

# Závazné limity útlumu optických tras – přiměřené, objektivní, nekompromisní

Jan Brouček, Juraj Sukop

## Limit útlumu: **IL (dB) =**

$$\begin{aligned} & \text{délka vlákna (L) x měrný útlum (dB/km) +} \\ & + \text{vložný útlum svaru (dB) x počet svarů +} \\ & + \text{vložný útlum konektorového spoje (dB) x počet spojů} \end{aligned}$$

- Plus případně přidat další součástky ....
- Stanovení **limitů specifikace** pro každou vlnovou délku zvlášť

**maximální vs typické (průměrné) hodnoty?**

## útlum svaru

průměrný útlum svaru

rozdíl útlumu svaru na různých  $\lambda$  ( $A_{1550} - A_{1310}$ )

**max 0,10 dB**

0,02 - 0,05 dB

0,01 - 0,02 dB

## útlum konektorového spojení v trase

průměrný útlum konektorového spojení

**max 0,5 dB**

0,1 - 0,3 dB

## měrný útlum kabel. úseků

SM 1310 nm

SM 1550 nm

0,33 dB/km

0,2 dB/km

MM 850 nm

MM 1300 nm

2,5 – 3 dB/km

0,6 -1 dB/km

**Limit útlumu: IL (dB) =**

délka vlákna (L) x měrný útlum (dB/km) +  
+ vložný útlum svaru (dB) x počet svarů +  
+ vložný útlum konektorového spoje (dB) x počet spojů

**Zavedená praxe už 30 let: maximální hodnoty!**

A když je výsledek (limit) moc velký (volný), tak zkusíme doplnit  
**střední** hodnoty (např u svarů)

**Limit útlumu: IL (dB) =**

délka vlákna (L) x měrný útlum (dB/km) +  
+ vložný útlum svaru (dB) x počet svarů +  
+ vložný útlum konektorového spoje (dB) x počet spojů

**Dimenzovat na maximální hodnoty?  
Neděláme něco špatně?**

Jak dimenzují jiní?



**Limit útlumu: IL (dB) =**

délka vlákna (L) x měrný útlum (dB/km) +  
+ vložný útlum svaru (dB) x počet svarů +  
+ vložný útlum konektorového spoje (dB) x počet spojů

maximální hodnoty

střední hodnoty

**Někdo aplikuje divný hybrid: maximální + střední hodnoty!**

Zavedená praxe už 30 let: **prostý součet maximálních hodnot!**

Snaha utáhnout volné limity u dlouhých tras, velkého počtu součástek/svarů



Běžná praxe – divný mix: **prostý součet maximálních + středních hodnot**

===== vlastnosti současného modelu =====

- Benevolentní: ke kaskádě mnoha prvků.
- Benevolentní: k dlouhým trasám.
- Krutý: k trasám 100 m.

Jak stanovit **objektivní a přiměřený limit pro krátké i dlouhé trasy?**

**Jedině pomocí toleranční analýzy.**

Limit IL(dB) musí být: 1. srozumitelný, 2. dosažitelný, 3. kontrolovatelný, 4. objektivní.

Toleranční analýza: každý prvek má svou toleranci vložného útlumu, např:

Limit měrného útlumu:				
Vlnová délka:	$\alpha_{max}$ (dB/km)	$\alpha_{avg}$ (dB/km)	$1\sigma$ (dB/km)	$1\sigma$ (1/km)
1310 nm	0,36	0,32	0,020	0,45%
1550 nm	0,25	0,21	0,020	0,45%

Limit na svar:				
Vlnová délka:	ILmax(dB)	ILavg(dB)	$1\sigma$ (dB)	$1\sigma$ (1)
1310 nm	0,10	0,08	0,010	0,23%
1550 nm	0,10	0,08	0,010	0,23%

Limit na konektorové spojení				
Vlnová délka:	ILmax(dB)	ILavg(dB)	$1\sigma$ (dB)	$1\sigma$ (1)
1310 nm	0,35	0,23	0,061	1,40%
1550 nm	0,35	0,23	0,061	1,40%

maximální  
hodnoty

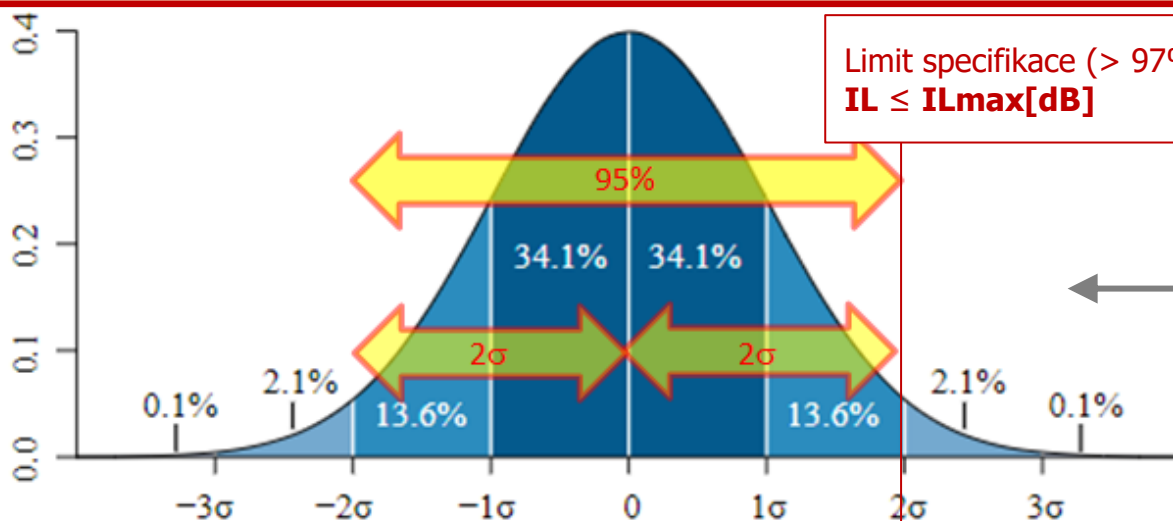
střední  
hodnoty

směrodatná  
odchylka



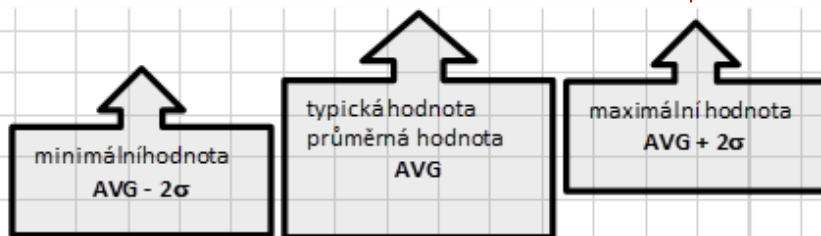
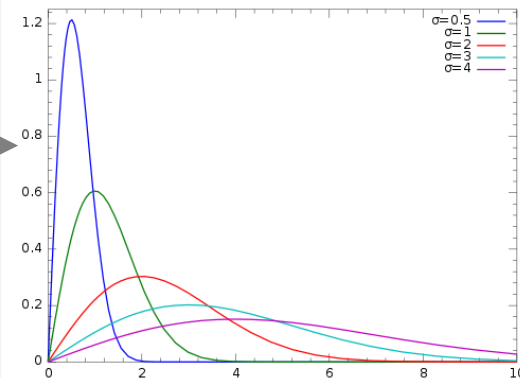
Toleranční analýza:  
každý prvek má své statistické rozložení vložného útlumu, např:

Normální rozdělení v lineární stupni: Transmittance T(%), výkon P(mW)



Limit specifikace (> 97%):  
**IL ≤ ILmax[dB]**

Rayleighovo rozdělení v  
logaritmické stupnici:  
vložný útlum IL[dB]



## Vložný útlum konektoru

Statistics: SC/APC SM  
Number of connectors : 976

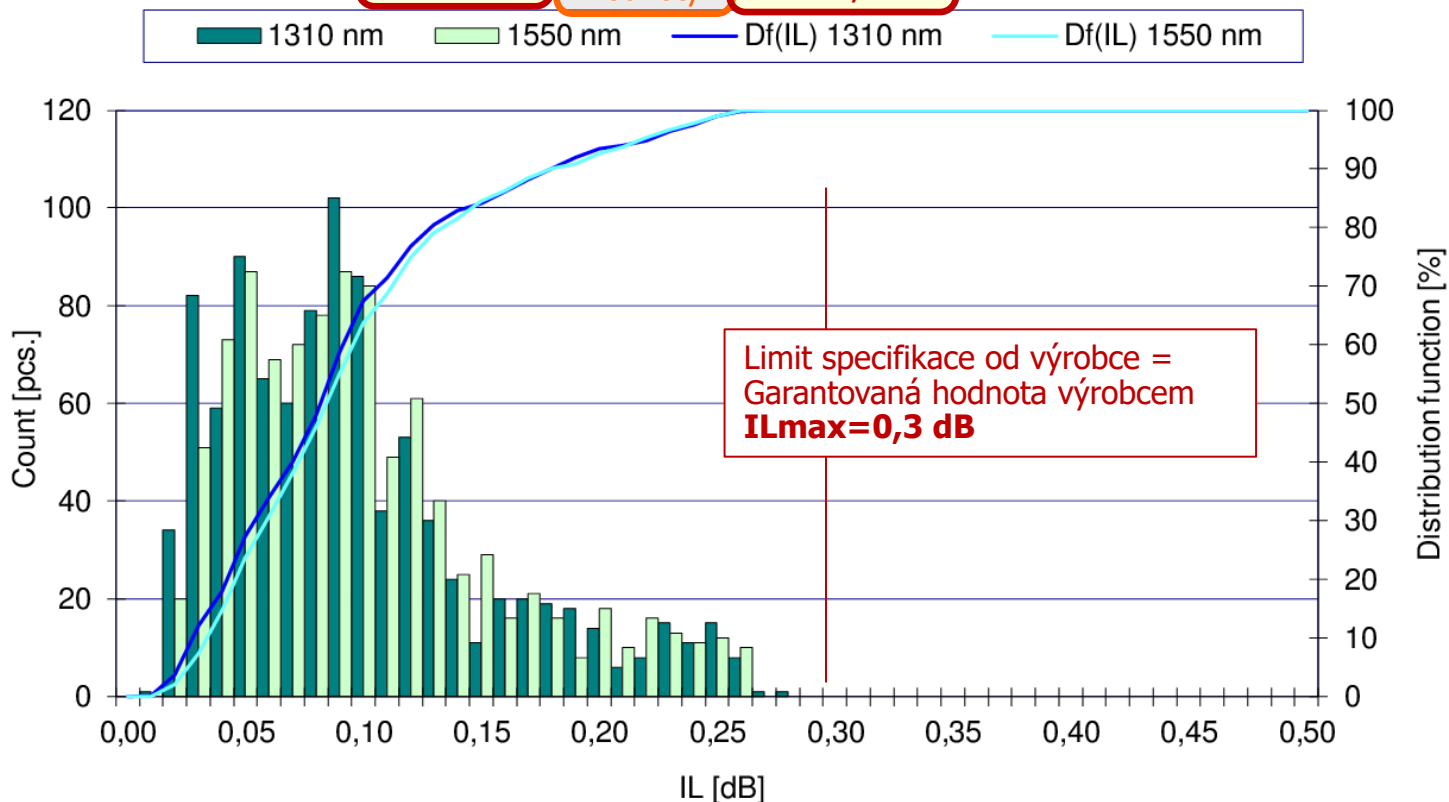
$\lambda$	IL min [dB]	IL max [dB]	AVG	STD	RL [dB]
1310 nm	0,010	0,280	0,093	0,045	>60
1550 nm	0,014	0,260	0,097	0,044	>60

ILmax[dB]
= AVG + 2 x STD
<b>0,185</b>
<b>0,183</b>

maximální  
hodnoty

střední  
hodnoty

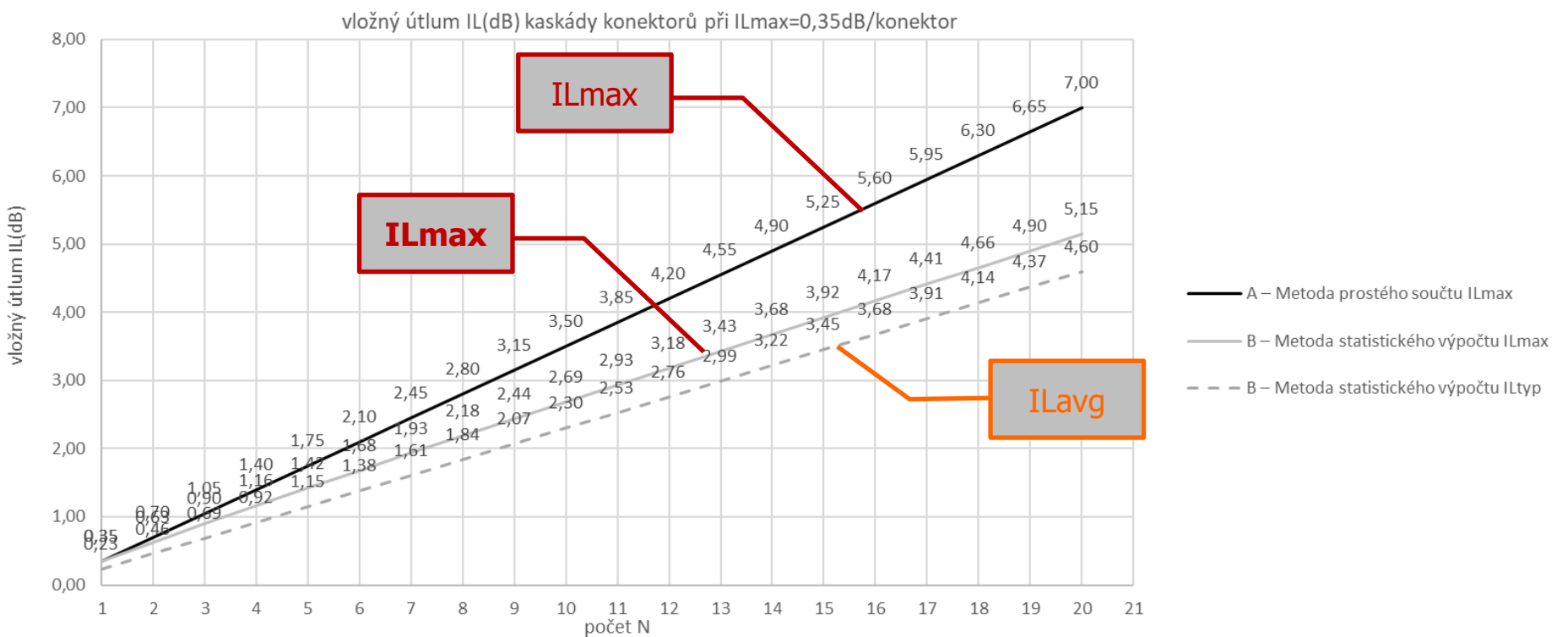
směrodatná  
odchylka



### Toleranční analýza: konektory

Limit na konektorové spojení:								
		ILmax(dB)	ILavg(dB)	1σ(1)	1σ(dB)			
		<b>0,35</b>	<b>0,23</b>	1,4%	<b>0,061</b>			
Limit celkového útlumu kaskády konektorů								
		A – Metoda prostého součtu			B – Metoda statistického výpočtu			
		maximální hodnota			typická hodnota	rozptyl	maximální hodnota	
N=	√N=	ILmax(dB)			ILavg(dB)	2σ(1)	2σ(dB)	ILmax(dB)
1	1,00	<b>0,35</b>			0,23	2,8%	0,12	<b>0,35</b>
2	1,41	<b>0,70</b>			0,46	4,0%	0,17	<b>0,63</b>
3	1,73	<b>1,05</b>			0,69	4,8%	0,21	<b>0,90</b>
4	2,00	<b>1,40</b>			0,92	5,6%	0,24	<b>1,16</b>
5	2,24	<b>1,75</b>			1,15	6,3%	0,27	<b>1,42</b>
6	2,45	<b>2,10</b>			1,38	6,9%	0,30	<b>1,68</b>
7	2,65	<b>2,45</b>			1,61	7,4%	0,32	<b>1,93</b>
8	2,83	<b>2,80</b>			1,84	7,9%	0,34	<b>2,18</b>
9	3,00	<b>3,15</b>			2,07	8,4%	0,37	<b>2,44</b>
10	3,16	<b>3,50</b>			2,30	8,9%	0,39	<b>2,69</b>
11	3,32	<b>3,85</b>			2,53	9,3%	0,40	<b>2,93</b>
12	3,46	<b>4,20</b>			2,76	9,7%	0,42	<b>3,18</b>
13	3,61	<b>4,55</b>			2,99	10,1%	0,44	<b>3,43</b>
14	3,74	<b>4,90</b>			3,22	10,5%	0,46	<b>3,68</b>
15	3,87	<b>5,25</b>			3,45	10,8%	0,47	<b>3,92</b>
16	4,00	<b>5,60</b>			3,68	11,2%	0,49	<b>4,17</b>
17	4,12	<b>5,95</b>			3,91	11,5%	0,50	<b>4,41</b>
18	4,24	<b>6,30</b>			4,14	11,9%	0,52	<b>4,66</b>
19	4,36	<b>6,65</b>			4,37	12,2%	0,53	<b>4,90</b>
20	4,47	<b>7,00</b>			4,60	12,5%	0,55	<b>5,15</b>

### Toleranční analýza: konektory



## Kalkulačky pro výpočet meze specifikace - příklad pro

- IL(dB) optické trasy, **jednořivá** vlákna
- katalog běžných hodnot prvků trasy (vlákno, svary, konektory)

### 1. zadejte parametry trasy

#### délku optického vlákna

km  
zadejte hodnotu

měrný útlum: max 0,36 dB/km @1310 nm, 0,25 dB/km @1550 nm  
typ 0,32 dB/km @1310 nm, 0,21 dB/km @1550 nm

#### počet svarů

svarů  
zadejte hodnotu

útlum svaru: max 0,1 dB @1310 nm, 1550 nm  
typ 0,08 dB @1310 nm, 1550 nm

#### počet konektorů

konektorových spojení na trase  
zadejte hodnotu

útlum konektoru: max 0,35 dB @1310 nm, 1550 nm  
typ 0,23 dB @1310 nm, 1550 nm

pozn: pro měření přímou metodou 1cord nutno připočítat 2 konektory  
pro měření přímou metodou 2cord nutno připočítat 1 konektor  
pro měření přímou metodou 3cord nutno připočítat 0 konektorů  
příklad: Pokud na trase není žádný konektor a měříte metodou 1cord, tak zadejte 2 konektory

\*) připraveno s podporou projektu č. FW03010551 za finanční spoluúčasti TAČR, program TREND

## Kalkulačky pro výpočet meze specifikace - příklad pro

- IL(dB) optické trasy, **jednořivá** vlákna

### 2. výsledek

#### Přístup A – Metoda prostého součtu maximálních hodnot

$P_{max} = (\text{Počet svarů} \cdot \text{Limit útlumu svarů}) + (\text{Počet konektorových spojení} \cdot \text{Limit útlumu na konektor}) + (\text{Délka vlákna} \cdot \text{Měrný útlum})$

#### Maximální vložný útlum

(Maximum Insertion Loss)

ILmax	1,11 dB	1310 nm
ILmax	1,11 dB	1550 nm

#### Přístup B – Metoda statistického výpočtu

#### Typický vložný útlum

(Typical Insertion Loss)

ILtyp	0,79 dB	1310 nm
ILtyp	0,78 dB	1550 nm

typická hodnota vložného útlumu trasy (limit střední hodnoty, medianu)

#### Maximální vložný útlum

(Maximum Insertion Loss)

ILmax	0,96 dB	1310 nm
ILmax	0,96 dB	1550 nm

$IL_{max} (dB) = IL_{typ} (dB) + 2\sigma$

**0,15 dB rozdíl  
(přísnější limit)**

\*) připraveno s podporou projektu č. FW03010551 za finanční spoluúčasti TAČR, program TREND

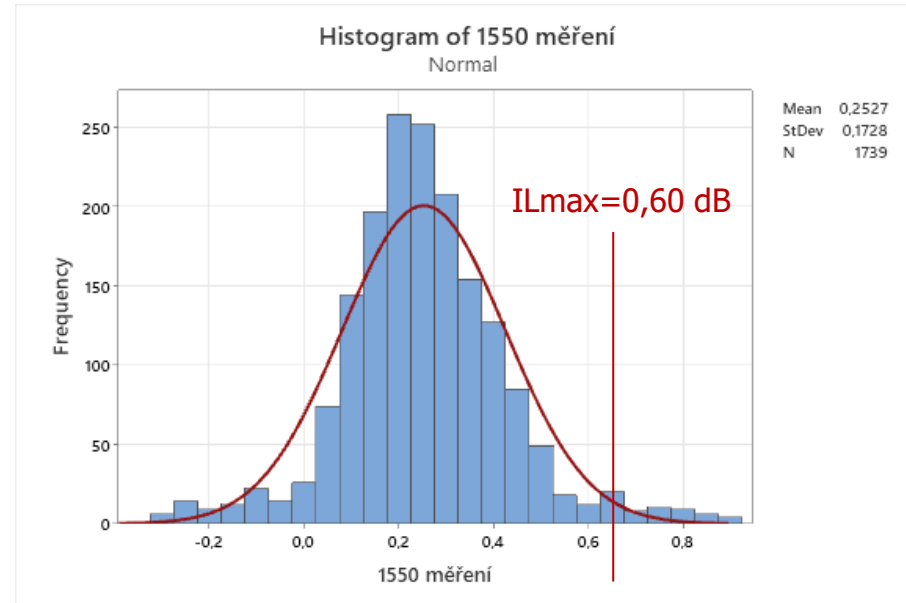
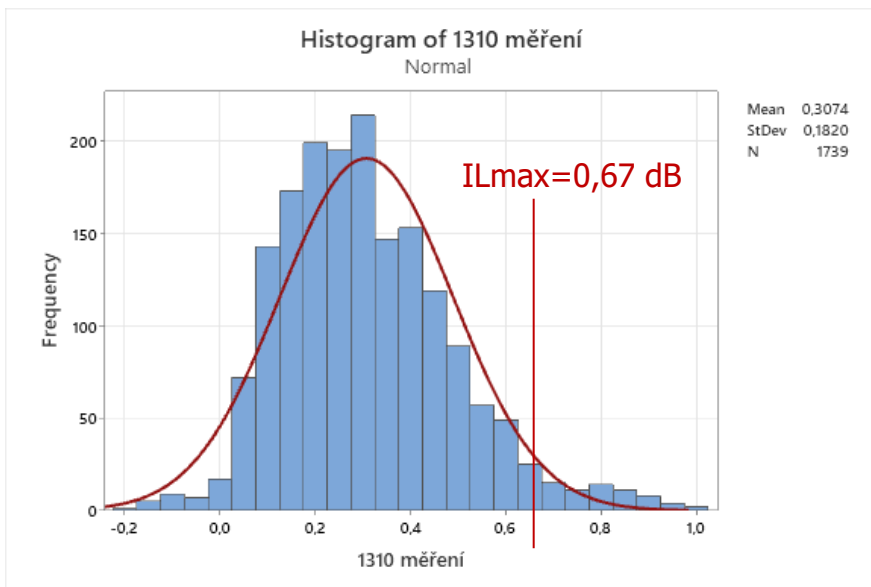
Toleranční analýza: specifikace vložného útlumu trasy  
krátká trasa o délce max 50 m, 2 konektory, 0 svarů

Vypočteno na kalkulačce meze specifikace IL(dB) optické trasy

<b>1310 nm</b>		<b>ILmax [dB]</b>
<b>ILavg [dB]</b>	<b>STD [dB]</b>	<b>= AVG + 2 x STD</b>
0,480	0,085	<b>0,65</b>

<b>1550 nm</b>		<b>ILmax [dB]</b>
<b>ILavg [dB]</b>	<b>STD [dB]</b>	<b>= AVG + 2 x STD</b>
0,470	0,085	<b>0,64</b>

Toleranční analýza: porovnání s reálnými náměry  
1739 náměrů, krátké trasy o délce max 50 m, 2 konektory, 0 svarů



1310 nm		ILmax [dB]
ILavg [dB]	STD [dB]	= AVG + 2 x STD
0,31	0,18	<b>0,67</b>

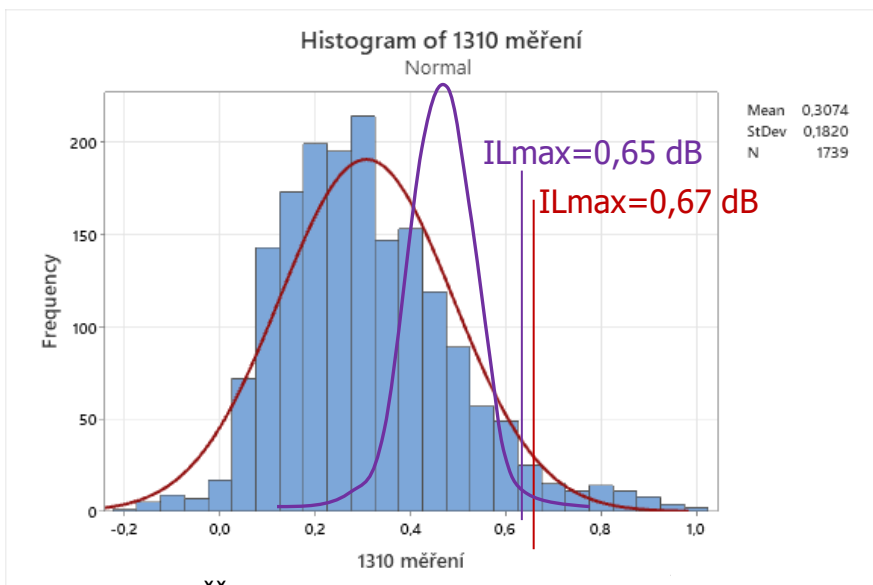
1550 nm		ILmax [dB]
ILavg [dB]	STD [dB]	= AVG + 2 x STD
0,25	0,17	<b>0,60</b>

Děkujeme ČEZ distribuce a.s. za poskytnutá anonymizovaná data



Děkujeme ČEZ distribuce a.s. za poskytnutá anonymizovaná data

Toleranční analýza: porovnání s reálnými náměry  
1739 náměrů, krátké trasy o délce max 50 m, 2 konektory, 0 svarů

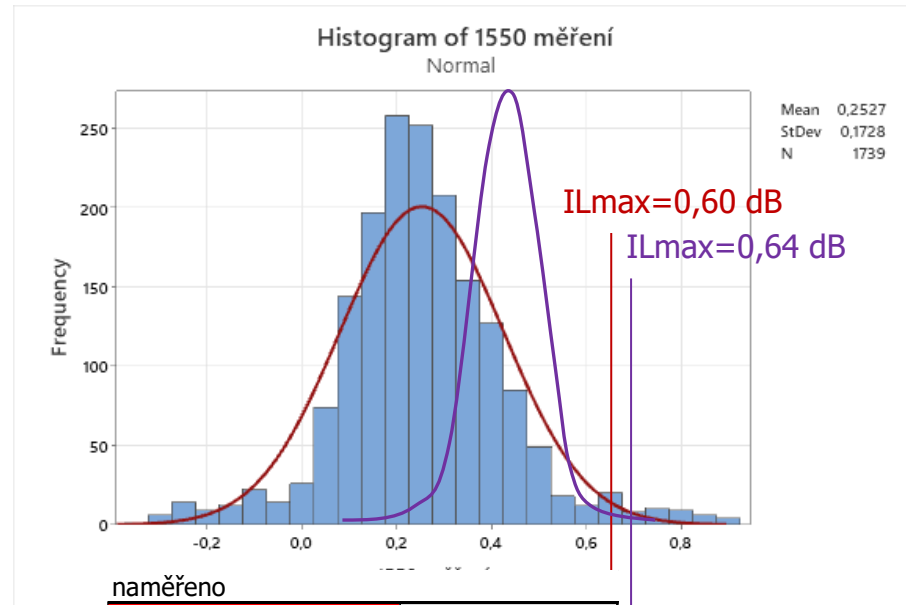


naměřeno

1310 nm		ILmax [dB]
ILavg [dB]	STD [dB]	= AVG + 2 x STD
0,31	0,18	0,67

vypočteno

1310 nm		ILmax [dB]
ILavg [dB]	STD [dB]	= AVG + 2 x STD
0,48	0,085	0,65



naměřeno

1550 nm		ILmax [dB]
ILavg [dB]	STD [dB]	= AVG + 2 x STD
0,25	0,17	0,60

vypočteno

1550 nm		ILmax [dB]
ILavg [dB]	STD [dB]	= AVG + 2 x STD
0,47	0,085	0,64

Na krátkých trasách do 50 m, 2 konektory, 0 svarů

- **Střední hodnota naměřených** výsledků je výrazně menší než specifikace určená výpočtem ⇒ **realita je lepší než předepsaný vložný útlum**  
**ILavg [dB]: 0,31 vs 0,48 @1310nm; 0,25 vs 0,47 @1550nm**
- **Směrodatná odchylka naměřených** výsledků je 2 x větší než u specifikace určené výpočtem ⇒ **realita má horší konzistenci měření útlumu**  
**STD [dB]: 0,18 vs 0,085 @1310nm; 0,17 vs 0,085 @1550nm**
- **Maximální hodnota ze statistiky naměřených** výsledků je téměř stejná jako maximální hodnota specifikace určená toleranční **analýzou**  
**ILmax [dB]: 0,67 vs 0,65 @1310nm; 0,60 vs 0,64 @1550nm**
- Statistický výpočet nezpřísnil významně limity specifikace vložného útlumu krátkých tras.
- Při aplikaci nového limitu specifikace byla do rozhodovacích pravidel výroku o shodě zahrnuta nejistota měření  **$U = 0,2$  dB**.
- **Nebylo zaznamenáno navýšení počtu neshodných tras**

Na dlouhých trasách

- Statistický výpočet zpřísnil benevolentní limity specifikace vložného útlumu:
- na trasách cca **10 km** o cca - **0,3 dB** přísnější limit
- trasách cca **40 km** o cca - **2,0 dB** přísnější limit

Při aplikaci nového limitu specifikace a rozhodovacích pravidel s nejistotou **nebylo zaznamenáno navýšení počtu neshodných tras.**

## INVESTOR

Předpisujte limity přenosových parametrů realisticky (nebuďte snílci).

Počítejte s nejistotou měření při měření a při výroku o shodě s předepsanými specifikacemi

Při tvorbě technických předpisů přemýšlejte, nechte si poradit,  
neopisujte blbosti!

Pozor na nákup, prokurement – při výběrových řízeních ztráta kvality při nízké pořizovací ceně. Nízká nákupní cena může skrývat dodatečné náklady na servis a provoz (CAPEX↓ vs. OPEX↑).

1. Učit **parametr/ry** kterými prokazujeme kvalitu (výrobku nebo služby)
2. Určit vhodnou **měřicí metodu + měřidla + pracovní postup**
3. Určit **limit/ty parametru**
4. Určit **nejistotu** měření
5. Změřit a posoudit, zda výsledek vyhověl limitu  
(**rozhodovací kritérium shody** výrobku s předepsanými parametry kvality!)

Do kritéria shody **zahrnout nejistotu** měření!



Děkujeme za pozornost

Otázky?

AKADEMIE VLÁKNOVÉ OPTIKY A OPTICKÝCH KOMUNIKACÍ<sup>®</sup>

PROFiber Networking CZ s.r.o.  
Mezi Vodami 205/29  
143 00 Praha 4

PROFiber Networking s.r.o.  
Bernolákova 2  
917 01 Trnava

the art of  
optical  
communication

