# DUM 15 téma: Optické sítě

**ze sady:** 3 **tematický okruh sady:** III. Ostatní služby internetu
**ze šablony:** 8 - Internet **určeno pro:** 4. ročník
**vzdělávací obor:** 26-41-M/01 Elektrotechnika - Elektronické počítačové systémy
**vzdělávací oblast:** odborné vzdělávání
**metodický list/anotace:** viz VY_32_INOVACE_08315ml.pdf

# Využití světla pro komunikaci

Světlo – jako forma elektromagnetického vlnění – bylo pro lidskou komunikaci používáno již velmi dávno. Hořící oheň na kopci upozorňoval na nutnost se vrátit do vesnice, přivolával pomoc na ostrově a podobně. Nebyl-li zdroj světla přímo k dispozici, bylo možné využít světla ze Slunce a buď ho zakrýt, nebo jím osvětlit jiný předmět.

Z hlediska fyzikálního je světlo vlněním o frekvenci kolem 0,7-1 PHz (petahertz), tedy daleko vyšší, než jakékoliv používané radiové technologie. Z toho vyplývá, že i použitelné šířky pásma dosahují rozměrů desítek a stovek GHz a teoretické přenosové rychlosti překračují tisíce Gbit/s.

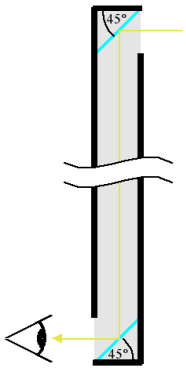
Drobným problémem je, že světlo se šíří ze svého zdroje přímou cestou (velmi nepatrně ovlivněnou gravitací), dokud nenarazí na překážku, kde se promění v teplo. Pro prakticky použitelnou komunikaci naopak potřebujeme světlo nasměrovat k druhému komunikantovi, a to často dovnitř budov a místností.

K tomu slouží různým způsobem konstruované světlovody

## *Světlovod*

Je jakékoliv technické zařízení, které dokáže paprsky světla odklonit z jejich přímé dráhy a donutit změnit směr. K tomu se využívá odrazu světla od zrcadel či podobných ploch.

Zrcadlo je v principu uměle vytvořené rozhraní dvou materiálů s různým indexem lomu, který předem známe, případně dokážeme technologicky určit. V praxi je to nejčastěji skleněná deska a vrstva kovu (stříbro, hliník atd.) v místě přechodu jednoho materiálu v jiný dochází ke kontaktu těchto dvou optických prostředí a po aplikaci Snellova zákona (jehož popis je mimo rozsah této kapitoly a patří do fyziky) zjistíme, že díky obrovskému rozdílu indexů lomu obou materiálů dochází k totálnímu odrazu pod velmi širokou skupinou úhlů. Proto také zrcadlo „funguje“ jak jsme automaticky zvyklí.




**Obrázek 1 - periskop, zdroj http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Periscope_principe.png?uselang=cs (licence CC)**

Vhodnou kombinací zrcadel tak můžeme paprsek světla postupně nasměrovat třeba kolem překážky nebo i dovnitř budov. Často používaným přístrojem, využívajícím tento princip, jsou periskopy na ponorkách, tancích a podobně. Dalším vývojem této myšlenky se dostáváme k řadě rovnoběžných zrcadel, mezi kterými může světelný paprsek putovat po trase, kterou mu sami určíme a to

na velké vzdálenosti. Pokud doplníme zrcadla i na horní a spodní stranu trasy, můžeme paprsek směrovat ve všech 3 osách prostoru.

Pro praktičtější použití tohoto principu používáme optická vlákna. Jedná se o relativně tenký válec optického materiálu, který je tvořen vnitřním jádrem s indexem lomu $n_1$ a obalem s indexem lomu $n_2$. Výroba probíhá tak, že dutou skleněnou trubicí s absolutně čistého skla necháme proudit směs zvlášť vybraných plynů, za současného nahřívání stěn trubice a pohybu. Prvky proudícího plynu se postupně usazují na vnitřních stěnách trubice, částečně i do jejího materiálu difundují (o tom můžeme rozhodnou volbou teploty nahřívání a rychlosti posunu) až vnitřní prostor zcela zaplní nově vzniklým materiálem. Získáme tak válec ze dvou odlišných typů skla, na venek však zcela homogenní. Ten označujeme jako preformu nebo ingot.

Tento válec následně umístíme do speciálního stojanu (o výšce několika pater budovy) a jeho konec nahřejeme, až se vytvoří kapka skla a gravitací je stržena dolů. Ta zároveň s sebou táhne materiál, který se vlivem působící síly začne ztenčovat.

Kapku padající dolů technici zachytí a vyvedou mimo osu stroje, kde začnou stržený materiál navíjet na cívku. Přesnou koordinací rychlosti navíjení, nahřívání čela ingotu a různými redukčními kroužky tak získáme skleněné vlákno, složené také ze dvou vrstev, ovšem oproti původnímu ingotu nesrovnatelně tenčí a delší. Z jedné takové tavby lze získat až desítky kilometrů vlákna. Ještě ve výrobním závodě se na vlákno nanáší ochranná vrstva laku, aby zabránila pronikání vlhkosti do vlákna. Vzhledem k absolutní čistotě materiálu má totiž voda velkou snahu do něj pronikat a to i vzdušná vlhkost.

Alternativně lze vlákna vyrábět i z plastu, ty se však používají pouze ve spotřební elektronice a nikoliv pro přenos dat.

## *Typy vláken*

Optická vlákna prošla krátkým, ale bouřlivým vývojem, než se ustálilo několik dnes existujících standardů, díky kterým lze v instalacích kombinovat výrobky různých forem a dodavatelů. I to samozřejmě snížilo náklady na výstavbu optických sítí.

Základním a starším typem vlákna jsou vícevidová (multimodová / MM) vlákna. Vnější rozměr vlákna je 125 µm a jeho jádro má průměr buď 62,5 nebo 50 µm. Poměr velikosti jádra a celého vlákna je tak 1:1 nebo těsně pod. Takové vlákno je jednodušší na výrobu a i koncový prvek - který do něj dodává světelnou energii – může být jednodušší neboť je relativně snadné

se do jádra světlem „trefit“. Na druhou stranu – velikost jádra umožňuje, aby se v něm dodané světlo rozdělilo na několik dílčích paprsků (vidů) a každý cestoval samostatně a třeba pod mírně jiným úhlem a podobně. Každý z paprsků tak disponuje pouze malou částí původní energie a je tak v prostředí utlumen poměrně brzo. Proto je dosah těchto kabelů jen stovky metrů až maximálně jednotky kilometrů (což je oproti TP kabeláži pořád mnohem více). Dnes se MM kabely používají pro připojování různých místních zařízení, vysílacích jednotek na střechách atd.

Novějším typem jsou vlákna jednovidová (singlemodová / SM). Vnější rozměry vlákna jsou shodné s MM variantou (125 μm), jádro vlákna má ale velikost pouze 9 μm (pro srovnání, lidský vlas má průměr kolem 100 μm).

Takto tenké jádro umožňuje zavedení a udržení pouze jediného paprsku, kterému je ze zdroje předána celá dostupná energie. Dokáže tak ve vlákně cestovat mnohem dále – běžně na desítky a stovky kilometrů.

## *Optické kabely a pokládka kabelů*

Samotná vlákna se sdružují do optických kabelů – které mají hlavní úkol vlákna ochránit proti vnějším vlivům a mechanickému namáhání. Samotné optické vlákno je překvapivě pevné v tahu, nesnese však ohyb v poloměru menším, než je 20násobek jeho průměru.

Kabely můžeme realizovat buď jako suché, kdy jsou vlákna potažena ještě platovou vrstvou (sekundární ochrana) a takto vložena do jádra kabelu, obklopená kevlarovou přízí. Nebo trubičkové, kdy kabel obsahuje tvrdou plastovou trubičku, naplněnou gelem. V tom jednotlivá vlákna volně plavou, při pohybu o sebe nedřou a gel navíc působí vodoodpudivě.

**Obrázek 2 - trubky HDPE ve výkopu**

Hotové kabely instalujeme v rámci budov do lišt či trubek, mimo objekty se do země zakopávají trubky z tvrdého plastu (HDPE) a teprve do nich se zatahují optické kabely. Slouží k tomu proud vzduchu z kompresoru, který necháme proudit trubkou a který s sebou volně unáší

zatahovaný kabel. Běžně rychlostí 1m/sekundu. Výhodou takové metody je možnost vyměnit porouchaný nebo zastaralý kabel bez nutnosti kopnout do země.

Trubky zakončujeme buď přímo v objektech (nejčastěji ve sklepě a podobně), nebo v kabelových komorách na ulici, v chodníku nebo v trávníku. Kabelová komora je většinou otevíratelná a po odstranění víka jsou přístupné konce HDPE trubek a případně přímo kabely v nich. V kabelových komorách se buď spojují přímo trubky a vytváří tak delší souvislé trasy, nebo jsou spojovány a odbočovány kabely a vlákna v nich.

## *Zakončování vláken*

Samotné vlákno, když se v rámci kabelu úspěšně dostane do cíle své cesty, musí být nějakým způsobem zapojeno do koncového prvku, případně rozebíratelně propojeno s jiným vláknem. K tomu slouží různé optické konektory, jejichž společným úkolem je zajistit mechanickou polohu optického vlákna v prostoru, vůči jinému zařízení či vláknu a chránit konec vlákna před poškozením.

V principu se každý konektor skládá z plastového či kovového těla s aretačním mechanismem a ferule, což je váleček ze speciální keramiky – velmi teplotně stálý a hladký – s miniaturním otvorem uprostřed. Do něj se vsune samotné vlákno, zapevní se lepidlem či tmelem a jeho čelo se zarovná rovnoběžně s čelem ferule a podle potřeby kolmo či šikmo na osu vlákna. Podle způsobu broušení čela vlákna rozlišujeme varianty PC (do obloučku, levnější, starší, méně vhodně pro extrémní rychlosti) a APC (šikmo, novější, používané u špičkových technologií). Pouhým okem není šance typ konektoru rozeznat, určující je v takovém případě barva – konektory s broušením PC mívají barvu modrou, konektory APC pak zelenou.

Samotná mechanická stavba konektoru umožňuje rozlišit typ ST, který má zajišťovací mechanismus bajonetového typu, ST se zobáčkem a pružinkou, E2000 s páčkou a integrovanou odklápěcí krytkou, LC což je zmenšená varianta podobná SC, FC – stejný jako ST ale se závitem a podobně.

V profesionálních sítích se setkáte prakticky výhradně s variantou E2000/APC, u kterého ale jeden konektor stojí několik stovek Kč. Pro méně náročné aplikace pak vyhoví SC/PC, u koncových zařízení pak LC a měřící a testovací přístroje mívají FC.

Častý problém se záměnou názvů SC/ST lze vyřešit pomůckou „ST=točit, SC=cvakat“ odpovídající pohybu při nasazování a odpojování konektorů.

Veškeré optické konektory a spojky – pokud nejsou zapojeny do zařízení – zásadně chráníme krytkou! Vzdušné vlhkosti stačí i jeden den, kdy volný konektor visí v rozvaděči, k proniknutí do vlákna a jeho oslepení.

Zároveň je nutné si uvědomit, že pro přenosy dat se nepoužívají frekvence ve viditelném spektru světla, ale pásma infračervená a jiná člověkem neviditelná. Přesto je intenzita takového záření srovnatelná s velmi silným reflektorem a při zasažení oka může dočasně i trvale poškodit zrak.

V praxi se konektory na vlákna v terénu osazují velmi výjimečně, protože zabrousit čelo konektoru mimo čisté dílenské prostředí je práce zdlouhavá s nejistým výsledkem a kvalitou. Proto se pro instalace nakupují tzv. „pigtaily“ kdy je ke kousku optického vlákna továrně připojen konektor, vyrobený v kontrolovaných čistých podmínkách továrně a s garantovanou kvalitou. Zůstává tak pouze tento kousek kabelu připojit na příchozí optickou trasu některým fixním způsobem.

## *Trvalé spojování vláken*

Kromě rozebíratelných spojů se tak používají i spoje nerozebíratelné, kdy spojujeme dvě vlákna stejného typu (alternativně lze spojit SM a MM, případně dvě různá MM vlákna spolu … ovšem za cenu značných výkonových ztrát; jinou možností je zapojení vidového kondicionéru).

Mechanicky a pracovně jednodušším způsobem je krimpování spojů, technologií FiberLock. Konce vláken jsou při něm vloženy proti sobě do speciálního přípravku s imerzním (světlo vodivým) gelem a jejich poloha je zajištěna kovovými držáky či tmelem. Tento postup lze použít v případě havarijních stavů, jako nouzový. Vlastnosti takového spoje nejsou ani při pečlivé práci nijak skvělé a vždy dochází ve spoji k útlumu a především postupem času ke zhoršování jeho stavu. Rozhodně jej není možné použít jako dlouhodobé řešení páteřních linek.

Jinou variantou je svařování optických vláken. Nelze rozhodně očekávat žádný svařovací agregát na podvozku – rozměrům vláken je přizpůsobena i velikost používané techniky (optické svářečky). Ta je vybavena extrémně přesnou mechanickou částí, do které vložíme svařovaná vlákna. Svářecí automat následně jemnými pohyby vlákna proti sobě vyrovná ve všech 3 osách tak, aby se osy jejich jader překrývaly. Zde je nutná přesnost jednotek µm. Poté mezi čely vláken zapálí slabý elektrický oblouk, kterám vlákna na koncích nataví a ještě za tepla přisuně čela k sobě a o několik µm je i natlačí na sebe. Po vychladnutí se svařené vlákno chová jako celistvý

kus a pohledem není místo svaru ani odhalitelné. Svár se ještě následne překryje ochranou trubičkou, která nahrazuje mechanickou pevnost odstraněných primárních a sekundárních ochran.

V obou případech je ale podmínkou úspěšného spojení dokonalá rovnost čela vláken, resp. kolmost na osu jádra vlákna. Toho nelze dosáhnout žádným nástrojem typu nůžky či nůž. Řešením je zařízení „lámačka“. Ta obsahuje kotouček z diamantu a jemnou mechaniku. Technik vloží vlákno do lámačky, zapevní jeho polohu a ručně či pružinou nechá diamantový kotouček projet v těsné blízkosti vlákna tak, aby se vlákna ven velmi lehce dotknul a vytvořil na něm nepatrný vryp. Druhým pohybem pružina v lámačcce mírně vlákno prohne a ono s přesně v místě vrypu zlomí a vytvoří ideálně rovné čelo.

Jakmile získáme dobře ukončené vlákno vhodné pro sváření, nesmí se jeho čelo již ničeho dotknout a mělo by také strávit co nejméně času na vzduchu a prachu. Ke svařování přistupujeme okamžitě.

## Úkoly pro samostatnou práci

- V laboratoři si prohlédněte vzorky optických kabelů a vláken. Vyzkoušejte pevnost vláken
- Připravte ke svařování určené vlákno v předloženém kabelu a vyberte vhodný pigtail
- Svařte optickou trasu a ověřte průchodnost červeným světlem či mediakonvertorem

Zdroje:

- Archiv autora, včetně všech obrázků bez uvedeného zdroje