



ŽILINSKÁ UNIVERZITA V ŽILINE  
**ELEKTROTECHNICKÁ FAKULTA**

KATEDRA TELEKOMUNIKÁCIÍ A MULTIMÉDIÍ

# Optické káble a meracie metódy

Prednáška č. 5

J. Dubovan

# Základné odporúčania a prevádzkové predpisy

Odporúčania, predpisy, normy



# Odporúčania ITU-T vzťahujúce sa k optickým vláknám a káblom

ŽILinská univerzita v Žiline

- ITU-T G.650.1 – Definície a testovacie metódy pre lineárne deterministické atribúty jednomódových vlákien a káblov
- ITU-T G.650.2 – Definície a testovacie metódy súvisiace so štatistickými a nelineárnymi atribútmi jednomódových vlákien a káblov
- ITU-T G.650.3 – Testovacie metódy pre inštalované jednomódové optické káblové linky
- ITU-T G.651.1 - Charakteristiky 50/125  $\mu\text{m}$  multimódových gradientných optických káblov pre optické prístupové siete
- ITU-T G.652 - Charakteristiky jednomódových optických vlákien a káblov
- ITU-T G.653 - Charakteristiky disperzne posunutých jednomódových vlákien a káblov
- ITU-T G.654 - Charakteristiky jednomódových vlákien a káblov s posunutou hraničnou vlnovou dĺžkou
- ITU-T G.655 - Charakteristiky jednomódových vlákien a káblov s nenulovou posunutou disperziou
- ITU-T G.656 - Charakteristiky vlákien a káblov s nenulovou disperziou pre širokopásmový optický prenos
- ITU-T G.657 - Charakteristiky vlákien a káblov necitlivých na straty ohybom pre prístupové siete

ITU-T G.652	A, B, C, D		ITU-T G.655	A, B, C, D, E
ITU-T G.653	A, B		ITU-T G.656	-
ITU-T G.654	A, B, C, D		ITU-T G.657	A1,A2,B2,B3

# ITU-T G.650.1 (2010), G.650.2 (2007), G.650.3 (2008)

ŽILinská UNIVERZITA V ŽILINE

## Definície a testovacie metódy pre lineárne deterministické atribúty jednomódových vlákien a káblov

Odporúčanie obsahuje definície lineárnych deterministických parametrov SM optických vlákien a káblov. Obsahuje obe, referenčnú aj alternatívnu testovaciu metódu pre charakterizovanie týchto parametrov. Tieto testovacie metódy sú vhodné najmä pre výrobné merania, pričom niektoré môžu byť použité pre charakterizovanie diskretných optických komponentov.

## Definície a testovacie metódy súvisiace so štatistickými a nelineárnymi atribútmi jednomódových vlákien a káblov

Odporúčanie obsahuje definície štatistických a nelineárnych parametrov SM optických vlákien a káblov. Obsahuje obe, referenčnú a alternatívnu testovaciu metódu pre charakterizovanie týchto parametrov.

## Testovacie metódy pre inštalované jednomódové optické káblové linky

Odporúčanie ITU-T G.650.3 popisuje testy bežne uskutočňované na inštalovaných optických káblových SM linkách. Zahŕňa zbierku odkazov na hlavné metódy merania a naznačuje, ktoré sú najvhodnejšie pre inštalované káblové spojenia v závislosti na vyžadovanej úrovni kontroly. Optovláknové káblové linky sa skladajú z niekoľkých káblových úsekov, deličov a ďalších spojov, pričom tento termín je širšie definovaný v tomto odporúčaní.

Toto odporúčanie využíva viacúrovňový prístup. Prvá úroveň označuje merania, ktoré sú zvyčajne vykonávané pri uvádzaní do prevádzky nových optovláknových káblových liniek. Druhá úroveň označuje merania, ktoré môžu byť vykonávané pri dohode o poskytovaní služieb (napríklad pri podpise zmluvy na tmavé vlákna), alebo na overenie starších liniek, ktoré môžu byť použité pri vyšších prenosových rýchlostiach alebo v širšom rozsahu vlnových dĺžok.

# ITU-T G.651.1 (2007), ITU-T G.652 (2009), ITU-T G.653 (2010)

ŽILINSKÁ UNIVERZITA V ŽILINE

## Charakteristiky 50/125 $\mu\text{m}$ multimódových gradientných optických káblov pre optické prístupové siete

Odporúčanie ITU-T G.651.1 odporúča použitie kremenného multimódového optického vlákna v prístupových sieťach v špecifickom prostredí. Toto prostredie môže byť subsieť v budove s viacerými nájomcami, kde majú byť dispozícií širokopásmové služby v individuálnych apartmánoch.. Odporúčané multimódové vlákno podporuje finančne efektívne použitie 1 Gb/s Ethernetového pripojenia do vzdialenosti 550 m, s využitím vysielačov a prijímačov pracujúcich na vlnovej dĺžke 850 nm.

Odporúčaný typ vlákna je vylepšená verzia dobre známeho 50/125  $\mu\text{m}$  multimódového GI vlákna, pôvodne odporúčaného v ITU-T G.651. Jeho finančne nenáročné použitie je obvyklé v dátových komunikačných systémoch aplikovaných v podnikových budovách po celom svete a počas mnohých rokov.

## Charakteristiky jednomódových optických vlákien a káblov

Odporúčanie ITU-T G.652 opisuje geometrické, mechanické a prenosové charakteristiky jednomódových optických vlákien a káblov, ktoré majú nulovú hodnotu disperzie na vlnovej dĺžke v okolí 1310 nm. Vlákno ITU-T G.652, ktoré bolo pôvodne optimalizované na použitie v oblasti vlnovej dĺžky 1310 nm, môže byť rovnako použité v oblasti 1550 nm. Táto najnovšia revízia odporúčania, ktoré bolo prvýkrát vytvorené v roku 1984 sa zaoberá niektorými pomerne drobnými úpravami.

Táto revízia je určená na udržanie pokračujúceho obchodného úspechu tohto vlákna v meniacom sa svete vysoko výkonných optických prenosových systémov.

## Charakteristiky disperzne posunutých jednomódových vlákien a káblov

Odporúčanie ITU-T G.653 opisuje geometrické, mechanické a prenosové vlastnosti jednomódových optických vlákien a káblov s nulovou disperziou s posunutou na vlnovú dĺžku do oblasti 1550 nm. To je najnovšia revízia odporúčania, ktoré bolo prvýkrát vytvorené v roku 1988.

# ITU-T G.654 (2012), ITU-T G.655 (2009)

ŽILINSKÁ UNIVERZITA V ŽILINE

## Charakteristiky jednomódových vlákien a káblov s posunutou hraničnou vlnovou dĺžkou

Odporúčanie ITU-T G.654 opisuje geometrické, mechanické a prenosové atribúty jednomódových optických vlákien a káblov, ktoré majú nulovú hodnotu disperzie na vlnovej dĺžke v okolí 1300 nm, a ktoré má minimálne straty a hraničnú vlnovú dĺžku posunutú do oblasti v okolí 1550 nm. Toto je posledná revízia tohto odporúčania, ktoré bolo prvýkrát vytvorené v roku 1988.

Deviata verzia prináša kategóriu D tohto vlákna, pre zlepšenie charakteristiky optického odstupu signálu od šumu (OSNR) a ktoré môže byť napríklad aplikované v podmorských systémoch s vyššou bitovou rýchlosťou. Je určené na udržanie pokračujúceho obchodného úspechu tohto vlákna v meniacom sa svete vysoko výkonných optických prenosových systémov.

## Charakteristiky jednomódových vlákien a káblov s nenulovou posunutou disperziou

Toto odporúčanie opisuje geometrické, mechanické a prenosové atribúty jednomódového optického vlákna, ktoré má absolútnu hodnotu koeficientu chromatickej disperzie o niečo väčšiu ako nula v celom rozsahu vlnových dĺžok od 1530 nm do 1565 nm. Táto disperzia znižuje nárast nelineárnych účinkov, ktoré sú obzvlášť škodlivé v DWDM systémoch. Poslednej revízii z roku 2006 pridáva dve nové kategórie tohto vlákna D a E. Obe z týchto kategórií obmedzujú koeficient chromatickej disperzie dvojicou ohraničujúcich kriviek v rozmedzí od 1460 nm do 1625 nm. Hoci rozptyl môže zmeniť znamienko disperzie na vlnových dĺžkach menších ako 1530 nm, zahrnutie týchto nižších vlnových dĺžok je určené pre poskytovanie informácií na podporu aplikácie CWDM systémov, v ktorých nelineárne javy nemajú významný dopad pri kanáloch od vlnovej dĺžky 1471 nm a vyššej. Tieto kategórie boli zavedené pre rozlíšenie dvoch hlavných rodín vlákien ITU-T G.655, ktoré sú podporované rôznymi dodávateľmi. Kategórie A, B a C vydané v roku 2003 neboli zmenené, pričom v aktuálnom odporúčaní je zahrnutá len kategória C.

Toto je najnovšia revízia odporúčania, ktoré bolo prvýkrát vytvorené v roku 1996. Táto revízia pridáva nové poznámky k atribútom v kategóriách G.655.C, G.655.D a G.655.E, umožňujúce vyšší maximálny útlm krátkych káblov. Rovnako bola vypustená hraničná vlnová dĺžka prepojovacích káblov. Od tejto revízie sa očakáva zlepšenie harmonizácie s IEC normami.



# ITU-T G.656 (2010)

## Charakteristiky vlákien a káblov s nenulovou disperziou pre širokopásmový optický prenos

Odporúčanie ITU-T G.656 opisuje geometrické, mechanické a prenosové atribúty jednomódových optických vlákien, ktoré majú kladnú (nenulovú) hodnotu koeficientu chromatickej disperzie v celom rozsahu vlnových dĺžok predpokladaného užívania od 1460 do 1625 nm. Táto disperzia znižuje nárast nelineárnych účinkov, ktoré sú obzvlášť škodlivé v DWDM systémoch.

Toto vlákno môže byť použité ako pre CWDM, tak aj pre DWDM systémy v celom regióne vlnových dĺžok medzi 1460 až 1625 nm.

Druhé vydanie obmedzuje koeficient chromatickej disperzie dvojicou ohraničujúcich kriviek v rozmedzí od 1460 nm do 1625 nm, čo poskytuje informáciu pre podporu CWDM a DWDM aplikácií.

Tretie vydanie odstraňuje definíciu hraničnej vlnovej dĺžky prepojovacích káblov a pridáva poznámky umožňujúce vyšší maximálny útlm krátkych prepojovacích káblov.

# ITU-T G.657 (2012)

ŽILINSKÁ UNIVERZITA V ŽILINE

## Charakteristiky vlákien a káblov necitlivých na straty ohybom pre prístupové siete

Celosvetovo sme svedkami rýchleho postupu sieťových technológií umožňujúcich širokopásmový prístup. Naprieč týmto, rôzne technológie aplikujú jednomódové vlákno, poskytujúc tak vysoko-kapacitné prenosové médium, ktoré môže byť odpoveďou na rastúci dopyt po širokopásmových službách.

Skúsenosti s inštaláciou a prevádzkou sietí založených na jednomódových vláknach a kábloch sú veľké, ale odporúčanie ITU-T G.652, ktoré popisuje jeho vlastnosti bolo prispôbené najmä tejto skúsenosti. Avšak, špecifické použitie v optickej prístupovej sieti kladie rôzne požiadavky na vlákna a káble, čo ovplyvňuje ich optimálne výkonové charakteristiky. Rozdiely vzhľadom na použitie vo všeobecnej prenosovej sieti sú hlavne kvôli vysokej hustote distribučných a účastníckych káblov v prístupovej sieti. Obmedzený priestor a častá manipulácia si žiadajú prevádzkovo prívetivé a na ohyb necitlivé typy vlákien. Okrem toho, musí byť zodpovedajúcim spôsobom zlepšená kabeláž v preplnených telekomunikačných priestoroch, kde je práve priestor limitujúcim faktorom.

Cieľom odporúčania ITU-T G.657 je podpora tejto optimalizácie odporúčaním vlákien s vysoko vylepšenými parametrami v oblasti ohybu v porovnaní so súčasnými jednomódovými vláknami a káblami (ITU-T G.652). To je uskutočnené pomocou dvoch kategórií jednomódových vlákien, z ktorých, kategória A je plne kompatibilná s jednomódovými vláknami podľa odp. ITU-T G.652, pričom tieto vlákna môžu byť nasadené v celej prístupovej sieti. Druhá kategória B, nie je úplne v súlade s odporúčaním ITU-T G.652, ale vlákna tejto kategórie vykazujú nízke hodnoty makroohybových strát pri veľmi malom polomere ohybu a sú určené pre použitie vo vnútri budov alebo v blízkosti budov (napr. mimo budovy v káblovej stúpačke). Vlákna kategórie B sú systémovo kompatibilné s vláknami podľa ITU-T G.657.A (a ITU-T G.652.D) v prístupových sieťach.

Tretie vydanie odporúčania ITU-T G.657A obsahuje niekoľko zmien týkajúcich sa najmä B kategórie vlákien. Taktiež obsahuje nový dodatok I (odsúhlasený v roku 2010 a publikoval ako doplňujúci návrh č. 1 (06/2010)), ktorý bol zavedený spolu s revíziou.



# Inštalované jednomódové optické vlákna (SMF) v SR

ŽILINSKÁ UNIVERZITA V ŽILINE

Typ	Výskyt	ITU-T	Poznámka
Konvenčné	?	G.652.A ,B	OH peak 1383 nm
	áno	G.652.C,D	Bez OH peaku, kat. D - le
S posunutou disperziou	nie	G.653.A,B	Nulová disperzia na 1550 nm pre DWDM
S posunutou hraničnou vlnovou dĺžkou	nie	G.654.A,B,C	Medzná vlnová dĺžka 1530 nm (nie 1260 nm ako u G.652)
S posunutou nenulovou disperziou	?	G.655.A,B,C,D,E	Vhodné pre DWDM (ka
	áno	G.656	Vhodné pre CWDM,DWDM pre S,C,L pásma)
Necitlivé na ohyby	áno	G.657.A,A1,A2	Kompatibilné s G.652.D
	áno	G.657.B,B2,B3	Nie je požadovaná kom

Staršie vlákna

Vhodné pre telko prenosy

Niektoré staršie DWDM trasy

FTTx – pozor na spájanie (zvary)

# Farebné označovanie vlákien a káblov rozdielnych štandardov

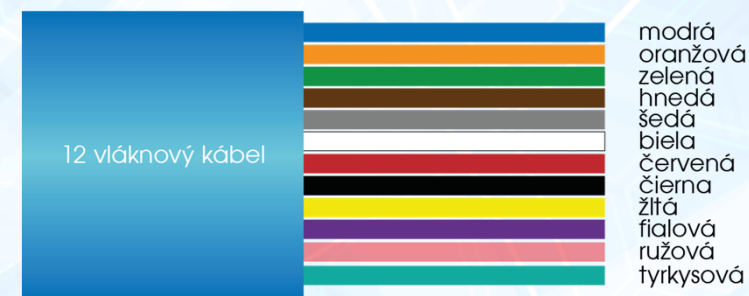
ŽILINSKÁ UNIVERZITA V ŽILINE

Farebné označovanie vlákien  
s ohľadom k jednotlivým štandardom

Číslo	Swisscom	DIN	ISO	IEC
1.	červená	červená	modrá	modrá
2.	zelená	zelená	oranžová	žltá
3.	žltá	modrá	zelená	červená
4.	modrá	žltá	červená	transp./biela
5.	transp./biela	transp./biela	šedá	zelená
6.	fialová	šedá	žltá	fialová
7.	oranžová	hnedá	hnedá	oranžová
8.	čierna	fialová	fialová	šedá
9.	šedá	tyrkysová	transp./biela	tyrkysová
10.	hnedá	čierna	čierna	čierna
11.	ružová	oranžová	ružová	hnedá
12.	tyrkysová	ružová	tyrkysová	ružová

Pri mikrotubičkách do 24 vlákien, sú vlákna 13 - 24 navyše označené čiernym krúžkom.

Farebné označovanie vlákien kábla podľa TIA/EIA-598



\*rovnaká sekvencia sa využíva aj pre označovanie skupín

# **Základy konštrukcie optických káblov**



## Dôležité parametre optických káblov

- Maximálny počet trubičiek s vláknami
- Počet vlákien v trubičiek
- Maximálny počet vlákien
- Priemer trubičiek
- Vonkajšie rozmery
- Maximálna prípustná ťahová sila
- Minimálny prípustný polomer ohybu
- Prípustná teplota
  - pri montáži
  - pri prevádzke
- Hmotnosť - informatívna hodnota
- Typ vlákna
- Vonkajší plášť
- Typické výrobné dĺžky

## Základné typy optických káblov

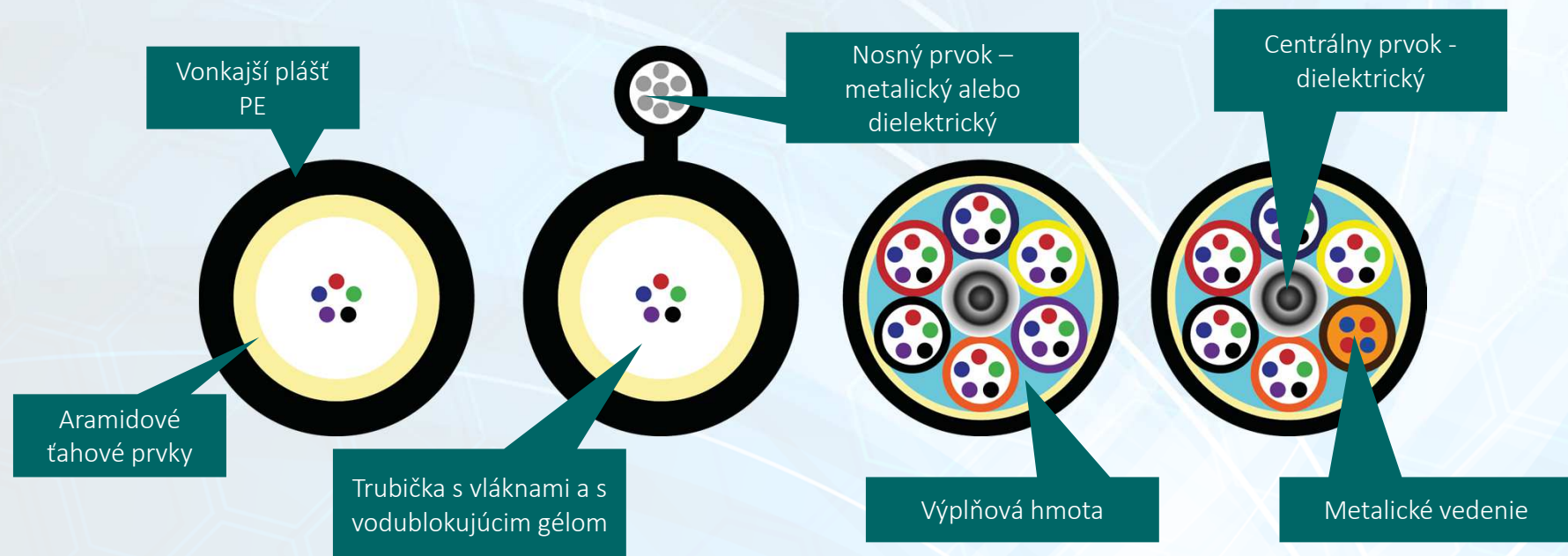
- Pre vonkajšie použitie
- Pre vnútorné použitie
- Samonosné optické káble
- Závesné optické káble
- Kombinované káble
- Mikrokáble

## Určené pre

- Zafukovanie
- Zaťahovanie
- Zaplavovanie

# Použitie a inštalácia káblov

ŽILINSKÁ UNIVERZITA V ŽILINE



Kábel je určený na vonkajšie rozvody, pre výstavbu telekomunikačných trás, inštaláciu sietí LAN, káblovú televíziu, multimedialne prenosy najvyšších parametrov a pre informatiku v energetike. Kábel je možné inštalovať zafukovaním alebo zaťahovaním do ochranných trubiek, zaťahovať do káblovodov, ukladať do tvárnic, prípadne do pieskového lôžka alebo na káblové lávky. V prípade závesných káblov riešenie optickej prenosovej trasy vzdušným vedením.

# Parametre optických káblov podľa noriem

ŽILINSKÁ UNIVERZITA V ŽILINE

## *Optické káble - všeobecne*

Pri popise konštrukcií optických káblov technický predpis rieši optické káble bez metalických prvkov. Podľa veľkosti vonkajšieho priemeru kábla ich rozdeľujeme na:

- štandardné káble,
- samonosné káble,
- mikrokáble.

Pri popise vyhotovenia sú popísané vlastnosti horľavého aj nehorľavého vyhotovenia optického kábla. **Kábel musí byť navrhnutý a vyrobený na minimálnu prevádzkovú dobu 25 rokov.**

## *Konštrukcie káblov*

### *Štandardné káble*

Štandardné káble sú vyrobené pre inštaláciu (zafukovanie/zaťahovanie/zaplavovanie) do HDPE rúr s vonkajším priemerom väčším ako 28 mm (obvykle Ø40 mm alebo Ø32 mm).

### *Konštrukcie káblov*

Počet vlákien v rúrke musí byť v súlade s hodnotami v tabuľke:



# Parametre optických káblov podľa noriem

ŽILINSKÁ UNIVERZITA V ŽILINE

Celkový počet vlákien v štandardnom kábli	Počet rúrok	Počet výplní	Počet vlákien v jednej rúrke
8	4	2	2
12	6	0	2
24	4	2	6
48	4	2	12
72	6	0	12
96	8	0	12

## *Pozdĺžne blokovanie vody (Longitudinal water blocking)*

Kábel musí byť vyplnený plniacou látkou (tixotropným gélom), aby sa predišlo pozdĺžnemu prenikaniu vody. Plniaca látka (gél) nesmie obsahovať nečistoty a vodu. Plniaca látka (gél) musí byť nearomatická, netoxická, netekutá a jej chemické vlastnosti musia byť kompatibilné pre použitie na obalové a izolačné materiály.

# Parametre optických káblov podľa noriem

ŽILINSKÁ UNIVERZITA V ŽILINE

## *Krycia vrstva (Wrapping)*

Káblové jadro musí byť zakryté neprerušovanými vrstvami plastickej pásky úplne pokrývajúcimi káblové jadro vrátane jeho nemetalických silových prvkov.

## *Páracie lanko (Ripcord)*

Minimálne dve páracie lanká musia byť vložené pod kábovým plášťom.

## *Dielektrické silové prvky (Dielectric strength members)*

Dielektrické silové prvky majú byť z kevlaru alebo iného materiálu, ktorý zaručuje že kábel bude spĺňať všetky vlastnosti.

## *Plášť kábla (Cable sheath)*

Plášť kábla musí byť odolný voči vode. Hrúbka plášťa musí byť minimálne 1,8 mm. Plášť je vyrobený z polyetylénu.

## *Značenie kábla (Marking of the cable)*

Plášť kábla musí byť označený a musí obsahovať typové označenie, rok výroby, značku výrobcu a priebežné označenie dĺžky v metroch technológiou vtláčania. Značenie musí byť urobené v pravidelných intervaloch 1m.

# Parametre optických káblov podľa noriem

ŽILINSKÁ UNIVERZITA V ŽILINE

## *Hmotnosť kábla (Cable weight)*

Maximálna hmotnosť nesmie presiahnuť hodnoty v nasledujúcej tabuľke:

Profil kábla	Hmotnosť
8, 12, 24 vlákien	125 kg/km
48, 72 vlákien	160 kg/km
96 vlákien	190 kg/km

## *Vonkajší priemer kábla (Outer cable diameter)*

Maximálny vonkajší priemer kábla nesmie presiahnuť hodnoty v nasledujúcej tabuľke:

Profil kábla	Vonkajší priemer
8, 12, 24 vlákien	12,6 mm
48, 72 vlákien	14 mm
96 vlákien	15,5 mm



# Základné merania a meracie prístroje v optike

Meranie v optických sieťach

# Meranie a meracie metódy ITU-T G.650.1

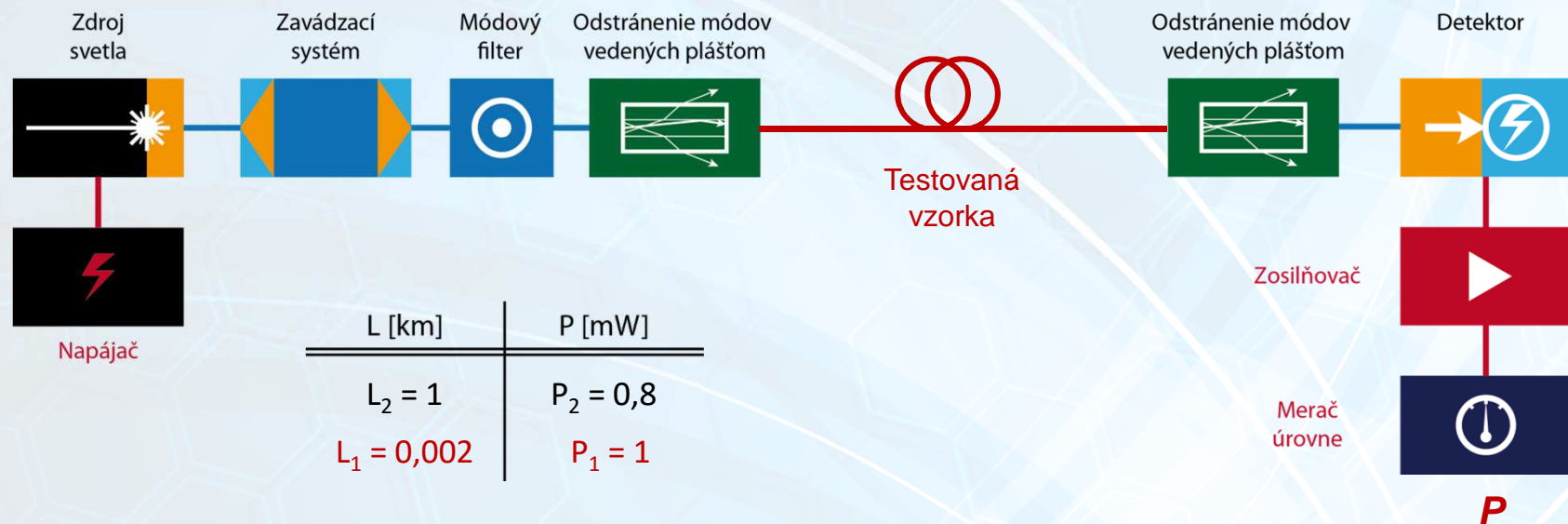
ŽILINSKÁ UNIVERZITA V ŽILINE

- **Referenčná metóda testovania (RTM)** – je to testovacia metóda, pri ktorej sú charakteristiky špecifickej triedy optických vlákien a káblov merané presne v súlade s definíciou týchto charakteristík a ktorej výsledky sú presné, reprodukovateľné a vzťahujú sa k praktickému využitiu.
- **Alternatívna metóda testovania (ATM)** – je to testovacia metóda, pri ktorej sú dané charakteristiky špecifickej triedy optických vlákien a káblov merané spôsobom konzistentným s definíciou týchto charakteristík a ktorej výsledky sú reprodukovateľné, vzťahujú sa k referenčnej testovacej metóde a k praktickému využitiu.
- **Meranie tlmenia**
- **Meranie disperzie**
- **Meranie hraničnej vlnovej dĺžky**
- **Meranie priemeru módového poľa**

# Meranie tlmenia optického vlákna

ŽILINSKÁ UNIVERZITA V ŽILINE

Referenčná metóda (RTM) – „cut-back technique“



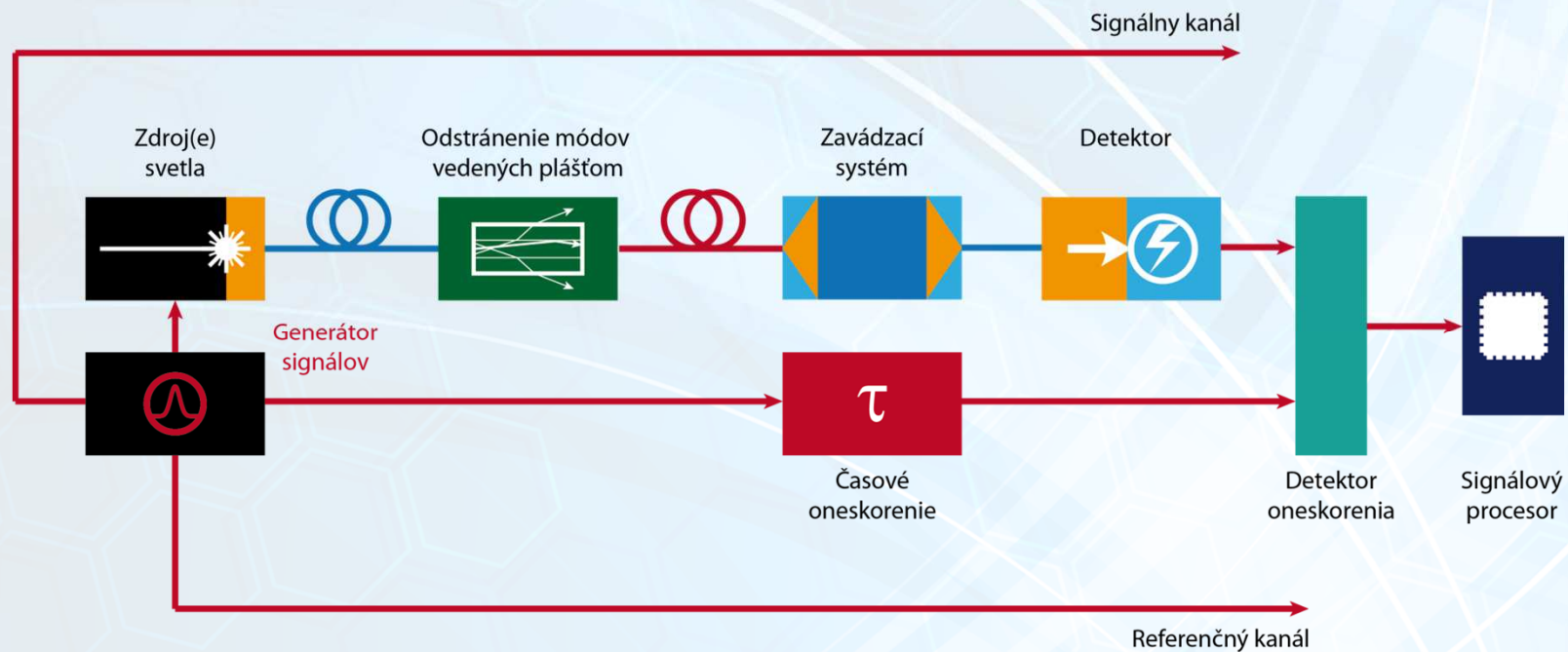
$$\alpha_L = \frac{1}{L_2 - L_1} 10 \log \frac{P_1}{P_2} \quad [\text{dB/km}]$$



# Meranie koeficientu chromatickej disperzie

ŽILINSKÁ UNIVERZITA V ŽILINE

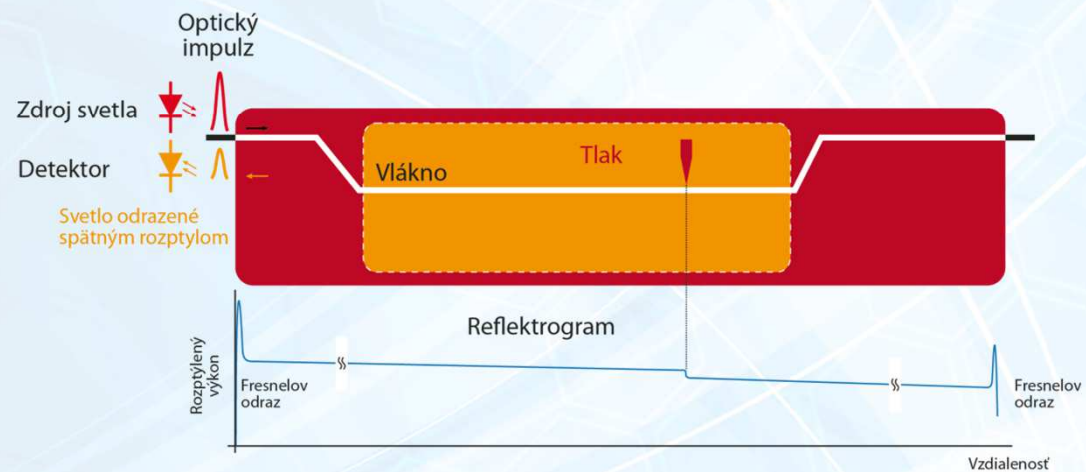
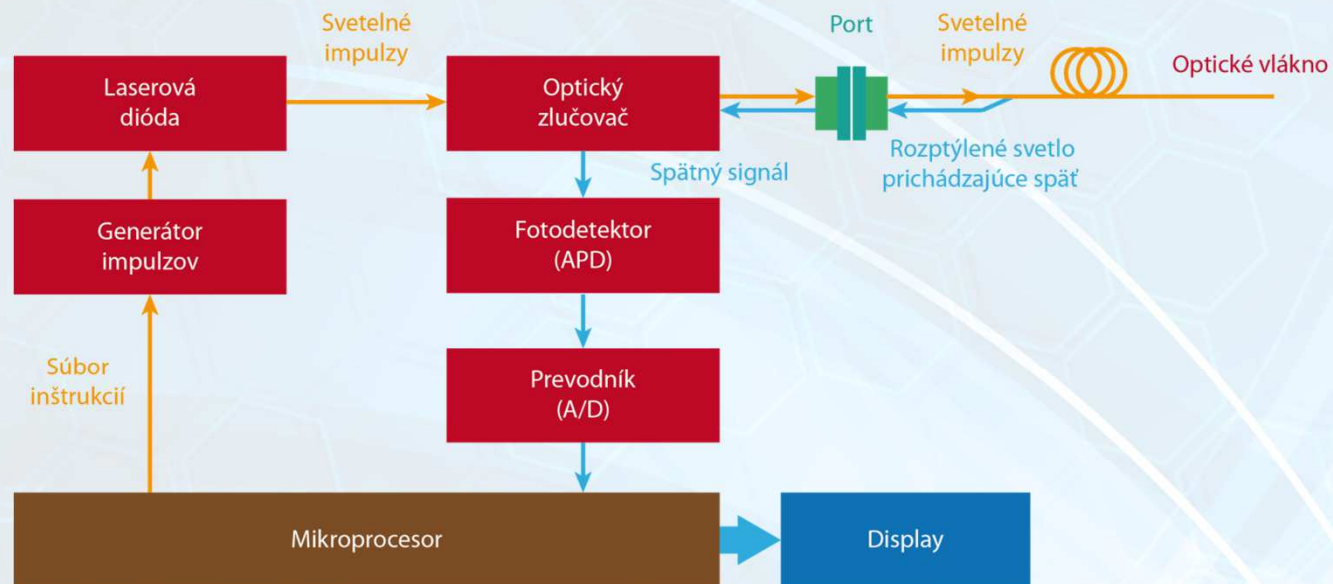
Referenčná metóda (RTM) – „phase-shift technique“



# Meracie prístroje v optických systémoch

# Optický časový reflektometer (OTDR)

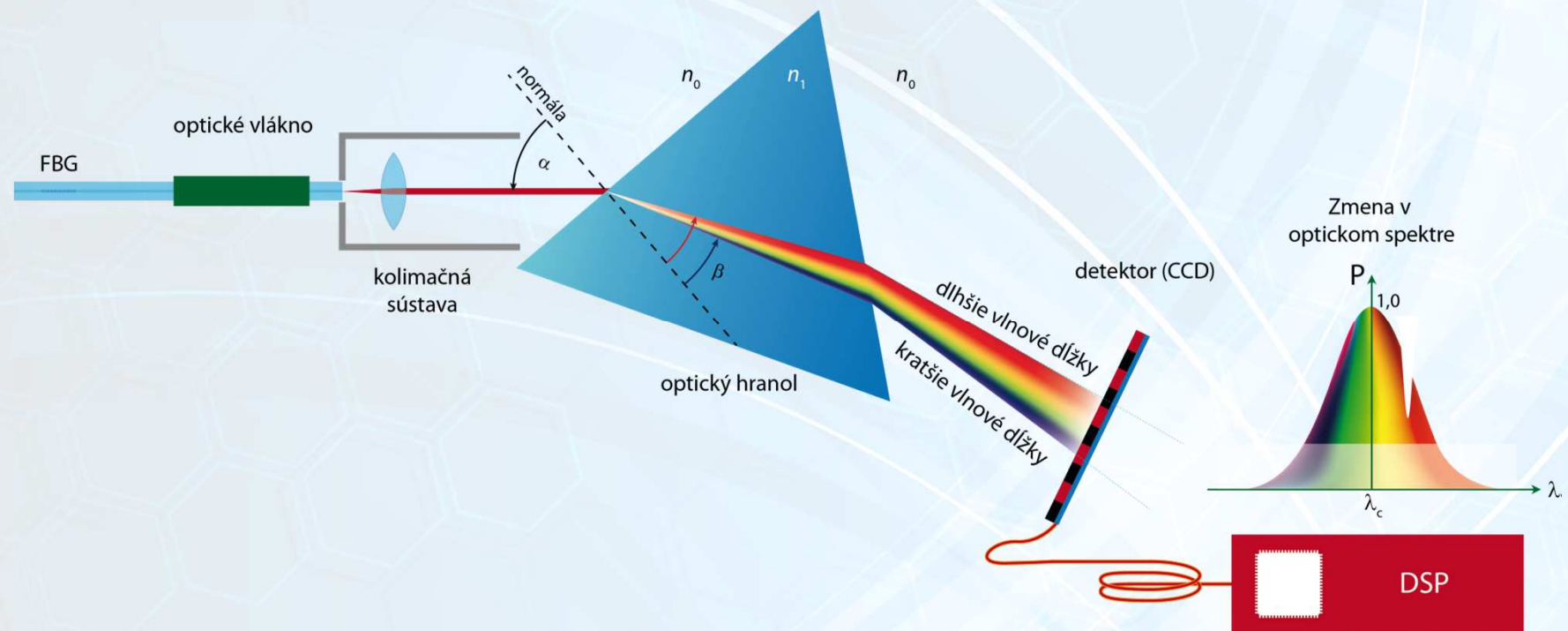
ŽILINSKÁ UNIVERZITA V ŽILINE





# Spektrálny analyzátor

ŽILINSKÁ UNIVERZITA V ŽILINE



**Ďakujem za pozornosť**

[jozef.dubovan@fel.uniza.sk](mailto:jozef.dubovan@fel.uniza.sk)