroku, pokud se údaje shodují se serverem je uživatel připojen k síti. Výhodou tohoto systému oproti ostatním jsou měnící se přístupové údaje, lze nastavit na jakou dobu bude mít uživatel přístup k síti, či počet zařízení, které může připojit. Velkou nevýhodou je náročnost na požadavky sítě, zvláště její rychlost. Data, které zadá personál ubytovacího zařízení do systému se musí přenést na server a až poté se může uživatel připojit. Toto je velký problém starších hotelových komplexů, kde je mnoho nových hostů, ale rychlost sítě je velmi pomalá. Může se tak velmi často stát, že se hosté mohou přihlásit v extrémních případech až několik hodin po příjezdu. (18)

Pokud vezmeme síť realizovanou pomocí LiFi, je k připojení vyžadován dongle, bez kterého se k síti nelze připojit. Jedná se tedy o způsob zabezpečení, dokud není tato technologie celosvětově rozšířena. V případě připojení pouze na pokojích, by tedy tato síť i v budoucnu mohla fungovat bez hesla, ale ve společenských prostorách, lobby či stravovacích zařízeních je nutné zabezpečení zavést. Nejvhodnější volbou by bylo zabezpečení pomocí zabezpečovacího serveru, kdy LiFi poskytuje dostatečnou rychlost. Zároveň přináší podstatnou výhodu oproti rádiovým bezdrátovým sítím a to, že pokud by uživatel jakýmkoliv způsobem porušoval pravidla sítě, lze ho jednoduše vysledovat pomocí přihlášeného vysílače. V případě WiFi je většinou k jednomu AP přihlášeno několik pokojů najednou a je zcela nemožné pachatele vysledovat.

7 Úvaha pro použití LiFi

V případě použití LiFi se většina odborníků a výrobců prezentuje a zaměřuje na místa jako jsou nemocnice, letadla, průmysl a vojenské zařízení, ale z historického hlediska jsou to právě luxusní hotely, které měly vždy ta nejmodernější zařízení své doby. Pomocí nich okouzlovaly a snažily se pokrýt nejrůznější potřeby svých hostů a až poté se tato zařízení postupně přenášela blíž k veřejnosti. Jednalo se např. o telefonní přístroje, které bývaly v menších městech právě jenom v luxusních hotelech a LiFi, které dnes působí až futuristicky, by mohlo vnést do dnešních až

stereotypních hotelů nové oživení a vzrušení ze strany hostů. V dnešní době, kdy si velké hotelové řetězce budují značku na nejrůznějších zvláštnostech, by mohlo LiFi výborně vyplnit tuto mezeru. Jedná se zatím o velmi finančně náročnou investici, při realizaci sítě pomocí LiFi a menším ubytovacím zařízením by se zatím tato investice nemusela vrátit.

Jedna z výhod uplatnění LiFi je v její přesné lokaci. Velké hotelové komplexy nebo staré hotely mývají mnoho chodeb, mohou mít i několik budov a lze se v nich poměrně snadno ztratit. Při použití mobilní aplikace GPS lokalizuje uživatele pomocí rádiové sítě využívané operátorem, nebo lokální WiFi, kdy se rádius polohy pohybuje v řádech metrů až desítek metrů. Nelze tak určit přesnou polohu pro zjištění uvnitř budovy. Pomocí vysílačů LiFi, které si uživatele předávají a nacházely by se v osvětlení na chodbách, lze poměrně přesně určit polohu s přesností do desítek centimetrů. Pokud by se hotelový komplex nahrál do mobilních aplikací, nebo přímo do online mapy, dalo by se velmi snadno orientovat pomocí navigace i uvnitř budov.

Za další benefit by se dala považovat rychlost a stabilita, velké hotely často pořádají firemní sjezdy nebo jiné akce a pro tyto události je LAN síť v hotelu velmi zatížena. Je zde mnoho hostů, každý se chce připojit. Velká koncentrace v zasedacích místnostech, kdy v některých případech dochází ke streamování celé události. Zde by našlo uplatnění stabilní a rychlé připojení k síti v podobě LiFi. V tomto případě by mohla být síť v zasedací místnosti řešena pro notebooky pomocí LiFi, kdy by každé zařízení mělo svůj vysílač a pro mobilní telefony by sloužila WiFi síť, jednalo by se tedy o hybridní síť LiFi/WiFi.

Hlavní uplatnění by mohla technologie nalézt v místech, kde stávající bezdrátové systémy nefungují. Může se jednat o staré hotely, které mají příliš tlusté zdivo a rádiový signál přes ně neprojde, nebo ubytovací zařízení v blízkosti rušivých elementů, jako jsou např. rádiové vysílače. Zde by bylo finanční zatížení pořizovacími náklady znatelně menší, protože náklady na síť realizovanou pomocí WiFi jsou v těchto místech také nákladné. Musí být zvýšen počet AP, aby byl zajištěn rovnoměrný signál ve všech místech v některých případech umístěný v každém pokoji.

Je na místě zamyslet se, zda je potřeba vyplnit celý prostor pokoje signálem. U rádiových vysílačů nelze nijak ovlivňovat prostor kam signál dosáhne, jedná se o velký rádius, který by se těžko kontroloval. V případě LiFi se většinou jedná o malé plochy a je otázkou, zda např. nestačí mít signál pro připojení v jednom rohu místnosti, kde by byl umístěn pracovní stůl a mohlo by se k síti připojovat odsud a např. prostor postele či koupelny by signálem pokrytý nebyl. Většinu času se stejně nikdo z těchto prostorů k síti nepřipojuje. Mobilní telefon by byl přes noc odložený na místě se signálem, takže by o připojení k síti nepřišli. Vzhledem k tomu by bylo možné dosáhnout finančních úspor a také zdravějšího životního stylu, kdy by bylo možné omezit závislosti na připojení

v některých případech. Rodiče, kteří by věděli, kdy a kde se jejich děti připojují k síti. Protože např. v rodinném apartmá by nebyl pokrytý pokoj, kde budou spát děti signálem, rodiče by se nemuseli obávat, že jejich děti nebudou spát, ale budou připojeni k internetu. Díky velikosti rádiesu LiFi vysílačů, by se takto mohl účelně vyplňovat prostor podle toho, kde by měl signál být a kde ne.

V posledních letech se stal velmi populární životní styl známý jako „digitální nomád“, jedná se o lidi, kteří ke své práci potřebují pouze počítač a připojení k internetu a mohou pracovat odkudkoliv na světě. Tito lidé se velmi často ubytovávají právě v ubytovacích zařízeních a pro ně je zapotřebí kvalitní a rychlé připojení, které poskytuje právě LiFi. Obzvláště pro tyto hosty kvalitní a rychlé připojení hraje největší roli při výběru ubytovacího zařízení, nejedná se tedy o vzhled, velikost pokoje, nebo lokalitu přímo v centru města. S rostoucí oblíbeností je jasné, že budou v budoucnu tvořit stále větší a větší část hostů a proto je nutné se tomu přizpůsobit. Řešení se nabízí právě v LiFi, které pokryje veškeré jejich nároky na připojení.

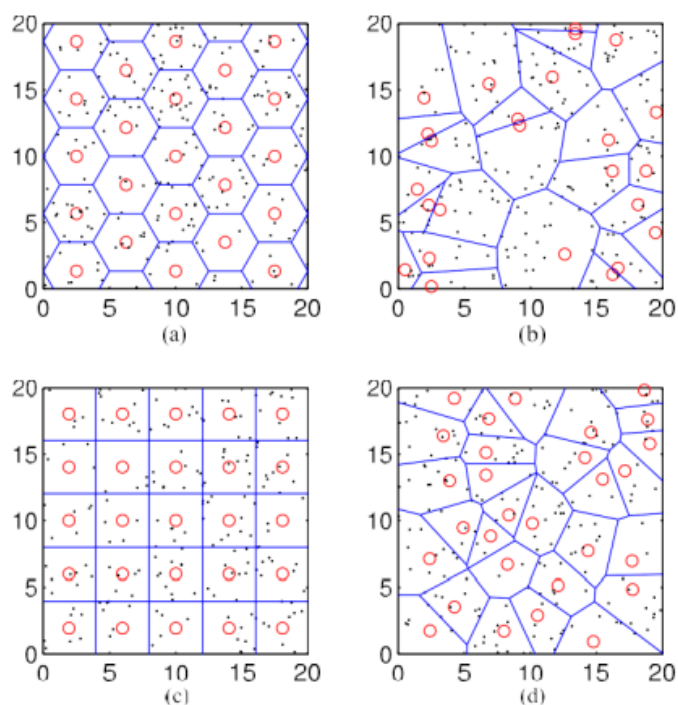
Dalším možným využitím by mohlo být připojení v botelech, které se velmi často nachází v přístavech nebo na místech s vysokou koncentrací dalších hotelů. Jelikož se jedná o loď, nelze, nebo je velmi komplikované zajistit připojení k síti pomocí kabelového spojení. Z tohoto důvodu se připojují pomocí rádiových sítí a poté vytvářejí vlastní LAN síť v podobě WiFi. Vzniká tak vysoká koncentrace lokálních sítí na stejné frekvenci a dochází k vzájemnému rušení. Jelikož se musí jednat o trvale zakotvené osobní lodě, dalo by se zde využít nejprve FSO systému, kdy by se v přístavišti vytvořila vysílací věž, která by pro každý hotel obsahovala vysílač. Případné houpaní lodě ve vlnách by nemělo způsobovat žádné problémy, díky automatickému natočení paprsku, který byl zaveden z důvodu větru. Poté by byl použit LiFi systém a tím by se eliminovalo vzájemné rušení, zároveň by se zvýšila stabilita sítě a její rychlost.

Největší výhodou technologie LiFi je její bezpečnost, proto by mohla najít uplatnění v místech s cennými údaji. Velké uplatnění by mohla nalézt v bankovníctví nebo ve vládních budovách, kdy některé vládní budovy ve světě již z tohoto důvodu používají technologii FSO. Největší riziko napadení útočníkem je na bezdrátových sítích, proto je nutné tyto sítě zabezpečit. A v místech, kde uživatelé např. nemají signál pro mobilní data jsou nuceni se na bezdrátovou síť připojit a v těchto případech by to pro ně nemělo znamenat riziko ztráty osobních údajů či jiných cenných informací.

8 Topologie sítě

Bezdrátové sítě se obvykle skládají z několika hlavních bodů a to, struktura sítě, rozmístění AP, metoda přístupu, použitá modulační technika, páteřní připojení tzv. backhaul a u LiFi sítí je také nutné zohlednit osvětlení. Skládají se tedy ze šesti základních komponent. Hlavním parametrem struktury sítě je, zda se jedná o vnitřní či venkovní síť, podle toho se poté řídí vytváření sítí pro co nejlepší flexibilní komunikaci mezi uživateli a síťovými prvky. (30)

Při rozmísťování AP je třeba si uvědomit, že každé AP vytváří buňku sítě. Modely na rozmístění buněk se dělí na jedno a dvourozměrné. Jednorozměrné modely mají lineární uspořádání a používají se nejčastěji pro venkovní sítě. Pro vnitřní sítě se více hodí dvourozměrné modulace, které se mohou skládat ze čtyř modelů *“mřížka, hexagonální, Poissonův bodový proces, Hardcore bodový proces”* (26) (viz. obr.9). Nejrozšířenější a nejvíce používaný při výzkumech LiFi sítí je mřížkový model. Jedná se o uspořádání sousedících čtverců, proto se také může nazývat čtvercový model. Výrazněji se hodí do velkých vnitřních prostor s pravidelným osvětlením, jako jsou kanceláře nebo veřejné prostory. Hexagonální model se skládá ze šestiúhelníků, které jsou poskládány vedle sebe. Toto řešení zajišťuje u LiFi sítí nejmenší vzájemné rušení. Poissonův model spočívá v náhodném rozmístění AP, jeho nevýhodou je pravděpodobnost pokrytí. Snadno se může stát, že vzniknou místa bez signálu. U Poissonova modelu se *“počet přístupových bodů řídí Poissonovým rozdělením a přístupové body jsou geograficky navzájem nezávislé.”* přeloženo z (7). Hlavní nevýhodou tohoto modelu je fakt, že mohou vedle sebe ležet dva AP což je nereálné. Právě na to reaguje Hardcore bodový proces, který obsahuje parametr, jenž určuje minimální vzdálenost mezi jednotlivými AP. Model hexagonální (jiná literatura uvádí název šestiúhelníkovou) mřížkou vykazuje nejvyšší výkon, zatímco Poissonův model projevuje nejmenší výkon. (7) (30)



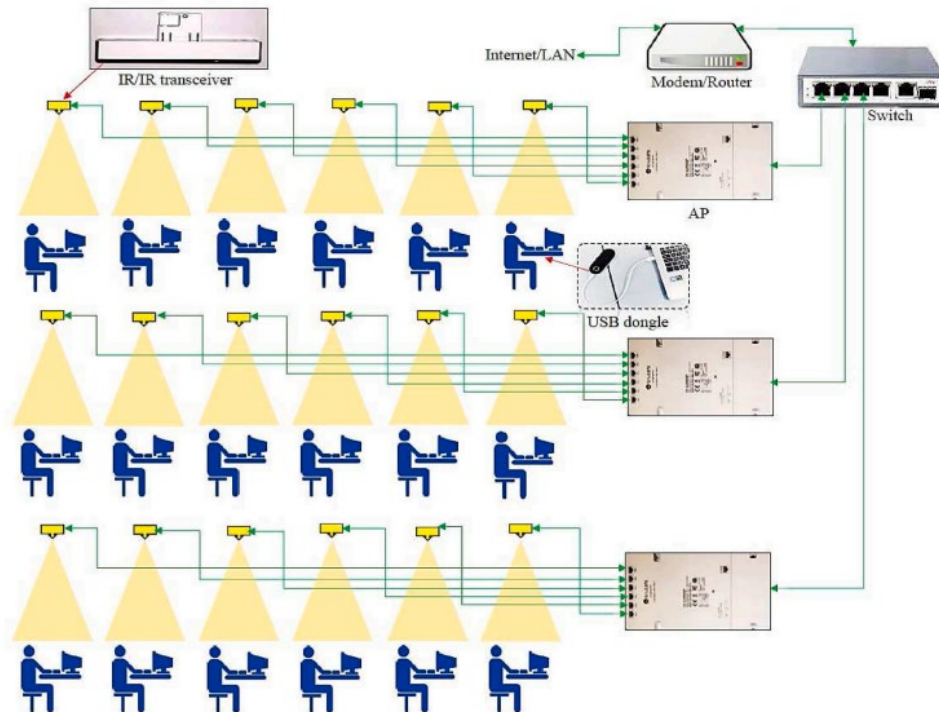
Obr. 9 a)hexagonální model b)poissonův model c)mřížkový model d)Hardcore bodový model (Zdroj: (7))

U LiFi sítí rozmístění AP výrazně ovlivňuje výkonost sítě. Ke zmírnění rušení se data kódují a používá se frekvence u bílých LED diod s fosforovým povlakem 0 až 20 MHz a mikro LED používají frekvence mezi 60-100 MHz. Tato frekvence se dá rozdělit mezi jednotlivé vysílače a tím dochází ke zmírnění vzájemného rušení. (7)

Backhaul zajišťuje páteřní spojení s venkovní sítí, ale u LiFi zároveň připojuje jednotlivé AP do síťové centrální jednotky. Je nutné uvědomit si důležitost tohoto prvku, může to být právě klíčový aspekt výkonosti celé sítě. V síti mohou být nainstalována rychlá bezdrátová zařízení, ale při pomalé přenosové rychlosti backhaulových kabelů dojde k nevyužití jejich kapacit. Je tedy nutné při návrhu LiFi sítě, která může mít přenos až několik Gb/s, navrhnout také odpovídající backhaul. Proto se u LiFi sítí mluví nejčastěji o propojení jednotlivých AP pomocí optických kabelů, které dokáží přenášet data odpovídající rychlostí. (30)

Při řešení LiFi sítí nám vzniká nový parametr, požadavek na osvětlení. Hlavně v systémech, které používají viditelné světlo ze svítidel pro svůj přenos. Při návrhu rozmístění musíme hledat nejušpornější řešení, ale zároveň musíme dbát na předpis osvětlení v místnosti, který musí být 300-1500 luxů. LiFi systémy bývají nastaveny na průměrný optický výstup okolo 500 luxů, které zajišťují bezproblémové čtení. (7) Obvykle je světelný zdroj umístěn na stropě a jeho realizace probíhá soustředěním na střed místnosti, zatímco v rozích bývá nízká úroveň světla. Pro co nejefektivnější LiFi síť je zapotřebí jednotného pásu světla po celé délce místnosti. Některé systémy využívají pro

přenos pouze infračervené světlo. V tom případě nezajišťují osvětlení a musí být realizovány jiným způsobem. (30)



Obr. 10 Ukázka možnosti realizace sítě pomocí TruLiFi 6002 (Zdroj: (30))

Jaké komponenty budou použity v LiFi síti záleží na mnoha faktorech, umístění nebo výrobci zařízení. Některé vysílače např. od PureLiFi mohou být rovnou připojeny k vnější síti, tedy celou síť může tvořit jeden vysílač. Ty lze backhoullem spojit do jednoho switchu a vytvářet jednu síť. Další varianta připojení je pro výrobky (viz. obr. 10) od Signify, kde vysílač musí být připojen do tzv. jednotného AP a až teprve ten je připojen pomocí modemu k vnější síti. Pokud se vezme síť na obr. 11, je rozdělena do osmnácti buněk. Může se jednat o jednu velkou kancelář nebo osmnáct menších místností. Pro připojení do sítě vždy slouží vysílač, který tvoří vlastní buňku a je přes backhaul spojen se zařízením s názvem AP, ke kterému lze připojit až 6 vysílačů. Při větším množství vysílačů, jako v tomto případě, je nutné přidat další AP a pro zajištění spojení jsou zavedeny do switchu, ze kterého jde signál na modem. Ten, kdyby měl hybridní LiFi/WiFi síť, by mohl sloužit i jako router, čili AP pro WiFi část sítě. V tomto případě se však stará pouze o spojení vnitřní a vnější sítě. Použité switchu a modemy se nijak neliší od stávajících, používaných u rádiových sítí, v tom je alespoň nějaká finanční úleva při přechodu z WiFi na LiFi síť.

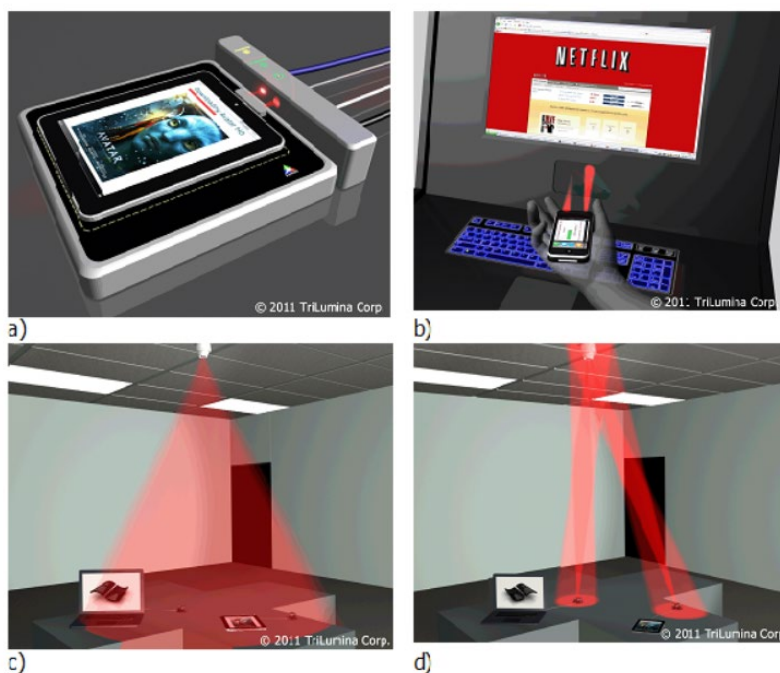
8.1 Možnosti připojení

LiFi konsorcium zavedlo názvy pro modely připojení, které se vypořádávají s uživatelskými scénáři. Jedná se o Giga Dock, GigaBeam, Giga shower a Giga MIMO (viz obr.11). Každý z nich řeší jiný uživatelský přístup, jejich zavedení je pro bezpečný a rychlý přenos tzv. gigabitové rychlosti, hlavně pro vnitřní prostory. (31)

Giga Dock je řešení pro mobilní telefony či tablety, v některých případech i notebooky a rychlost zde teoreticky dosahuje až 10Gb/s. Během přenosu je možné zařízení zároveň nabíjet, jde o tzv. dokovací stanici pro připojené zařízení, vzdálenost připojení je do 10 cm. Dále Model GigaBeam, který slouží pro připojení bod-bod pro rychlý přenos mezi dvěma zařízeními. (31)

Modely Giga shower a Giga MIMO slouží pro vysílače především na stropě a pevně umístěné přijímače. Jedná se již o pracovní prostory jako jsou kanceláře nebo haly. Přenos může probíhat na vzdálenost několika metrů. Giga shower vytváří jednosměrný přenos od vysílače k více přijímačům, jeho využití je tedy pouze v místech, kde není potřeba zpětné posílání signálu, např. sledování televize nebo rádiových stanic. Giga MIMO už nabízí obousměrnou komunikaci a lze ho tedy využít i např. na přesné určování polohy uživatele. (31)

Vícenásobný přístup je jednou z hlavních výhod bezdrátových sítí. Jako má WiFi pro vícenásobné připojení své standardy IEEE 802.11, aby nedocházelo ke kolizím, stejně tak LiFi předchází vzájemným kolizím pomocí přístupových metod jako je např. SDMA a NOMA vysvětlené v kapitole 4.1. (30)



Obr 11 a)Giga Dock b)GigaBeam c)Giga shower d)Giga MIMO (Zdroj: (32))

8.2 Změny v topologii

U domácích WiFi LAN sítí se jako AP pro celý prostor používá ve většině případů modem, který slouží jako AP a zároveň propojuje vnitřní a vnější síť. U větších budov, jako jsou ubytovací zařízení se musí používat zpravidla více AP pro lepší a rovnoměrné pokrytí celého prostoru. Zde už modem neplní funkci AP, ale musí být použity zařízení přímo sloužící jako vysílače. Zpravidla u těchto sítí platí, že AP se nachází na chodbě a slouží pro několik pokojů najednou. AP jsou poté backhaulem spojeny do modemu. V případě LiFi struktury sítě se bude muset vysílač nacházet v každém pokoji (viz. obr. 12), výrazně se tedy zvětší počet AP i množství kabelů použitých v backhau. Při větším množství AP u WiFi sítí musejí být nejprve svedeny do switchů a až poté do modemu, u LiFi je tento princip obdobný. Zařízení modem a switche zůstávají stejné jako u WiFi sítí. Celkově by se dalo říci, že provedení sítě pomocí LiFi je výrazně náročnější na realizaci, protože se musí kabel pro vysílače přivést do každé místnosti, narozdíl od WiFi, kdy tento rozvod stačí pouze po chodbách a v menším množství. LiFi sítě jsou také kvůli množství kabelů, vysílačů a množství switchů náročnější na přehlednost. (7)(30)

8.3 Možnosti kombinace s WiFi

Jak již bylo řečeno, LiFi momentálně nemá ambice na plné nahrazení WiFi. Pouze aplikace, kde WiFi sítě nefungují z nejrůznějších důvodů, nebo jejich použití není dostatečné. Dalším krokem ve vývoji této technologie a téma, o kterém se momentálně nejvíce píše, je kombinace LiFi a WiFi v jednu souběžně fungující síť. Jak již bylo vysvětleno v kapitole 8., u LiFi sítí při zvětšující hustotě pokrytí kolísá rychlost přenosu, ale pro její opětovné zvýšení. lze stávající síť překrýt WiFi sítí. Právě toto je jeden z klíčových faktorů pro vznik hybridních LiFi/WiFi sítí. (7)

Hybridní sítě LiFi/WiFi mají čtyři základní prvky, které ukazují chování sítě a tím je vzájemné ovlivňování či rušení, uživatelský model chování, předávání a vyvažování kvality přenosu. (30)

Základním předpokladem pro realizaci těchto sítí je podstata, že WiFi pracuje na rádiovém spektru a LiFi na optickém spektru. Obě technologie tedy pracují v jiném spektru a nedochází k žádnému vzájemnému rušení. Problém ovšem nastává při hustotě sítě, kdy se mohou vzájemně rušit LiFi AP, proto hlavní myšlenkou je použití méně vysílačů LiFi a nepokrytá místa vyplnit pomocí signálu WiFi. Hybridní sítě LiFi/WiFi se tedy zaměřují na zmírnění rušení LiFi. (30)

Dalším aspektem je chování uživatele, na kterém často závisí účinnost a kvalita sítě. Jedná se o mobilitu uživatele, nahodilou blokadu linky nebo náhodnou orientaci zařízení. Mobilita uživatele představuje výrazný problém, proto pro ni bylo vytvořeno několik modelů jak pro vnitřní, tak i venkovní síť. Modely se zabývají jak pohybem uživatele po místnosti, tak i s jeho zastavením, či

velkou koncentrací uživatelů u jednoho AP a tím zpomalení sítě. Nakonec uživatel může svým pohybem blokovat signál pro ostatní uživatele, protože LiFi je oproti WiFi náchylné na blokování signálu. Dalším faktorem ovlivňujícím rychlost a stabilitu sítě je orientace zařízení. Zatím co u WiFi je tento vliv zanedbatelný, u LiFi tomu tak není. Pokud je přijímač pod špatným úhlem dochází k výraznému zpomalení přenosu a v případě úplného otočení může dojít ke ztrátě spojení. Avšak v současné době na tento jev není vhodný model, proto je ve většině studií ignorován. (30)

Předávání je pro budoucnost hybridních sítí klíčové, musí docházet k předávání uživatele mezi jednotlivými LiFi AP nebo mezi LiFi a WiFi, aniž by došlo k odpojení uživatele nebo dlouhé odezvě. Předání se dá rozdělit na dvě kategorie, měkké a tvrdé. Měkké *“přepínáním je navázáno nové spojení předtím, než se uživatel odpojí od hostitelského AP. To umožňuje přenos dat souběžně s procesem předání”* přeloženo z (30) a tvrdé *“uživatel nejprve odpojí své aktuální spojení a poté naváže nové připojení k jinému AP, známému jako cílový AP. Během procesu předání si cílový uživatel a AP vyměňují signalizační informace prostřednictvím vyhrazených kanálů a nebude k dispozici žádný přenos dat”* přeloženo z (30). Zatímco měkké předání se hodí pro systémy pracující na stejné frekvenci, tvrdé požaduje změnu používané frekvence. Hybridní sítě používají ještě horizontální a vertikální předávání. (30)

“Horizontální předání probíhá v rámci jedné bezdrátové přístupové technologie” přeloženo z (30). Jedná se tedy o předávání pouze v rámci systému LiFi. Jak již bylo vysvětleno, chceme mít pokrytou co největší možnou oblast, ale vlivem překrývání dochází k vzájemnému rušení a snižování rychlosti, proto byl vytvořen algoritmus pro optimální pokrytí, který souvisí s předáváním uživatelů mezi jednotlivými AP. Horizontální předání lze rozdělit na předávání bez překrývajících se oblastí a s překrývajících se oblastmi. V prvním případě se zařízení během předání dostane do oblasti bez pokrytí signálem a na tento okamžik dojde k odpojení od sítě a k opětovnému připojení po vstoupení do jiné oblasti s pokrytím signálu. Prakticky se může jednat o přechod mezi místnostmi. Toto předávání podporuje přesné určení polohy. (7)(30)

Vertikální předávání na rozdíl od horizontálního probíhá mezi různými technologiemi. Toto předávání je základním stavebním kamenem pro hybridní sítě LiFi/WiFi, protože zajišťuje předávání mezi nimi. Aby bylo toto předávání automatické a zajišťovalo co nejlepší provoz sítě, byla vytvořena metoda, která bere v potaz několik faktorů pro určení na kterou síť uživatele připojí. K přepojení může dojít z několika důvodů, jako je např. zablokování dráhy, nebo odklonění signálu, dalším faktorem pro přepojování bude přenosová rychlost. WiFi síť má však určitou kapacitu a zvyšujícím se počtem uživatelů klesá její přenosová rychlost, proto by mělo docházet k připojení jenom v případě potřeby. Vertikální předávání je náročnější a trvá delší dobu než horizontální. Obecně se

má za to, že pro mobilní uživatele by měla sloužit WiFi síť, protože výrazněji podporuje mobilitu a pro statické uživatele bude sloužit LiFi. (30)

Myšlenka dle autora (18) pro hybridní síť v ubytovacích zařízeních je taková, že pokoje pro hosty by se nacházely v LiFi sítích a pro snadnější mobilitu a nyní zlevnění pořizovacích nákladů, by byl uživatel na chodbách, či jiných částech ubytovacího zařízení obsluhován pomocí sítě WiFi.

Pokud zařízení nacházející se v síti WiFi zaznamená silnější signál ze sítě LiFi, tak se k ní připojí. V hybridních sítích se očekává velmi časté přepojování, což může vést k dalším přepojováním z důvodu vyrovnávání sítě. *“Proces předání trvá v průměru asi 30-3000 ms”* přeloženo z (7). Pomocí používaných modelů lze ovlivnit počet předání, kterých by mělo být co nejméně. (7)

Posledním prvkem sítě je vyvažování kvality přenosu. V ideálním případě zajišťuje síť stejně kvalitní a rychlý přenos po celé ploše, ale vlivem rušení, překrývání nebo mobility uživatelů se tomuto stavu velmi těžko přibližujeme. Proto se síť snaží vyvažovat zátěž rovnoměrně po celé oblasti, cílem automatické techniky je optimalizovat zdroje, zvýšit efektivitu, zmenšit dobu odezvy a snížit přepětí v síti. Hybridní síť mohou pro vyrovnání zátěže použít dva způsoby, buď přepojení zařízení k jinému LiFi AP, nebo přepojení mezi technologiemi. Přiřazování bodů by mělo probíhat pro všechna zařízení spravedlivě. Nejlepší kvalita signálu se nachází uprostřed buňky každého vysílače a k okraji postupně klesá. Obecně se předpokládá, že v místech překrývání by bylo nejvhodnější přepojovat zařízení na WiFi. Z výzkumů vyplývá, že při zhoršení propustnosti v síti WiFi se zmenšuje i propustnost LiFi a při zlepšení propustnosti u LiFi se zlepšuje i u WiFi, tyto data jasně naznačují, že při vyrovnávání zátěže jsou na sobě tyto dvě sítě závislé i přes odlišná používaná spektra. (7)(30)

Jak samotné LiFi sítě, tak i hybridní LiFi/WiFi sítě mají základních šest kritérií, podle kterých lze hodnotit výkon a účinnost sítě. Jedná se o *“pravděpodobnost pokrytí, spektrální účinnost, plošná spektrální účinnost, účinnost sítě, spravedlnost a kvalita služeb”* přeloženo z (30).

Pravděpodobnost pokrytí a spravedlnost rozdělování signálu mezi uživateli byla již vysvětlena. Spektrální účinnost vyjadřuje a lze s její pomocí měřit účinnost spojení mezi AP a zařízeními. Spektrální účinnost *“ukazuje plošnou datovou výkonnost optických sítí v závislosti na šířce pásma kanálu”* přeloženo z (7). Výzkumy prokázaly vyšší spektrální účinnost hybridních sítí než samotných LiFi nebo WiFi sítí. Aby bylo možné hybridní síť porovnávat s klasickými, bylo nutné vytvořit jednotné kritérium. Vznikl matematický vzorec podílu přenášené rychlosti a oblastí sítě. Spektrální účinnost také ukazuje potenciál LED diody v závislosti na šířce použitého pásma. (7)(30)

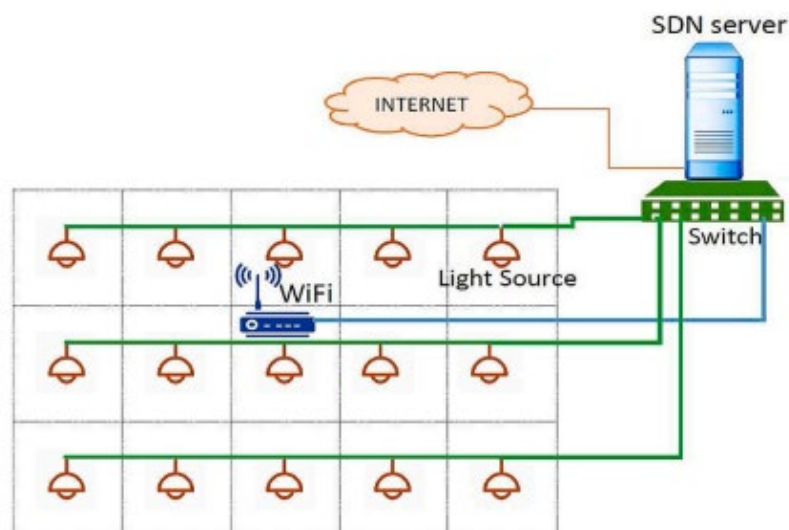
Energetická účinnost se stává v posledních několika letech velmi důležitou a letos, kdy nastupuje energetická krize je toto téma obzvlášť důležité. LiFi sítě obecně prokazují lepší energetickou

účinnost oproti rádiovým sítím, ovšem hybridní sítě LiFi/WiFi mají výrazně větší energetickou účinnost i oproti WiFi. Na účinnost má vliv několik parametrů, nejdůležitější z nich jsou počet uživatelů a počet LED diod. (30)

Propustnost sítě je jeden z hlavních cílů pro zlepšení celé sítě. Přidání WiFi zajistilo, že pravděpodobnost odpojení od sítě je poloviční, než u samostatných LiFi sítí. Jak již bylo řečeno, pro mobilní uživatele je spíše vhodná WiFi, protože LiFi vysílače vysílají signál ve tvaru kužele s tím pádem plocha signálu závisí na vzdálenosti od vysílače. Naopak mobilní uživatel většinou s mobilním telefonem má své zařízení podstatně výš, než uživatel s počítačem, kde je plocha signálu výrazně menší, proto, aby se nemusela zvyšovat hustota pokrytí vysílači, dojde k přepojení na WiFi síť. (30)

Kvalitu sítě může určovat několik faktorů, ale dnešní uživatele nejčastěji zajímá přenosová rychlost. Na její velikosti závisí kvalita přehrávaných videí, streamování či hraní videoher. A právě LiFi sítě a posléze i hybridní LiFi/WiFi sítě by měly tuto potřebu zvládnout. (30)

Z hlediska použitých komponent pro hybridní sítě se skládá z obousměrných vysílačů, jak LiFi tak i WiFi, celým mozkiem sítě je centrální jednotka (viz. obr. 12), která tyto dvě technologie spojuje do jedné sítě a vytváří onu hybridní síť. Tato jednotka se nazývá SDN server. Každé zařízení připojené k síti musí mít jak rádiový (WiFi) přijímač tak optický LiFi. Centrální jednotka při neustálé monitoraci získává data o stavu spoje se zařízeními a podle toho určuje, ke kterému AP je připojí. Komponenty sítě jednotlivých částí se nijak neliší, dokonce mohou zůstat nezměněny, jako by se jednalo o čistě LiFi nebo WiFi síť. Aby síť fungovala jako jedna síť dohromady, je zapotřebí SDN server. (7) (30)



Obr. 12 Schéma hybridní sítě (Zdroj: (30))

9 Praktická realizace

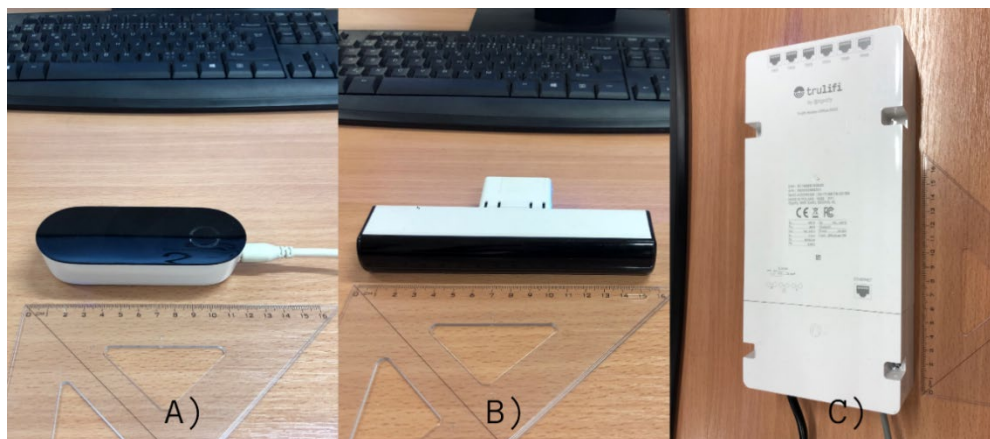
Předchozí část práce se zabývala teoretickou částí nezbytnou k pochopení problematiky LiFi, následující část se bude věnovat ověření teoretických hodnot a funkčnosti LiFi zařízení. Práce bude zaměřena na přenosové rychlosti v závislosti na vzdálenosti zařízení od vysílače. Porovná data výrobce s naměřenými hodnotami.

9.1 Použité LiFi komponenty

K měření byly vybrány přístroje od firmy Signify, které společnost poskytla na Technickou fakultu pro studijní účely. Jedná se o dva modely, první ze série Trulifi 6002 a druhý Trulifi 6013, jedná se o poměrně odlišné přístroje s jiným smyslem využití. Technické parametry a ceny obou přístrojů byly popsány v kapitole 4.4.1.

9.1.1 Trulifi 6002

Produkt od společnosti Signify Trulifi 6002 je systém navržený převážně pro vnitřní prostory jako jsou kanceláře. Je realizován pomocí vnitřního osvětlení, kdy je vysílač namontovaný ke stropnímu osvětlení. Zařízení pracuje v oblasti infračerveného spektra. Systém funguje bod-více bodů, podporuje tedy mobilitu a předávání uživatele mezi jednotlivými vysílači. Celý systém se skládá ze tří hlavních komponent (viz. obr. 13), modemu (v některé anglické literatuře označovaný jako access point), který musí být napájen z elektrické sítě a na vstupu připojen kabelem RJ45, kterým je propojen k vnější síti. Na výstupu má šest portů pro připojení vysílačů. K jednomu modemu může být tedy připojeno až šest vysílačů. Vysílače by měly být ve vzdálenosti 1,8 až 2,8 m od zařízení, od toho se odvíjí i pokrytá oblast, která může být při maximální vzdálenosti až 7,1 m². Poslední zařízení je přijímač neboli dongle, jedná se o malé zařízení, které se připojí pomocí daného konektoru k zařízení. Přenosové rychlosti viz. tab. 2. Celý systém je tzv. „plug and play“, tedy stačí připojit dongle k zařízení a konfigurace k síti proběhne automaticky. Systém podporuje operační systémy Windows a macOS. (11)(17)



Obr. 13 Zařízení Trulifi A)dongle B)vysílač C modem (AP) (Zdroj: (vlastní))

9.1.2 Trulifi 6013

Tento produkt od společnosti Signify je převážně pro průmyslové prostory. Komunikace probíhá prostřednictvím bod-bod, nepodporuje tedy mobilitu uživatele. Systém se skládá ze zdroje, přijímače a vysílače. Trulifi 6013 dokáže komunikovat až na vzdálenost 8 m. Přenosové rychlosti viz. tab. 1. Zdroj je nutné zapojit do elektrické sítě a připojit ethernetový kabel pro zajištění síťové konektivity. U tohoto produktu vypadají přijímač a vysílač stejně (viz obr. 14), nejedná se tedy o malé zařízení, jako je např. dongle u systému 6002 (viz. obr. 13). Vysílač je připojen ke zdroji pomocí ethernetového kabelu, vysílač vysílá viditelný paprsek světla (viz. obr. 14) (na rozdíl od Trulifi 6002), který je vysílán na přijímač, ten lze koupit ve třech variantách s USB 3.0, USB-C a RJ45. V této práci byla použita varianta s USB 3.0. U tohoto produktu lze zvolit vysílanou barvu, výrobce nabízí modrou, červenou nebo zelenou. I tento produkt, stejně jako Trulifi 6002, stačí pouze připojit k uživatelskému zařízení a instalace ovladače a konfigurace sítě proběhne automaticky, opět podporuje operační systémy Windows a macOS. (17)



Obr. 14 Zařízení TruLiFi 6013 A)vysílač/přijímač B)přenos mezi vysílačem a přijímačem (Zdroj: (vlastní))

9.2 Měřicí prostředí

Měření přístroje Trulifi 6002 probíhalo v počítačové učebně, jedná se tedy o vnitřní místnost s vlastním osvětlením a konstantní teplotou. V místnosti jsou okna, ale měření probíhalo na odlehlejší straně, proto by denní světlo nemělo mít na měření žádný vliv. V této práci nebude brán ohled na rušivý element vnitřního osvětlení. Jelikož je tento produkt navržen převážně pro kancelářské místnosti, je tato místnost na otestování vhodná. Zároveň splňuje podobné podmínky jako většina místností ubytovacích zařízení.

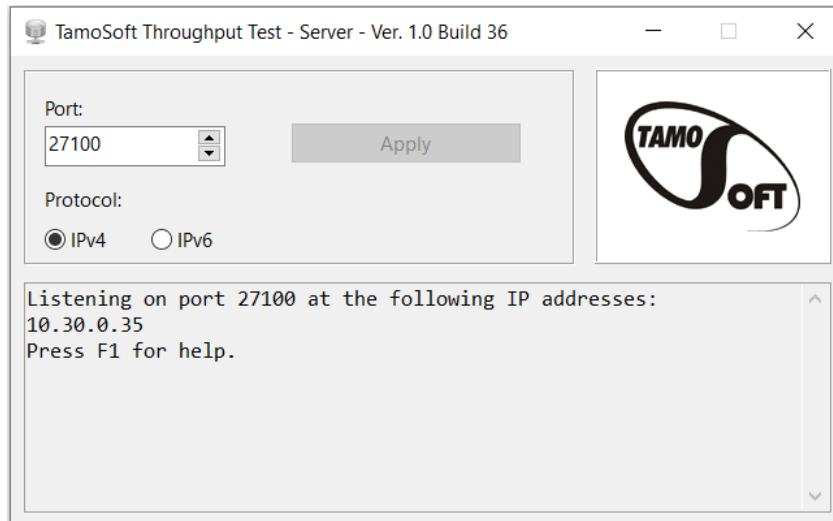
Přístroj Trulifi 6013 byl, kvůli délce dosahu, měřen na chodbě Technické fakulty. Jedná se o dlouhou místnost bez postranních okenních otvorů, pouze s jedním oknem na konci. Osvětlení místnosti zajišťují stropní svítidla. Toto zařízení bylo navrženo pro průmyslové použití, proto by mělo v těchto podmínkách, kdy nedochází k prášení či jiným znečištěním vzduchu a jeho viditelnosti, pracovat bez problému. Během měření byla stropní světla vypnuta.

9.3 Vyhodnocovací software

Pro měření a vyhodnocování výsledků při měření byl použit program od společnosti TamoSoft – Throughput Test WLAN Performance Meter 1.0 Build 36. Software je bezplatný a lze ho stáhnout z URL adresy: <https://www.tamos.com/download/main/>. Program lze stáhnout pro operační systémy Windows 7 a novější, macOS, Android 4.1 a novější, IOS 8.0 a novější. Měření probíhá na základě klient a server, kdy je zapotřebí mít k měření dvě zařízení s tímto programem, kdy jeden funguje jako server a druhé zařízení spuštěné jako klient, se připojuje a posílá packety na server. Po nainstalování programu stačí pouze otevřít soubor s programem, v dané složce se nachází aplikace klienta i serveru a na daném zařízení je nutné spustit odpovídající aplikaci. Po spuštění se na serveru nastaví IP adresa a číslo portu, které by se nemělo během měření měnit. (32)

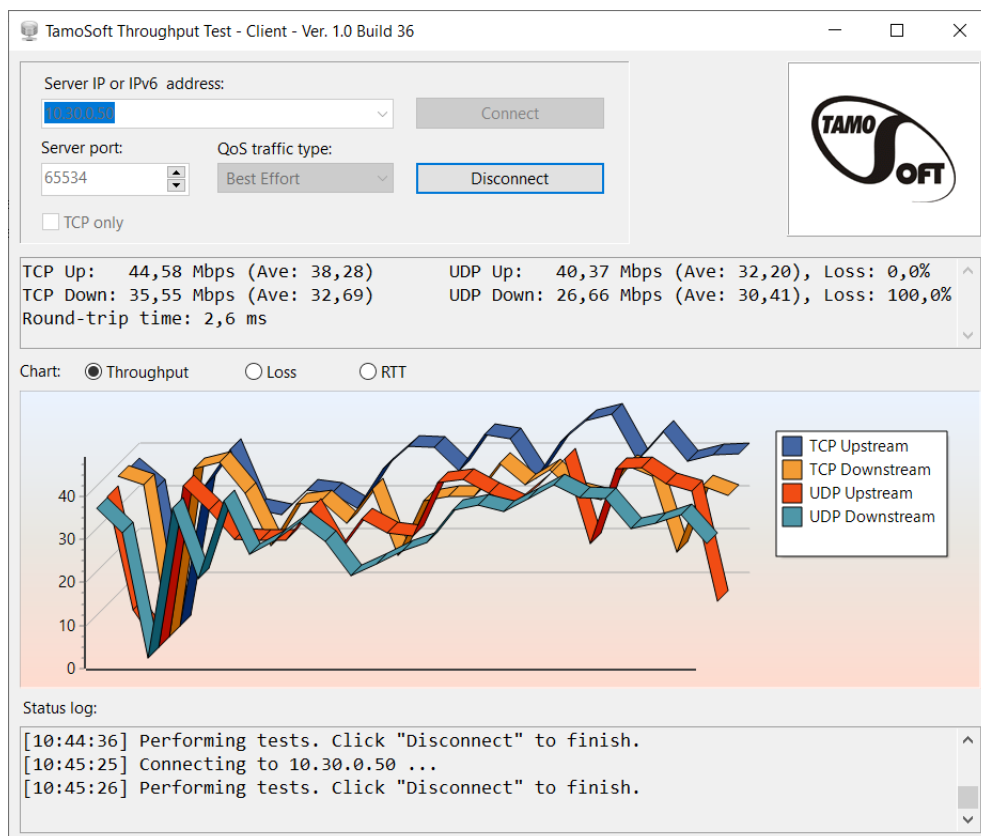
Pro měření v této práci byly použity tyto parametry:

- **IP protokol:** IPv4
- **IP adresa serveru:** 192.168.1.149
- **č. portu:** 27108



Obr. 15 Program TamoSoft ve verzi server (Zdroj: (vlastní))

Program nepřetržitě posílá TCP a UDP pakety pro upload a download v Mb/s. Program zobrazuje hodnoty v čase a rovnou z nich vytváří graf. Tyto hodnoty vidí uživatel na zařízení připojené jako klient (viz. obr. 16). Pro připojení klienta k serveru je nutné zadat stejnou IP adresu jakou má server a číslo portu (viz. obr. 15), poté stisknutím tlačítka connect dojde k připojení a přenosu dat, pro odpojení a přerušování měření stačí zmáčknout tlačítko disconnect. (32)



Obr. 16 Program TamoSoft ve verzi klient (Zdroj: (vlastní))

Program TamoSoft zobrazuje naměřené hodnoty v čase, ale neumí tyto hodnoty ukládat. Bylo tedy potřeba vymyslet způsob sběru dat. Data byla sbírána po zklidnění systému, kdy již nedocházelo k výraznému kmitání dat. Vždy byl pořizován záznam obrazovky s aktuálními daty (viz. obr. 16) pro sběr dat.

9.4 Metodika měření

Měření bude rozděleno na dvě části, kdy v každém z nich bude probíhat měření jiného přístroje z důvodu jejich odlišností. Každý z nich bude měřen na přenosovou rychlost v závislosti na vzdálenosti vysílače a přijímače, dobu odezvy a čas opětovného připojení. Doba obnovení bude testována z důvodu přechodu zařízení od jednoho vysílače k jinému, pokud by se zde nenacházela překrývající se plocha. Tato situace by mohla nastat např. u větších pokojů s menším počtem vysílačů, při přechodu z koupelny zpět do pokoje nebo, pokud by v bytovacím zařízení byla pouze LiFi síť bez hybridní části, by mohlo docházet k takovému přepojení při přechodu z pokoje na chodbu.

V první části bude probíhat měření na přístroji Trulifi 6002, tento přístroj má dle výrobce maximální dosah až 2,8 m. Měření bude prováděno i na větší vzdálenosti, aby bylo zjištěno, zda bude použitelné i v místnostech s vyšším stropem, které se v některých hotelech nachází. Samotné měření bude probíhat umístěním vysílače na hranu židle, dojde k jeho upevnění a do stejné výšky bude upevněn přijímač. Židle bude použita z důvodu, že se jedná o přístroj určený především na strop a při měření na podlaze by mohlo docházet k odrazu paprsků a zkreslování výsledků. Bude docházet k postupnému oddalování a zaznamenávání hodnot. Měření opětovného připojení bude realizováno pomocí neprůhledných desek, které budou umístěny před přijímač a pomocí grafu v programu TamoSoft bude sledováno v čase, kdy dojde k opětovnému připojení.

V druhé části bude probíhat měření na přístroji Trulifi 6013. Tento přístroj má dosah až 8 m a měření bude probíhat do vzdálenosti, kdy bude přístroj schopen přenosu. Samotné měření bude obdobné jako u přístroje Trulifi 6002 s rozdílem, že tento přístroj je určen primárně na spojení bod-bod, proto bude umístěn na podlaze pro jednodušší manipulaci při oddalování. K odražení paprsku od podlahy by zde nemělo docházet.

10 Výsledky měření

Tato část práce se bude zaměřovat na praktická měření, která budou poté vyhodnocena podle předem daných struktur určených v předchozí kap. 9.4. Kapitola je rozdělena do dvou podkapitol podle použitého přístroje. V práci budou zobrazeny pouze průměrné hodnoty z každé části měření, kompletní data budou umístěna v příloze.

10.1 Měření na zařízení Trulifi 6002

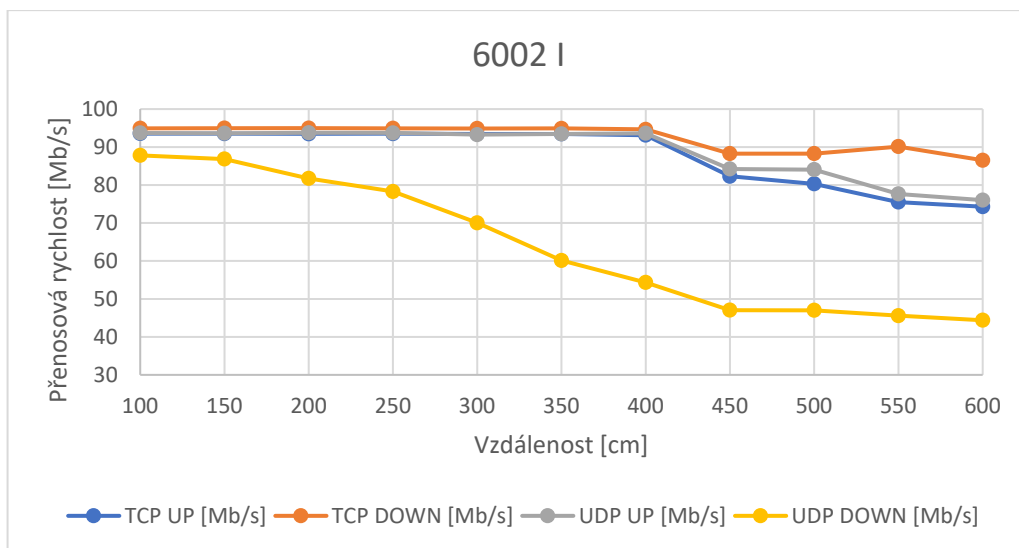
Data z měření na přístroji Trulifi byla zpracována a z naměřených hodnot byl zhotoven průměr a vložen do tab. 3.

Vzdálenost [cm]	TCP UP [Mb/s]	TCP DOWN [Mb/s]	UDP UP [Mb/s]	UDP DOWN [Mb/s]	Čas na opětovné připojení [s]	Odezva [ms]
100	93,53	94,93	93,70	87,80	6,19	1,9
150	93,52	94,98	93,63	86,83	6,31	2,0
200	93,47	94,98	93,76	81,73	5,75	2,0
250	93,52	94,93	93,72	78,29	6,68	2,0
300	93,43	94,89	93,27	70,05	6,14	2,1
350	93,46	94,90	93,45	60,13	6,21	2,1
400	93,13	94,65	93,63	54,33	5,35	1,9
450	82,30	88,26	84,22	47,03	5,41	2,0
500	80,30	88,26	84,06	47,00	7,11	1,9
550	75,49	90,13	77,65	45,59	6,31	1,6
600	74,29	86,53	76,02	44,38	6,64	2,1

Tab. 3 Průměrné hodnoty z měření na zařízení Trulifi 6002 (Zdroj: (vlastní))

Měření probíhalo do vzdálenosti 600 cm. Při měření nulové vzdálenosti mezi vysílačem a přijímačem nedošlo ke spojení. Při oddálení na 50 cm došlo k připojení, ale pouze na několik vteřin a poté docházelo k odpojení, přenosové rychlosti při tomto měření kmitaly natolik, že nebylo možné jejich změřením. Proto bylo měření zahájeno od vzdálenosti 100 cm, kdy z doporučených hodnot od výrobce, by měla být vzdálenost alespoň 120 cm, přesto se zařízení připojilo a přenos byl velmi stabilní.

Nejprve bude představena přenosová rychlost a její závislost na vzdálenosti mezi vysílačem a přijímačem zobrazená v grafu 1.



Graf 1 Přenosové rychlosti v závislosti na vzdálenosti Trulifi 6002 (Zdroj: (vlastní))

Z grafu 1 vyplývá, že zařízení je schopné fungovat na delší vzdálenosti, než výrobce udává. Rychlost přenosu protokolu UDP DOWN postupně se vzdáleností klesá, zatímco hodnoty protokolů TCP UP, TCP DOWN a UDP UP jsou téměř konstantní až do vzdálenosti 400 cm, tedy mnohem více než udává výrobce, který stanovil provozní vzdálenost od 180 cm do 280 cm. Po vzdálenosti 400 cm začnou přenosové rychlosti protokolů mírně klesat, zatímco protokol UDP DOWN, který celou dobu klesal pokračuje téměř konstantně. Zároveň z hodnot vyplývá, že při žádné vzdálenosti zařízení nedosáhlo hodnot, které předepsal výrobce. Zařízení by mělo dosahovat přenosové rychlosti 150 Mb/s, při našem měření byly nasimulovány ideální podmínky a stejně těchto rychlostí nebylo dosaženo. Zároveň bylo prokázáno, že přístroj lze použít na vzdálenost 600 cm, kdy hodnoty přenosové rychlosti protokolu UDP DOWN sice poměrně výrazně klesly, ale ostatní protokoly TCP UP, TCP DOWN a UDP UP se stále drží na vysokých hodnotách.

Z měření bylo také zpracováno data měření času při opětovném připojení a odezva zařízení. Měření času bylo prováděno pomocí stopek a mohla zde vznikat hrubá chyba vlivem působení lidské činnosti. Zpracovaná data byla vložena do grafu 2.



Graf 2 odezva a čas při opětovném připojení Trulifi 6002 (Zdroj: (vlastní))

Z grafu 2 je patrné, že odezva systému nezávisí na vzdálenosti mezi vysílačem a přijímačem, v průběhu celého měření se pohybuje okolo hodnoty 2 ms. Nejvyšší naměřená hodnota byla 2,2 ms a nejnižší 1,5 ms, nejedná se tedy o velký rozptyl hodnot. Čas pro opětovné připojení nepravidelně kmitá přibližně mezi hodnotami 5,5-7 s, z těchto dat vyplývá, že systém pokaždé poměrně rychle obnoví spojení. Přechod mezi zařízeními nebo náhlé přerušování signálu z důvodu zakrytí tedy nezpůsobuje žádné vážnější komplikace.

10.2 Měření na zařízení Trulifi 6013

Data z měření na přístroji Trulifi 6013 byla zpracována a vložena do tab. 4.

Vzdálenost [cm]	TCP UP [Mb/s]	TCP DOWN [Mb/s]	UDP UP [Mb/s]	UDP DOWN [Mb/s]	Čas [s]	Odezva [ms]
100	93,54	91,44	91,65	94,01	5,61	2,0
200	93,44	92,69	93,79	93,81	5,43	1,8
300	93,46	93,00	93,79	93,72	5,32	1,7
400	93,41	93,44	93,75	93,41	5,84	1,9
500	78,35	93,34	87,48	93,40	5,86	1,9
600	40,74	90,18	44,02	91,99	7,15	2,2
700	69,00	82,32	76,31	91,87	6,54	2,2
800	37,73	54,18	40,83	60,06	8,15	2,5
900	51,77	39,82	58,26	43,08	7,09	2,5
1000	44,16	36,91	49,28	39,93	8,35	2,5
1100	35,23	19,00	40,72	20,47	8,35	2,4
1200	34,02	19,03	38,32	20,64	8,28	2,7
1300	10,98	11,96	18,05	14,24	10,32	2,9

Tab. 4 Průměrné hodnoty z měření na zařízení Trulifi 6013 (Zdroj: (vlastní))

Měření na zařízení Trulifi 6013 probíhalo od 100 cm a postupně byl přijímač oddalován, dokud nedojde ke ztrátě spojení. Poslední možná vzdálenost mezi vysílačem a přijímačem byla 1300 cm, při tomto měření trvalo systému podstatně delší dobu, než se přenosové rychlosti stabilizovaly. Při posunutí přijímače na vzdálenost 1400 cm již nedošlo ke spojení. Poslední možná vzdálenost, kdy se vysílač ještě dokázal připojit byla 1320 cm, ale přenosové rychlosti velmi kmitaly a nebylo možné provést měření.

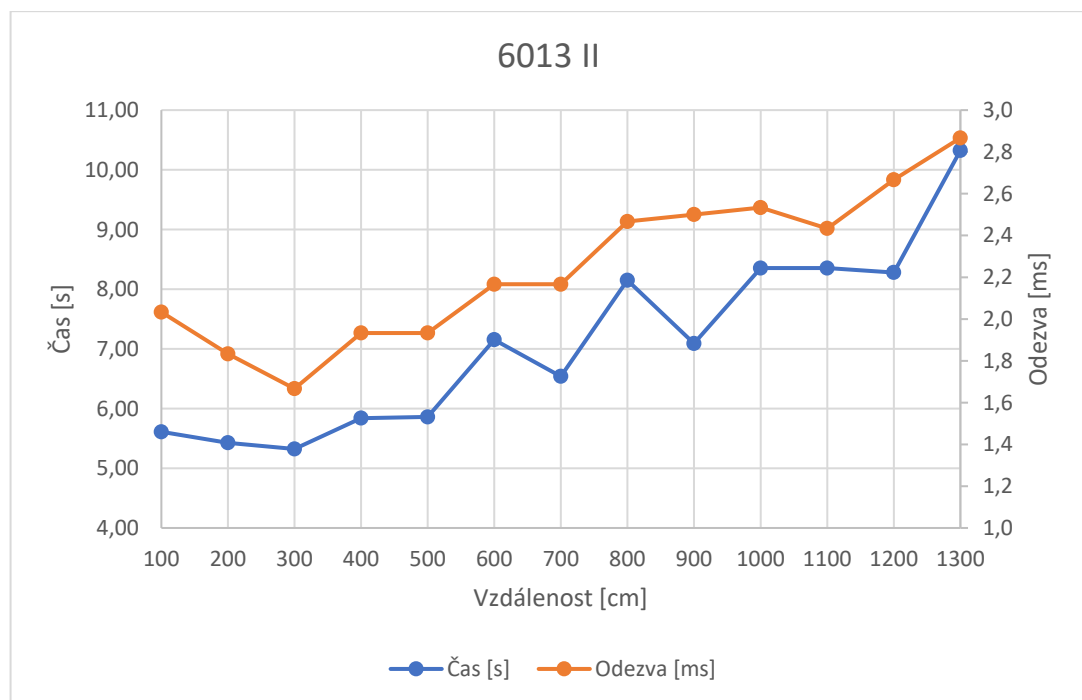
Závislost přenosové rychlosti na vzdálenosti mezi vysílačem a přijímačem zobrazuje graf 3.



Graf 3 Přenosové rychlosti v závislosti na vzdálenosti Trulifi 6013 (Zdroj: (vlastní))

Z grafu 3 vyplývá, že do vzdálenosti 400 cm jsou všechny hodnoty protokolů konstantní a pohybují se okolo hranice 93 Mb/s. Poté dochází u všech protokolů k poklesu, u protokolů TCP UP a UDP UP došlo v hodnotách vzdálenosti 600 cm a 800 cm k výraznému poklesu, mohlo to být způsobeno nečekaným rušivým elementem, avšak ostatní hodnoty v jiných vzdálenostech vykazují téměř lineární sestup. Z naměřených hodnot je vidět, že přístroj funguje na delší vzdálenost, určená výrobcem 800 cm. Po vzdálenosti 1000 cm pokračuje sestup hodnot přenosové rychlosti a lze říci, že systém sice funguje na větší vzdálenosti než 8 m, ale přenosová rychlost je zde výrazně nižší, než v rozsahu vzdáleností určených výrobcem. Zařízení by dle výrobce mělo dosahovat přenosové rychlosti v obou směrech 250 Mb/s, nejvyšší naměřená přenosová rychlost dosahovala hodnoty 93Mb/s.

Z dat měření času pro opětovné připojení a odezvy systému, byl vytvořen graf 4. Stejně jako v předchozím měření zařízení Trulifi 6002 zde mohla lidskou činností vzniknout hrubá chyba.



Graf 4 Odezva a čas při opětovném připojení Trulifi 6013 (Zdroj: (vlastní))

Z grafu 4 vyplývá, že odezva roste postupně se vzdáleností mezi vysílačem a přijímačem. Ze začátku měření vykazuje odezva hodnoty okolo 2 ms a ke konci měření se zvýší na téměř 3 ms. Nejedná se tedy o nijak razantní zvětšení. Čas na opětovné připojení stejně jako odezva postupně roste. Zatímco v malých vzdálenostech je doba opětovného připojení okolo 6 s, stejně jako zařízení Trulifi 6002, ve větších vzdálenostech čas výrazně stoupá. Při vzdálenosti 1300 cm a prvním pokusu změřit tento čas nedošlo k opětovnému připojení, systém musel být plně odpojen a opět ručně připojen, poté už k opětovnému připojení došlo.

11 Zhodnocení naměřených výsledků

Tato kapitola je zaměřena na vyhodnocení zkoumané problematiky při měření, tedy přenosové rychlosti dat, v závislosti na vzdálenosti mezi vysílačem a přijímačem, odezva a čas pro opětovné připojení. Měření probíhalo na dvou zařízeních Trulifi 6002 a Trulifi 6013, každé z nich bylo měřeno zvlášť a rozděleno do dvou podkapitol, které řešily každé zařízení odděleně.

V kap. 10.1 proběhlo měření na zařízení Trulifi 6002. Nejprve se práce zaměřila na přenosové rychlosti. Bylo prokázáno, že zařízení pracuje na větší vzdálenosti, než udává výrobce, tedy 1,8-2,8 m. Měření probíhalo v rozmezí 1-6 m a přenosové rychlosti se držely na vysokých hodnotách. Optimální provoz se ukázal v rozmezí 1-2,5 m, kdy se hodnoty protokolů TCP UP, TCP DOWN a UDP UP drží okolo 93 Mb/s a hodnoty protokolu UDP DOWN se pohybují v rozmezí 78-87 Mb/s. Po vzdálenosti 2,5 m začnou hodnoty protokolu UDP DOWN výrazně klesat, ale i při vzdálenosti 6 m jsou přenosové rychlosti zařízení stále dostatečné pro stabilní přenos.

Měření odezvy systému přineslo jednoznačný výsledek, že odezva zařízení nezávisí na vzdálenosti vysílače a přijímače a drží se okolo hodnoty 2 ms. Důležitým faktorem pro použití těchto přístrojů je čas, za který se přístroj opět připojí po přerušení viditelnosti. Během měření byly zaznamenány hodnoty v rozmezí 5,5-7 s, takto velký rozptyl vznikl hlavně z důvodu lidského faktoru. Měření prokázalo, že doba pro opětovné připojení nezávisí na vzdálenosti mezi vysílačem a přijímačem.

V kap. 10.2 bylo provedeno měření na přístroji Trulifi 6013. Stejně jako u měření na přístroji Trulifi 6002, byly nejprve zpracovány data přenosové rychlosti a její závislosti na vzdálenosti vysílače a přijímače. Podobně jako u zařízení Trulifi 6002 bylo prokázáno, že může být provozováno na větší vzdálenost, než udává výrobce, který stanovil dosah až na 8 m. Při tomto měření bylo zjištěno, že je možné provozovat zařízení až na vzdálenost 13 m, ovšem přenosové rychlosti jsou již velmi malé. Optimální provoz byl určen na rozmezí 1-7 m, kdy až na malé zakolísání hodnot protokolů TCP UP a UDP UP jsou hodnoty velmi stabilní a vysoké, v rozmezí 70-93 Mb/s. Při vzdálenosti 13 m dojde sice k připojení, ale přenosové rychlosti jsou již v rozmezí 10-20 Mb/s, což je nedostačující pro stabilní datový přenos.

Měření odezvy ukázalo mírný růst při zvětšující se vzdálenosti přijímače od vysílače. Na začátku měření se hodnoty pohybovaly okolo 2 ms, zatímco ke konci měření byly již okolo 3 ms. Čas na opětovné připojení se postupně se vzdáleností také zvyšoval. Zatímco do vzdálenosti 7 m se velmi podobal zařízení Trulifi 6002, doba na opětovné připojení se pohybovala okolo 6 s. Postupně s přibývajícím vzdáleností vzrostl čas až na 10 s.

12 Finanční kalkulace přechodu na LiFi

Konečná cena bude velmi individuální, na základě úrovně ubytovacího zařízení a jeho nároků na síť. Velký rozdíl bude u realizací, kdy bude vyžadováno pokrytí signálem po celé ploše pokoje, narozdíl od realizací, kdy bude pouze jeden vysílač na pokoj. Zároveň se velmi liší ceny jednotlivých výrobců, proto bude kalkulace v této práci provedena pro zařízení od společnosti Signify (Trulifi 6002), od společnosti Oledcomm (LiFiMAX) a od společnosti PureLiFi (LiFi XC). U WiFi realizace bude vybráno zařízení s odpovídající přenosovou rychlostí a průměrnou cenou. Do ceny v této realizaci budou zahrnuty pouze pořizovací náklady, ceny za rozvod sítě, tedy kabely nebo montáž nebudou započítány.

Pro kalkulaci ceny bude brán virtuální jednopodlažní hotel s deseti pokoji a recepcí, jedná se tedy o nejmenší možné řešení v klasifikaci hotel. WiFi AP bude sloužit maximálně pro 3 pokoje z hlediska zatížení a recepce bude mít svůj vlastní AP. LiFi vysílač bude v každém pokoji pouze jeden a jeden vysílač bude umístěn v recepci. Každý pokoj by měl mít k dispozici alespoň dva přijímače. Na jeden vysílač tedy bude potřeba mít dva přijímače, což je velmi výhodné, protože v tomto poměru většina výrobců prodává své produkty.

První varianta je síť realizovaná pomocí Trulifi 6002 (viz. tab. 5), kdy starter pack obsahuje vždy vysílač, modem a dva přijímače (viz. kap. 4.4.1). (11) Všechny komponenty se dají také koupit zvlášť, aby nemusel mít každý pokoj svůj modem, ale cena za jednotlivá zařízení je příliš vysoká a finančně je výhodnější koupit celý set. Pro odpovídající rychlost tohoto systému zde musejí být výkonnější switche a router (19), než u sítě realizované pomocí Oledcomm nebo PureLiFi.

Produkt	Počet [ks]	Cena za kus [Kč]	Cena bez DPH [Kč]	Cena s DPH [Kč]
TruLiFi 6002 starter pack	11	40 537,2	352 268,268	445 909,2
TP-Link TL-SG2008P	2	2 699	4 264,42	5 398
TP-LINK TL-ER7206	1	4 279	3 380,41	4 279
		Celkem	359 913,098	455 586,2

Tab. 5 Realizace sítě pomocí Signify (Zdroj: (vlastní)-upraveno dle (11,19))

Druhá varianta je realizace pomocí produktu LiFiMAX (viz. tab. 6), kdy kit obsahuje vysílač a dva přijímače. (11) Jelikož přenosová rychlost je menší, než u produktu Trulifi jsou zde odpovídající switche a router. (19) Jedná se o nejlevnější variantu realizovanou pomocí LiFi.

Produkt	Počet [ks]	Cena za kus [Kč]	Cena bez DPH [Kč]	Cena s DPH [Kč]
LiFiMAX kit	11	24 175,8	210 087,702	265 933,8
TP-LINK TL-SF1008D	2	409	646,22	818
TP-LINK TL-R480T+	1	1 349	1 065,71	1 349
		Celkem	211 799,632	268 100,8

Tab. 6 Realizace sítě pomocí Oledcomm (Zdroj: (vlastní)-upraveno dle (11,19))

Další variantou je produkt LiFi XC (viz. tab. 7), který se prodává pouze v balení po čtyřech, tedy čtyři vysílače a osm přijímačů. (16) Bylo tedy nutné koupit toto balení třikrát a jeden vysílač je v tomto případě navíc. Stejně jako v případě LiFiMAX jsou zde odpovídající komponenty pro přenosovou rychlost LiFi XC.

Produkt	Počet [ks]	Cena za kus [Kč]	Cena bez DPH [Kč]	Cena s DPH [Kč]
LiFi XC 4 Pack	3	176 152,177	417 480,6595	528 456,531
TP-LINK TL-SF1008D	2	409	646,22	818
TP-LINK TL-R480T+	1	1 349	1 065,71	1 349
		Celkem	419 192,5895	530 623,531

Tab. 7 Realizace sítě pomocí PureLiFi (Zdroj: (vlastní)-upraveno dle (16,19))

Pro srovnání byla podle (19) vytvořena realizace pomocí WiFi (viz. tab. 8), kdy byla zvolena odpovídající rychlost podobná produktu Trulifi 6002. Byly zde použity čtyři AP a router s AP pro recepci. Switch byl použit stejný jako pro Trulifi (viz. tab. 5).

Produkt	Počet [ks]	Cena za kus [Kč]	Cena bez DPH [Kč]	Cena s DPH [Kč]
TP-Link EAP610	4	3 399	10 740,84	13 596
TP-Link TL-SG2008P	1	2 699	2 132,21	2 699
TP-Link Archer AX55, WiFi6	1	2 099	1 658,21	2 099
		Celkem	14 531,26	18 394

Tab. 8 Realizace sítě pomocí WiFi (Zdroj: (vlastní)-upraveno dle (19))

Z výsledků cen je patrné, že realizace pomocí LiFi je několikanásobně dražší než pomocí WiFi. Nejrychlejší systém LiFi, tedy síť realizovaná pomocí Trulifi 6002 stojí 455 586,2 Kč. Nejlevnější varianta LiFi, tedy LiFiMAX stojí 268 100,8 Kč. Z hlediska finančních i přenosových rychlostí je nejméně výhodná varianta LiFi XC, která stojí 530 623,531 Kč. Zatímco síť pomocí WiFi stojí 18 394 Kč a nabízí pokrytí mnohem větší plochy než nabízené produkty LiFi. Ceny LiFi produktů nemohou v nejbližší době WiFi konkurovat, jelikož se stále jedná o technologii ve vývoji. Možným řešením, jak snížit náklady při přechodu na LiFi síť, je použití hybridní sítě LiFi/WiFi.

13 Závěr

Cílem této bakalářské práce je posouzení vhodnosti nasazení technologie LiFi v ubytovacích zařízeních. Jelikož se stále jedná o novou technologii, která prochází vývojem, bylo nutné se seznámit s principem fungování, limity technologie, jejími výhodami i nevýhodami. Při porovnání s aktuálně nejrozšířenější bezdrátovou technologií WiFi a jejími limity, byla technologie posouzena jako vhodná k použití v ubytovacích zařízeních.

Z důvodu stálého vývoje je tato technologie finančně velmi náročná a nemůže konkurovat produktům využívajícím technologii WiFi, které jsou masově vyráběny a používány celosvětově. Finanční rozdíl u pořízení se momentálně, u nejmenších ubytovacích zařízení, pohybuje ve stovkách tisíc Korun českých. Z toho důvodu je využití vhodné pouze u zařízení, ve kterých stávající technologie nefungují, jak by měly. Dalším vhodným místem by mohly být velké hotelové komplexy, které by chtěly být odlišné od stávajících konkurentů a jejich standardů, ač za cenu vysokých pořizovacích nákladů. Další možností, jak snížit pořizovací náklady, jsou hybridní LiFi/WiFi sítě, kdy by bylo LiFi použito jenom na určených místech. Tyto hybridní sítě by se mohly stát budoucností této technologie, protože sami výrobci momentálně nevidí v LiFi přímou náhradu za WiFi, ale pouze její doplňující technologii

Nadále by tato technologie našla uplatnění z hlediska bezpečnosti, kdy bezdrátové sítě představují největší riziko napadení útočníkem a právě LiFi systémy by mohly pomáhat chránit citlivá data hostů ubytovacích zařízení.

Při testování bylo prokázáno velmi stabilní fungování této technologie a její rychlost. Dle mého názoru bude pro budoucnost této technologie důležitý úspěch další generace produktů. Ty slibují vysokou přenosovou rychlost od 500 Mb/s do 1 Gb/s. Pokud by této rychlosti opravdu dosahovaly, daleko by překonaly stávající WiFi produkty. Důležitá ovšem bude i jejich cena. Pokud bude rozdíl v pořízení přesahovat stovky tisíc Korun českých, jako je tomu nyní, bude málo ubytovacích zařízení schopných si finančně tuto technologii dovolit. Lze předpokládat, že postupně s celosvětovým rozvojem se začnou pořizovací náklady snižovat. Velký zlom bude, až budou přijímače umístěny přímo v zařízeních, tím odpadnou náklady za dongle. Zároveň zpříjemní užívání a zvýší mobilitu uživatelů. Technologie LiFi má potenciál doplňovat WiFi a v některých případech ji zcela nahradit, ovšem s plným nahrazením v nejbližší době nepočítají ani samotní výrobci.

14 Seznam zdrojů

- (1) SWAMI, Kanchan a Asmita MOGHE. A Review of LiFi Technology. *2020 5TH IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON RECENT ADVANCES AND INNOVATIONS IN ENGINEERING*. IEEE, 2020. ISSN 978-1-7281-8867-6. Dostupné z: doi:10.1109/ICRAIE51050.2020.9358340
- (2) HAAS, Harald. LiFi is a paradigm-shifting 5G technology. *Reviews in physics*. Elsevier B.V, 2018, **3**(), 26-31. ISSN 2405-4283. Dostupné z: doi:10.1016/j.revip.2017.10.001
- (3) KAUSHAL, Hemani, V. JAIN, Subrat KAR a SpringerLink SLUŽBA). *Free Space Optical Communication*. New Delhi: Springer India, 2017, . ISSN 1935-3839. Dostupné z: doi:10.1007/978-81-322-3691-7
- (4) Jaký je rozdíl mezi Wi-Fi standardy?. In: *Kvalitní internet* [online]. 2020 [cit. 2022-11-1]. Dostupné z: <https://www.kvalitni-internet.cz/jaky-je-rozdil-mezi-wi-fi-standardy>
- (5) HENRY, PS a H LUO. WiFi: What's next?. *IEEE COMMUNICATIONS MAGAZINE*. 2002, **2002**(12), 66-72. ISSN 0163-6804. Dostupné z: doi:10.1109/MCOM.2002.1106162
- (6) WANG, Changfu, Wanli XU a Chunlin ZHANG. Microwave wireless power transmission technology index system and test evaluation methods. *SPRINGER*. NEW YORK, 2022, **2022**(16). ISSN 1687-6180. Dostupné z: doi:10.1186/s13634-022-00846-7
- (7) HAAS, Harald, Liang YIN, Yunlu WANG a Cheng CHEN. What is LiFi?. *JOURNAL OF LIGHTWAVE TECHNOLOGY*. 2016, **2016**(34), 1533-1544. ISSN 0733-8724. Dostupné z: doi:10.1109/JLT.2015.2510021
- (8) VYLEŤAL, Martin. Fenomén Li-Fi: budeme se k Internetu místo WiFi připojovat přes LED žárovky?. In: *Lupacz* [online]. Praha: Internet Info s.r.o., 2022 [cit. 2022-10-8]. Dostupné z: <https://www.lupa.cz/clanky/fenomen-li-fi-budeme-se-k-internetu-misto-wifi-pripojovat-pres-led-zarovky/>
- (9) *LiFi* [online]. 2022 [cit. 2022-10-14]. Dostupné z: <https://lifi.co/>
- (10) *PureLiFi* [online]. Edinburk, 2022 [cit. 2022-10-25]. Dostupné z: <https://purelifi.com/>
- (11) Signify Trulifi 6002.1 Starter Kit System Review By LiFi Tech News. In: *LiFi TechNews* [online]. 2022 [cit. 2022-11-24]. Dostupné z: https://www.lifitn.com/blog/trulifi6002review#Trulifi_6002.1_Starter_Kit_Price_and_Shipping_Information=
- (12) Optické pojítka. In: *ECSYSTEM* [online]. Praha [cit. 2022-10-18]. Dostupné z: <http://www.ecsystem.cz/vyrobky/opticke-pojitko>
- (13) VACULÍN, Tomáš. Optický bezkabelový spoj v atmosférickém přenosovém prostředí. In: *Elektrorevue* [online]. [cit. 2022-10-14]. Dostupné z: <http://www.elektrorevue.cz/clanky/03014/index.html>

- (14) VENCL, František. *Vyhodnocení moderních optických bezdrátových přenosů*. Praha, 2022. Diplomová práce. ČZU. Vedoucí práce Zdeněk Votruba.
- (15) Kurzy devizového trhu. In: *ČESKÁ NÁRODNÍ BANKA* [online]. Praha, 2022 [cit. 2022-11-6]. Dostupné z: <https://www.cnb.cz/cs/financni-trhy/devizovy-trh/kurzy-devizoveho-trhu/kurzy-devizoveho-trhu/index.html?date=06.11.2022>
- (16) Product-store. In: *LiFiLighting* [online]. 2022 [cit. 2022-10-18]. Dostupné z: <https://lifilighting.com/product-store/>
- (17) Light becomes an intelligent language. In: *Signify* [online]. 2020 [cit. 2022-10-16]. Dostupné z: http://www.assets.newsletters.signify.com/Web/PhilipsLighting/%7B02bd61e2-ffa4-45d9-bc4e-c0a35cd8201a%7D_trulifi-download-document.pdf
- (18) JPMG, Linnartz a CRB CORREA. ELIoT: enhancing LiFi for next-generation Internet of things. *EURASIP JOURNAL ON WIRELESS COMMUNICATIONS AND NETWORKING*. 2022, **2022**(89). ISSN 1687-1472. Dostupné z: doi:10.1186/s13638-022-02168-6
- (19) *Alza.cz* [online]. [cit. 2023-01-18]. Dostupné z: <https://www.alza.cz/>
- (20) HOLUB, K. a D. ČURDA. *Stručné dějiny oborů potravinářství a hotelnictví*. První. Praha: Scienta, 2004, 33 s. ISBN 80-7183-292-8.
- (21) CHEN, Rose, Catherine CHEUNG a Rob LAW. A review of the literature on culture in hotel management research: What is the future?. *International Journal of Hospitality Management*. Elsevier Ltd., 2012, **31**(1), 52-65. ISSN 1873-4693.
- (22) OFICIÁLNÍ JEDNOTNÁ KLASIFIKACE UBYTOVACÍCH ZAŘÍZENÍ ČESKÉ REPUBLIKY 2021–2025. In: *HOTELSTARS.EU* [online]. 2022 [cit. 2022-12-2]. Dostupné z: <https://hotelstars.cz/Upload/2022/11/22/kompletni-metodika-zari22.pdf>
- (23) OFICIÁLNÍ JEDNOTNÁ KLASIFIKACE UBYTOVACÍCH ZAŘÍZENÍ ČESKÉ REPUBLIKY. In: *MINISTERSTVO PRO MÍSTNÍ ROZVOJ ČR* [online]. [cit. 2022-12-2]. Dostupné z: <http://www.mmr.cz/getmedia/d2e0a220-2540-4d5b-a0e0-798762e1a82c/oficialni-jednotna-klasifikace-cr-2010-2012.pdf>
- (24) The History of Hotel Wi-Fi. In: *Eleven* [online]. [cit. 2022-12-3]. Dostupné z: <https://blog.elevensoftware.com/the-history-of-hotel-wi-fi>
- (25) The importance of hotel WiFi access points. In: *Cardonet.com* [online]. IT SUPPORT [cit. 2022-12-5]. Dostupné z: <https://www.cardonet.com/news/the-importance-of-hotel-wifi-access-points/>
- (26) CLARKE, Melanie. The Hotels with Best WiFi Revealed. In: *INTERNET SERVICE PROVIDERS* [online]. [cit. 2022-11-26]. Dostupné z: <https://www.isp.com/blog/hotels-with-best-wifi-revealed/>
- (27) JAVŮREK, Karel. Vyberte si hotel podle rychlosti poskytované WiFi. In: *Živě.cz* [online]. CZECH NEWS CENTER a.s. [cit. 2022-12-10]. Dostupné z: <https://www.zive.cz/bleskovky/vyberte-si-hotel-podle-rychlosti-poskytovane-wifi/sc-4-a-174731/default.aspx>

- (28) KILIÁN, Karel. Airbnb začne u ubytování ukazovat rychlost a kvalitu Wi-Fi. In: *Živě.cz* [online]. CZECH NEWS CENTER a.s. [cit. 2022-12-2]. Dostupné z: <https://www.zive.cz/clanky/airbnb-zacne-u-ubytovani-ukazovat-rychlost-a-kvalitu-wi-fi/sc-3-a-211493/default.aspx>
- (29) HAUSOLD, Andrea. 5 VĚCÍ NA ZVÁŽENÍ OHLEDNĚ VAŠÍ HOTELOVÉ WI-FI. In: *TourismReviewNEWS* [online]. Tourist Review Media [cit. 2022-12-11]. Dostupné z: <https://www.tourism-review.cz/5-faktoru-ohledne-hotelove-wi-fi-site-news11739>
- (30) GHADERI, Mohammad Reza. LiFi and Hybrid WiFi/LiFi indoor networking: From theory to practice. *Optical Switching and Networking*. Nizozemsko, 2023, **47**(100699), 24. ISSN 1573-4277.
- (31) SARKAR, Anurag, Shalabh AGARWAL a Asoke NATH. Li-Fi Technology: Data Transmission through Visible Light. *International Journal of Advance Research in Computer Science and Management* [online]. 2015, **3**(6), 1-10 [cit. 2023-01-3]. ISSN 2321-7782. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/279530585_Li-Fi_Technology_Data_Transmission_through_Visible_Light
- (32) *TamoSoft® Throughput Test: Help Documentation Version 1.0* [online]. In: . [cit. 2023-01-17]. Dostupné z: <https://www.tamos.com/download/manual/>

15 Přílohy

Příloha 1.....Měření na zařízení Trulifi 6002

Příloha 2.....Měření na zařízení Trulifi 6013

Příloha 1: Měření na zařízení Trulifi 6002

Vzdálenost [cm]	TCP UP [Mb/s]			TCP DOWN [Mb/s]		
0	-	-	-	-	-	-
50	-	-	-	-	-	-
100	93,52	93,58	93,49	94,92	94,84	95,03
150	93,51	93,52	93,52	95	94,93	95
200	93,51	93,39	93,5	95,01	94,88	95,06
250	93,46	93,55	93,55	94,95	94,97	94,86
300	93,27	93,52	93,51	94,77	94,92	94,97
350	93,49	93,39	93,51	94,89	95	94,81
400	93,12	93,2	93,06	94,68	94,64	94,62
450	82,36	82,48	82,05	88,25	88,36	88,18
500	80,31	80,27	80,33	88,46	88,12	88,21
550	75,46	75,5	75,52	90,17	90,08	90,14
600	74,2	74,4	74,28	86,72	86,4	86,46

Vzdálenost [cm]	UDP UP [Mb/s]			UDP DOWN [Mb/s]		
0	-	-	-	-	-	-
50	-	-	-	-	-	-
100	93,73	93,76	93,61	87,9	87,58	87,93
150	93,35	93,76	93,78	86,59	86,9	87
200	93,78	93,73	93,77	81,79	81,62	81,77
250	93,7	93,72	93,75	78,36	78,23	78,29
300	93,13	93,27	93,4	70,1	69,88	70,16
350	93,24	93,44	93,67	60,1	60,03	60,26
400	93,67	93,48	93,73	54,17	54,59	54,24
450	84,16	84,12	84,38	47,23	46,93	46,94
500	83,92	84,22	84,03	46,93	47	47,06
550	77,45	77,65	77,85	45,5	45,66	45,6
600	76,17	75,95	75,93	44,41	44,52	44,2

Vzdálenost [cm]	Čas [s]			Odezva [ms]		
0	-	-	-	-	-	-
50	-	-	-	-	-	-
100	5,82	6,24	6,52	1,8	2	1,9
150	5,99	6,6	6,35	2	2,1	2
200	6,42	4,98	5,86	2	1,9	2
250	5,24	6,63	5,89	2	2	2,1
300	4,86	7,2	6,37	2,2	2,1	2,1
350	7,05	5,69	6,89	2,1	2,2	2,1
400	4,55	5,81	5,69	1,8	2	1,9
450	5,63	4,21	6,4	2	2	2
500	6,36	7,24	5,73	1,9	1,9	2
550	5,8	6,44	6,7	1,5	1,7	1,6
600	6,63	7,1	6,2	2,1	2	2,1

Příloha 2: Měření na zařízení Trulifi 6013

Vzdálenost [cm]	TCP UP [Mb/s]			TCP DOWN [Mb/s]		
100	93,51	93,63	93,48	91,44	91,36	91,52
200	93,51	93,51	93,29	92,88	92,68	92,51
300	93,5	93,41	93,48	92,95	93,05	93,01
400	93,21	93,5	93,51	93,42	93,57	93,32
500	78,75	78,12	78,19	93,35	93,26	93,41
600	40,74	40,76	40,72	90,18	90,23	90,14
700	68,91	69,09	69,01	82,41	82,29	82,26
800	37,75	37,68	37,75	54,39	53,84	54,32
900	51,74	51,8	51,78	39,75	39,82	39,9
1000	44,22	44,24	44,02	36,99	36,93	36,82
1100	35,22	35,27	35,2	19,22	19,1	18,69
1200	34,05	33,94	34,08	19,09	19,05	18,96
1300	11,09	10,95	10,9	12,19	11,61	12,08
1400	-	-	-	-	-	-

Vzdálenost [cm]	UDP UP [Mb/s]			UDP DOWN [Mb/s]		
100	91,57	91,75	91,63	93,94	94,06	94,02
200	93,78	93,76	93,82	93,81	93,84	93,77
300	93,8	93,74	93,83	93,87	93,58	93,72
400	93,73	93,71	93,82	93,7	93,24	93,29
500	87,12	87,69	87,64	93,3	93,67	93,23
600	44,13	43,96	43,98	91,81	92,14	92,01
700	76,41	76,18	76,35	91,95	91,79	91,88
800	40,87	40,71	40,9	59,9	60,35	59,94
900	58,03	58,45	58,31	43,18	42,97	43,09
1000	49,19	49,55	49,11	39,78	39,92	40,08
1100	40,79	40,51	40,85	20,53	20,34	20,53
1200	38,54	38,12	38,31	20,52	20,83	20,58
1300	17,36	17,49	19,3	14,82	13,26	14,64
1400	-	-	-	-	-	-

Vzdálenost [cm]	ČAS [s]			ODEZVA [ms]		
100	4,83	5,49	6,51	2	2,1	2
200	6,56	5,45	4,27	1,8	1,8	1,9
300	5,63	4,18	6,16	1,6	1,8	1,6
400	4,23	7,26	6,03	1,8	2	2
500	6,15	4,89	6,54	2	1,7	2,1
600	7,82	6,59	7,05	2,3	2,2	2
700	5,56	6,38	7,68	2,2	2,1	2,2
800	7,63	8,65	8,17	2,6	2,4	2,4
900	6,37	7,64	7,26	2,4	2,7	2,4
1000	8,42	8,96	7,68	2,5	2,6	2,5
1100	7,45	8,37	9,24	2,4	2,5	2,4
1200	6,93	9,37	8,54	2,7	2,6	2,7
1300	10,31	9,54	11,12	2,8	3	2,8
1400	-	-	-	-	-	-