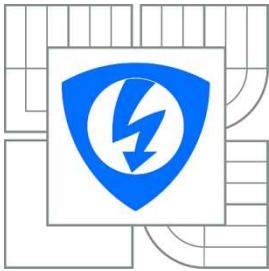


**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH  
TECHNOLOGIÍ  
ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ**

**FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS**

# **VYUŽITÍ OPTICKÉHO PŘENOSU V PRŮMYSLU**

OPTICAL TRANSMISSION APPLICATIONS IN INDUSTRIES

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**  
BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**  
AUTHOR

**VÍT WORBIS**

**VEDOUCÍ PRÁCE**  
SUPERVISOR

**prof. Ing. MILOSLAV FILKA, CSc.**

BRNO 2012



**VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V BRNĚ**

**Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií**

**Ústav telekomunikací**

# Bakalářská práce

bakalářský studijní obor  
**Teleinformatika**

**Student:** Vít Worbis

**ID:** 116210

**Ročník:** 3

**Akademický rok:** 2011/2012

## NÁZEV TÉMATU:

**Využití optického přenosu v průmyslu**

## POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Úkolem práce bude vytipovat vhodná zařízení pro možnost uplatnění optického přenosu v průmyslových aplikacích. Rozvedte výhody optických přenosů oproti klasickým metalickým spojům. Proveďte několik možností návrhů sestav pro přenos bin. signálů pro řízení strojů v rušivých podmínkách. Sestavte návrh laboratorní úlohy z dodaných vzorků

## DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] FILKA, M. Optoelektronika pro telekomunikace a informatiku. CENTA, Brno 2009.
- [2] FILKA, M. Přenosová média. Skripta laboratoře. VUT FEKT, Brno 2003.
- [3] BEJČEK, L., ORLÍKOVÁ, S. Vláknová optika. Skripta, VUT FEKT, Brno 2002.

**Termín zadání:** 6.2.2012

**Termín odevzdání:** 31.5.2012

**Vedoucí práce:** prof. Ing. Miloslav Filka, CSc.

**prof. Ing. Kamil Vrba, CSc.**

Předseda oborové rady

## UPOZORNĚNÍ:

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

## ABSTRAKT

Cílem semestrální práce Využití optického přenosu v průmyslu je najít správná zařízení pro komunikaci v průmyslových aplikacích, která by vedla k lepšímu ovládní a řízení těchto aplikací. Má ukázat téměř bezproblémové spojení mezi přístrojem, který je ovládán jiným přístrojem například počítačem.

V první kapitole je znázorněno, jak uvnitř jádra optického vlákna se odrážejí paprsky a jsou dále vedeny po celém světlovodu. Ve druhé části je uvedeno jaké rozdíly jsou mezi metalickou a optickou kabeláží, je zde popsáno proč metalické vedení pomalu zaniká a plně ho nahrazuje optika. Ve třetí kapitole jsem se zaměřil na optické vlákno, jaké jsou jeho vlastnosti, z jakých částí se skládá a na jaké se rozděluje. Ve čtvrté části jsou zobrazeny optické převodníky pro mnohovidová a jednovidová optická vlákna, jaké jsou mezi nimi rozdíly, jaké se vyrábějí a s jakými vlastnostmi, atd. V páté kapitole je aplikována síť možného zapojení v průmyslové zóně, je navržena pouze teoreticky jak by mohli být v průmyslové zóně řízeny stroje. V šesté části bakalářské práce jsem se pokusil navrhnout laboratorní úlohu, která se skládá zmíněných optických převodníků. Je to pouze malá ukázka, jelikož v průmyslu se používají daleko rozsáhlejší zapojení.

## KLÍČOVÁ SLOVA

Optický přenos, zařízení, komunikace, aplikace, optické vlákno, paprsky, metalická kabeláž, mnohovidové, jednovidové, převodník, konektor, dielektrický, nízkoztrátový, numerická apertura, interference, Ethernet, monitoring, ELO E205, ELO E206, ELO E248, Repeater, Transmitter, Receiver, multiplexer.

## ABSTRACT

The aim of the semestral work term use of optical transmission in the industry is to find the right equipment for communication in industrial applications, which would lead to better control and management of these applications. My show almost seamless connection between the device, which is controlled by another device such as a computer.

The first chapter shows how inside the core optical fiber and reflected beams are then carried around the skylight. The second section lists the differences between the copper and fiber cabling, there is described why metallic line slowly destroyed and replaced him fully optics. In the third chapter, I focused on the optical fiber, what are its characteristics, from which parts are made and what is distributed. In the fourth part shows the optical transmitters for multimode and singlemode optical fibers, which are differences between them, which are produced and with what characteristics, etc. In the fifth chapter is applied to a network of possible involvement in the industrial zone, is designed only as they could theoretically be industrial zone controlled by the machine. In the sixth part of the thesis I have tried to design a laboratory task that consists of those optical converters. It is only a small sample, as used in the industry far more extensive involvement.

## KEYWORDS

Optical transmission equipment, communications, applications, optical fiber, rays, metallic cabling, multimode, singlemode, converter, connectors, dielectric, low loss, numerical aperture, interference, Ethernet, monitoring, ELO E205, E206 ELO, ELO E248, Repeater, Transmitter , Receiver multiplexer.

# BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

WORBIS, V. *Využití optického přenosu v průmyslu: bakalářská práce*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2012. 45 stran, 2 přílohy. Vedoucí práce prof. Ing. Miloslav Filka, CSc..

# PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Využití optického přenosu v průmyslu jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

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

V Brně dne .....

.....

podpis autora

# PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu práce prof. Ing. Miloslavu Filkovi, CSc. za velmi užitečnou metodickou pomoc a cenné rady při zpracování bakalářské práce.

Dále děkuji za spolupráci panu Vladimíru Gajdošovi a firmě ELO +, spol. s.r.o. bez jejichž materiálů a informací bych se neobešel.

V Brně dne .....

.....

podpis autora

# OBSAH

<b>1. teorie přenosu ve světlovodech</b>	<b>12</b>
1.1 OPTICKÝ KABEL vs. EMI	13
<b>2. Optické spojení a metalické vedení</b>	<b>14</b>
2.1 VÝHODY OPTICKÝCH PŘENOSŮ	14
<b>3. Optický kabel</b>	<b>19</b>
3.1 KRÁTKÝ ÚVOD DO HISTORIE OPTICKÉHO KABELU	19
3.2 VNITŘNÍ STRUKTURA OPTICKÉHO KABELU	19
3.3 ROZDĚLENÍ OPTICKÉHO VLÁKNA	20
3.3.1 Jednovidová optická vlákna	21
3.3.2 Mnohovidová optická vlákna se skokovou změnou indexu lomu	21
3.3.3 Mnohovidová optická vlákna s gradientní změnou indexu lomu	22
<b>4. OPTICKÝ PŘENOS V PRŮMYSLU</b>	<b>24</b>
4.1 OPTICKÉ PŘEVODNÍKY	24
4.1.1 Optické převodníky pro mnohovidová optická vlákna	25
4.1.2 Optické převodníky pro jednovidová optická vlákna	26
<b>5. Návrh sítě aplikované optickými převodníky pro průmyslové zařízení</b>	<b>28</b>
<b>6. Návrh laboratorní úlohy</b>	<b>31</b>
6.1 Výuková souprava pro přenos binárních signálů přes mnohovidové optické vlákno	31
6.2 Výuková souprava pro přenos binárních signálů přes jednovidové optické vlákno s útlumovými články a opakovačem	34
6.2.1 Výuková souprava pro přenos binárních signálů s útlumovými články	36
6.2.2 Výuková souprava pro přenos binárních signálů s útlumovými články a opakovače	38
<b>Použitá literatura</b>	<b>39</b>
<b>Přehled použitých zkratk</b>	<b>41</b>
<b>Seznam příloh:</b>	<b>42</b>
Příloha A: Reálné sestavení soupravy.....	43
Příloha B: 1 CD.....	45
<b>Příloha A: Reálné sestavení soupravy</b>	<b>43</b>
<b>Příloha B: 1 CD</b>	<b>45</b>

## SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 3.1: Struktura typického optického vlákna</i>	19
<i>Obr. 3.2: Jednovidové optické vlákno</i>	20
<i>Obr. 3.3: Mnohovidové optické vlákno se skokovou změnou indexu lomu</i>	21
<i>Obr. 3.4: Mnohovidové optické vlákno s gradientní změnou indexu lomu</i>	21
<i>Obr. 4.1: Mnohovidový optický převodník ELO E171</i>	25
<i>Obr. 4.2: Jednovidový optický převodník ELO E245</i>	26
<i>Obr. 5.1: Návrh sítě aplikované optickými převodníky</i>	27
<i>Obr. 6.1: Výuková souprava pro přenos binárních signálů přes MM optická vlákna</i>	32
<i>Obr. 6.2: Výuková souprava pro přenos binárních signálů přes SM optická vlákna s proměnnými útlumovými články</i>	36
<i>Obr. 6.3: Řez optickým útlumovým článkem</i>	37
<i>Obr. 6.4: Výuková souprava pro přenos binárních signálů přes SM optická vlákna s proměnnými útlumovými články a opakovačem</i>	38

## SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 2.1: Rozdělení tříd a kategorií na základě frekvenčního rozsahu</i>	17
<i>Tab. 3.1: Srovnání charakteristik optických vláken různých typů</i>	22
<i>Tab. 4.1: Technické parametry převodníku ELO E171</i>	24
<i>Tab. 4.2: Technické parametry převodníku ELO E245</i>	26
<i>Tab. 5.1: Druhy optických kabelů pro optické převodníky</i>	28
<i>Tab. 5.2: Kalkulace optické části v navržené síti</i>	29

# ÚVOD

Potřeba zdokonalovat pracovní zázemí a všechno co kolem toho patří je v současnosti hlavní prioritou v mnoha podnicích. Snaží se hlavně vylepšit pracovní podmínky, aby bylo možné mít co největší spolehlivost a produktivitu. Je zapotřebí obstarat takové materiály, které to umožní. Optoelektronické systémy jsou v dnešní době více používané v Ethernetových sítích, ale jejich možnost využití je obrovská. Ve velkých firmách by se takhle technologie velice dobře využila. Může se použít k monitorování kamer, nebo jimi můžeme kontrolovat požár, pokud se někde vyskytne. V bezpečnostním průmyslu, kde je potřeba ochrana před vniknutím cizích osob, je takhle technologie velice přijatelná, protože se nedá napojit, tudíž nemůže vzniknout riziko nebezpečí. Vývoj optických vláken a zařízení pro optické sítě má za následek, že nevýhoda cena ustupuje do pozadí. Dopředu proniká potřeba opravdu širokopásmové přístupové sítě, na které budou nejmodernější širokopásmové služby. Cílem této práce je ukázat, že optoelektronické systémy jsou v průmyslu možné a dají se aplikovat. Je možné pomocí těchto metod ovládat různá zařízení, které jsou těžko ovladatelné a v rušivých podmínkách. Kdyby byla instalována optická zařízení do rozvodných sítí v nějaké firmě, bylo by to určitě nákladné, ale určitě by se takhle investice vyplatila. Dále má tato práce ukázat jak takové převodníky vypadají v praxi, jak se zapojují, jak se dají využít. Má docílit toho, aby se na laboratorní úloze ukázalo, že metalické vedení jsou pomalu ale určitě pasé. Aby se konečně začal rozvíjet pouze jeden světový průmysl. Pokud by se čas, peníze a další věci investovali pouze do optického průmyslu, určitě bychom za pár let byli jako lidstvo hodně dopředu.

# 1. TEORIE PŘENOSU VE SVĚTLOVODECH

Optické vlákno je v podstatě válcový dielektrický vlnovod zhotovený z nízkoztrátového materiálu, například z křemenného skla. Je tvořeno vnitřním jádrem, které slouží k vedení přenášeného záření. Jádro je uloženo ve vnějším obalu – plášti. Paprsky, které dopadají na rozhraní jádra a pláště pod úhlem větším, než je mezní úhel, se totálně odrážejí a jsou jádrem vedeny, aniž by na rozhraní docházelo k jejich lomu. Paprsky svírající s osou vlákna větší úhly se na rozhraní částečně lámou, část přenášeného výkonu se při každém odraze ztrácí do obalu. Tyto paprsky nejsou jádrem vedeny.[1]

Ne všechno světlo dopadající na začátek vlákna se jím dále šíří. Je-li úhel dopadu paprsku příliš velký (měřeno od osy vlákna), dojde k jeho lomu na vnitřní stěně vlákna (vlivem úhlu dopadu menšího než je úhel mezní) a takový paprsek se na druhý konec vlákna nedostane. Schopnost vlákna pojmout určité množství světla se nazývá číselná apertura. Číselná (numerická) apertura NA je sinus maximálního úhlu, z něhož přicházející paprsky se uvnitř vlákna budou ještě šířit. K šíření kteréhokoliv paprsku, u něhož je tento úhel překročen, nedojde. Matematicky může být numerická apertura vypočtena z indexů lomu vlákna se skokovou změnou indexu[1]:

$$NA = \sin \gamma_v = (n_1^2 - n_2^2)^{1/2} \quad (1.1)$$

$\gamma_v$  ... maximální úhel

$n_1$  ... index lomu materiálu jádra

$n_2$  ... index lomu materiálu pláště

Optické záření navázané do optického vlákna se šíří v podobě tzv. vidů elektromagnetického pole. Počet vidů je dán vzorcem:

$$N = 2 \cdot \pi^2 \cdot \left( NA \cdot \frac{a}{\lambda} \right)^2 \quad (1.2)$$

NA ... numerická apertura vlákna

$a$  ... poloměr jádra [ $\mu\text{m}$ ]

$\lambda$  ... vlnová délka záření [ $\mu\text{m}$ ]

## 1.1 OPTICKÝ KABEL vs. EMI

Co je to EMI? EMI je zkratka pro **ElectroMagnetic Interference** (elektromagnetická interference) neboli elektromagnetické rušení je proces, při kterém se signál generovaný zdrojem rušení přenáší prostřednictvím elektromagnetické vazby do rušených systémů. EMI se tedy zabývá především identifikací zdrojů rušení, popisem a měřením rušivých signálů a identifikací parazitních přenosových cest. Elektromagnetické kompatibility celého systému se dosahuje technickými opatřeními především na straně zdrojů rušení a omezením jejich přenosových cest (vzájemné vazby s přijímačem rušení). EMI se tak hlavně týká příčin rušení a jejich odstraňování.[7]

### **Proč je tedy optické vlákno nenáchylné na EMI?**

Optické vlákno se chová jako elektrický nevodiv (izolant), to znamená, že elektrické pole, které je uvnitř optického vlákna, vytváří pole opačné polarity. Působí to tedy tak, že statické elektrické pole zůstane zachováno i bez neustálého přívodu elektrického náboje. Dále se v optickém přenosu používají světlovody a odrazy světla, je tedy zapotřebí daleko méně energie než u klasického metalického provedení. Navíc jakýkoliv odkrytý měděný vodič se může chovat jako anténa v závislosti na jeho délce, může vyzařovat nebo přijímat energii. Pokud by se tedy optický kabel nechoval jako elektrický nevodiv, působení elektromagnetického rušení by v tomto případě bylo velice neškodné na přenos.

## 2. OPTICKÉ SPOJENÍ A METALICKÉ VEDENÍ

V dnešní době se začíná využívat optického spojení téměř všude, avšak najdou se situace, kdy je lepší použít klasické metalické vedení. Například kdybychom chtěli spojení do 10,20,50 metrů určitě by jsme uvažovali o klasickém kabelu než o optickém. Hlavní věcí na kterou se člověk v dnešní době dívá je cena, určitě ho vyjde klasický kabel levněji než optický, ať už potřebuje spojení datová či k jinému využití. Pořád platí, že na kratší vzdálenosti je lepší metalické vedení. Nízká cena měděných kabeláží v běžných prostředích, jako jsou kanceláře, dosud převažuje nad výhodami optiky. K tomu se přidávají i nesporné technologické výhody. U mědi převažuje výhoda montáže konektorů. Ta je u metalických vedení výrazně jednodušší než u optických vláken. Složitost optiky podtrhuje také velké množství používaných konektorů. Instalace optiky je navíc vázána na menší okruh dostupných specialistů než u klasických kabelů.

Avšak v dnešní době si tyhle nedostatky začínají pomalu, ale určitě řešit a do budoucna by měla optická spojení být prvořadým spojovacím materiálem. Dominantnost optických spojů u datových center a páteřních sítí na velké vzdálenosti jsou zjevná. Páteřní sítě maximálně využijí vysokou přenosovou kapacitu optiky i spolehlivost přenosu. Optická spojení mají další výhody, pro které je lepší si připlatit za lepší spojení.

### 2.1 VÝHODY OPTICKÝCH PŘENOSŮ

#### Přenosová kapacita optické sítě

Optické vlákno nabízí šířku pásma, která v dnešní době překračuje požadavky na přenosovou rychlost. Např. běžné mnohovidové optické vlákno 62,5/125  $\mu\text{m}$  má šířku pásma 160 MHz/km při vlnové délce 850 nm a 500 MHz/km při 1300 nm. Při délce vlákna 100 m bude tedy šířka pásma překračovat 3 GHz. Pro tyto krátké trasy je dokonce vhodnější použít optické mnohovidové vlákno typu 50/125  $\mu\text{m}$ , které má sice menší průměr jádra, ale větší šířku pásma – kolem 600 MHz/km při 850 nm a 800 MHz/km při 1300 nm. Toto vlákno 50/125  $\mu\text{m}$  bude mít při délce 100 m šířku pásma až kolem 8 GHz. Pokud by nám ani tyto velké přenosové kapacity nestačily, je možné použít jednovidové vlákno 09/125  $\mu\text{m}$ , které má při délce 100 m šířku pásma alespoň 5 THz. Přípravovaný standard 10-Gigabitového Ethernetu, který bude využívat principu vlnového multiplexu WDM (Wavelength Division

Multiplexing), bude možné použít až na vzdálenost 500 m pro mnohovidová vlákna 50/125  $\mu\text{m}$ . [3]

### **Vysoká morální životnost optické sítě**

Se zvyšujícími požadavky na přenosovou rychlost v sítích LAN dochází k vylepšení parametrů univerzálních strukturovaných kabelových systémů. Zatímco v uplynulých deseti letech byla vždy rychlost kabeláže daleko vepředu před současnou přenosovou technologií, dnes se situace radikálně mění. Pokud si vzpomeneme na klasický Ethernet 10 Mbit/s, tak pro přenos postačovaly běžné kroucené páry – telefonní rozvody, tzv. CAT3 (10 MHz). Brzy přišli výrobci kabelů s lepší variantou CAT4 a hned poté i CAT5 (100 MHz), které se používají dodnes, i když v té době se Fast Ethernet ještě nevyužíval. Před několika lety začali výrobci také nabízet kabely výkonnější – dnes CAT6 (200 MHz) i CAT7 (600 MHz). Aktivní prvky v sítích LAN už prakticky dohnaly náskok kabeláže z hlediska rychlosti přenosu. Máme neustále měnit kabeláže za nové a rychlejší? Místo kabelu CAT3 jsme třeba už instalovali CAT5. Máme teď CAT5 zaměnit za CAT6 a nebo později za CAT7 a tak dál? Výhodnější je již dnes instalovat pro přenos dat optickou síť, kterou bude možné využívat celou dobu 20 let, po kterou může běžet záruční doba. [3]

### **Elektromagnetická imunita (EMI)**

Optická vlákna jsou jako dielektrikum imunní proti rušení elektromagnetickým polem. Při přenosu také žádné elektromagnetické pole nevyzařují. Tzv. Elektromagnetická kompatibilita je dnes velice důležitým pojmem, hlavně kvůli rušení a vyzářování. Je zapotřebí stále ve větší míře používat stíněné kabely typu FTP a STP místo klasických UTP. Experti přitom tvrdí, že až 60% problémů na metalické kabeláži je způsobeno přeslechy, impedančním nepřizpůsobením a vnějším rušením. A čím větší přenosová rychlost, tím je situace horší. Optické vlákno může být bez problémů položeno souběžně se silovou instalací 230 V, nebo v pohledech se světelnými zářivkovými rozvody i v rušivých průmyslových provozech. [3]

### **Menší průměr a váha optického kabelu**

Optický kabel, který má dvě vlákna pro vnitřní instalace je zhruba o polovinu lehčí, než protikladný metalický čtyřpárový kabel. Jeho průměr je o 10 až 50% menší než průměr metalického kabelu (záleží na typu provedení metalického kabelu). V případě požadavků lze optický kabel vyrobit i s menším průměrem. Tak např. šestivláknový optický kabel pro vnitřní použití s aramidovou přízí a vnějším pláštěm může mít vnější průměr již necelé 3 mm.

### **Bezpečnost provozu**

V místech s nebezpečím výbuchu optické vlákno určitě nevyvolá jiskru a není náchylné na vzplanutí, jako u metalického provedení. V případě protipožárních požadavků se kabely vyrábějí v nehořlavém provedení bez vývinu nebezpečných jedovatých plynů – provedení OFNR apod. Proto se v dnešní době používají optické kabely v požární bezpečnosti. Hlavně požární hlásiče, které jsou propojeny do ústředí, jsou vedeny optickými kabely.

### **Odolnost proti odposlechu**

Jelikož optické vlákno nevyzařuje žádné elektromagnetické pole, je velice obtížné odposlouchávat provoz běžící na tomto vlákne. Oproti tomu se na běžné metalické provedení, s příslušným vybavením, lze na vzdálenost několika metrů odposlouchávat provoz na obvyklé síti LAN.

### **Mechanická a chemická odolnost optického kabelu**

Optické vlákno samotné má větší pevnost v tahu než měděný vodič o stejném průřezu. Optický kabel je z hlediska ohybů daleko odolnější na vícenásobný ohyb. Měděný kabel obsahuje korodující prvky na rozdíl od optického kabelu. Je možné jej namáhat až šestkrát větší silou, než je maximální zatahovací síla pro metalické kabely CAT5. Kroucení kabelu během zatahování způsobí u kvalitního kabelu CAT5 pokles jeho parametrů, zatímco optický kabel vydrží.

### **Vysoká provozní spolehlivost**

Optická síť, která je správně nainstalovaná, nevyžaduje prakticky žádnou údržbu a je vysoce spolehlivá. V případě znečištění konektorů prachem je lze snadno vyčistit pomocí čistící soupravy. Proto se u těchto optických sítí setkáváme se záruční dobou v délce 15 až 20 let. Po tuto dobu je plně zaručena funkčnost sítě beze ztráty jakýchkoli parametrů.

### **Delší dosažitelná vzdálenost**

Optické vlákno má nízký vložený útlum, který dovolí přenášet informace na dlouhé vzdálenosti. I běžné optické vlákno 62,5/125  $\mu\text{m}$  umožní přenést ATM rychlostí 155 Mbit/s na vzdálenost 2000 m. Kroucený měděný kabel CAT5, má na vzdálenosti delších než 1000 m maximální rychlost 2 Mbit/s, což je v poměru s optickým kabelem velice málo. Nevýhodou metalických kabelů je, že při zvyšování přenášené frekvence se také zvyšují ztráty a tak klesá dosažená vzdálenost. U optického vlákna to neplatí. Tam nám sice vadí tzv. disperze – rozptyl (různé vidy mají různé rychlosti šíření signálu vláknem), která způsobuje změnu tvaru impulsu, ale útlum vlákna je nezávislý na přenášené frekvenci. Při použití optického mnohovidového vlákna 50/125  $\mu\text{m}$  lze bez problémů používat technologii Gigabitového Ethernetu a v budoucnu i rychlost 10-Gigabitového Ethernetu na vzdálenost minimálně 300 m. Oproti maximální překlenutelné vzdálenosti 100 m u metalické kabeláže lze tak významně ušetřit počet použitých datových rozvaděčů a potřebného místa pro jejich umístění. S výhodou lze potom použít princip tzv. zhroucené páteře (collapsed backbone), kdy pro celou budovu bude postačovat pouze jediný centrální datový rozvaděč.[3]

### **Příznivá cena optického kabelového systému**

Pokud srovnáme cenu kabelu typu CAT5 a dvouvláknového optického kabelu, vychází optický kabel zhruba dvakrát dražší. Pokud budeme srovnávat stíněné metalické kabely typu CAT6 a CAT7, bude vycházet optický kabel levněji, je jasné že optický kabel může vyjít podstatně draž, záleží na kvalitě materiálu a z jakých chemických surovin je optický kabel vyroben. Obdobně cena nových typů optických konektorů je již srovnatelná s cenou kvalitní stíněné metalické zásuvky CAT6 RJ-45. Celkové náklady na vybudování optického kabelového systému jsou podobné jako náklady na výstavbu metalické stíněné sítě v kvalitě CAT6.[3]

Tab. 2.1: Rozdělení tříd a kategorií na základě frekvenčního rozsahu

<b>Třída</b>	<b>Kategorie</b>	<b>Frekvenční rozsah</b>
<b>D</b>	<b>CAT 5e</b>	<b>Do 100 MHz</b>
<b>E</b>	<b>CAT 6</b>	<b>Do 250 MHz</b>
<b>EA</b>	<b>CAT 6A</b>	<b>Do 500 MHz</b>
<b>F</b>	<b>CAT 7</b>	<b>Do 600 MHz</b>
<b>FA</b>	<b>CAT 7A</b>	<b>Do 1000 MHz</b>

## 3. OPTICKÝ KABEL

### 3.1 KRÁTKÝ ÚVOD DO HISTORIE OPTICKÉHO KABELU

Vytrvalé zdokonalování přenosových technologií a zlepšování kvality kabelů umožňovalo plynulý nárůst přenosové kapacity metalických tras. K radikálnímu skoku v tomto trendu došlo až v roce 1970, kdy byla vyrobena první nízko útlumová optická vlákna vhodná pro telekomunikační účely. Optická vlákna bývají nejčastěji vyrobena z křemenného skla, pro kratší vzdálenosti mohou být i plastová.

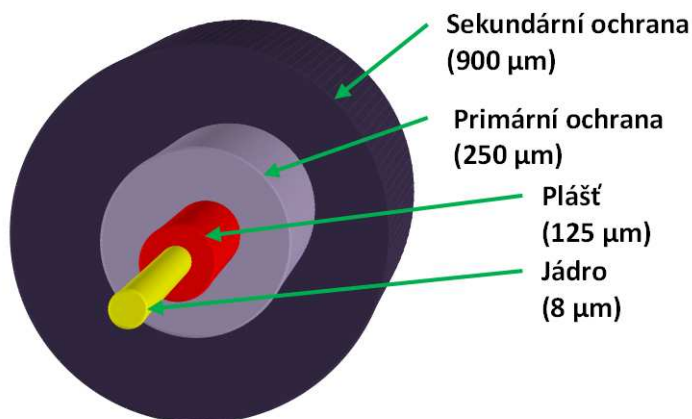
Příchod optických vláken umožnil nejen zvýšení přenosových rychlostí skokem o několik řádů, ale i odstranění nejrůznějších druhů rušení (s negativním vlivem na kvalitu přenosu po metalických kabelech).

Nejlépe je historický vývoj přenosové kapacity pevných metalických spojů a následný přínos optických kabelů patrný na vývoji transatlantických kabelových spojů. První podmořský kabel překonal Atlantik v roce 1956. Skládal se ze dvou koaxiálních kabelů a umožňoval současný přenos až 36 telefonních hovorů. Poslední neoptický spoj byl instalován v roce 1983 a umožňoval přenos až 4200 telefonních kanálů současně. První optický transatlantický systém byl dán do provozu v roce 1988. Podmořský kabel tohoto systému se skládá z šesti optických vláken a digitální přenosový systém umožňuje po tomto kabelu komunikaci rychlostí 296 Mbit/s (odpovídá současnému přenosu 3780 telefonních kanálů). V současnosti realizovaná generace optických podmořských kabelů posunula přenosovou rychlost až na hodnotu 2,5 Gbit/s (38000 telefonních hovorů).[5]

### 3.2 VNITŘNÍ STRUKTURA OPTICKÉHO KABELU

Optický kabel je kabel, který je tvořen minimálně jedním optickým vláknem, přičemž nejvyšší počet činní několik stovek vláken v jednom kabelu. Optické vlákno je v podstatě válcový dielektrický vlnovod zhotovený z vhodného materiálu s nízkými ztrátami, například z křemenného skla. Je tvořeno vnitřním jádrem, které slouží k vedení přenášeného záření. Na jakém typu vlákna je i závislá velikost průměru jádra. Standardní rozměr je 50  $\mu\text{m}$ , 62,5  $\mu\text{m}$  a 9  $\mu\text{m}$ . Jádro je uloženo ve vnějším obalu - plášti, majícím nepatrně nižší hodnotu indexu

lomu. Dohromady s jádrem má průměr 125  $\mu\text{m}$ . Dále pak máme primární ochranu, která je nejčastěji tvořena tvrzeným akrylátovým lakem, která chrání optické vlákno před vlivy okolního prostředí. Průměr spolu s jádrem a obalem je o velikosti 250  $\mu\text{m}$ . A poslední ochranou vazbou optického vlákna je tzv. sekundární ochrana, je to ochrana vlákna, která je z plastických hmot. Síla sekundární ochrany a duřh materiálu ze kterého je vyrobena, určuje prostředí, do kterého má být optický kabel instalován. Spolu s jádrem, pláštěm a primární ochranou má průměr běžně velikost 900  $\mu\text{m}$ . [2] [4]



Obr. 3.1: Struktura typického optického vlákna [4]

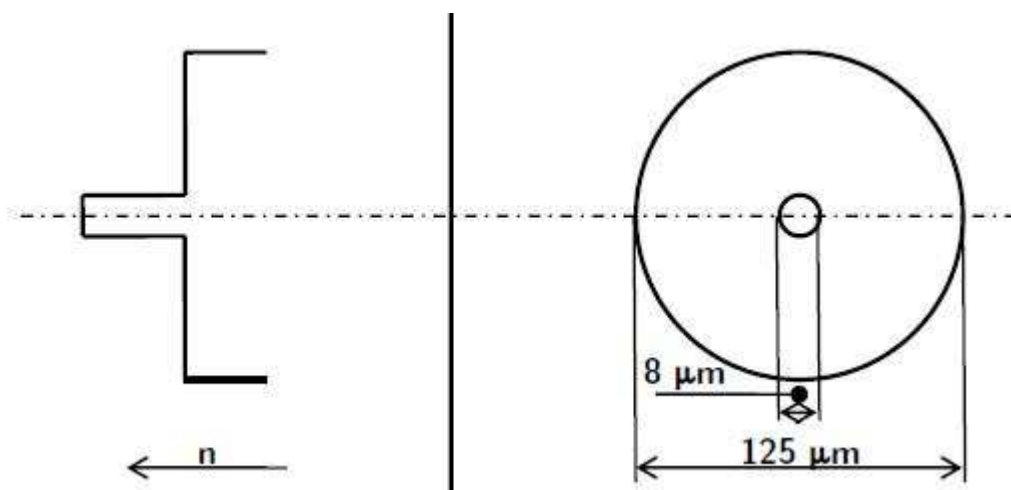
### 3.3 ROZDĚLENÍ OPTICKÉHO VLÁKNA

Podle fyzické konstrukce optických vláken a následném šíření světelného paprsku rozlišujeme vlákna:

- Jednovidová SMF (Single Mode Fiber)
- Mnohovidová MMF (Multi Mode Fiber)
  - Se skokovou změnou indexu lomu
  - S gradientní změnou indexu lomu

### 3.3.1 Jednovidová optická vlákna

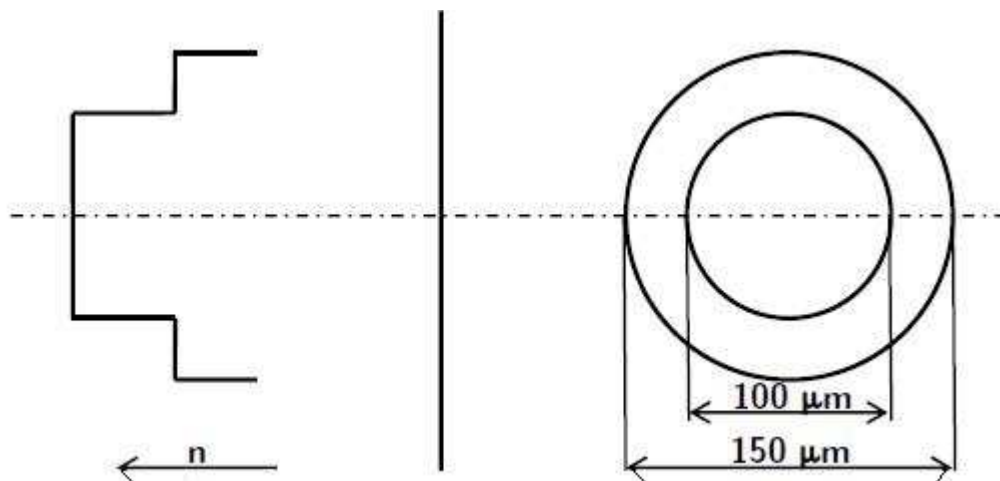
Jednovidová optická vlákna s konstantním indexem lomu jádra a skokovou změnou indexu lomu pláště, se vyznačují velmi malou disperzí, velmi malým útlumem a vysokou přenosovou kapacitou. Jejich hlavním uplatněním jsou dálkové přenosy. V tomto případě se vlákem šíří pouze jeden vid a to ve směru osy. Aby se tohoto stavu mohlo dosáhnout, je zapotřebí zmenšit průměr jádra na hodnotu rovnou jen několika vlnovým délkám. Pro jednovidová vlákna se používají optické kabely s průměrem jádra 7-9  $\mu\text{m}$ . V současnosti jsou nejběžnější používané vlnové délky 1310 nm a 1550 nm. Jednovidová vlákna se skokovým indexem lomu jádra mají útlum přibližně 0,35 dB/km při vlnové délce 1310 nm a 0,2 dB/km při vlnové délce 1550 nm. Disperze je zhruba 0,3 ns/km.[2] [4]



Obr. 3.2: Jednovidové optické vlákno [4]

### 3.3.2 Mnohovidová optická vlákna se skokovou změnou indexu lomu

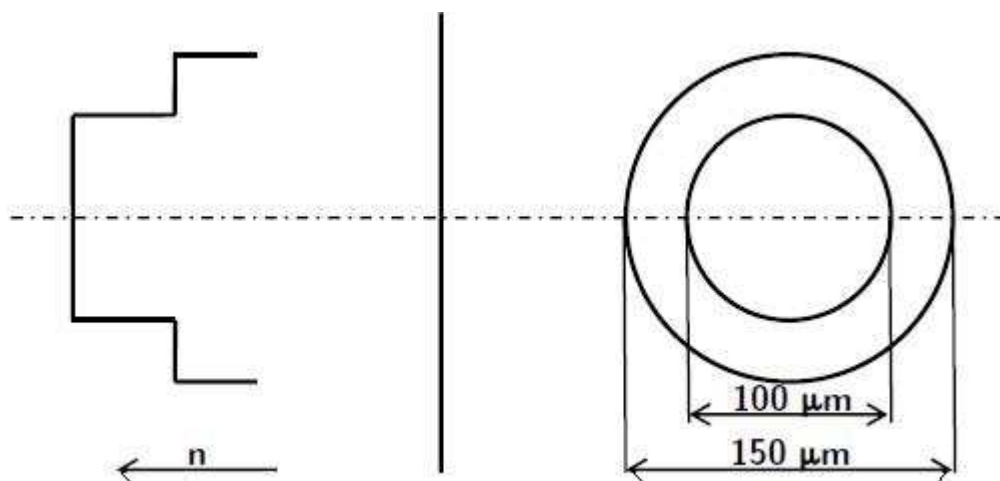
Mnohovidová optická vlákna s konstantním indexem lomu jádra a skokovou změnou indexu lomu pláště se vyznačují jednoduchou výrobou a manipulací, v poměrně jednoduchém konstruování. Mají větší útlum, disperzi a malou přenosovou kapacitu. Mnohovidová vlákna používají několik vidů (paprsků) současně, které se vytvořily při generování světelných impulsů zdrojem světla. Jádro optického vlákna má šířku 50-200  $\mu\text{m}$ , přičemž průměr pláště může být až 300  $\mu\text{m}$ . Přenos spočívá v absolutním odrazu, kde u každého paprsku je vstup do vlákna pod různým úhlem a proto se následovně odrazí po jiné cestě. Disperze optického signálu činí 50 ns/km, útlum je až 20 dB/km. Využívá se nejvíce na krátké vzdálenosti, automatizační účely, lokální sítě apod.[2] [4]



Obr. 3.3: Mnohovidové optické vlákno se skokovou změnou indexu lomu [4]

### 3.3.3 Mnohovidová optická vlákna s gradientní změnou indexu lomu

Mnohovidová optická vlákna s proměnným indexem lomu v příčném řezu vlákna, také nazývána jako gradientní vlákna, která se vyznačují menší disperzí, menším útlumem, částečně složitější výrobou a tím složitějším konstruováním a spojováním vláken. Mají však znatelně lepší parametry než vlákna mnohovidová se skokovou změnou indexu lomu. Jádrem optického vlákna má šířku 50  $\mu\text{m}$ , přičemž průměr pláště je 125  $\mu\text{m}$ . S parametry útlumu kolem 5 dB/km a disperzi kolem 1 ns/km. V současnosti je typickou vlnovou délkou těchto vláken 850 nm a 1310 nm.[2] [4]



Obr. 3.4: Mnohovidové optické vlákno s gradientní změnou indexu lomu [4]

Tabulka 3.1: Srovnání charakteristik optických vláken různých typů [1]

Typ vlákna	Mnohovidové se skokovou změnou indexu lomu	Mnohovidové s gradientní změnou indexu lomu	Jednovidové se skokovou změnou indexu lomu
Průměr jádra [ $\mu\text{m}$ ]	50 – 200	50	7-9
Průměr pláště [ $\mu\text{m}$ ]	120 – 300	125	125
Průměr primární ochrany [ $\mu\text{m}$ ]	250 - 1000	250 – 1000	250 – 1000
Průměr primární ochrany [ $\mu\text{m}$ ]	250 - 1000	250 – 1000	250 – 1000
Index lomu jádra	Asi 1,48	Asi 1,48	Asi 1,46
Index lomu pláště	Asi 1,45	Asi 1,46	Asi 1,456
Útlum [dB/km]	5 - 20	2,5 - 5	0,2 - 0,35
Šířka pásma pro 1 km	60 MHz	600 MHz	10 GHz

## 4. OPTICKÝ PŘENOS V PRŮMYSLU

Optický přenos se v dnešní době spíše používá v páteřních sítích na datovou komunikaci. Je to hlavní priorita optického přenosu, že může přenášet více dat s větší rychlostí. Dá se však použít i v průmyslových aplikacích, ať už v bezpečnostním průmyslu, kde je napojený na požární systémy, tak i v monitoringu, tedy k monitorování kamerových zařízení, ale i k ovládání řídicích jednotek. Může být využíván i ve velice rušivých prostorech, kde je právě optický kabel nejlepší možné řešení. Optický kabel je imunní proti elektromagnetickému rušení, tudíž se dá použít tam, kde je vyskytováno nějaké elektromagnetické pole. Experti tvrdí, že většina problémů na metalickém vedení je způsobena přeslechou, impedančním nepřizpůsobením a vnějším rušením. Proto se dá pomocí různých optických převodníků, modemů a konvertorů těmto problémům zabránit. V rušivých průmyslových provozech, by se za pomoci těchto optických převodníků dalo dobře využít ke komunikaci různých strojů (brusky, vrtačky, lisu, strojů na osazování SMD součástek apod.). Hlavní nevýhodou tohoto zařízení je cena, ale postupem času bude cena přijatelnější a začne se o to zajímat více firem.

### 4.1 OPTICKÉ PŘEVODNÍKY

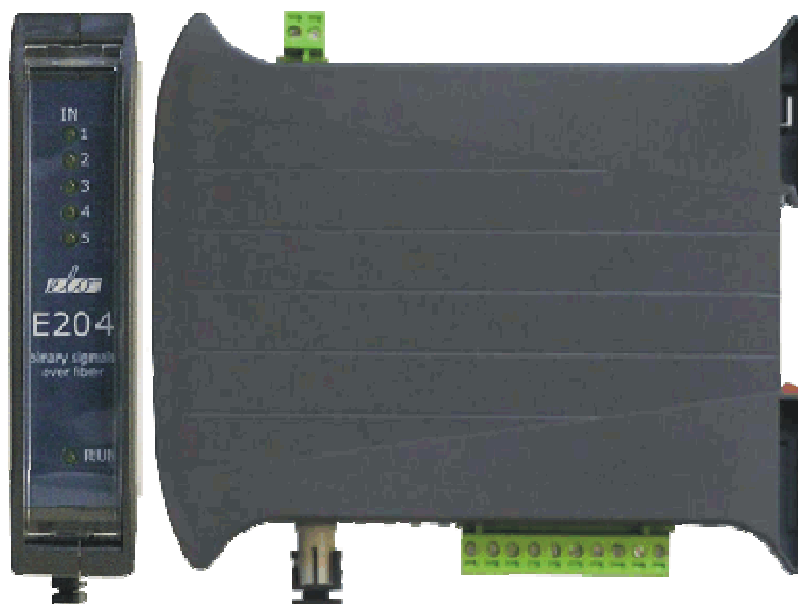
Optické převodníky rozdělujeme na dva druhy, pro jednovláknová a monohvláknová optická vlákna. Z komunikačního hlediska se používají převodníky, který převádějí optický signál na metalický, na propojení sítě. To znamená, že pokud nějaký poskytovatel optického přenosu vám nabídne optickou linku až do domu je zapotřebí si koupit převodník, který převede signál z optického kabelu na Ethernetový síťový kabel. Nás však zajímá převodník, který převede optický signál na asynchronní sériovou linku RS232 nebo RS485. I když tento typ kabelu začíná být pomalu vyměňován za USB kabel. Bohužel je zapotřebí další převodník, který převede sériovou linku RS232/RS485 na USB kabel, pokud chceme vést kabel až do počítače. Je velice mnoho druhů těchto převodníků, rozlišují se podle převedené rychlosti, na jakou maximální vzdálenost se dá použít, nebo některý má v sobě zavedený USB port. Samozřejmě pokud má lepší vlastnosti, odrazí se to v ceně.

### 4.1.1 Optické převodníky pro mnohovidová optická vlákna

Převodník pro mnohovidová optická vlákna jsem si vybral převodníky ELO 205 a 206 od firmy ELO +, s.r.o.

**ELO E205 a E206** – Model ELO E205 převádí pět binárních vstupních signálů a periodicky je vysílá do optického vlákna. Vstupy jsou navzájem galvanicky oddělené a jsou vybaveny omezovačem vstupního proudu na zhruba 6 mA. Model ELO E205 obsahuje zdroj 24 V/40 mA, který je galvanicky oddělený (svorky „Src“). Je určen k připojování vstupů, které jsou tvořeny kontakty, na kterých není potenciál.

Přijímač ELO E206 dekóduje komunikační protokol a nastavuje výstupní signály podle přijatých dat. Výstup „Valid“ svým sepnutým stavem indikuje platnost stavů výstupů O1... 5. V případě detekce chyby v přijímaných datech se signál „Valid“ vypne, zatímco výstupy zůstávají v naposledy korektně přijatých stavech. Pokud chyba trvá v řádu sekund, jsou výstupy nastaveny do rozepnutého stavu. Výstupy jsou osazeny polovodičovými relé schopnými spínat proudy do 0,5 A, a napětí do 48 V stejnosměrně nebo 24 V střídavě. Po připojení napájení musí začít blikat indikátory RUN na předním panelu adaptéru. Stav příjmu je indikován na předním panelu (Rx OK a Rx Err). [6]



Obr. 4.1 : Mnohovidový převodník ELO E204, E205 a E206 [6]

V dokumentaci je vložen obrázek převodníku ELO E204, který má vizuální vzhled, vlastnosti i parametry převodníků E205 a E206

**Technické parametry:**

Tab. 4.1: Technické parametry převodníku ELO E205 a E206 [6]

<b>Binární vstupy</b>	Galvanicky oddělené
<b>Log. 0</b>	0 – 3 V
<b>Log. 1</b>	> 4,5 V
<b>Maximální odběr vstupu</b>	6 mA
<b>Optický kabel</b>	Mnohovidové optické vlákno 50/125(62,5/125) $\mu\text{m}$
<b>Optické konektory</b>	typ ST
<b>Binární výstupy</b>	SSR
<b>Spínaný proud max.</b>	0,5 A
<b>Spínané napětí max.</b>	48/60 V ss, 24/30 V stř.
<b>Napájení</b>	externí ss zdroj 9-24 V/150 mA
<b>Dosah typicky</b>	2 km
<b>Vlnová délka</b>	820 nm
<b>délka</b>	120 mm
<b>šířka</b>	22,5 mm
<b>výška</b>	108 mm
<b>Váha</b>	140 g

**4.1.2 Optické převodníky pro jednovidová optická vlákna**

Převodník pro jednovidová optická vlákna jsem si vybral převodníky ELO E248 od firmy ELO +, s.r.o.

**ELO E248** - Dvojice převodníků vzájemně komunikuje přes optická vlákna. Korektní stav komunikace je indikován signálkou „LINK“. Stav všech čtyř vstupních signálů rozhraní RS232 je vzorkován a přenášen na vzdálenou stranu, kde je následně rekonstruován. Maximální přenosová rychlost každého z kanálů je 230 kb/s. Konektor RS232 je zapojen nestandardně. Pro jednovidová vlákna 09/125  $\mu\text{m}$  je určen model ELO E248 s optickými konektory typu SC a jeho maximální dosah je 15 km Optický kabel se připojí přes konektor SC. Ke správné funkci musí být vysílač vzdáleného multiplexoru připojen k přijímači místního, a vzdálený přijímač musí být připojen k místnímu vysílači (vlákna se kříží). Správná instalace napájení je indikována rozsvícením indikační diody PWR, rozsvícený

indikátor LINK znamená správné připojení optického kabelu. Při přenosu dat musí blikat nebo trvale svítit indikátor přenosu Tx/Rx. [6]



Obr. 4.2: Jednovidový převodník ELO E248 [6]

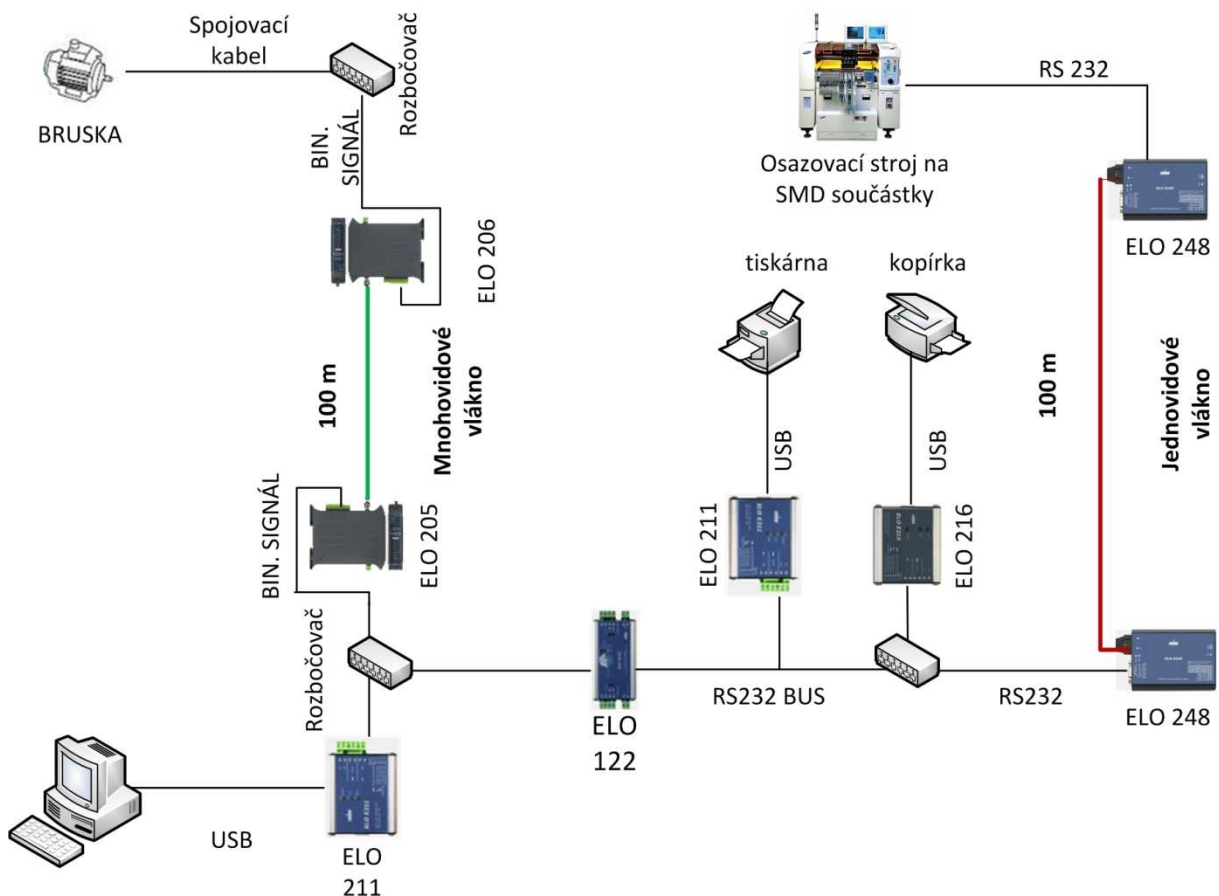
### Technické parametry:

Tab. 4.2: Technické parametry modemu ELO E248 [6]

<b>Přenášené signály</b>	4xTxD, 4xRxD
<b>Typ a zapojení konektoru RS232</b>	DB9F
<b>Dosah</b>	cca 15 km
<b>Způsob přenosu</b>	duplexní
<b>Optický kabel</b>	dvě jednovidová optická vlákna 09/125 $\mu$ m
<b>Optické konektory</b>	typ SC
<b>Max. rychlost přenosu každého kanálu</b>	230 kbit/s
<b>Napájení</b>	externí ss zdroj 9-24 V/200 mA
<b>Délka</b>	120mm
<b>šířka</b>	80mm
<b>výška</b>	25mm
<b>Váha</b>	160g

## 5. NÁVRH SÍTĚ APLIKOVANÉ OPTICKÝMI PŘEVODNÍKY PRO PRŮMYSLOVÉ ZAŘÍZENÍ

Pro navržení sítě na obr. 1.4 jsem zařadil do celkového zapojení i počítač, který ovládá přes převodníky a modemy různá elektronická zařízení. Takhle navržená průmyslová síť se dá použít v mnoha firmách. Návrh zahrnuje obecné použití, je zde zapojená bruska, tiskárna, kopírka ale i osazovací stroj na SMD součástky, je možné připojit velice mnoho druhů přístrojů. Například firma ŠKODA AUTO, s.r.o by mohla zvýšit svoji produktivitu pomocí podobného zapojení. Počítač by mohl za pomoci nějakého vloženého softwaru ovládat různé stroje na výrobu automobilů. Nebo TŘINECKÉ ŽELEZÁRNY, a.s. kde je zapotřebí na výrobu kolejnic stroje, které mají těžkou ovladatelnost a nepříznivé podmínky pro elektronické pohony.



Obr. 5.1: Návrh sítě aplikované optickými převodníky

Do návrhu sítě jsem vložil převodníky pro mnohovidová a jednovidová optická vlákna abych vypočítal celkový útlum na dvou vložených optických kabelech a přibližný ceník zapojení. Ceník zapojení se bude týkat hlavně optických převodníků i s konektory. Tabulka ukazuje čtyři druhy kabelů, které je možné použít k zapojení. Pro jednovidová vlákna lze použít dva typy kabelu s vlnovou délkou 1310 nm a 1550 nm a pro mnohovidová vlákna další dva typy s vlnovou délkou 850 nm a 1310 nm.

Tab. 5.1: Druhy optických kabelů pro optické převodníky.

Typ vlákna	SM	SM	MM GI	MM GI
<b>Typ optického vlákna</b>	Singlemode 9/125 $\mu$ m	Singlemode 9/125 $\mu$ m	Multimode 62.5/125 50/125 $\mu$ m	Multimode 62.5/125 50/125 $\mu$ m
<b>Způsob přenosu</b>	duplexní	duplexní	poloduplexní	poloduplexní
<b>Vlnová délka</b>	1310 nm	1550 nm	850 nm	1310 nm
<b>Typ konektoru</b>	SC	SC	ST	ST
<b>Vysílač</b> <b>Výstupní optický výkon</b> <b>min / max</b>	-5/0 dBm*	-5/0 dBm*	-5/0 dBm*	-5/0 dBm*
<b>Citlivost přijímače</b>	-34 dBm*	-34 dBm*	-31 dBm*	-31 dBm*
<b>Rezerva systému</b>	- 3 dBm	- 5 dBm	- 8 dBm	- 8 dBm
<b>Útlum kabelu</b>	0,7 dB/km	0,3 dB/km	3,5 dB/km	1,2 dB/km
<b>Max. celkový útlum</b>	4 dBm	6 dBm	9 dBm	9 dBm
<b>Konektorové ztráty</b>	1,0 dBm	1,0 dBm	1,0 dBm	1,0 dBm
<b>Délka spoje</b>	100 m	100 m	100 m	100 m

\* Hodnoty uvedené hvězdičkou nejsou výrobcem popsány, jsou vybrány z jiných převodníků

Ceník převodníků s kabely a konektory se týká pouze části, kde je optický přenos. Jiné části jsou ceněny podle počtu připojených zařízení a počtem kabelů, které jsou potřeba.

Tab. 5.2: Kalkulace optické části v navržené síti.

Produkt	Popis	Množství	Cena Kč s DPH
<b>ELO E205 a E206</b>	Převodník na MM optické vlákno	1+1 ks	6498,-/1 ks
<b>ELO E248</b>	Převodník RS232 na SM optické vlákno	2 ks	6498,-/1 ks
<b>SC</b>	Konektor pro SM vlákno	4 ks	175,-/1 ks
<b>ST</b>	Konektor pro MM vlákno	4 ks	111,-/1 ks
<b>SM optický kabel</b>	Optický kabel 09/125	100 m	20,- /1 m
<b>MM optický kabel</b>	Optický kabel 50/125	100 m	25,- /1 m
<b>Přibližná celková cena</b>			<b>31636,- Kč</b>

Celková cena je teoretická, je pouze za materiál, který je potřeba pro komunikaci s optickými převodníky. Není zde započítána cena práce a instalace zařízení. Ceny optický převodníků mě byly po zažádání poslány na email, nejsou bohužel veřejné a cena se liší od počtu kupujících kusů, zde je počítána cena jednoho kusu převodníku samostatně, při objednávce dvou a více kusů je cena podstatně nižší. Je to tím, že firma vyrábí na SMD osazovacích strojů a při výrobě používá ruční i automatický sítotisk. Takže při výrobě jednoho produktu je cena dražší. Moje hodnoty konektorů a kabelů jsou průměrné k různým hodnotám, za které se dají koupit. Celková cena tedy může být i nižší, záleží na výběru.

## 6. NÁVRH LABORATORNÍ ÚLOHY

Laboratorní úloha se bude skládat z dodaných vzorků, které byly pro laboratorní úlohu zakoupeny. Bude obsahovat dvě soupravy:

1. Výuková souprava pro přenos binárních signálů přes mnohovidové optické vlákno
2. Výuková souprava pro přenos binárních signálů přes jednovidové optické vlákno s útlumovými články a opakovačem.

Druhá souprava se navíc bude komponovat na dvě části. První část bude zapojena s opakovačem signálu, přes který budou zapojena optická vlákna, a bude zesilovat utlumený signál z vysílače na přijímač signálu. Ve druhé části nebude zapojen opakovač signálu, optická vlákna jak z vysílače tak přijímače budou vedena přes optickou spojku. Na obě dvě části se bude testovat proměnný útlumový článek, který je součástí obou dvou optických kabelů. Postupně se bude zvyšovat útlum pomocí útlumového článku od 0,5 do 28 dB. Má se zjistit jaké opakovač má zesílení signálu a v jaké hodnotě útlumu bude signál hlásit chybu bez zmíněného zesilovače. K zjištění, zda je signál chybový, nám docílí pult s výstupní indikací, který je součástí obou souprav.

### 6.1 Výuková souprava pro přenos binárních signálů přes mnohovidové optické vlákno

#### Zadání:

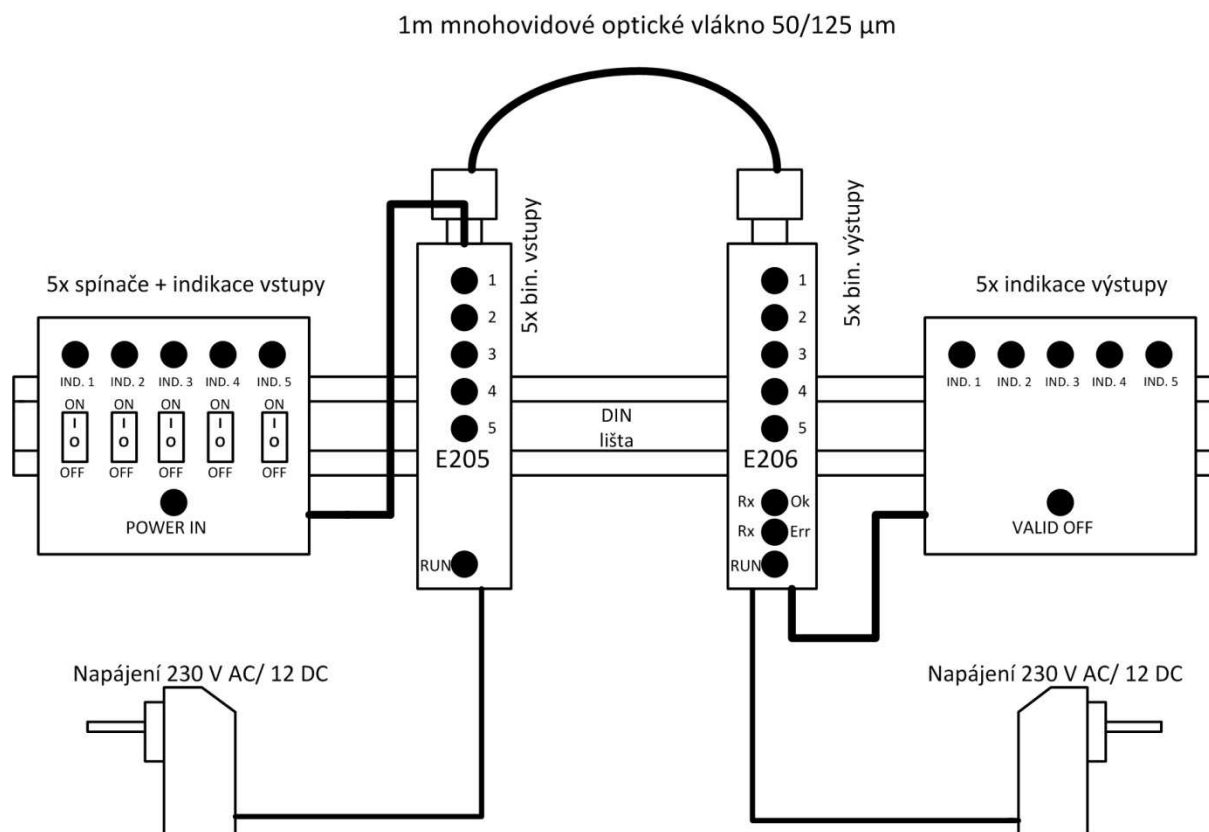
1. Seznamte se s výukovou soupravou.
2. Zkontrolujte, zda je optický kabel připevněn k oběma multiplexorům a zda je pultík s indikátory binárních vstupů zapojen do vysílače ELO E205 a pultík s indikátory binárních výstupů zapojen do přijímače ELO E206.
3. Zkontrolujte oba napájecí adaptéry, jestli jsou v zásuvce.
4. Vyzkoušejte si přenos signálů pomocí tlačítek na pultíku s binárními vstupy.

#### Souprava se skládá z těchto částí:

- 1) pultík ovládání a indikace pěti binárních vstupů.
- 2) vysílač 5 binárních signálů na MM/ST optické vlákno ELO E205.
- 3) 1 m mnohovidové optické vlákno 50/125  $\mu\text{m}$  s ST konektory.

- 4) přijímač 5 binárních signálů z MM/ST optického vlákna ELO E206.
- 5) pultík indikace binárních výstupů.
- 6) 2 kusy napájecí adaptér 230V AC/12 V DC.
- 7) vše upevněno na cca 0,5 m liště DIN 35 mm.

Reálné sestavení soupravy viz příloha A



Obr. 6.1: Výuková souprava pro přenos binárních signálů přes MM optické vlákno

## Teoretický úvod

- I. Ovládací pult je propojen na pětici binárních vstupů multiplexeru ELO E205 a ovládá stavy vstupů jednotlivých kanálů. Změna úrovně těchto vstupů se provádí pěti přepínači CH1 – CH5. V klidu (poloha přepínačů 0) je vstupní kontakt rozpojen a přenášena log. 0. V aktivním stavu (přepínače v poloze 1) je přenášena log. 1. Tento aktivní stav je indikován příslušnou zelenou LED na ovládacím pultu. Napájení vstupů je indikováno žlutou LED.
- II. Indikační pult je připojen na pětici binárních výstupů multiplexeru ELO E206 a indikuje stavy jednotlivých kanálů. Pokud je výstup v aktivním stavu (sepnuto), svítí

příslušná červená LED. Tento stav odpovídá sepnutému přepínači (poloha 1) na ovládacím pultu. V dolní části pultu je žlutá LED, která indikuje platnost výstupních signálů.

- III. Multiplexer ELO E205 slouží k přenosu vstupních stavů přes optickou linku. Stavby všech pěti vstupů pravidelně vzorkuje, balí do datového rámce, který je opatřen kontrolními bity a ten vysílá optickým vysílačem do MM optického vlákna. Stavby vstupních signálů jsou opět indikovány zelenými LED na čelním panelu multiplexeru.
- IV. Demultiplexer ELO E206 kontroluje správnost přijatých datových rámců z optické trasy, dekóduje tyto rámce a stavby jednotlivých kanálů předává na binární výstupy. Na čelním panelu demultiplexeru jsou tyto stavby indikovány červenými LED. Dále je podle kontrolních bitů indikována správnost přijetí datového rámce. Pokud datový rámec není přijat nebo je přijat s chybou, rozsvítí se LED „Rx Err“, přičemž výstupy zůstanou v posledním platném stavu. Pokud do 2 sekund nepříjde platný rámec, všechny výstupy přejdou do klidového stavu (rozepnuto).
- V. Dva napěťové adaptéry 12 V/0,5 A slouží k napájení celé MM soupravy. Jeden napájí vstupní část a druhý výstupní část. Odběr celé soupravy je do cca 0,3 A.
- VI. Vstupní s výstupní částí soupravy je propojena 1 m dlouhým optickým MM kabelem se skleněným vláknem 50/125  $\mu\text{m}$  pro vlnové délky 800 – 1300 nm, opatřeným bajonetovými konektory typu ST. [6]

### **Překlenutelná vzdálenost**

Mnohovidová optická souprava má překlenutelný útlum min. 4,2 dB. Použitý typ MM optického vlákna 50/125  $\mu\text{m}$  s gradientní změnou indexu lomu má měrný útlum 2,7 dB/km. Z toho vyplývá, že max. délka optického kabelu neboli max. překlenutelná vzdálenost vstupní a výstupní části soupravy je 1,5 km. Když budeme počítat útlum konektorů 0,5 dB na jeden konektor, a při rezervě systému cca 5 dB bude maximální útlum kolem 6 dB. [6]

### **Technické parametry**

Technické parametry mnohovidových optických převodníků ELO E205 a E206 (viz Tab. 4.1)

## 6.2 Výuková souprava pro přenos binárních signálů přes jednovidové optické vlákno s útlumovými články a opakovačem

### Zadání:

1. Seznamte se s výukovou soupravou.
2. Ujistěte se, zda jsou všechny části na svém místě (seznam níže).
3. Zkontrolujte, zda je ovládací pult zapojen do vysílače a indikační pult do přijímače.
4. V první části nebude zapojen opakovač (REPEATER), namísto něho se použije optická spojka, viz **Obr. 6.2, 1. ČÁST**.
5. Ve druhé části se namísto spojky zapojí opakovač, **Obr. 6.4, 2. ČÁST**.
6. Zjistěte rozdíl mezi optickou spojkou a opakovačem.
7. Zkuste si změřit obě dvě části reflektometrem OTDR.

### Souprava se skládá z těchto částí:

1. ovládací pult s indikací – 4x spínače binární signál.
2. vysílač binary IN/SM OUT – ELO E248 TRANSMITTER.
3. opakovač optického signálu – ELO E248 REPEATER.
4. přijímač SM IN/binary OUT – ELO E248 RECEIVER.
5. napájecí adaptér 12 V/0,5 A 3ks.
6. 2x5 m optické vlákno SM 9/125  $\mu\text{m}$  s SC konektory a s proměnným útlumovým článkem 0,5 – 28 dB.
7. SC - SC optická spojka (coupler).
8. indikační pult – 4x výstupní binární signál.
9. vše upevněno na cca 1 m liště DIN 35 mm.

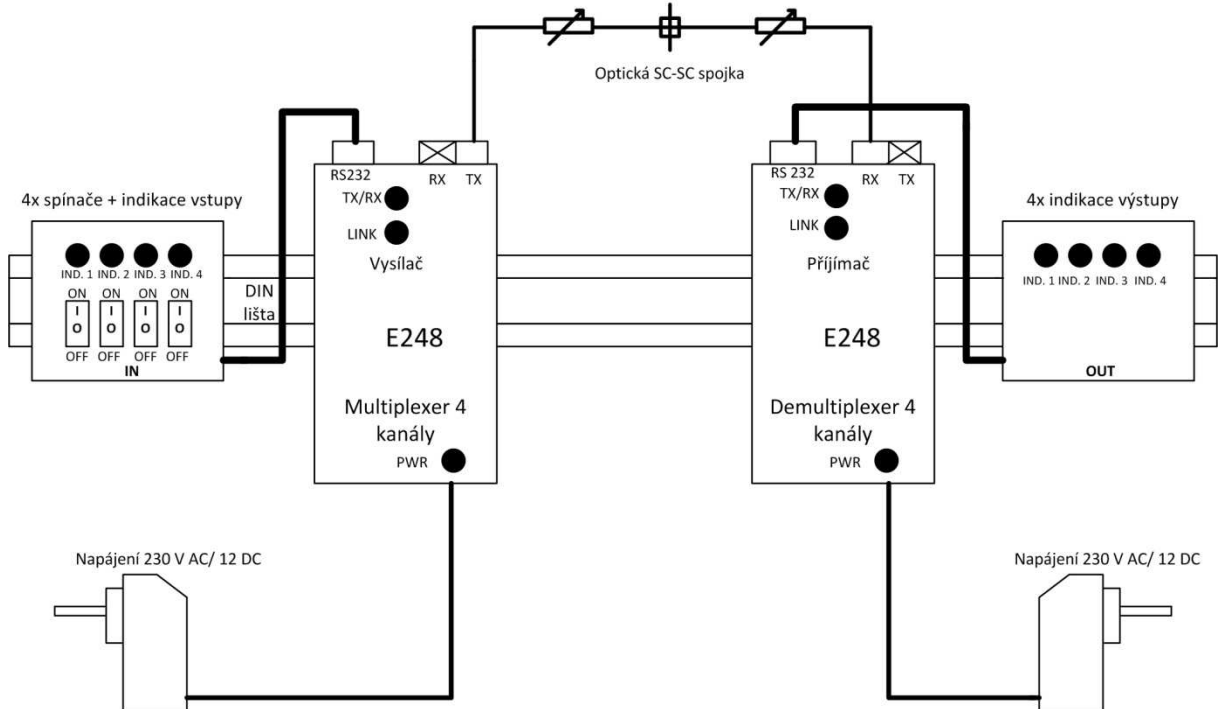
### Teoretický úvod

- I. Ovládací pult je propojen na čtveřici RS232 vstupů multiplexeru ELO E248 TRANSMITTER zapojených jako binární vstupy a ovládá stavy jednotlivých kanálů. Změna úrovní těchto vstupů se provádí čtyřmi přepínači CH1 – CH4. V klidu (poloha přepínačů 0) je vstupní kontakt rozpojen a v datovém rámci přenášena log. 1.

- V aktivním stavu (přepínače v poloze 1) je datovým rámcem přenášena log. 0 příslušného kanálu. Tento aktivní stav je indikován zelenou LED na ovládacím pultu.
- II.** Indikační pult je připojen na čtveřici RS232 výstupů multiplexeru ELO E248 RECEIVER a indikuje výstupní stavy jednotlivých kanálů. Pokud je výstup v aktivním stavu, svítí příslušná červená LED. Tento stav odpovídá sepnutému přepínači (poloha 1) příslušného kanálu na ovládacím pultu.
  - III.** Multiplexer ELO E248 TRANSMITTER slouží k přenosu vstupních stavů přes optickou linku. Stav všechny čtyřech vstupů pravidelně vzorkuje, balí do datového rámce, který vysílá optickým vysílačem Tx do SM optického vlákna. Optický vstup Rx se nevyužívá. Při aktivním stavu alespoň na jednom kanálu se rozsvítí žlutá LED Tx/Rx na multiplexeru.
  - IV.** Opakovač ELO E248 REPEATER slouží k zesílení a k regeneraci optického signálu a tudíž k překlenutí velké vzdálenosti koncových zařízení nasimulované útlumovými články. Optický signál se přijímá vlákem Rx, smyčkou na metalickém rozhraní se vrací zpět a zesílen se vysílá vlákem Tx. Pokud se přenáší alespoň jeden aktivní signál ze čtveřice kanálů, svítí žlutá LED Tx/Rx. Zelená LED LINK svítí v případě přítomnosti signálu na optickém vstupu Rx od multiplexeru ELO E248 TRANSMITTER.
  - V.** Multiplexer ELO E248 RECEIVER přijímá optický signál z ELO E248 TRANSMITTER nebo REPEATER na optický vstup Rx a stavy jednotlivých kanálů vystupuje na metalické rozhraní směrem k indikačnímu pultu. Výstup Tx se nevyužívá. Pokud se přijímá alespoň jeden aktivní signál ze čtveřice kanálů, svítí žlutá LED Tx/Rx. Zelená LED LINK svítí v případě přítomnosti signálu na optickém vstupu Rx.
  - VI.** Tři napěťové adaptéry 12 V/0,5 A slouží k napájení jednotlivých multiplexerů. Odběr celé soupravy je kolem 0,3 A.
  - VII.** 2ks 5 m optický kabel s proměnným útlumovým článkem slouží k propojení ELO E248 TRANSMITTERU s ELO E248 RECEIVEREM buď přímo pomocí optické spojky SC - SC nebo přes vložený ELO E248 REPEATER.
  - VIII.** SC - SC optická spojka slouží ke spojení obou kabelů s proměnným útlumovým článkem pro přímé propojení TRANSMITTERU s RECEIVEREM.[6]

## 6.2.1 Výuková souprava pro přenos binárních signálů s útlumovými články

2x 5m jednovláknové optické vlákno 9/125  $\mu\text{m}$  + proměnný útlumový článek 0,5 – 28 dB



Obr. 6.2: Výuková souprava pro přenos binárních signálů přes SM optické vlákno s proměnnými útlumovými články.

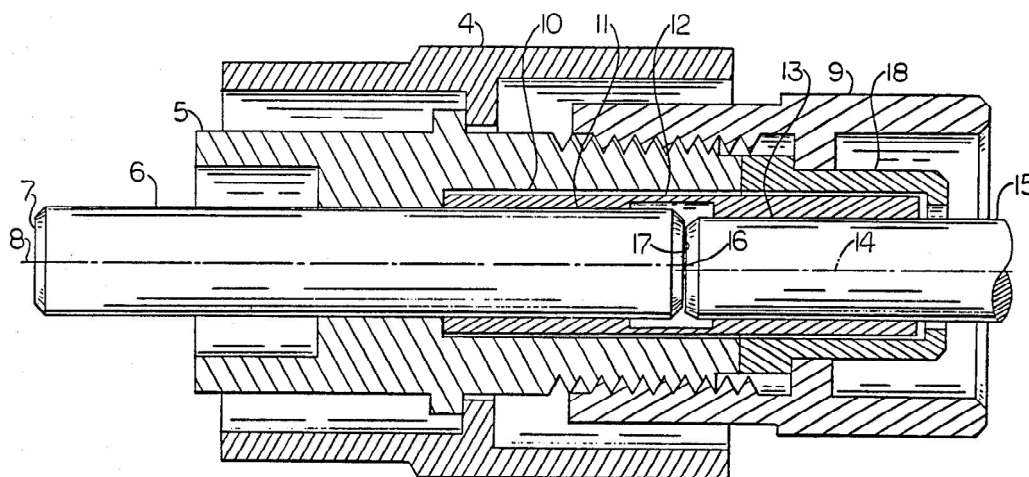
**1. ČÁST** SM soupravy se provede bez opakovače. Je zde znázorněno zapojení přes optickou spojku, jejíž útlum by měl být méně než 0,2 dB. Ke správné funkci obou multiplexerů musí být vzdálený vysílač připojen k přijímači místního, a vzdálený přijímač musí být připojen k místnímu vysílači (vlákna se kříží), to znamená, že musí být Tx zapojeno do Rx a naopak. V základním stavu je přímo propojen TRANSMITTER s RECEIVEREM bez zapojeného REPEATERU. Vyzkouší se korektní přenos stavů jednotlivých kanálů vizuálně na indikačních LED pultů, příp. i na tělech multiplexorů. Plynulým otáčením ovládací matice se zvyšuje útlum na obou kabelech současně do stavu, kdy nastanou chyby v přenosu signálu (přestane svítit LED LINK na těle RECEIVERU, příp. výstupní stavy kanálů přestanou odpovídat vstupním stavům).

SM optická souprava má překlenutelný útlum min. 16dB. Použitý typ SM optického vlákna 9/125  $\mu\text{m}$  má měrný útlum 0,35 dB/km. Z toho vyplývá, že max. délka optického kabelu neboli max. překlenutelná vzdálenost vstupní a výstupní části soupravy je přes 40km. Tato

vzdálenost ovšem v praxi nebývá realizována jedním celistvým vláknem, ale pospojováním několikakilometrových (do 6km) úseků. Konektorový spoj může mít vložený útlum až 1dB. Pak se započtením i 3dB bezpečnostního limitu lze uvažovat s reálným dosahem cca do maximálně 16km. Použité optické kabely s útlumovými články mohou do cesty optickému signálu vložit útlum  $2 \times 0,5 = 28\text{dB}$ , tj. přes 56dB, což by odpovídalo délce celistvého vlákna přibližně 160km.[6]

## PRINCIP ÚTLUMOVÉHO ČLÁNKU A POSTUP PRÁCE SE SOUPRAVOU

Optický kabel s proměnným útlumovým článkem je klasické skleněné SM vlákno 9/125  $\mu\text{m}$  zakončené konektory SC. Proměnný útlum je dosahován oddalováním/přibližováním přerušeno vlákna, jehož konce mají navíc podélný offset (longitudinal offset) – středy vláken nejsou v ose.[6]



Obr. 6.3: Řez optickým útlumovým článkem.[6]

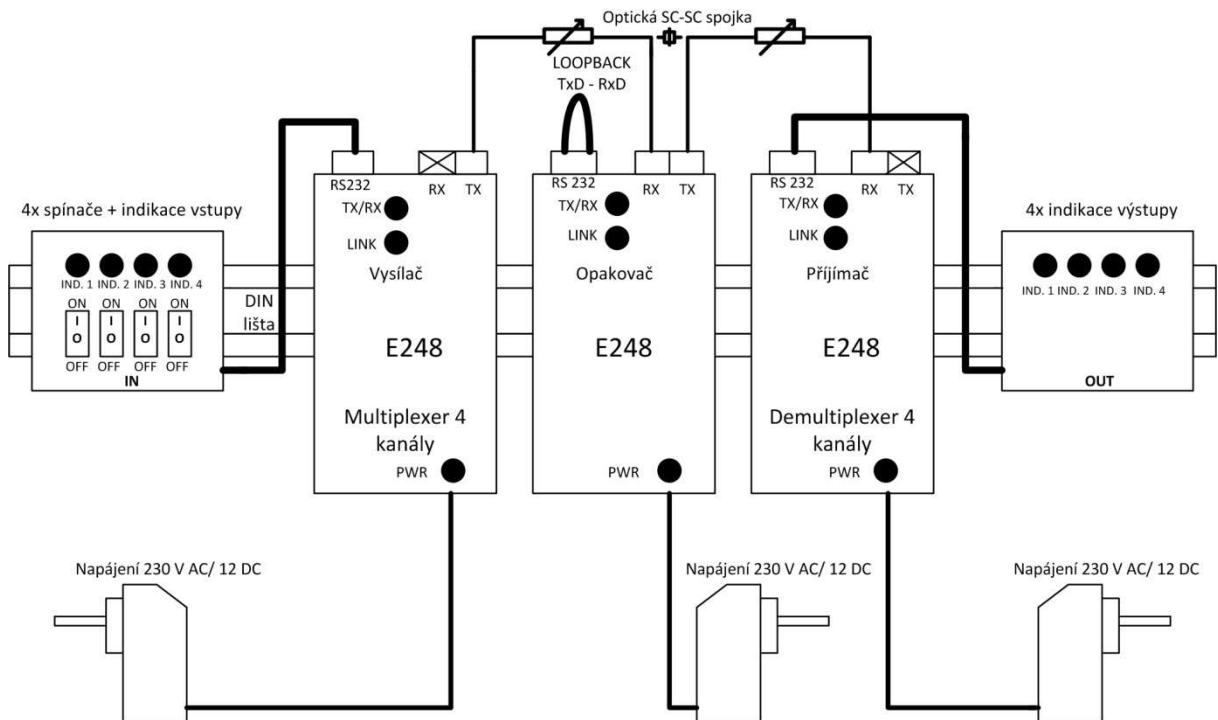
### Vysvětlivky:

- |                                                  |                                   |
|--------------------------------------------------|-----------------------------------|
| 4 – převlečná matice                             | 14 – osa vnitřní válcové koncovky |
| 5 – kryt s vnějším závitem                       | 15 – vnitřní válcová koncovka     |
| 6 – vyčnívající válcová koncovka                 | 18 – vodící objímka               |
| 8 – podélná osa koncovky 6                       |                                   |
| 9 – adaptér s vnitřním závitem                   |                                   |
| 12 – upínací pouzdro vymezující offset podélných |                                   |

## 6.2.2 Výuková souprava pro přenos binárních signálů s útlumovými články a opakovačem

2. ČÁST SM soupravy se skládá i s opakovačem, kde odpojíme SC - SC optickou spojku a do cesty optického signálu se zařadí REPEATER. Příslušné kontrolky LINK a Tx/Rx by se měly rozsvítit a stavy vstupů a výstupů ztotožnit. Reálné sestavení soupravy (viz. Příloha A).

2x 5m jednovidové optické vlákno 9/125  $\mu\text{m}$  + proměnný útlumový článek 0,5 – 28 dB



Obr. 6.4: Výuková souprava pro přenos binárních signálů přes SM optické vlákno s proměnnými útlumovými články a opakovačem.

Pomocí opakovače je optický signál přijímán vlákem Rx, pomocí smyčky (loopback) RS232 se signál vrací zpět a pomocí jeho zesílení se signál vysílá přes vlákno Tx do přijímače na vlákno Rx. Vlákna se musí křížit jinak by došlo ke kolizi a nebylo by možné přijat signál. Pro přesnější měření by bylo potřeba reflektometr OTDR. Který by naměřil přesně hodnoty.

### Technické parametry

Technické parametry jednovidového optického převodníků ELO E248 (viz Tab. 4.2).

## 7. ZÁVĚR

Dokument popisoval využití optického přenosu v průmyslu. Znázorňoval, jak probíhá přenos světla optickým vláknem a proč je lepší použít tento přenos nad metalickou kabeláží. Jde o to, aby se technologie optického přenosu více využila v průmyslových zónách a na dále se rozvíjela. Je sice pravda, že počáteční náklady budou vysoké, ale je to užitečná investice, která se určitě vyplatí. Věřím, že postupem času budou všechny nevýhody optického přenosu, ať už materiálové nebo cena vyřešeny.

Ve druhé části bakalářské práce jsem měl vypracovat laboratorní úlohu, z dodaných vzorků, která má ukázat optické převodníky v praxi. Jen to jen malé zapojení, na ukázkou. Ve firmách které používají tyto převodníky je celková síť daleko rozsáhlejší a obsahuje více rozvaděčů, adaptérů, modemů atd. Nejvíce využívané tímto zařízením jsou elektrárny, které dávají tyto multiplexory do různých rozvaděčů, aby zabezpečili trvalý chod a nenarušily proud energie. Výsledkem této bakalářské práce je, že optický průmyslu se dostává do čela vedení, bude ovšem ještě chvíli trvat než se tam dostane. Až bude na první pozici a začne se opravdu plně rozvíjet, věřím, že nás ještě něčím překvapí.

## POUŽITÁ LITERATŮRA

- [1] BEJČEK, Ludvík; ORLÍKOVÁ, Soňa. *Vláknová optika: Návody do laboratorních cvičení* [online]. Brno : VUT Brno, 1.8. 2002 [cit. 2011-12-15]. Dostupné z WWW: <[http://www.umel.feec.vutbr.cz/VIT/images/pdf/studijni\\_materialy/bc/Vlaknova\\_optika\\_navod.pdf](http://www.umel.feec.vutbr.cz/VIT/images/pdf/studijni_materialy/bc/Vlaknova_optika_navod.pdf)>.
- [2] FILKA, M. *Optoelektronika pro telekomunikace a informatiku*. Doc. Ing. Miloslav Filka, CSc., ISBN 978-80-86785-14-1, ČR, 2009
- [3] GAJDOŠ, Vladimír. Výhody optické sítě. *SYMP.CZ* [online]. 26.12.2007, 1, [cit. 2011-12-06]. Dostupný z WWW: <<http://www.symp.cz/text-11-vyhody-opticke-site.html>>
- [4] HORNÍČEK, L. *Optická síť FTTH*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2011. 59 s. Vedoucí semestrální práce doc. Ing. Miloslav Filka, CSc.
- [5] MAZUCH, Petr. *Informační síť*. Brno: Střední škola informatiky a spojů, 2005. Optické přenosy, s. 68-70.
- [6] *elo.cz* [online]. Písek: ELO+, spol. s.r.o, 2008 [cit. 2011-12-15]. Adaptéry pro optická vlákna. Dostupné z WWW: <<http://www.elo.cz/index.php?akce=kategorie&id=7>>.
- [7] DŘÍNOVSKÝ, Jiří, Tomáš FRÝZA, Jiří SVAČINA, Zdeněk KEJÍK, Václav RŮŽEK a Jiří ZACHAR. *ELEKTROMAGNETICKÁ KOMPATIBILITA: přednášky* [online]. První. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav radioelektroniky 2010 [cit. 2012-05-20]. ISBN 978-80-214-4202-3. Dostupné: <http://www.urel.feec.vutbr.cz/~drinovsky/?download=Skripta EMC el.pdf>

## PŘEHLED POUŽITÝCH ZKRATEK

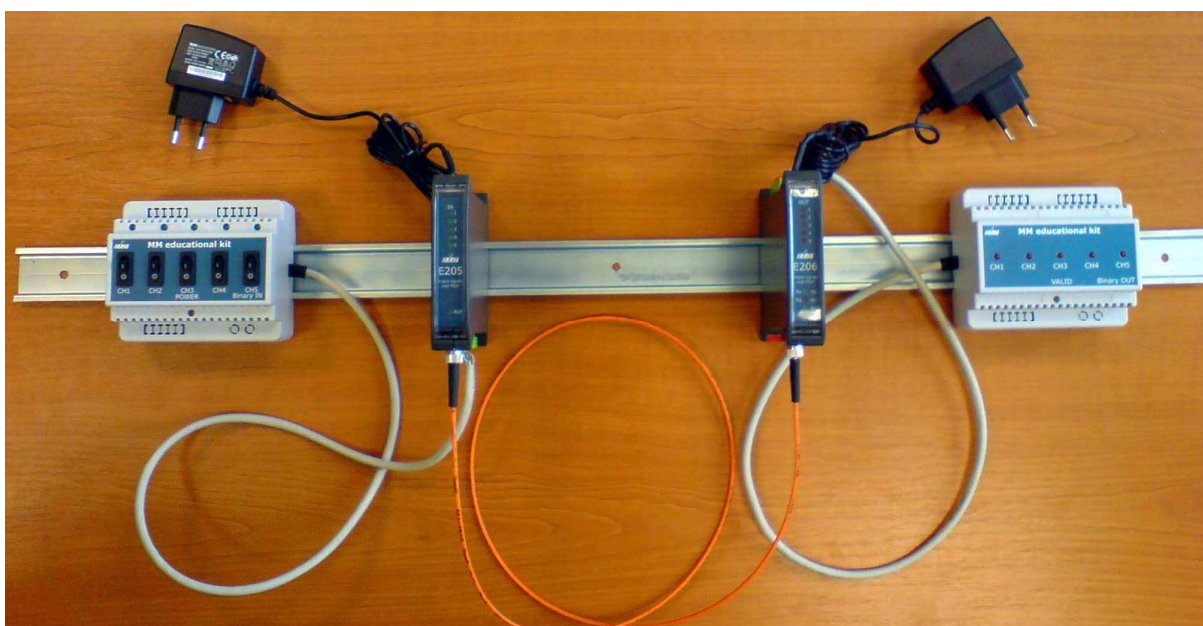
RS-232	RS-232 je komunikační rozhraní z roku 1969, které se používá jako komunikační rozhraní počítačů a elektroniky.
USB	Universal Serial Bus - je to univerzální sériová sběrnice pro připojení periférií k počítači.
MMF	Multi Mode Fiber - mnohovidové optické vlákno.
SMF	Single Mode Fiber - jednovidové optické vlákno
EMI	Elektro magnetic interference - elektromagnetická interference
WDM	Wavelength Division Multiplex - vlnově dělený multiplex
LAN	Local Area Network - lokální síť
CAT	Category cable – druh kabelu
STP	Shielded twisted pair – stíněná kroucená dvojlinka
UTP	Unshielded twisted pair – nestíněná kroucená dvojlinka
FTP	Foiled twisted pair – poškozená dvojlinka
LED	Light-Emitting Diode – dioda emitující světlo
SMD	surface mount device – součástka určená pro povrchovou montáž

## **SEZNAM PŘÍLOH:**

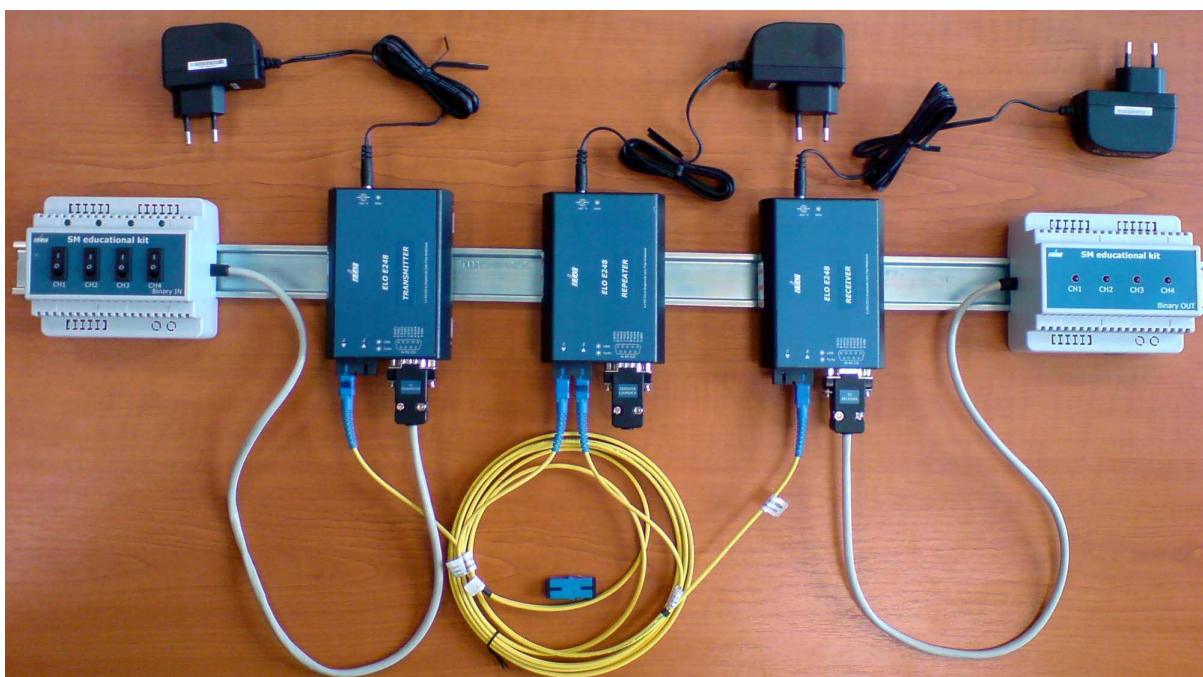
Příloha A: Reálné sestavení soupravy.....43

Příloha B: 1 CD.....45

## PŘÍLOHA A: REÁLNÉ SESTAVENÍ SOUPRAVY



Obr. A.1: Souprava pro přenos binárních signálů přes mnohovidové optické vlákno.



Obr. A.2: Souprava pro přenos binárních signálů přes jednovláknové optické vlákno s útlumovým článkem a opakovačem

## **PŘÍLOHA B: 1 CD**

K bakalářské práci je přiložené CD medium, které obsahuje laboratorní úlohu ve formátu DOC i PDF.