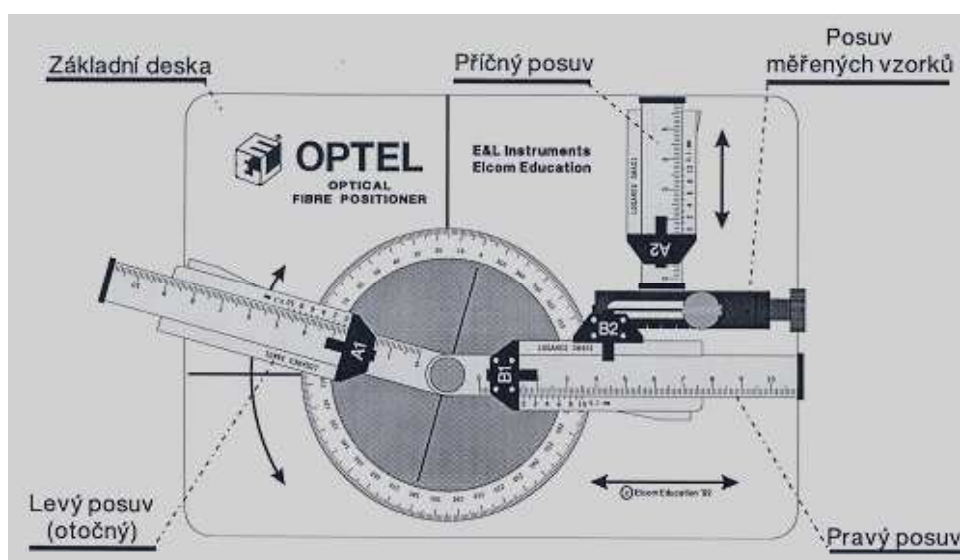


## 5.3 Základní vlastnosti optického vlákna

Optická vlákna patří k nejmodernějším přenosovým zařízením ve sdělovací technice pro níž byla původně určena. Tato technologie ale proniká i do dalších odvětví. Optická vlákna lze využít nejen pro přenos informací ale i pro snímání veličin, při vyhodnocování vlastností látek, snímání poloh předmětů, v medicíně, atd.

Úloha v praktikách se zaměřuje na základní seznámení s vlastnostmi optického vlákna, chování světla ve vláknech a na to, jaké okolnosti mohou přenos signálu ovlivnit. Pro pozorování těchto vlivů použijeme stavebnici *EMOS-OPTEL*. Stavebnice pro účely těchto praktik obsahuje čtyři základní moduly: manipulátor *OPTEL*, zdrojovou desku, desku vysílače analogového optického signálu a měřič optického výkonu *LM1*.

*Manipulátor OPTEL* je základním prvkem stavebnice. Je to jednoduchý manipulační stolek umožňující sestavit a měnit optické a mechanické prvky pomocí různých posuvů a realizovat tak řadu úloh z vláknové optiky. Jednotlivé části manipulátoru znázorňuje obrázek.



Obr. 5.11: Základní deska manipulátoru OPTEL

Proměnnými posuvy A1, B1, A2, lze nastavit podélné, příčné a úhlové odchylky mající vliv na kvalitu spojení dvou optických vláken.

*Zdrojová deska* poskytuje regulovatelné stejnosměrné napětí 0 – 5 V pro napájení ostatních desek a to pomocí dvou zdírek označených *O/P* na pravé straně desky. Nastavení tohoto proměnného napětí se provádí dvěma potenciometry. Potenciometrem *POT1* se provádí hrubé nastavení, potenciometrem *POT2* se provádí jemné nastavení výstupního napětí. Deska je napájena externím zdrojem 9 V *st*, který se připojuje do zásuvky 9 V *AC INPUT* na levé horní straně desky. Uspořádání znázorňuje následující obr. 5.12.



## 2 - Vyp/Zap

Hlavní vypínač přístroje.

## 3 - LCD displej

Na displeji je zobrazována hodnota měřeného optického výkonu v jednotkách  $\mu\text{W}$  nebo  $\text{nW}$ .

## 4 – Konektor externího napájení

Přístroj je napájen externím zdrojem 9 V a zálohován baterií stejných parametrů. Při použití externího zdroje je nutné ponechat záložní baterii uvnitř přístroje.

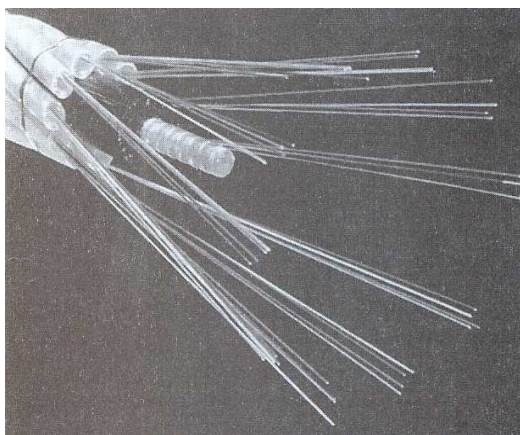
Po zapnutí přístroje se na displeji objeví nápis *LM 1*. Poté se na sensorovou hlavu připojí adapter s optickým vláknem.

## Princip měření

Optické vlákno je dielektrický vlnovod zhotovený např. z křemenného skla. Tvoří ho vnitřní jádro sloužící k vlastnímu vedení světla (vláknový světlovod). Kolem jádra je plášť, který má menší index lomu než jádro. Paprsky, dopadající na rozhraní jádra a pláště pod menším úhlem než je úhel mezní se totálně odrážejí a jsou tak jádrem vedeny. Paprsky, které svírají větší úhel s osou vlákna, se na rozhraní lámou, při každém odrazu ztrácí část svého optického výkonu v obalu a tak nejsou vláknem vedeny.

Oproti klasickým, např. měděným vodičům, mají optická vlákna velice malé ztráty přenášeného výkonu. Ve skleněném vlákně majícím délku 1 km tvoří ztráty pouze 3,5 % z celkového přenášeného výkonu.

Proto se jejich uplatnění našlo nejprve v komunikačních technologiích, kde umožňují přenos obrovského množství informací, později i v dalších oborech, např. v lékařství (endoskop).



Schopnost přenosu signálu optickým vláknem je ovlivněno několika vlivy a parametry. K nejdůležitějším patří ztráty, útlum optické trasy a vyzařovací charakteristika. Úkolem fyzikálních praktik je studium a popis důsledků těchto vlivů na vedení optického signálu doložené orientačním měřením.

**Obr. 5.15:** Kabel složený z optických vláken

## Zajímavé odkazy



Zde najdete náhled do příručky ke stavebnici OPTEL:

[http://physics.ujep.cz/~rseifert/praktika/opt\\_vlakna/opt\\_vlakna.htm](http://physics.ujep.cz/~rseifert/praktika/opt_vlakna/opt_vlakna.htm)

## 1. Měření optického výkonu a útlumu optické trasy při podélném oddálení optických kabelů

Přes vysokou účinnost optických vláken dochází při přenosu signálu optickou trasou k určitým ztrátám mezi vysílačem a přijímačem. Ztráty jsou ovlivňovány kvalitou, délkou vlákna a ztrátami vazebními, lokalizovanými ve spojích mezi dvěma kabely. U optické trasy je potřeba znát úroveň a rozložení výkonu a útlum optické trasy  $A$ , který je dán poměrem výkonu referenčního  $P_0$  a měřeného  $P_x$

$$A = 10 \log \frac{P_0}{P_x}. \quad (1)$$

Jednotkou útlumu jsou decibely (dB).

### Úkol

Změřte optický výkon a útlum optické trasy při podélném oddálení optických kabelů.

### Potřeby

Deska napájecího zdroje (č. 0), deska vysílače analogového signálu (č. 3), manipulátor *OPTEL*, měřič optického výkonu, dva krátké optické kabely.

### Poznámka

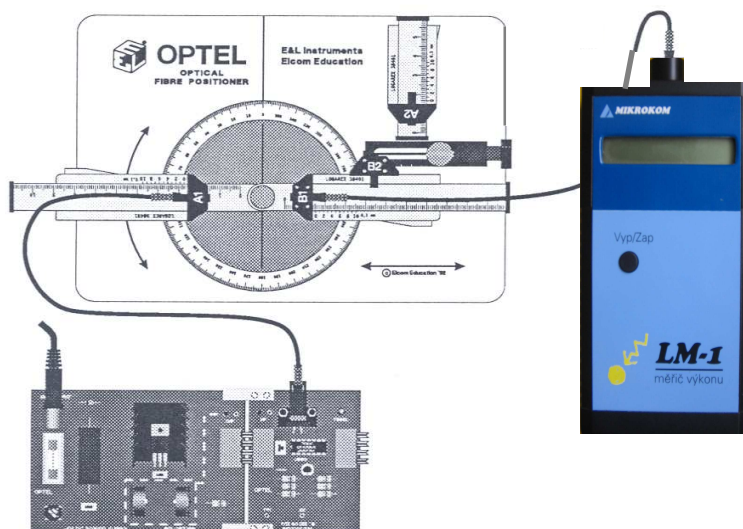


- Desky napájecího zdroje a vysílače analogového signálu jsou pro účely měření trvale sestaveny
- Konce optických kabelů připojujte a vypojujte z konektorů šetrně tak, abyste neulomili pružné jazýčky zajišťující kontakt kabelu s jednotlivými díly
- Ve všech úlohách umístěte manipulátor tak, aby optický kabel určený k měření výkonu optického signálu směřoval vždy od okna. Zamezíte tak rušivým vlivům okolního světla. Optimálních výsledků dosáhnete, pokud při měření manipulátor zakryjete, např. víkem krabice.

### Postup měření

1. Uved'te desku napájecího zdroje a měřič optického výkonu do provozu připojením na příslušné napětí.
2. Ramena manipulátoru nastavte do jedné přímky a tuto polohu zajistěte aretovacím šroubem umístěným zespodu manipulátoru. Souosost ramen nejlépe ověříte pomocí měřiče optického výkonu - udává maximální přijímaný výkon.
3. Signál z vysílače přivedete optickým kabelem na sondu A1 manipulátoru. Výstup z vysílače je z konektoru na horním okraji desky.

4. Sondu B1 manipulátoru připojte druhým optickým kabelem k sensorové hlavě měřiče optického výkonu.



Obr. 5.16: Sestava pro měření útlumu optické trasy při podélném oddálení optických kabelů

5. Rameny posuvu na manipulátoru nastavte pomocí noniů obě sondy do polohy „0 mm“.
6. Naměřením optického výkonu obdržíte referenční hodnotu výkonu  $P_0$ .
7. Rameno sondy B1 ponechte zafixované, posouvajte postupně ramenem sondy A1 vždy o 5 mm a zaznamenávejte optický výkon  $P_{x1}$  pro danou vzdálenost mezi sondami.
8. Takto proměřte optický výkon až do vzdálenosti mezi sondami, kdy obdržíte zkreslené hodnoty výkonu. Výkon by měl klesat se vzrůstající vzdáleností mezi kabely.
9. Postupujte opačným směrem zpět a naměřené údaje zanepte do tabulky. Obdržíte tak druhou řadu číselných hodnot pro optický výkon  $P_{x2}$ .
10. Pro dané vzdálenosti mezi sondami určete aritmetické průměry optického výkonu  $P$  a útlumu  $A$ .
11. Do jednoho grafu znázorněte závislost optického výkonu a závislost útlumu na vzdálenosti mezi optickými kabely.

Návrh tabulky

$\frac{x}{mm}$	$\frac{P_{x1}}{\mu W}$	$\frac{P_{x2}}{\mu W}$	$\frac{\bar{P}}{\mu W}$	$\frac{A_1}{dB}$	$\frac{A_2}{dB}$	$\frac{\bar{A}}{dB}$
0	$P_0$	$P_0$				
5						



**Kontrolní otázka**

- Zdůvodněte zkreslené hodnoty optického výkonu při větší vzdálenosti mezi kabely.

**2. Určení útlumu při příčné odchylce optických kabelů**

Při spojování optických kabelů dochází k příčné odchylce jejich os a s tím souvisejícím ztrátám optického výkonu a útlumu. Útlum při příčné odchylce  $h$  os dvou vláken je dán obdobným vztahem

$$A = 10 \log \frac{P_0}{P_h}. \quad (2)$$

$P_0$  je opět referenční výkon měřený při souososti optických kabelů,  $P_h$  je naměřený výkon při dané odchylce  $h$ .

**Úkol**

Určete útlum při příčné odchylce optických kabelů.

**Potřeby**

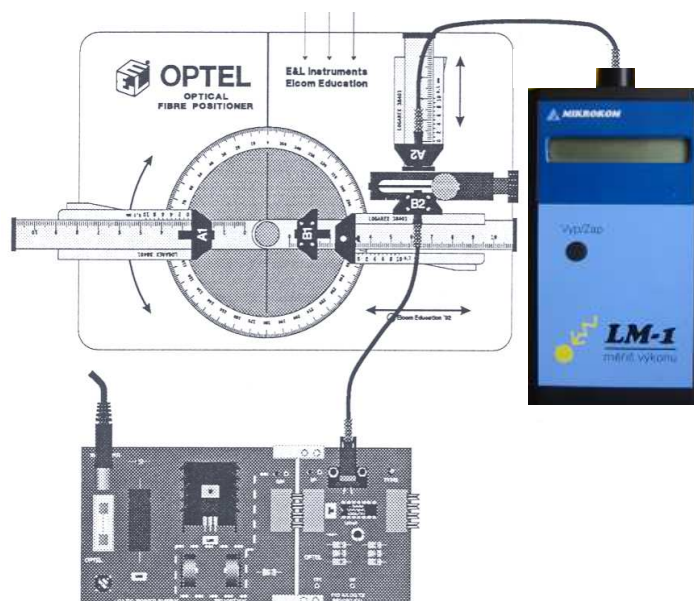
Stejně jako v předcházejícím měření.

**Kontrolní otázky**

- Jaký má vliv spojování optických kabelů na útlum optické trasy?
- Jaké hlavní faktory mají vliv na útlum spojení dvou optických kabelů?
- Co je příčinou rozdílů při měření příčné odchylky pro různé vzdálenosti konců kabelů?

## Postup měření

1. K měření příčné odchylky se použije rameno sondy B2 kam je přiveden optický signál z analogového vysílače. Druhý optický kabel připojíte k ramenu sondy A2 a senzorové hlavě měřiče optického výkonu.
2. Rameno sondy A2 nastavte na hodnotu 0, ramenem B2 posouváte napříč, až měřič optického výkonu bude vykazovat maximální přijímaný výkon – oba optické kabely jsou souosé. Určením tohoto optického výkonu dostanete referenční hodnotu  $P_0$ .
3. Rameno sondy A2 necháme zafixované, posouváme postupně ramenem sondy B2 jedním směrem, vždy o 0,5 mm a zaznamenáváme optický výkon  $P_{h1}$ .
4. Pokračujte, dokud naměřené hodnoty výkonu jsou v souladu s předpokladem, že optický výkon klesá se vzrůstající příčnou odchylkou mezi kabely.
5. Poté postupujte opačným směrem zpět. Postupně obdržíte hodnoty  $P_{h2}$ , další referenční hodnotu výkonu  $P_0$  a rameno sondy posouváte na opačnou stranu. Obdržíte hodnoty  $P_{h3}$  a zpět dostáváte výkony  $P_{h4}$ , až se dostanete do výchozí polohy opět s referenční hodnotou výkonu  $P_0$ .
6. Údaje zanešte do tabulky, pro příslušné velikosti příčné odchylky mezi sondami určete aritmetický průměr optického výkonu a z něj hodnoty útlumu.
7. Do jednoho grafu znázorníte závislost průměrné hodnoty optického výkonu a závislost útlumu na příčné odchylce optických kabelů.



Obr. 5.17: Sestava pro měření příčné odchylky

## Poznámka



- Při nastavené hodnotě vzdálenosti 0 mm mezi sondami A2 a B2 je skutečná vzdálenost mezi čely optických vláken 2 mm.

$\frac{x}{mm}$	$\frac{P_{h1}}{\mu W}$	$\frac{P_{h2}}{\mu W}$	$\frac{P_{h3}}{\mu W}$	$\frac{P_{h4}}{\mu W}$	$\frac{\bar{P}_x}{\mu W}$	$\frac{A}{dB}$
0	$P_0$	$P_0$		$P_0$		
2						

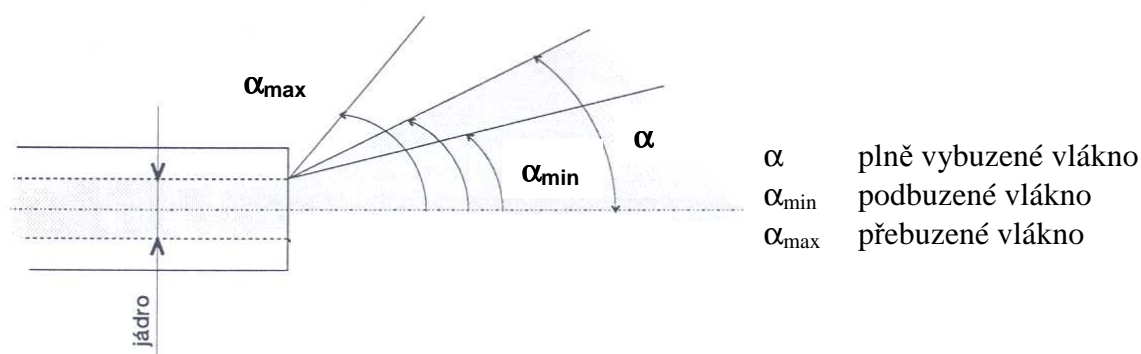
### 3. Měření numerické apertury optického kabelu

Chování světelného signálu při průchodu mezi dvěma optickými vlákny závisí na úhlu, který svírají jejich osy.

Specifickým případem této alternativy je chování optického záření při výstupu z vlákna. Paprsky tvoří rozbíhavý svazek a míra jeho rozbíhavosti je označována jako numerická apertura –  $NA$ . U plně vybuzeného vlákna je definována numerická aparatura vztahem

$$NA = \sin \alpha . \quad (3)$$

Úhel  $\alpha$ , jak plyne z obr. 5.18, odpovídá polovině šířky vyzařovací charakteristiky.



**Obr. 5.18:** Vyzařovací charakteristika vlákna

Čím větší je rozbíhavost paprsků na výstupu z vlákna, tím roste i hodnota numerické apertury. Její hodnota rovněž závisí na režimu buzení vlákna. U přebuzeného vlákna je apertura větší, u podbuzeného menší. Při přesném měření vyzařovací charakteristiky by mělo být čelo vlákna přibližně 3 m od detektoru. V našem měření tato podmínka nebude splněna, proto bude výsledek pouze orientační.

Postup, kterým se u daného vlákna určí hodnota jeho numerické apertury, je založen na grafickém zpracování naměřených hodnot a jejich vyhodnocení.



## Úkol

Měření numerické apertury optického kabelu.

## Potřeby

Stejně jako v předcházejícím měření.

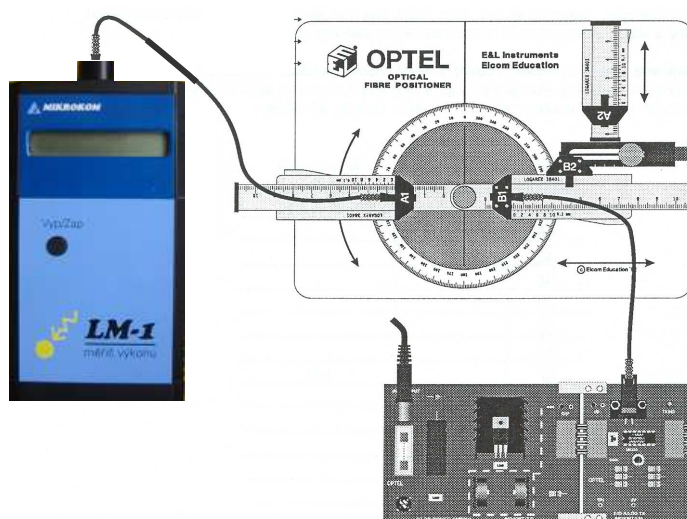
## Kontrolní otázky



- Co je to vyzařovací charakteristika vlákna a jak se měří?
- Jaký vliv má buzení vlákna na jeho vyzařovací charakteristiku?
- Jakým způsobem byste určili numerickou aperturu vlákna z vyzařovací charakteristiky v dalekém poli?

## Postup měření

1. Vespodu manipulátoru uvolněte aretační šroub aby se kotouč s ramenem sondy A1 volně otáčel.
2. Z konektoru sondy A1 ved'te vláknem optický signál k měřiči výkonu. Čelo vlákna bude nahrazovat detektor signálu z vysílače. Rameno sondy A1 nastavte na 0 stupňů a vzdálenost 45 mm.
3. Vláknem z vysílače připojte ke konektoru B2, jehož rameno bude pevné a nastaveno na hodnotu 0 mm. Tím je zajištěno, že čelo vysílacího vlákna bude v ose rotačního kotouče.

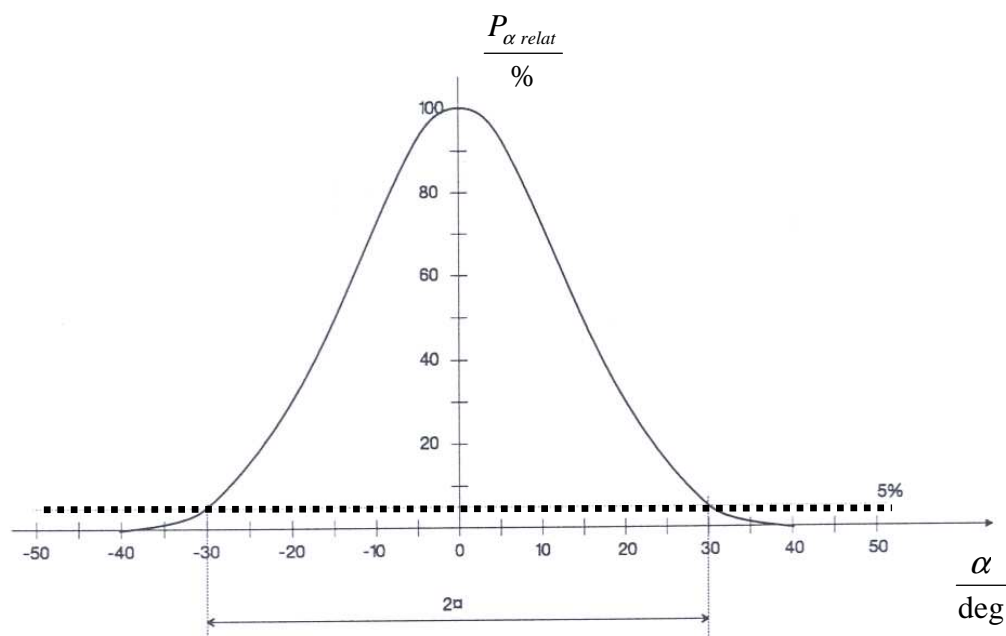


Obr. 5.19: Měření numerické apertury

4. V této počáteční poloze určete údaj o velikosti optického výkonu. Jeho hodnota bude referenční, maximální a zároveň bude tvořit 100% hodnotu přepočteného relativního výkonu (viz dále bod 7).
5. Otočným ramenem se sondou A1 postupně otáčejte o  $5 - 10^\circ$  a měřte optický výkon signálu do té doby, dokud je jeho hodnota v souladu s předpokládaným poklesem výkonu v závislosti na rostoucí velikosti úhlové odchylky, tj. přibližně do hodnoty  $50 - 70^\circ$ .
6. Ramenem sondy otáčejte jedním směrem, potom zpět přes výchozí polohu na opačnou stranu a znovu do výchozí polohy. Postupně tak získáte tři referenční hodnoty optického výkonu a celkem čtyři hodnoty výkonu  $P_\alpha$ .
7. Z naměřených veličin sestavte tabulku do níž přepočítejte *normované hodnoty optického výkonu*  $P_{\alpha rel}$  podle vzorce

$$P_{\alpha rel} = \frac{P_\alpha}{P_0} \cdot 100 \% \quad (3)$$

8. Sestrojte graf závislosti normované hodnoty optického výkonu na úhlové odchylce. Obdržíte typ Gaussovy křivky. V grafu sestrojte přímkou rovnoběžnou s osou  $x$ , tvořící 5% hladinu normovaného optického výkonu.
9. X-ové souřadnice průsečíku křivky a přímky udávají hodnotu úhlu  $\alpha$ , který odpovídá polovině šířky vyzařovací charakteristiky.



**Obr. 5.20:** Princip měření numerické apertury

10. Numerickou aperturu určíte ze vzorce

$$NA = \sin \frac{2\alpha}{2}. \quad (4)$$

*Návrh tabulky*

$\frac{x}{mm}$	$\frac{P_{h1}}{\mu W}$	$\frac{P_{h2}}{\mu W}$	$\frac{P_{h3}}{\mu W}$	$\frac{P_{h4}}{\mu W}$	$\frac{\bar{P}_x}{\mu W}$	$\frac{A}{dB}$
0	$P_0$	$P_0$		$P_0$		
2						

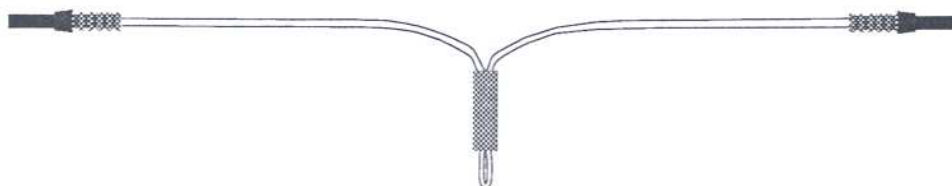
### Poznámka



- Pro určení velikosti numerické apertury jsou důležité především hodnoty optického výkonu při maximální úhlové odchylce os vláken. Proto této části měření věnujte pozornost a proměřujte výkon alespoň po 5 °.
- Důležité je maximální možné zatemnění prostoru.

### 3. Princip používání optického vlákna jako senzoru hladiny kapalin

Modifikovaná optická vlákna lze v praxi využít jako senzory. U modifikovaného vlákna je upraven jeho geometrický tvar, např. do tvaru písmene U ohnutím o 180 °.



**Obr. 5.21:** Optická U – sonda

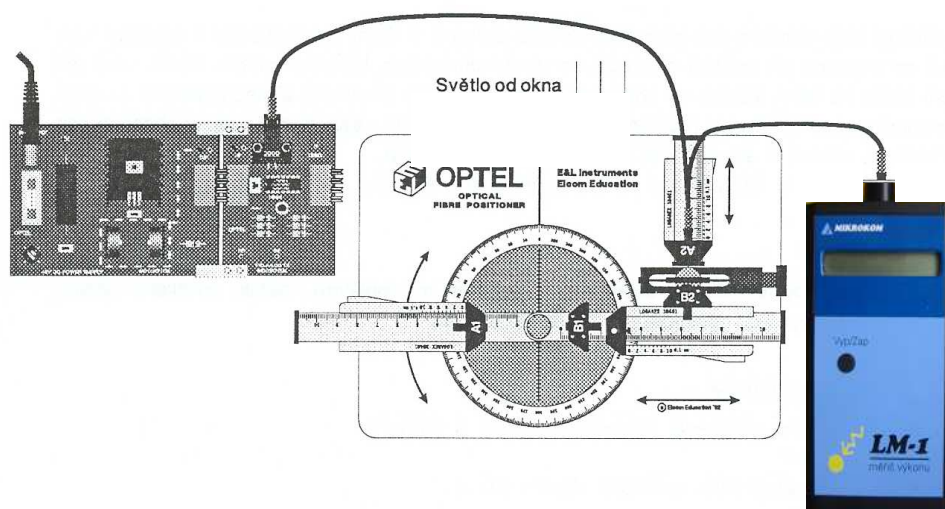
V úseku vlákna s malým poloměrem ohybu dochází ke světelným ztrátám, část záření z vlákna uniká. Velikost ztrát ovlivňuje index lomu okolního prostředí a jsou tím větší, čím větší je jeho index lomu. Těto vlastnosti využívá senzor hladiny kapalin. Na základě změny optického výkonu záření procházejícího vláknem lze indikovat změnu prostředí, v němž se sonda nachází.

## Úkol

Seznamte se s principem používání optického vlákna jako senzoru hladiny kapalin.

## Potřeby

Stejně jako v předcházejícím měření, navíc U-sonda, kádinka, různé kapaliny.



Obr. 5.22: Užití optického vlákna jako senzoru hladiny kapaliny

## Postup měření

1. Jeden konektor U-sondy zapojte do vysílače optického signálu manipulátoru, druhý do adaptéru měřiče optického výkonu.
2. Hodnotu optického výkonu na vzduchu  $P_0$  považujte za referenční údaj, který zaznamenejte do tabulky.
3. Sondu ponořte do kapaliny a změnu výkonu  $P_x$  uvádějte do tabulky.
4. Stejným způsobem postupujte u dalších kapalin, naměřte několik hodnot a z těchto údajů vypočtete útlum pro dané prostředí

$$A = 10 \log \frac{P_0}{P_x} . \quad (5)$$

Návrh tabulky

Prostředí	$\frac{n}{0}$	$\frac{P_x}{\mu W}$	$\frac{A}{dB}$
vzduch	1,00	$P_0$	
voda	1,33		
glycerol	1,47		

### Kontrolní otázky



- Dokázali byste odvodit, zda zvýšení indexu lomu kapaliny bude mít za následek zvýšení nebo snížení citlivosti senzoru?
- Vysvětlíte, proč se zmenšuje optický výkon po ponoření modifikovaného úseku vlákna do kapaliny.
- Dokažte toto tvrzení pomocí totálního odrazu.

### Poznámka



- Ve studijním materiálu k optickým vláknům byly použity obrázky a části textu z publikace Kucharski, M., Brouček, J. Optická vlákna a senzory, Elcom – Štolba, 1992.