



**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

---

**Fakulta elektrotechnická  
katedra telekomunikační techniky**

**Program v Matlabu pro automatické vyhodnocení  
optických tras metodou OTDR**

**květen 2018**

**Diplomant: Bc. Tobiáš Balek**

**Vedoucí práce: Ing. Pavel Lafata, Ph.D.**

## Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem zadanou diplomovou práci zpracoval sám s přispěním vedoucího práce a konzultanta a používal jsem pouze literaturu v práci uvedenou. Dále prohlašuji, že nemám námitek proti půjčování nebo zveřejňování mé diplomové práce nebo její části se souhlasem katedry.

Datum: 25. 5. 2018

.....

Podpis diplomanta

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Balek** Jméno: **Tobiáš** Osobní číslo: **420085**  
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**  
Zadávající katedra/ústav: **Katedra telekomunikační techniky**  
Studijní program: **Elektronika a komunikace**  
Studijní obor: **Komunikační systémy a sítě**

## II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

**Program v Matlabu pro automatické vyhodnocování optických tras metodou OTDR**

Název diplomové práce anglicky:

**Processing of OTDR Measurement in Matlab Environment**

Pokyny pro vypracování:

Seznamte se s metodou OTDR pro analýzu optických tras a vláken založenou na detekci zpětně odražených pulzů s jejich následným vyhodnocením. Využijte dostupné vybavení laboratoře ve formě reflektometru JDSU MTS-6000 a proveďte sérii pokusných měření s využitím různých prvků a konfigurace optické trasy. Zaměřte se zejména na formát pro ukládání výsledků ve formě SOR dle standardu Telcordia SR-4731 a navrhnete jeho načítání do prostředí Matlabu. Na základě toho vytvořte v prostředí Matlab automatizovaný nástroj pro načtení a analýzu naměřených výstupů z reflektometru OTDR s automatickou detekcí a analýzou trasy a jednotlivých prvků na ní.

Seznam doporučené literatury:

- [1] Pearson, E.R.: Mastering The OTDR: Trace Acquisition And Interpretation. CreateSpace Independent Publishing Platform, 2011. ISBN 978-1-46642-929-1.
- [2] Telcordia SR-4731: Optical Time Domain Reflectometer (OTDR) Data Format, 2011.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

**Ing. Pavel Lafata, Ph.D., katedra telekomunikační techniky FEL**

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **04.01.2018**

Termín odevzdání diplomové práce: \_\_\_\_\_

Platnost zadání diplomové práce: **30.09.2019**

Ing. Pavel Lafata, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) práce

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.  
podpis děkana(ky)

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

\_\_\_\_\_  
Datum převzetí zadání

\_\_\_\_\_  
Podpis studenta

## Anotace

Tato diplomová práce se zabývá analýzou optických tras pomocí optické reflektometrie OTDR (*Optical Time-Domain Reflectometry*) a zpracováním naměřených dat optickým reflektometrem.

V rámci práce byl vytvořen program v softwaru Matlab pro automatickou detekci a kategorizaci útlumových událostí (poruchy vlákna nebo přítomnost přidaného útlumu ve formě konektoru či svaru) v optické trase.

**Klíčová slova:** OTDR, optický reflektometr, útlum, optické vlákno, automatická detekce.

## Abstract

This diploma thesis focuses on analysis of optical paths using Optical Time-Domain Reflectometry (OTDR) and processing measured data obtained from an optical reflectometer.

Within the scope of the diploma thesis, a program in Matlab software for automatic detection and categorization of attenuation events (fiber faults or added attenuation in a form of a connector or a slice) on optical paths was developed.

**Keywords:** OTDR, Optical Time-Domain Reflectometer, attenuation, optical fiber, automatic detection.

# Obsah

Anotace.....	3
Obsah.....	4
Úvod.....	6
1. Teoretická část.....	7
1.1 Ztráty při spojování optických vláken .....	7
1.2 Ztráty způsobené ohyby optických vláken .....	8
1.3 Základní metody měření útlumu optických vláken .....	9
1.3.1 Metoda dvou délek .....	9
1.3.2 Metoda vložných ztrát .....	10
1.3.3 Metoda zpětného rozptylu - OTDR.....	10
1.3.3.1 Optický reflektometr (OTDR).....	11
1.3.3.2 Rayleighův rozptyl .....	12
1.3.3.3 Mrtvá zóna.....	13
1.3.3.4 Popis křivek a anomálií v průběhu zpětného rozptylu .....	15
1.4 Formát SOR pro ukládání naměřených hodnot optickým reflektometrem.....	17
2. Praktická část.....	18
2.1 Program pro automatickou detekci útlumových událostí .....	18
2.1.1 Popis prvků grafického rozhraní .....	19
2.1.1.1 Zobrazení průběhů.....	19
2.1.1.2 Tlačítka.....	20
2.1.1.3 Tabulka rozptylů .....	22
2.1.1.4 Panel „Úprava parametrů“ .....	24
2.1.1.5 Přepínání grafů .....	27
2.1.1.6 Zaškrtnutí políčka .....	27
2.1.1.7 Seznam a tabulka detekovaných událostí.....	28
2.1.2 Popis výpočtů a detekce útlumových událostí.....	30
2.1.2.1 Funkce getDeriv .....	30
2.1.2.2 Funkce klouzavy_prum_rozpt.....	33
2.1.2.3 Funkce pravdepodobnost.....	33
2.1.2.4 Funkce eventy_pravdepodobnost.....	35
2.1.2.5 Funkce rozmezi_udalosti.....	36
2.1.2.6 Funkce zobrazeni_udalosti.....	40
2.1.2.7 Funkce resetGrafu .....	41

2.1.2.8	Funkce nasobky_rozptylu .....	41
2.1.2.9	Funkce druhe_max .....	41
2.2	Výsledky analýzy provedených měření .....	42
2.2.1	Měření na testovací optické trase se 24 úseky (svary spojených) optických vláken 42	
2.2.1.1	Analýza a výsledky měření – délka pulzu 300 ns .....	42
2.2.1.2	Analýza a výsledky měření – délka pulzu 1000 ns .....	52
2.2.1.3	Analýza a výsledky měření – délka pulzu 3000 ns .....	57
2.2.1.4	Analýza a výsledky měření – délka pulzu 10000 ns .....	61
2.2.1.5	Vyhodnocení první sady měření .....	65
2.2.2	Analýza měření na optické trase s vloženým splitterem s poměrem 50:50... 66	
2.2.2.1	Analýza a výsledky měření – délka pulzu 30 ns .....	66
2.2.2.2	Analýza a výsledky měření – délky pulzu 100 a 300 ns .....	69
2.2.2.3	Vyhodnocení druhé sady měření .....	74
3.	Vyhodnocení .....	75
	Literatura .....	76
	Seznam obrázků.....	78
	Seznam zkratk a symbolů .....	81
	Přílohy .....	82

# Úvod

Tato diplomová práce se zabývá analýzou optických tras metodou OTDR a jejím zpracováním pomocí softwarového prostředí Matlab. Oficiální zadání diplomové práce zní:

„Seznamte se s metodou pro analýzu optických tras a vláken OTDR založené na detekci zpětně odražených pulzů s jejich následným vyhodnocením. Využijte dostupné vybavení laboratoře ve formě reflektometru JDSU MTS-6000 a proveďte sérii pokusných měření. Zaměřte se zejména na formát pro ukládání výsledků ve formě SOR dle standardu Telcordia SR-4731 a navrhňte jeho načítání do prostředí Matlabu. Na základě toho vytvořte v prostředí Matlab automatizovaný nástroj pro načtení a analýzu naměřených výstupů z reflektometru OTDR s automatickou detekcí a analýzou trasy a jednotlivých prvků na ní.“

Po dohodě s vedoucím práce byly stanoveny následující cíle:

- Teoretický rozbor technologie OTDR, její využití a popis jednotlivých typů útlumových událostí, které se mohou vyskytnout v optických trasách.
- Načtení a automatická analýza naměřených dat z optického reflektometru JDSU MTS-6000 za pomoci vytvořeného programu softwaru Matlab.

Diplomová práce je rozdělena na dvě hlavní části. První je teoretická, kde jsou rozebrány základní činitele útlumu v optických trasách. Dále jsou popsány základní metody pro měření útlumu vláken a podrobněji je rozebrána metoda optické reflektometrie v časové oblasti (OTDR), které se věnuje tato práce. Následuje charakteristika útlumových událostí, které se mohou v optických trasách objevit a je možné je pomocí této metody odhalit.

V druhé, praktické, části jsou popsána měření, která byla provedena pomocí optického reflektometru JDSU MTS-6000 na Fakultě elektrotechnické ČVUT v Praze. Výstupy z měření jsou zpracovány vytvořeným programem pro automatickou detekci útlumových událostí v softwaru Matlab. Výsledky jsou porovnány s výstupy proprietárního softwaru pro zobrazování naměřených OTDR hodnot - JDSU Fiber TraceViewer [6].

# 1. Teoretická část

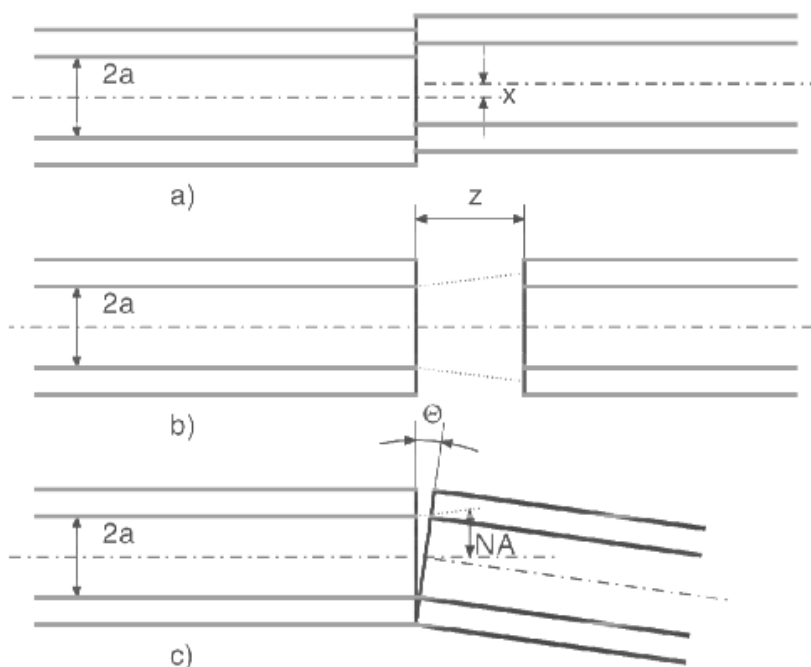
V této části diplomové práce jsou rozebrány činitelé útlumu ve vláknech, hlavně ve spojitosti s jejich spojováním. Dále jsou popsány základní metody určování (měrného) útlumu vláken, ze kterých je podrobněji rozebrána metoda optické reflektometrie v časové oblasti (OTDR), na které je založena tato diplomová práce. V rámci této části je pak popsána funkce optického reflektometru a Rayleighova rozptylu, kterého metoda OTDR využívá. Nakonec jsou charakterizovány útlumové události, které se mohou vyskytnout v průběhu zpětného rozptylu – výsledku z měření optickým reflektometrem.

## 1.1 Ztráty při spojování optických vláken

Veškeré spoje optických vláken způsobují ztráty při přenosu optického výkonu. Optická vlákna se spojují konektory, spojkami a svary. Zdrojem ztrát u konektorů i u pevných spojek jsou posuvy ve vzájemném postavení čel vláken (viz Obr. 1.3.1-1) [13]:

- radiální odchylka (porušení souososti spojovaných vláken)
- axiální posuv (axiální posuv čel spojovaných vláken)
- úhlová odchylka (nejméně častý jev díky přesnosti výroby ferulů u konektorů)

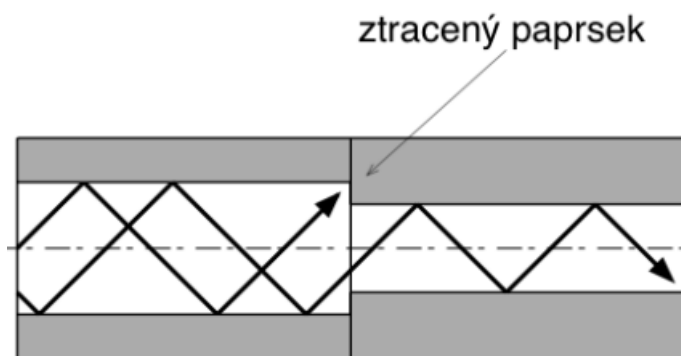
Tyto druhy ztrát se vyskytují ve spoji buď jednotlivě nebo v kombinaci. U konektorů se malý, přesně definovaný konstrukční axiální posuv používá k eliminaci rizika poškození vláken při spojování jejich vzájemným nárazem.



Obr. 1.3.1-1: Odchylky v nastavení jader optických vláken při jejich spojování: a) radiální posuv, b) axiální posuv, c) úhlové natočení. Převzato z [13].



Dalším zdrojem ztrát při spojování vláken jsou ztráty způsobené jejich rozdílným průřezem, jak je demonstrováno na Obr. 1.3.1-2.

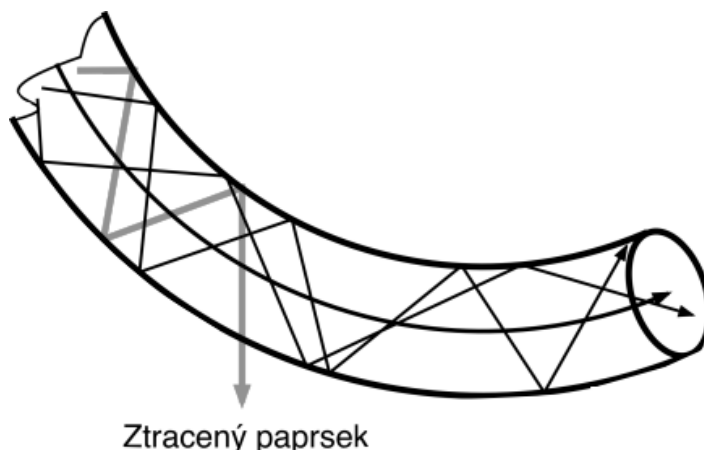


Obr. 1.3.1-2: Ztráty způsobené různými průměry vláken.  
Převzato z [13].

Ztrátu ovlivňuje na určitých vlnových délkách i zbytková vlhkost ve formě iontů OH<sup>-</sup>, která je uzavřena ve vlákně z procesu výroby (viz také Obr. 1.1-2). Další příčinou útlumu ve spojích jsou výrobně-technologické nedokonalosti či nečistoty samotných spojovacích pasivních součástek, např. konců konektorových vláken.

## 1.2 Ztráty způsobené ohyby optických vláken

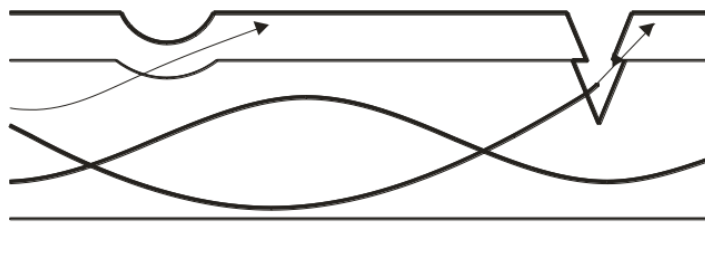
Ohyby jsou další ztrátovou událostí v optických trasách a projevují se nárůstem jejich útlumu. Pokles výkonu je způsoben překročením mezní hodnoty úhlu odrazu a následně průchodem paprsku do pláště a mimo vlákno (viz Obr. 1.3.1-1):



Obr. 1.3.1-1: Šíření paprsků v ohybu vlákna se skokovou změnou indexu lomu. Převzato z [13].

Ohyby se dělí na mikro- a makroohyby [13]. Mikroohyby jsou buď poruchami přímočarosti osy světlovodu, které vznikají ve výrobním procesu, nebo působením okolních elementů, například tlaku, na vlákno. Ke zvýšení útlumu vlákna vlivem mikroohybu dojde

tehdy, kdy se některý z paprsků (vidů) odrazí pod úhlem, který způsobí vyzáření tohoto paprsku ven z vlákna (nesplňuje podmínku totálního odrazu na rozhraní jádro-plášť). Mikroohyby se vyskytují po celé délce trasy, jejich výskyt je náhodný a pro jejich popis se používají statistické metody. Makroohyby obvykle vznikají při montáži trasy. Citlivost vlákna na makroohyby je dána především poloměrem ohybu, dále pak závisí na průměru jádra vlákna a také na rozdílu indexu lomu jádra a pláště. Minimální hodnoty makroohybů jsou v praxi katalogovou hodnotou, určenou výrobcem.

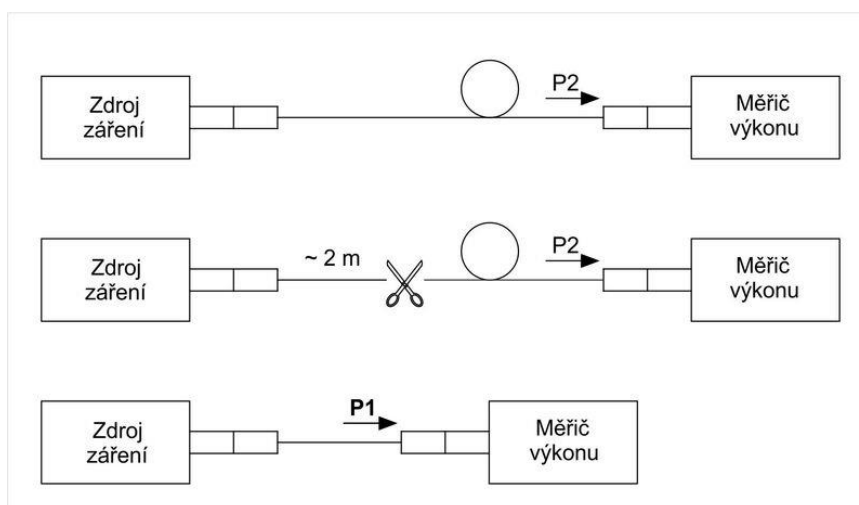


Obr. 1.3.1-2: Ztráty způsobené mikroohyby. Převzato z [13]

### 1.3 Základní metody měření útlumu optických vláken

#### 1.3.1 Metoda dvou délek

Metoda dvou délek [12] je nejpřesnější metodou měření útlumu optických tras. Proto je doporučována jako metoda referenční. Spolu s metodou vložných ztrát je označována za metodu přímou (transmisní). Je metodou destruktivní. Její praktickou nevýhodou je fakt, že při každém měření dochází ke zkrácení vlákna přibližně o dva metry, není tedy vhodná pro měření již instalovaných tras. Podobně jako u metody vložných ztrát jde o metodu dvoustupňovou.



Obr. 1.3.1-1: Schéma metody dvou délek. Převzato z [12].

Při měření metodou dvou délek je postup takový, že je v prvním kroku změřen výkon  $P_2$  na výstupu původního vlákna. V druhém kroku se vlákno zkrátí o 2 metry a znovu se změří výkon  $P_2$  na jeho výstupu. Nakonec je změřen vstupní výkon  $P_1$  a útlum je pak možno spočítat podle vztahu:

$$A(\lambda) = 10 \log \left( \frac{P_2}{P_1} \right) \quad (1)$$

Kde:

$A(\lambda)$  [dB].....útlum trasy  $v$  na dané vlnové délce

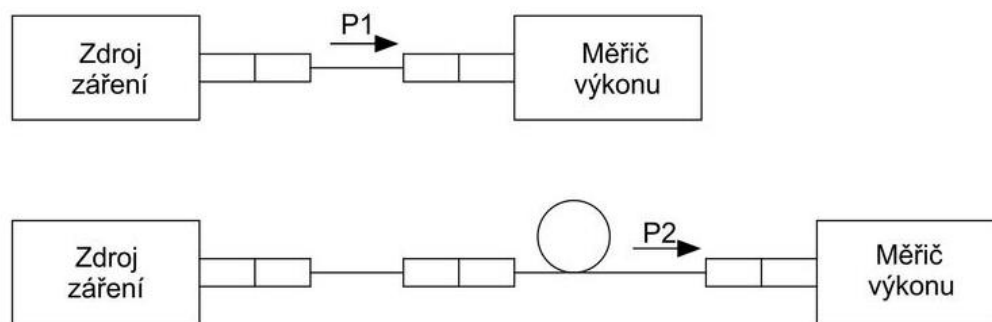
$P_1$  [W].....výkon navázaný do vlákna na začátku trasy

$P_2$  [W].....výkon vyvázaný na konci trasy

### 1.3.2 Metoda vložených ztrát

Stejně jako u metody dvou délek se jedná o metodu transmisní, dvoustupňovou, využívá stejné měřicí techniky, ale není destruktivní [12]. Tato metoda se velmi často využívá pro měření optického útlumu při závěrečných kontrolách optických tras a následně při měření během údržby. V případech měření jednovidových vláken a kabelů tato metoda vykazuje nižší přesnosti, proto není pro tyto případy vhodná.

V prvním kroku je soustava kalibrována propojením zdroje záření a měřiče optického výkonu měřicím referenčním vláknem (modulem) o délce  $2 \pm 0,2$  m. Takto naměříme referenční hodnotu optického výkonu  $P_2$ . V druhém kroku vyměníme referenční modul za měřené vlákno a odečteme hodnotu  $P_1$ . Výpočet je stejný jako u metody dvou délek (1).



Obr. 1.3.2-1: Schéma metody vložených ztrát. Převzato z [12].

### 1.3.3 Metoda zpětného rozptylu - OTDR

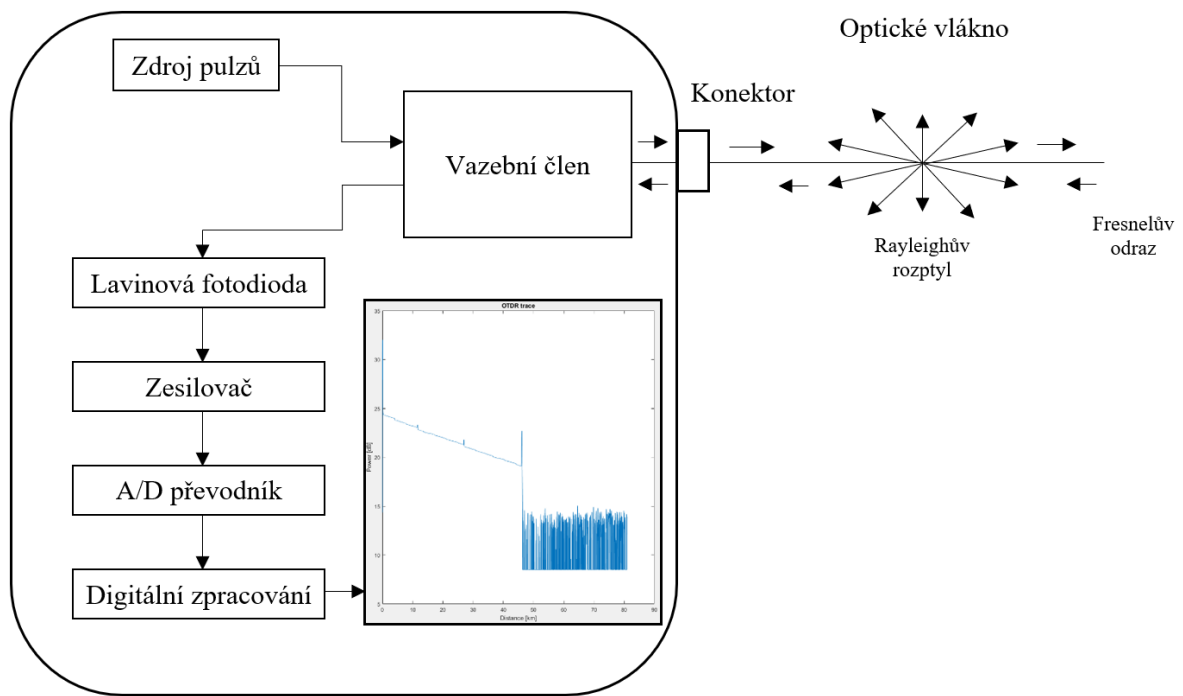
Metoda zpětného rozptylu OTDR (*Optical Time-Domain Reflectometry*) je jednou z metod, jak měřit útlum optických vláken. Je metodou nedestruktivní (není třeba vlákno dělit na části) a pro správnou funkci je potřeba přístup pouze k jednomu konci vlákna. To je výhodné především v případech, kdy se k druhému konci vlákna velmi obtížně dostává

(porušení vlákna uloženého pod zemí, měření na vláknech, která jsou v provozu, vlákna, jejichž konce jsou od sebe geograficky značně vzdálené apod.). Metoda zpětného rozptylu je založena na měření Rayleighova rozptylu a Fresnelova odrazu od nehomogenit ve vlákne (typicky zpětný odraz od konektorů, spojek, konce vlákna). Díky těmto jevům je možné zjistit nejen celkový útlum vlákna (vláken), jako tomu je u běžných metod měření útlumu (např. metoda dvou délek, metoda vložných ztrát), ale i jeho průběh a profil podél celé optické trasy. Dokážeme tedy pomocí této metody detekovat útlum jednotlivých úseků trasy a přibližné umístění útlumových událostí, jako jsou svary, konektory, ohyby, splittery, defekty vlákna, tedy obecně místa, kde se skokově mění útlum procházejícího záření v důsledku různých událostí.

#### *1.3.3.1 Optický reflektometr (OTDR)*

Měřicí přístroj založený na metodě OTDR (optický reflektometr) vysílá do připojeného vlákna posloupnost krátkých optických pulzů, které jsou definovány svojí šířkou a periodou. Jednotlivé pulzy mohou mít délku desítky nanosekund až desítky mikrosekund, záleží na požadovaných vlastnostech měření. Kratší pulzy poskytují vyšší přesnost určení významných útlumových událostí (konektor, svar), ale současně s tím je nižší jejich celková energie (úměrná ploše pulzu), která určuje dynamický rozsah měření. Pro překlenutí požadované hodnoty útlumu měřené trasy (např. dlouhá vlákna, vlákna s řadou útlumových prvků) je proto potřeba zvolit dostatečnou šířku pulzu tak, aby dynamický rozsah měření byl větší než předpokládaný útlum trasy, v opačném případě je měření zatíženo a znehodnoceno vysokou úrovní šumu a obtížně se pak v průběhu útlumu hledají významné události. Zvolením delších pulzů je pak možné analyzovat delší trasy (více energie se rozptyluje a odraží zpět), ale přicházíme o přesnost určení umístění jednotlivých událostí (konektor pak dle měření může mít délku v řádu stovek metrů až jednotek kilometrů) v důsledku vzniku tzv. mrtvé zóny.

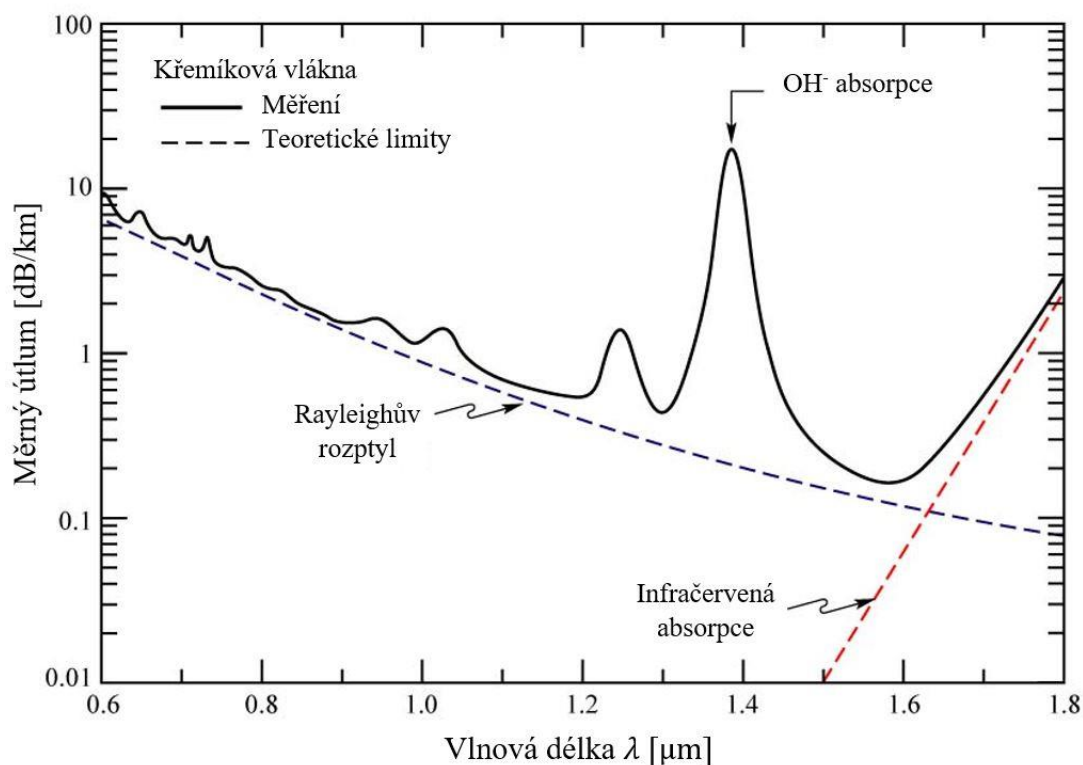
Zjednodušené blokové schéma optického reflektometru je možné vidět na Obr. 1.3.3-1. Zdroj pulzů zahrnuje generátor pulzů a generátor světla, typicky laser (laserová dioda – LD), který má lepší spektrální vlastnosti než LED dioda. Pulzy směřují do vazebního článku, který propouští záření do vlákna a záření směřující zpětným směrem (odražené) směřuje na fotodetektor, což je v tomto případě lavinová fotodioda. Z vazebního článku jsou pulzy přes konektor navázány do samotného optického vlákna. Obvykle se před měřené vlákno ještě nastavuje vlákno předřadné, kvůli výskytu tzv. mrtvé zóny v důsledku odrazu pulzů na výstupním konektoru optického reflektometru. Takové vlákno je typicky jednotky kilometrů dlouhé. Odražené záření směřuje zpět do optického reflektometru, je zachyceno lavinovou fotodiodou, zesíleno v integrátoru, převedeno do digitální formy a na displeji se pak zobrazí naměřený průběh, který lze dále analyzovat [3].



Obr. 1.3.3-1: Blokové schéma optického reflektometru [2].

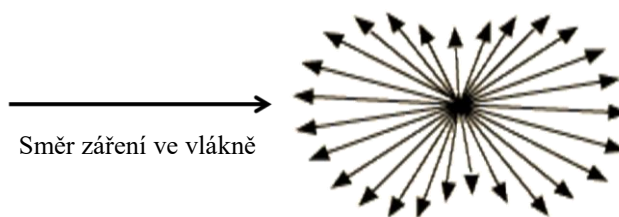
### 1.3.3.2 Rayleighův rozptyl

Rayleighův rozptyl je jeden z významných činitelů útlumu v dnešních optických vláknech. Rozptyl ve vláknech obecně vzniká v důsledku nehomogenit indexu lomu (lokálních změn indexu lomu), které jsou v případě Rayleighova rozptylu mnohem menší, než vlnová délka záření (menší než desetina vlnové délky). Tyto změny jsou způsobeny (amorfním) uspořádáním molekul v optickém vlákne a tepelnými kmity molekul materiálu, ze kterého je optické vlákno vyrobeno [1]. Z těchto důvodů se Rayleighova rozptylu a s ním spojeného útlumu nedá zbavit ani podchlazením daného vlákna na teplotu blízké absolutní nule. Útlum Rayleighovým rozptylem tedy určuje teoretický minimální možný útlum vlákna, jak je zřejmé z Obr. 1.3.3-2 pro křemíkové vlákno.



Obr. 1.3.3-2: Průběh měrného útlumu křemíkového vlákna v závislosti na vlnové délce. Převzato z [15].

Vzhledem k faktu, že Rayleighův rozptyl je téměř všesměrový (viz Obr. 1.3.3-3), je možné ho využít právě pro optickou reflektometrii. V tomto případě se ale využijí pouze paprsky odražené ve zpětném směru, které splňují podmínku absolutního odrazu. Paprsky směřující do bočních stěn vlákna, které nesplňují podmínku absolutního odrazu a jsou z jádra vlákna rychle vyvázána ven, pouze přispívají ke zvýšení útlumu vlákna [3]. Vzhledem k tomu, že zpětně odražená energie v důsledku Rayleighova rozptylu je velmi malá, musí se pro dostatečně přesné měření vyslat periodicky velké množství pulzů a provést průměrování.

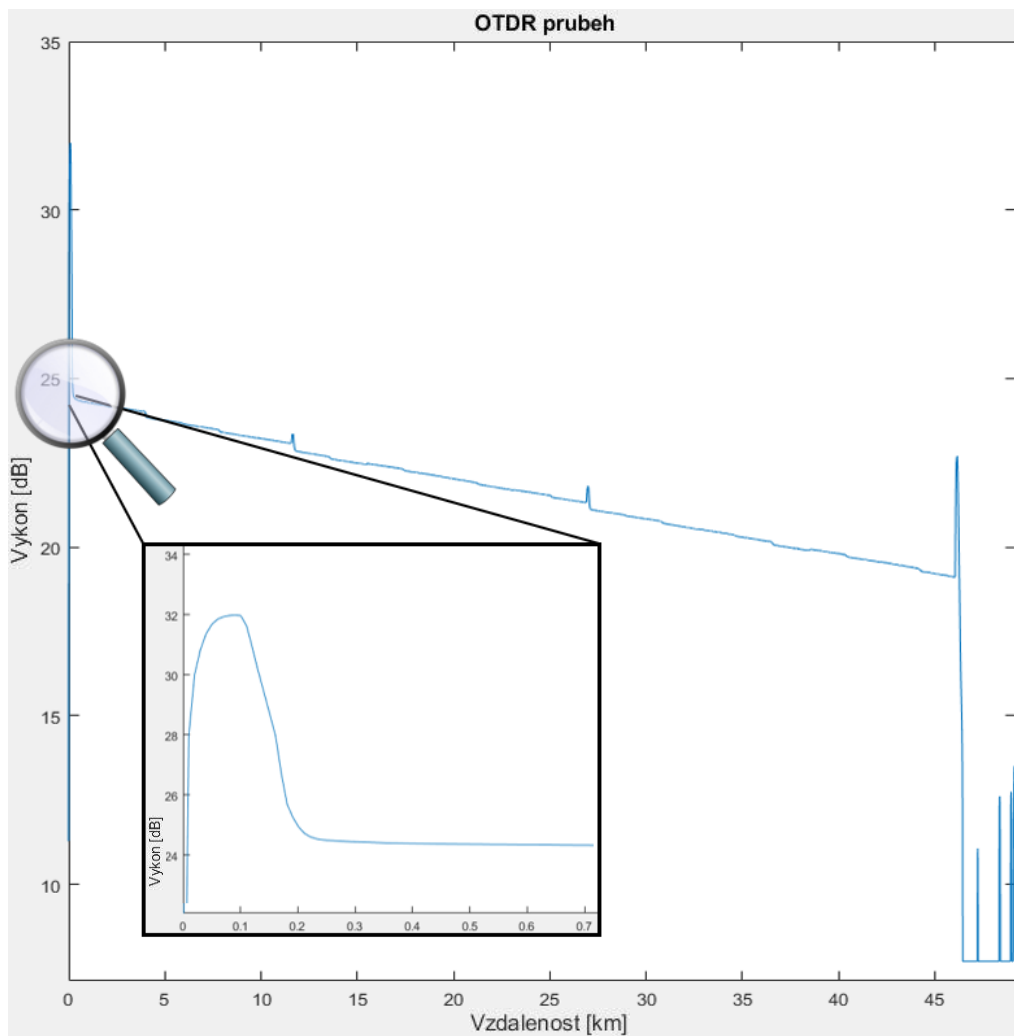


Obr. 1.3.3-3: Ilustrace všesměrovosti Rayleighova rozptylu. Převzato z [16].

### 1.3.3.3 Mrtvá zóna

Mrtvá zóna optického reflektometru je oblast, ve které není možné měřit žádné útlumové události vlivem dočasné saturace lavinové fotodiody v reflektometru OTDR z důvodu příjmu odražených pulzů. Prvotní mrtvá zóna je způsobena Fresnelovým odrazem

na výstupním konektoru optického reflektometru (v místě, kde se připojuje měřené optické vlákno) a rovněž při každém skokovém přechodu útlumu podél trasy (typicky konektory, spojky) vzniká za daným místem mrtvá zóna. Délka mrtvé zóny se typicky pohybuje od desítek až po stovky metrů v závislosti na zvolené délce pulzu, který vysílá měřicí přístroj OTDR. Pro omezení vlivu první mrtvé zóny na měření se často využívá předřadných vláken. Ta se zapojují před dané vlákno, u kterého je potřeba změřit průběh útlumu, a mají certifikované parametry a průběh útlumu.



*Obr. 1.3.3-4: Zobrazení prvotní mrtvé zóny na reálném průběhu. V tomto případě byla délka pulzu nastavena na 1  $\mu$ s. Vzniklá mrtvá zóna má přibližně 200-250 metrů.*

Jestliže se vyskytnou v trase 2 odrazné události na krátké vzdálenosti, je možné definovat i tzv. identifikační mrtvou zónu (identifikační vzdálenost) [1] – vzdálenost dvou odrazných událostí, které lze od sebe bezpečně odlišit.

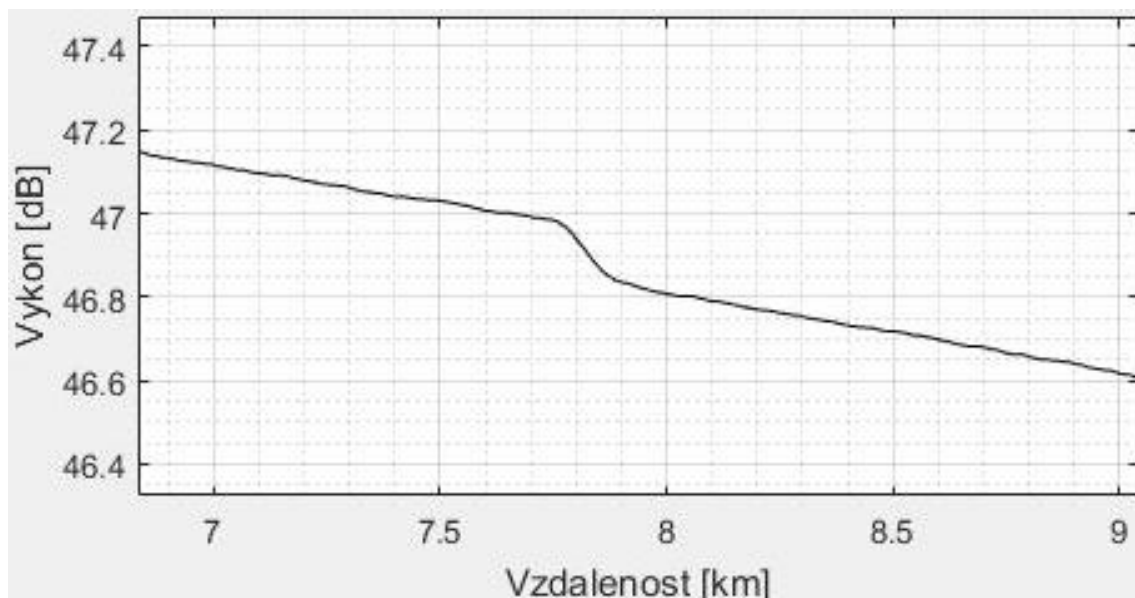
#### 1.3.3.4 Popis křivek a anomálií v průběhu zpětného rozptylu

Aby bylo možné správně interpretovat výstupy z optického reflektometru, je nutné definovat tvary křivek, které se mohou vyskytnout ve výsledném průběhu. Na grafu výstupu z OTDR je v zásadě možné rozeznat 2 typy útlumových událostí:

- Reflektivní – typicky konektor
- Nereflektivní - typicky svar, ohyb

Reflektivní (odrazivá) útlumová událost se vyznačuje špičkou výkonu v průběhu zpětného rozptylu, jak je tomu na Obr. 1.3.3-6. Tento úkaz je způsoben Fresnelovým odrazem na nepřizpůsobeném rozhraní, nejčastěji jádro-vzduch. Typicky se toto rozhraní vyskytuje u konektorů.

Nereflektivní (neodrazivá) útlumová událost je typická lokálním zvýšením útlumu, tedy snížením výkonu v průběhu zpětného rozptylu. Nereflektivní událostí může být jakýkoli neodrazivý defekt vlákna, jako např. svar či makroohyb. Typický vzhled takové události je možné vidět na Obr. 1.3.3-5. Speciálním typem je tzv. ziskový svar (viz Obr. 1.3.3-7), který místo lokálního zvýšení útlumu zdánlivě způsobí zesílení. To je způsobeno vyšší hodnotou Rayleighova rozptylu připojovaného vlákna. Vzhledem k tomu, že v takovém vlákne dochází k větším ztrátám ve formě rozptylu, má obvykle vyšší měrný útlum. Na Obr. 1.3.3-8 je pak možné vidět jednotlivé útlumové události v naměřeném průběhu.

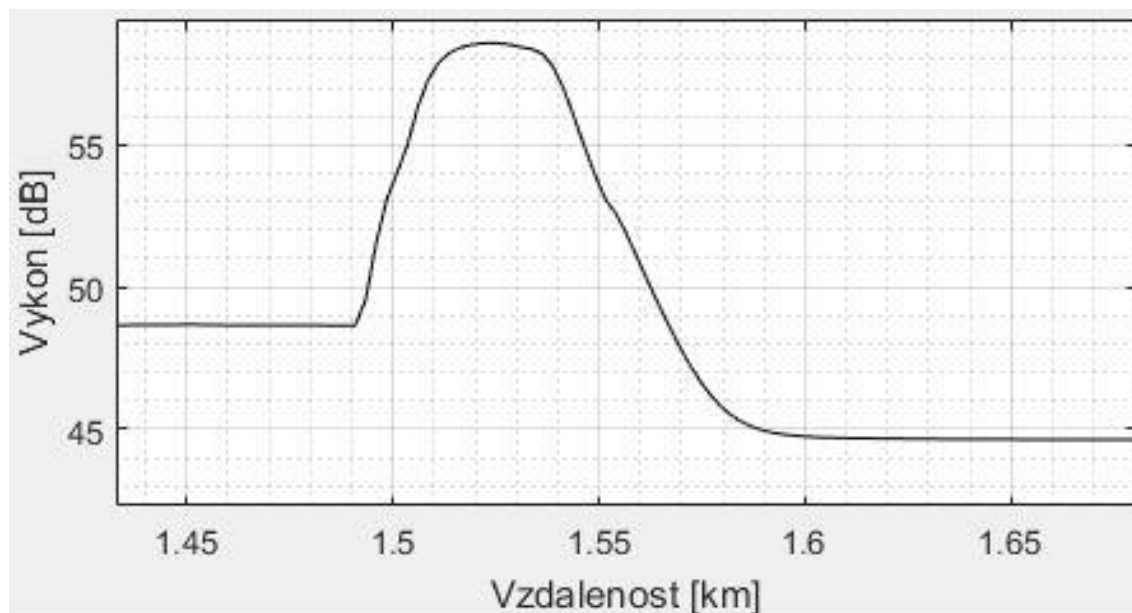


Obr. 1.3.3-5: Znázornění nereflektivní útlumové události (typický svar, ohyb).

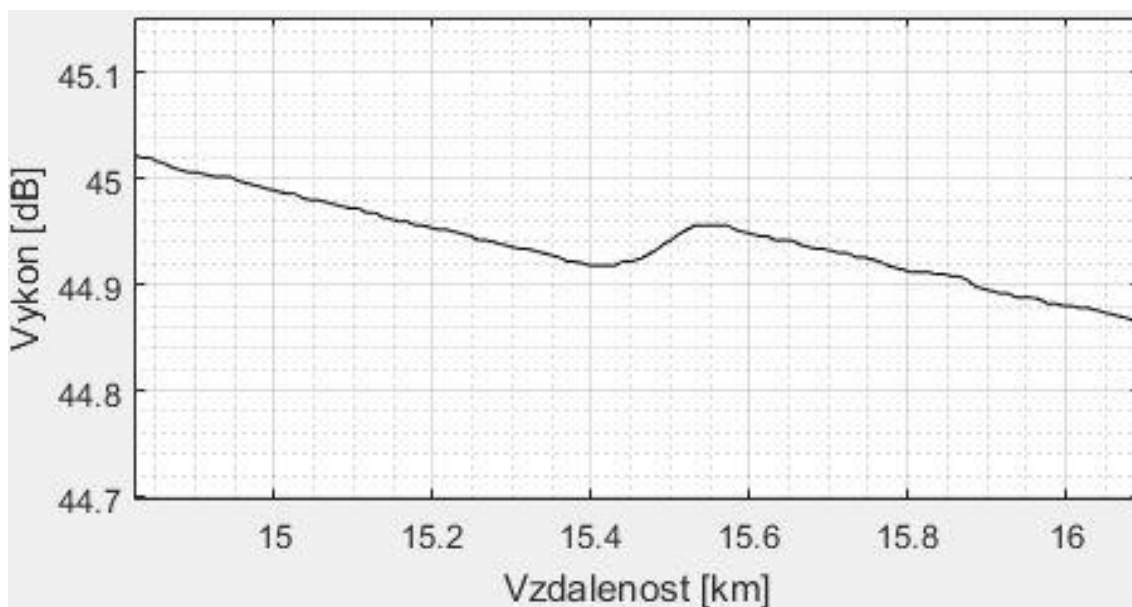
Nejobvyklejším spojením v optických trasách bývají právě svary a konektory. Výhodou konektoru je snadná rozpojitelnost. Nevýhodou je obvykle jeho vyšší útlum, než je tomu u ostatních forem spojů. Ten je způsoben přítomností vzduchové mezery mezi spojovanými vlákny [14]. Procházející paprsek tedy musí překonat dvě rozhraní (vlákno-vzduch, vzduch-vlákno), kde se vždy část jeho energie odrazí. Tento odraz je pak detekovatelný optickým reflektometrem jako výše uváděný skokový nárůst výkonu. Ne



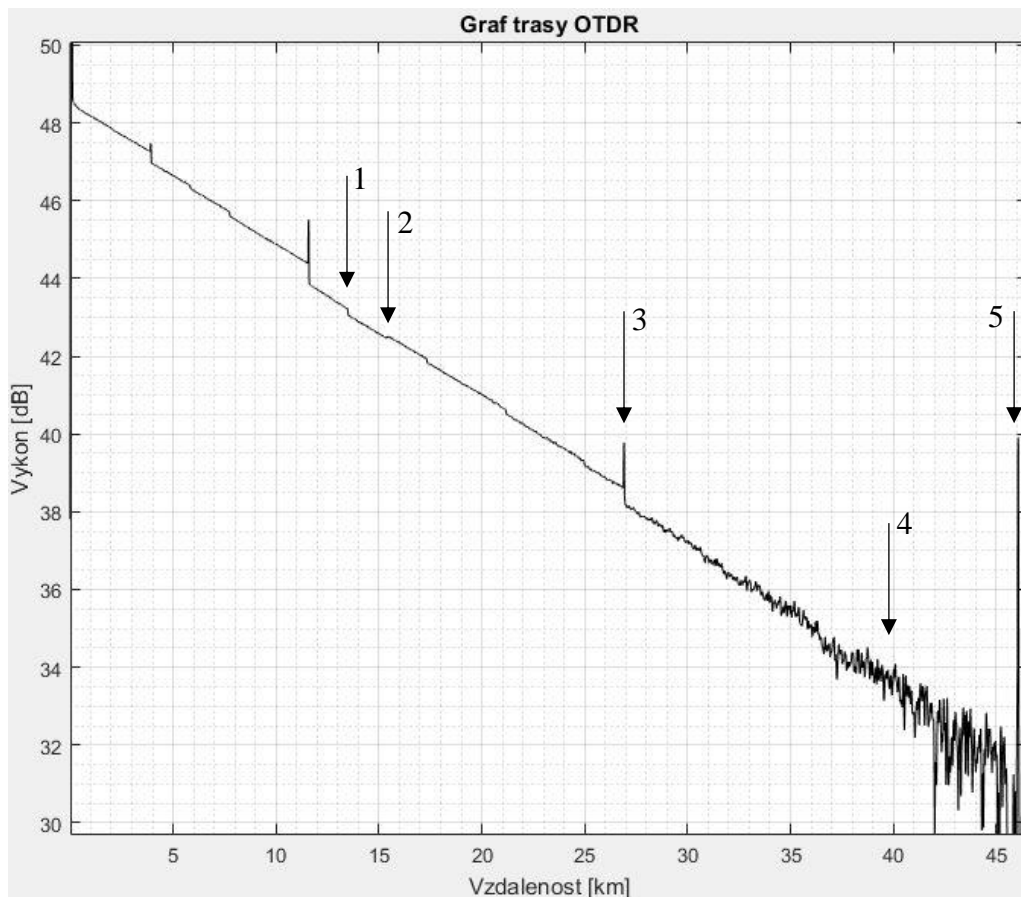
každý konektor ale na průběhu zpětného rozptylu vypadá totožně. Vhodným tvarem ferule je možné výrazně zvýšit útlum odrazu a zamezit tak návrat energie zpět do zdroje.



Obr. 1.3.3-6: Zobrazení reflektivní události (typický konektor).



Obr. 1.3.3-7: Zobrazení tzv. ziskového svaru - speciálního typu nereflektivní události.



Obr. 1.3.3-8: Typický průběh zpětného rozptylu (OTDR) z naměřené trasy. 1 – svar, 2 – tzv. ziskový svar, 3 – konektor, 4 - šum, 5 - konec vlákna.

## 1.4 Formát SOR pro ukládání naměřených hodnot optickým reflektometrem

SOR (Standard OTDR Report) je standardizovaný datový formát vytvořený společností Telcordia, který slouží pro ukládání naměřených dat z optického reflektometru. Tento standard (Telcordia Optical Time-Domain Reflectometer (OTDR) Data Format, SR-4731, Issue 2) byl vytvořen za účelem sjednocení výstupního formátu dat z OTDR přístrojů. [4] Standard SR-4731 není volně přístupný (750\$ USD na [4]), tudíž je nutné pro zjištění obsahu SOR datového formátu jiných metod – zkoumání výstupů OTDR měřičů za pomoci volně dostupného softwaru HexEdit [7]. Bohužel bez přístupu k samotnému standardu Telcordia SR-4731 nebylo možné zjistit dostatečné množství informací na to, aby na nich šlo založit nahrávání dat do Matlabu. Po konzultaci s vedoucím práce je proto práce zaměřena spíše na praktickou část a tvorbu samotného detekčního programu v Matlabu. Aby bylo možné dále pracovat s naměřenými daty, bylo využito aplikace sor2csv, pomocí které je možné převést soubory ve formátu SOR do csv.

## 2. Praktická část

V praktické části diplomové práce jsou uvedeny podrobnosti o provedených měřeních, jejich zpracování v softwaru Matlab a porovnání se zobrazovacím softwarem JDSU Fiber Traceviewer přímo od výrobce použitého reflektometru OTDR. Je kladen důraz na detekci útlumových událostí, které nebyl schopen optický reflektometr (a přiložený software) detekovat, přesto jsou ve finálním průběhu útlumu znatelné. Vytvořený program v softwaru Matlab by měl tyto události detekovat, případně kategorizovat, zda se jedná o Fresnelův odraz (typicky konektor, splitter...) či pouze o pokles výkonové úrovně (svar).

V první části jsou popsány detaily vytvořeného programu pro automatickou detekci útlumových událostí na optické trase pomocí softwaru Matlab. Jsou zde popsány prvky uživatelského rozhraní a pokyny pro obsluhu programu. Následuje vysvětlení prováděných výpočtů a z nich vycházející automatické detekce útlumových událostí.

Druhá část je zaměřena na provedená měření, která proběhla na Fakultě elektrotechnické ČVUT v Praze na optickém reflektometru JDSU MTS-6000 [9]. Pro první měření byla využita testovací optická trasa skládající se ze 24 úseků různých optických vláken (délky cca 2 kilometry), která jsou svařena do série za sebou (23 svarů). Druhé měření bylo provedeno s předřadným vláknem o délce 1,48 kilometru a měřeným vláknem o délce 1,64 kilometru. Mezi nimi byl zapojen pasivní rozbočovač (splitter) s poměrem 50:50 s dvěma výstupy, kde poměr 50:50 znamená rovnoměrné rozdělení vstupního výkonu do splitteru mezi tyto výstupy. Jednotlivá měření jsou analyzována nejprve za pomoci JDSU Fiber TraceViewer, poté pomocí vytvořeného programu v softwaru Matlab a následně jsou výsledky analýzy pro oba případy porovnány.

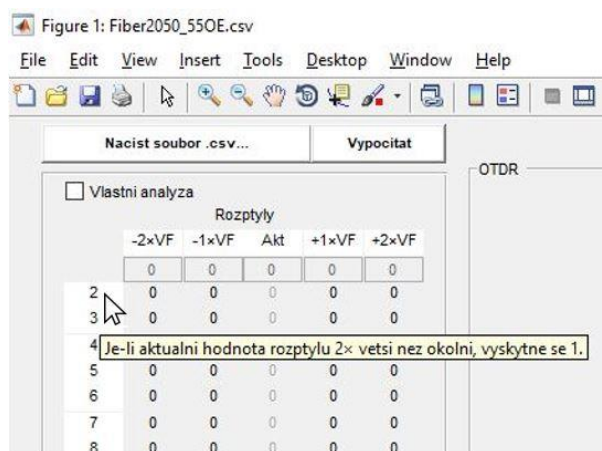
### 2.1 Program pro automatickou detekci útlumových událostí

Základem vytvořeného programu v softwaru Matlab (verze R2017a) pro automatickou detekci útlumových událostí je schopnost načíst naměřené hodnoty. Ani po dlouhodobém zkoumání datového formátu SOR, do kterého ukládají optické reflektometry naměřená data, za pomoci softwaru HexEdit [7] však nebylo možné bez přístupu k samotnému standardu Telcordia SR-4731 dostatečně rozklíčovat jednotlivé bloky [5] tak, aby z nich bylo možné přečíst veškerá potřebná data pro následné zpracování (alespoň zvolená šířka pulzu, index lomu jádra, naměřená data). Proto bylo se souhlasem vedoucího práce v průběhu vývoje programu využíváno dvou aplikací, pomocí kterých bylo možné získat potřebná data. První využívanou aplikací byla sor2csv [8], která získává a exportuje naměřená data z formátu SOR do formátu csv. Ve vytvořeném detekčním programu jsou pak data načtena (z formátu csv) do dvou vektorů (výkonu a vzdálenosti) a dále zpracovávána. Pro získání dodatečných informací bylo využito aplikace JDSU Fiber Trace Viewer [6], ve které lze zobrazit podrobnější parametry měření jako například nastavenou šířku pulzu, index lomu jádra a nebo délku průměrování (snímací čas). Pro detekci jsou využity parametry index lomu jádra, pomocí kterého se přepočítává doba šíření pulzu na vzdálenost, a šířka pulzu, která stanovuje identifikační vzdálenost.

## 2.1.1 Popis prvků grafického rozhraní

Tato kapitola je věnována prvkům uživatelského rozhraní, jako jsou tlačítka, zaškrtnávací políčka či tabulka detekovaných událostí. Je zde popsáno, k čemu jednotlivé komponenty slouží a jakým způsobem je používat. Celé grafické rozhraní je možné vidět na Obr. 2.2.2-1 na str. 82 (po spuštění programu), resp. Obr. 2.2.2-2 na str. 83 (po načtení naměřených dat).

V samotném programu jsou implementovány nápovědy ke každému prvku, pokud se nad daný prvek najede kurzorem, což je možno vidět na Obr. 2.1.1-1. Nápověda se bude zobrazovat pouze tehdy, je-li prvek aktivní. Tedy okamžitě po spuštění programu je možné zobrazit jen nápovědu u tlačítka „Načíst soubor .csv“. Po provedení výběru měření se aktivují ostatní prvky společně s jejich nápovědami.



Obr. 2.1.1-1: Zobrazení nápovědy při přejetí kurzorem nad hodnotu 2 v panelu rozptylů.

### 2.1.1.1 Zobrazení průběhů

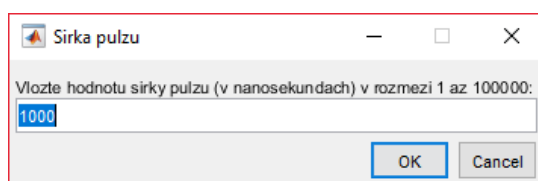
Největší plochu z grafického rozhraní zabírá panel, ve kterém se zobrazuje buďto průběh OTDR trasy, průběh derivace, či oba průběhy zároveň. Standardně po spuštění programu se zobrazuje OTDR průběh. Zobrazení po prvním běhu je možné vidět na Obr. 2.2.2-2. Graf derivace je lepší zobrazit při podrobnějším zkoumání, jelikož jsou na tomto průběhu lépe znát drobné změny v přijatém výkonu – možné útlumové události. Po zvolení měření a provedení výpočtu se zobrazí zvolený průběh s detekovanými událostmi a označeným koncem počáteční mrtvé zóny a koncem vlákna. Jestliže nedojde k detekci žádné události, zobrazí se kompletní průběh. Pokud ale dojde k nalezení alespoň jedné útlumové události, zobrazí se pouze část celého průběhu, a to od začátku po zjištěný konec vlákna, což umožňuje detailnější zobrazení části vlákna, na které záleží. Obvykle je za detekovaným koncem vlákna pouze šum, který nepřináší žádnou přidanou hodnotu.

Přepínání mezi jednotlivými průběhy je možné provést v panelu „Výběr grafu“ v levé spodní části grafického rozhraní. Detailnější informace o tomto přepínacím panelu jsou v kapitole 2.1.1.5.

### 2.1.1.2 Tlačítka

#### Tlačítko „Načíst soubor .csv“

Po spuštění programu se na obrazovce objeví hlavní okno grafického rozhraní, ve kterém jsou přítomny veškeré ovládací a zobrazovací prvky. Hned po startu je většina ovládacích prvků vypnuta, jelikož je při prvním startu nemá smysl využívat. Je možno použít pouze tlačítko „Načíst soubor .csv...“ (možno vidět na Obr. 2.1.1-3 nebo pak na Obr. 2.2.2-1 (str. 82), na kterém je vidět celé grafické rozhraní), po jehož stisku program vyzve uživatele nejprve k zadání cesty k souboru csv s naměřenými daty. Pro správnou funkci je třeba, aby byl soubor csv ve správném formátu - v prvním sloupci musí mít hodnoty vzdálenosti v kilometrech a druhý sloupec musí obsahovat hodnoty výkonu v decibelech (standardní výstup z aplikace sor2csv [8]).



Obr. 2.1.1-2: Vyskakovací okno pro zadání šířky pulzu daného měření.

Následně další vyskakovací okno vyzve uživatele k zadání šířky pulzu, která byla použita ve vybraném měření. Do okna na Obr. 2.1.1-2 je třeba zadat hodnotu šířky pulzu v nanosekundách, ale pro zjednodušení se zadávají jednotky až tisíce a do nanosekund se hodnota následně převede automaticky. Například bylo provedeno měření s nastavenou šířkou pulzu 1000 nanosekund, do okna se tedy zadá hodnota 1000 a řády se upraví automaticky.

Po správném zadání šířky pulzu a souboru s naměřenými daty se spustí výpočet a program se snaží detekovat konec počáteční mrtvé zóny a délku (konec) vlákna. Tím pak vymezi optimální rozsah vzdáleností, pro který má smysl vyhledávat útlumové události (podrobnější popis jednotlivých funkcí a výpočtů je možno nalézt v kapitole 2.1.2). Po provedení prvního výpočtu se aktivují všechny ostatní ovládací prvky.

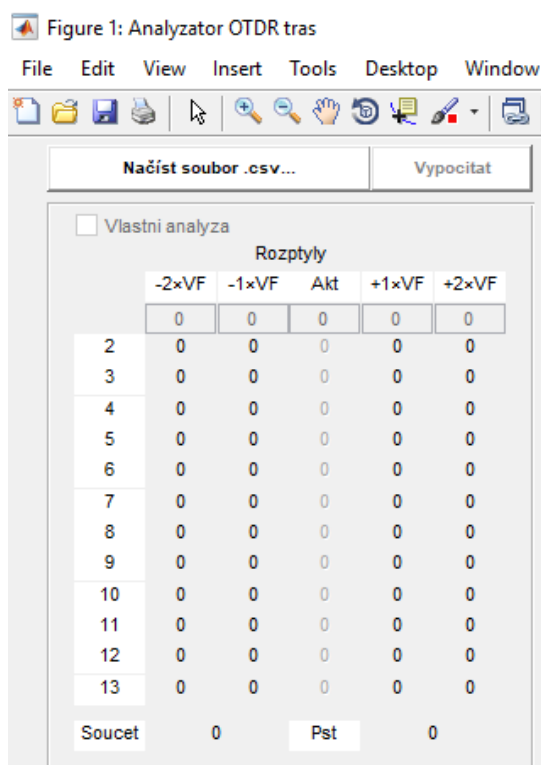
#### Tlačítko „Vypočítat“

Tlačítko „Vypočítat“ (Obr. 2.1.1-4 nebo Obr. 2.2.2-2, str. 83 – celé grafické rozhraní), které se nachází hned vedle již zmiňovaného tlačítka „Načíst soubor .csv“, se aktivuje po načtení naměřených dat společně s ostatními deaktivovanými prvky. Toto tlačítko má za úkol spustit detekci znovu po úpravě parametrů pro výpočet (především parametrů na jezdcích). Tedy pokud není detekce pro zrovna načtené měření dostatečně přesná, je možno upravit některý z parametrů a poté stisknout tlačítko „Vypočítat“ pro přepočítání. S tímto tlačítkem souvisí i zaškrťovací políčko „Průběžné výpočty“ v kapitole 2.1.1.6, které aktivuje mód, ve kterém se po změně jakéhokoli z jezdců provádí přepočet automaticky bez nutnosti mačkat tlačítko „Vypočítat“.

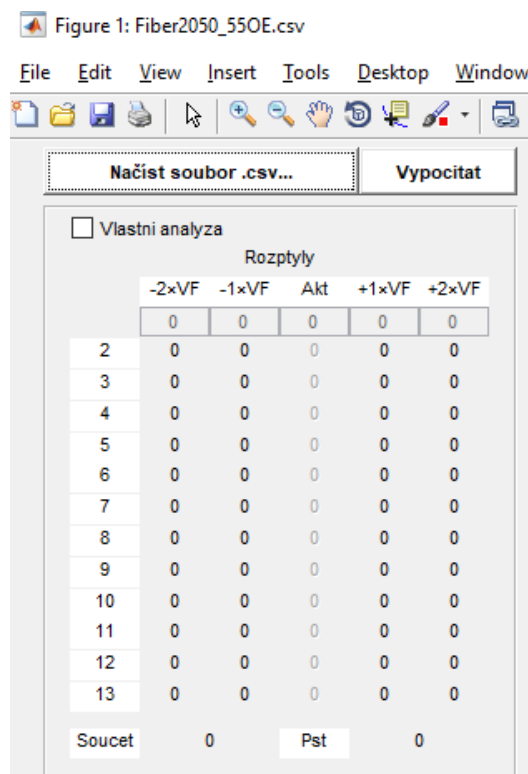


## Tlačítko „Celý průběh“

Po dokončení výpočtů standardně dojde ke zobrazení výsledků - detekovaných událostí na průběhu OTDR a průběhu derivace. Pro lepší (detailnější) zobrazení jsou upraveny limity os x i y tak, aby byly zobrazeny všechny detekované události a bylo možné je v průbězích vidět, aniž by musel uživatel grafy přibližovat. Tlačítko „Celý průběh“ umožňuje potlačit nastavené limity a zobrazit kompletní průběhy – všechna změřená data optickým reflektometrem. Toto je užitečné například tehdy, pokud byl nesprávně detekován konec vlákna a zobrazuje se tak příliš malá část z celého měření.



Obr. 2.1.1-3: Horní část ovládacího panelu hned po spuštění programu.



Obr. 2.1.1-4: Horní část ovládacího panelu po kliknutí na tlačítko „Načíst soubor .csv“ a zadání potřebných hodnot

## Tlačítko „Uložit grafy“

Tlačítko „Uložit grafy“ (umístěno ve spodní části grafického rozhraní na pravé straně vedle tabulky událostí, Obr. 2.2.2-2, str. 83) slouží k exportu výsledných grafů (průběhu OTDR a derivace) z načteného měření. Při stisku tohoto tlačítka dojde postupně ke zobrazení dvou vyskakovacích oken s výzvou pro zadání názvu, formátu a umístění souboru. Je možno vybrat z několika výstupních formátů, včetně standardního formátu JPEG, PNG či TIFF. První vyskakovací okno vyzve uživatele k uložení průběhu derivace a druhé k uložení průběhu OTDR trasy. Pro usnadnění je předvyplněn název souboru a v titulku vyskakovacího okna je popsáno, o ukládání kterého průběhu se jedná. Pokud je vyžadováno uložení pouze jednoho z grafů, je možné zrušit ukládání stiskem křížku či tlačítka „zrušit“ a zavřít tak vyskakovací okno pro daný graf.

Po vybrání umístění, zadání názvu a formátu souboru dojde k uložení do vybraného místa v počítači. Informaci o tom, kam byla data uložena následně podá informační okno, které se zobrazí po dokončení procesu ukládání (to může trvat až několik sekund).

Do výstupních obrázků s průběhy se zrcadlí vše, co je ve chvíli ukládání zobrazeno v grafech. Standardně se po spuštění programu (a načtení měření) zobrazují detekované události, konec vlákna, hranice počáteční mrtvé zóny a je zapnuta mřížka. Pro vypnutí zobrazení některé z těchto informací/prvků je nutné změnit stav (odškrtnout) příslušných zaškrťovacích políček v levém dolním rohu grafického rozhraní.

### Tlačítko „Uložit výsledky“

Podobně jako předchozí tlačítko, i toto slouží k ukládání výsledků. Tlačítko „Uložit výsledky“ má za úkol vyexportovat veškeré informace o detekovaných událostech z tabulky událostí do souboru csv či xls. Po stisku dojde ke zobrazení okna s pokyny k zadání názvu, formátu a umístění souboru, do kterého se následně mají uložit data o detekovaných událostech.

Stejně jako u předchozího tlačítka, po dokončení procesu ukládání se zobrazí informační okno s cestou k danému souboru.

### 2.1.1.3 Tabulka rozptylů

Panel obsahující zaškrťovací políčko „Vlastní analýza“ a informace o rozptylech, který je umístěn v levém horním rohu grafického rozhraní (detail na Obr. 2.1.1-3, celé grafické rozhraní na Obr. 2.2.2-1, str. 82), má za úkol zobrazovat, kolikrát je aktuální rozptyl dvou- až třinácti-násobkem rozptylů okolních. Rozptylem se v tomto případě myslí střední kvadratická odchylka derivace v intervalu, který je dán velikostí filtru ( $VF$ ), resp. počtem vzorků derivace ve vzdálenosti  $d$  až  $d + VF$  (intervaly např. pro sousední rozptyly „ $-1 \times VF$ “ a „ $-2 \times VF$ “ jsou pak:  $\langle d - VF, d \rangle$ , resp.  $\langle d - 2VF, d - VF \rangle$ ). Hodnota rozptylu v tomto intervalu určuje, jak hodně jsou kvadráty hodnot derivace vzdáleny od její střední hodnoty. Aktuální rozptyl derivace je počítán dle vzorce [11]:

$$var(der_{\langle d, d+VF \rangle}) = \frac{1}{N-1} \sum_{i=d}^{d+N} (der_i - E_{der_{\langle d, d+VF \rangle}})^2 \quad (2)$$

Kde:

$d$  [km] ..... vzdálenost od počátku

$VF$  [-] ..... velikost filtru

$N$  [-] ..... počet vzorků derivace v intervalu  $\langle d, d + VF \rangle$  (je rovno velikosti filtru na příslušném jezdcí, resp. hodnotě v popisku jezdce mimo závorku, viz Obr. 2.1.1-6 na straně 24)

$der_{\langle d, d+VF \rangle}$  [dB/km] .....  $N$  hodnot derivace v intervalu  $\langle d, d + VF \rangle$  (aktuální rozptyl)

$var(der_{\langle d, d+VF \rangle})$  [-] ..... hodnota rozptylu derivace v daném intervalu

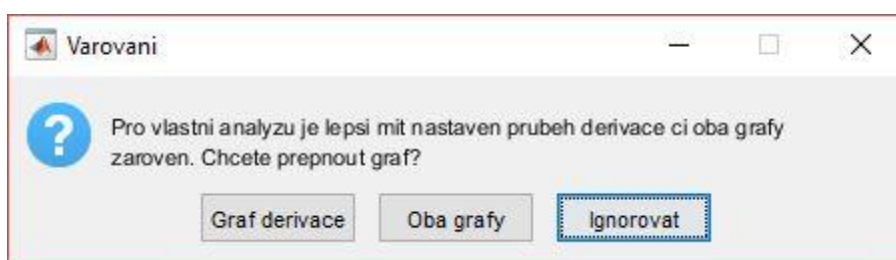
$E_{der<d,d+VF>} [dB/km]$  ..... střední hodnota derivace v daném intervalu

Pokud je políčko „Vlastní analýza“ zaškrtnuto, přejde program do módu vlastní (pokročilé) analýzy. Tento mód je uzpůsoben pro použití s průběhem derivace, jelikož jsou zde daleko lépe vidět méně výrazné změny ve výkonu, než je tomu tak u průběhu OTDR. Proto je uživatel vyzván k tomu, aby zvolil vhodné rozložení grafů, pokud se zrovna zobrazuje pouze OTDR průběh. Výzvou je myšleno vyskakovací okno (možno vidět na Obr. 2.1.1-5), pomocí kterého je možné zvolit buďto průběh derivace, oba průběhy zároveň, či ignorovat doporučení. Jestliže je již zvoleno rozložení, ve kterém je přítomen průběh derivace, spustí se znovu výpočet s tím, že se pozastaví při první iteraci a čeká na vstup z klávesnice. Ovládání módu vlastní analýzy probíhá těmito klávesami:

- **Šipka vpravo** – posun o iteraci vpřed
- **Šipka vlevo** – posun o iteraci zpět
- **g** – změna zobrazeného průběhu
- **o** – zobrazení/skrytí detekovaných událostí v průběhu OTDR
- **d** – zobrazení/skrytí detekovaných událostí v průběhu derivace
- **Esc** – dokončení výpočtu
- **Backspace** – přerušení výpočtu

Hlavními ovládacími prvky jsou šipka vlevo a vpravo. Těmi se posouvá výpočet o iteraci zpět/vpřed. Výpočet se vždy posouvá o vzdálenost o velikosti filtru, což naznačuje bleděmodrý obdélník obklopující část průběhu derivace. Mimo samotný obdélník (oblast, pro kterou se momentálně bere rozptyl jako aktuální) se zobrazuje střední hodnota derivace od konce počáteční mrtvé zóny po detekovaný konec vlákna. Pomocí klávesy „g“ je možno rotovat v možných zobrazeních – zobrazení průběhu OTDR, derivace, či obou průběhů zároveň. Klávesami „o“ a „d“ je možné zobrazit nebo skrýt detekované události v průbězích OTDR („o“) a derivace („d“).

Posouváním není možné dostat mimo meze, tedy před začátek vlákna a za jeho konec. Pro rychlé dokončení výpočtu je třeba stisknout klávesu esc – dokončí se tak výpočet již bez asistence uživatele. Pokud je třeba výpočet přerušit, je možné stisknout klávesu backspace. Tímto se přeruší výpočet a pole detekovaných událostí bude nulové. V průběhu vlastní analýzy není možné měnit žádné parametry, ani přepínat průběhy. Pro změnu jakýchkoli parametrů či zobrazení je nutno dokončit výpočet.



Obr. 2.1.1-5: Okno vyzývající k přepnutí na zobrazení obsahující průběh derivace.

Násobky rozptylu jsou naznačeny v levé části panelu čísly 2 až 13. Například pokud má aktuální rozptyl hodnotu 0,5 a všechny okolní rozptyly hodnotu 0,2, bude první řádek (řádek vedle hodnoty 2) naplněn hodnotami 1 (0,5 je dvakrát větší než 0,2, ale není třikrát větší, proto se v dalších řádcích budou nacházet nuly).

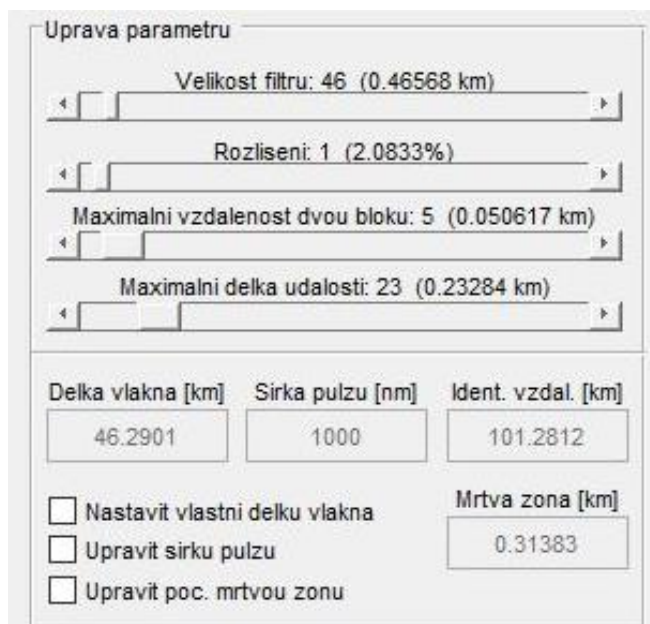


V horní části se nacházejí popisky ( $-2 \times VF$ ,  $-1 \times VF \dots$ ) vztahující se k hodnotám rozptylů, které se, v případě zaškrtnutého tlačítka „Vlastní analýza“, zobrazují pod nimi. Pod políčkem s označením „ $-2 \times VF$ “ se zobrazí rozptyl z intervalu, který je posunutý vlevo o dvojnásobek velikosti filtru, pod políčkem s označením „ $+2 \times VF$ “ pak rozptyl posunutý vpravo o dvojnásobek velikosti filtru atd.

Pole součet a pravděpodobnost v dolní části panelu slouží pro rychlý náhled, zda (a s jakou pravděpodobností) se v dané oblasti, o velikosti filtru, vyskytuje útlumová událost (příklad na Obr. 2.1.2-4). Pravděpodobnost přímo odpovídá součtu hodnot „1“ v tabulce rozptylů poděleném počtem všech možných hodnot „1“, v tomto případě  $12 \times 4 = 48$ . Čím vyšší aktuální rozptyl oproti čtyřem okolním, tím větší pravděpodobnost výskytu útlumové události. Číslo horního násobku – 13 – bylo zvoleno experimentálně z provedených měření. Čím vyšší číslo (násobek rozptylu), tím vyšší práh pro stoprocentní pravděpodobnost výskytu události. Pokud by bylo zvoleno příliš vysoké číslo násobku, všechny detekované události by měly malou pravděpodobnost výskytu v daném intervalu.

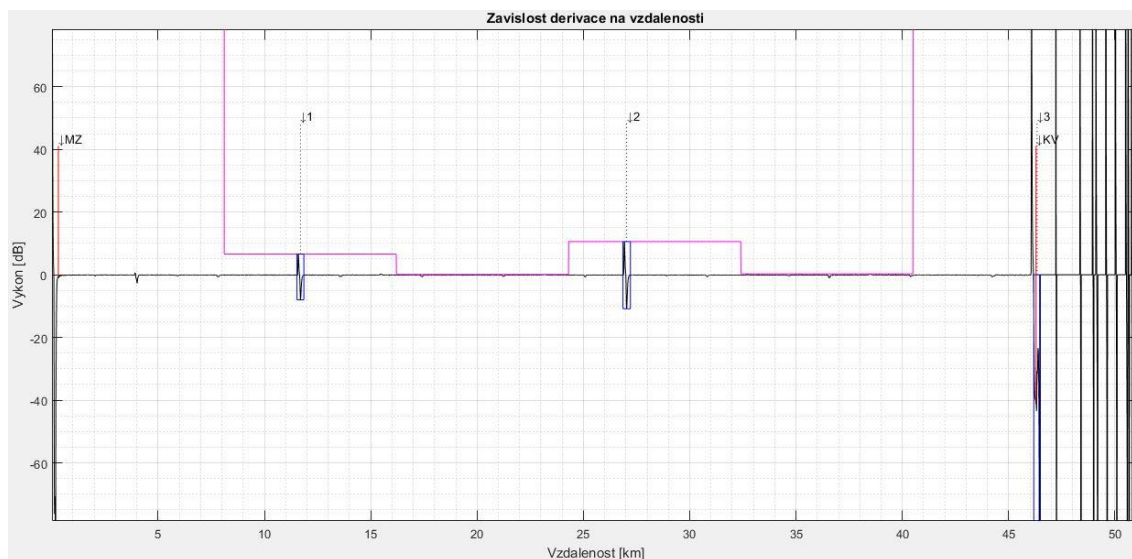
#### 2.1.1.4 Panel „Úprava parametrů“

Tento panel (detail na Obr. 2.1.1-6) v levé části grafického rozhraní slouží ke dvěma účelům. Po vybrání naměřených dat zobrazuje důležité parametry, ze kterých se vychází při výpočtech (velikost filtru, rozlišení atd), a umožňuje tyto parametry upravit, pokud nebyla detekce provedena dostatečně spolehlivě (obzvláště konec počáteční mrtvé zóny či konec vlákna). Šířka pulzu je zde přepočítána na identifikační vzdálenost, pomocí které se určuje již zmiňovaný konec počáteční mrtvé zóny. Dále je možné měnit přímo hodnoty parametrů na jezdcích, jejichž význam je vysvětlen v následujících odstavcích.



Obr. 2.1.1-6: Panel, pomocí kterého lze upravovat jednotlivé parametry výpočtu, pokud základní nedávají uspokojivé výsledky.

**Velikost filtru** označuje vzdálenostní interval (počet vzorků), v rámci kterého se počítá klouzavý rozptyl derivace načteného měření. Tento parametr je klíčový pro správnou detekci útlumových událostí, proto se musí vhodně zvolit. Čím větší vzdálenostní interval (velikost filtru), tím větší musí být lokální výchylka derivace, aby byl touto výchylkou rozptyl v daném intervalu dostatečně ovlivněn – zvýšen, a došlo tak k detekci události. Proto tedy jestliže je nastavena příliš vysoká hodnota velikosti filtru, dojde k detekci pouze velmi vysokých výchylek derivace – události s vysokým útlumem či odrazem. Demonstrace příliš vysoké hodnoty velikosti filtru je možno vidět na Obr. 2.1.1-7. Růžová čára zobrazující lokální maxima v rámci intervalu jedné velikosti filtru naznačuje, že byla zvolena příliš vysoká hodnota velikosti filtru. Tomu odpovídá i počet detekovaných událostí, i když je na průběhu derivace zřejmé, že se zde nacházejí i jiné útlumové anomálie (nerovnosti na průběhu).



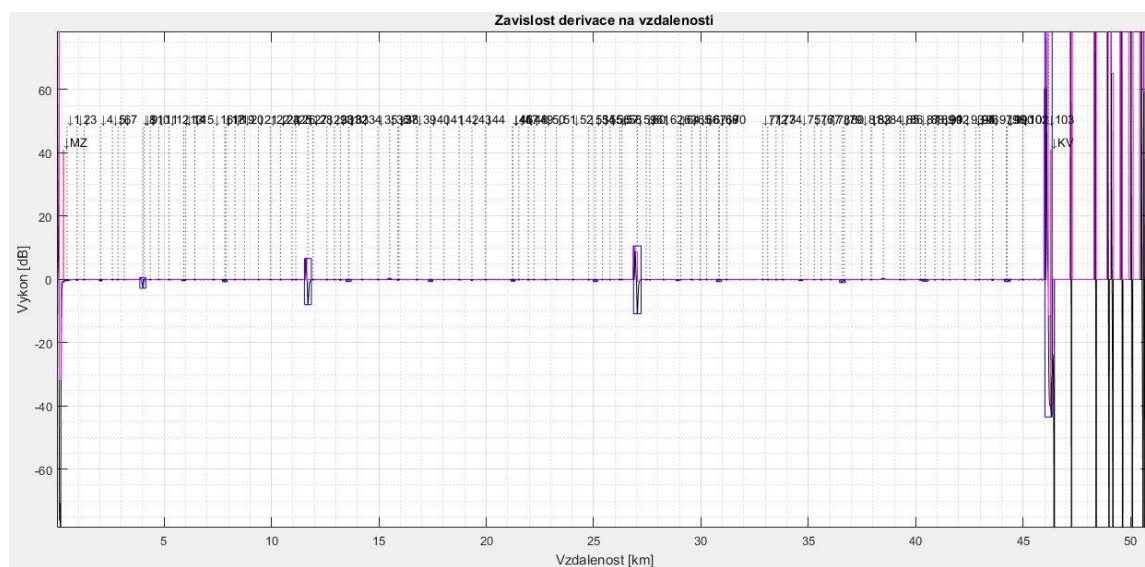
Obr. 2.1.1-7: Zvolení příliš vysoké hodnoty velikosti filtru (8 kilometrů). Růžová čára ukazuje maximální hodnoty derivace v rámci intervalu jedné velikosti filtru.

Naopak je-li hodnota velikosti filtru příliš malá, může docházet k detekci událostí, které jsou již pod prahem šumu – ve skutečnosti se na tomto místě žádná útlumová událost nevyskytuje. V tomto případě se totiž bere rozptyl z příliš malého okolí a je daleko větší pravděpodobnost, že aktuální rozptyl bude alespoň dvojnásobkem některého ze čtyř okoních. Na Obr. 2.1.1-8 je možné vidět důsledek zvolení příliš malé velikosti filtru. Dochází tak k detekci šumu jako útlumových událostí, protože je rozptyl v rámci malého intervalu vzdáleností daleko snáze ovlivnitelný i malými výkyvy v hodnotách derivace. Obvykle ale tyto události mají malou pravděpodobnost, tudíž se dají částečně odstranit následujícím jezdcem pro úpravu detekční hranice.

Jezdec „**Rozlišení**“ slouží k tomu, aby bylo možné stanovit hranici, pod kterou je již pravděpodobnost detekované události tak nízká, že již nemá smysl ji zahrnovat do výsledků. Standardní hodnota po spuštění programu je 1, tedy součet všech hodnot z tabulky rozptylů musí být větší než 1 (tedy její pravděpodobnost musí být větší než 1/48), aby se daná událost zapsala do tabulky výsledků. Po načtení měření je možné jezdcem pohybovat a určovat tak vlastní hranici detekce.

**Maximální vzdálenost dvou bloků** je parametr, který určuje největší možnou vzdálenost, při které se ještě považují 2 nejdelší bloky za sebou jdoucích hodnot, které překračují stanovenou hodnotu (buď dvojnásobek nejčastějšího prvku v derivaci, či polovinu maxima v daném intervalu, pokud je nejčastější prvek roven nule), za jednu událost. Tento parametr je zaveden kvůli způsobu určování začátků a konců detekovaných událostí. Jelikož některé události mohou mít pouze zápornou/kladnou hodnotu derivace (kvalitní svar bez odrazu) a jiné mohou obsahovat zápornou i kladnou hodnotu derivace (typicky odrazivé události), jsou hodnoty derivace převedeny do absolutních hodnot. V absolutní hodnotě dojde k tomu, že se záporná špička derivace převede do kladné, ale obvykle je mezi kladnou a zápornou špičkou (pro odrazivé události) určitá vzdálenost, protože mezi špičkami klesá derivace opět k nule). Maximální vzdálenost dvou bloků určuje právě tuto vzdálenost. Pokud vzdálenost mezi detekovanými špičkami překračují tuto vzdálenost, zaznamená se jako událost pouze širší z nich. Pokud jsou stejně široké, zaznamená se jako událost ta vyšší.

Je možné, že nastane situace, kdy dojde k detekci pouze části události. Pro tento případ je implementován jezdec „**Max interval pro určení události**“. Tento parametr určuje, v jaké vzdálenosti vlevo a vpravo od lokálního maxima derivace se má vyskytovat začátek a konec události. Samotná délka události může být větší než hodnota tohoto parametru. To je dáno tím, že tento parametr určuje vzdálenost pouze na jednu stranu (vlevo/vpravo) od lokálního maxima derivace.



Obr. 2.1.1-8: Zvolení příliš nízké hodnoty velikosti filtru (100 metrů). Růžová čára zobrazuje lokální maxima derivace v rámci intervalu jedné velikosti filtru.

Další parametry (délku vlákna, šířku pulzu, konec počáteční mrtvé zóny) je možné upravovat až po zaškrtnutí příslušných políček. Do políčka „Délka vlákna“, stejně jako do políčka „Mrtvá zóna“, není možné zadat hodnoty mimo limity měření (vzdálenosti záporné, nebo naopak větší než vzdálenost konce měření). Šířka pulzu je limitována na hodnoty od 1 ns do 100  $\mu$ s. Vzdálenost konce počáteční mrtvé zóny by měla být vždy menší než je délka vlákna.

Po odškrtnutí políček pro úpravu parametrů ve spodní části panelu (Obr. 2.1.1-6) dojde k navrácení původních hodnot pro dané měření a pokud je zaškrtnuto políčko

„Průběžné výpočty“, dojde k přepočítání. Při zaškrtnutém políčku „Průběžné výpočty“ je po změně některého ze zadávaných parametrů (šířka pulzu, délka vlákna, mrtvá zóna) nutné pro potvrzení stisknout klávesu enter, až poté proběhne výpočet.

#### 2.1.1.5 Přepínání grafů

Pod panelem s možností úpravy parametrů se nachází přepínač zobrazovaných průběhů. Pomocí předvoleb je možné zvolit mezi průběhy derivace, OTDR trasy, či zvolit možnost zobrazení obou průběhů zároveň. V posledním jmenovaném případě bude zobrazen průběh OTDR nahoře a průběh derivace pod ním. Pokud je vybrán průběh OTDR trasy a zaškrtně se políčko „Vlastní analýza“, vyzve program k přepnutí zobrazení na průběh derivace.



Obr. 2.1.1-9: Panel pro výběr průběhu.

#### 2.1.1.6 Zaškrťovací políčka

Zaškrťovací políčka v levém spodním rohu grafického rozhraní slouží především pro přepínání zobrazovaných informací. První dvě zaškrťovací políčka zapínají/vypínají zobrazení detekovaných událostí v příslušném průběhu dle popisku políčka. Ke stejnému účelu slouží další dvě políčka („Zobrazit MZ a KV“), a to ke zobrazení či skrytí konce počáteční mrtvé zóny a konce vlákna.



Obr. 2.1.1-10: Zaškrťovací políčka v levém spodním rohu pracovního okna.

Políčko „Průběžné výpočty“ má za úkol zapnout či vypnout mód okamžitých přepočtů. Pokud dojde po zaškrtnutí ke změně jakéhokoli parametru v panelu „Úprava

parametrů“, okamžitě se provede výpočet znovu bez nutnosti mačkat po každé změně parametru tlačítko „Vypočítat“.

Standardně po spuštění programu je zaškrtnuto i políčko pro zobrazení mřížky v obou průbězích. Pro skrytí mřížky stačí políčko odškrtnout.

Poslední dvě políčka slouží ke zobrazení/skrytí maxim a minim v průběhu derivace. Maxima i minima se počítají a zobrazují vždy v intervalech o velikosti filtru, je proto možné pomocí zobrazení maxim/minim názorně vidět velikost aktuálně zvoleného filtru, a tedy zkontrolovat, zda není jeho hodnota příliš vysoká či nízká. Další možností, jak zobrazit velikost filtru, je spustit vlastní analýzu zaškrtnutím políčka „Vlastní analýza“ v panelu tabulky rozptylů.

### 2.1.1.7 Seznam a tabulka detekovaných událostí

Seznam a tabulka detekovaných událostí se nachází ve spodní části grafického rozhraní programu (Obr. 2.2.2-2, str. 83). Oba prvky slouží pro zobrazení detekovaných událostí.

Seznam detekovaných událostí (levá část na Obr. 2.1.1-11) zobrazuje čísla jednotlivých událostí. Pokud dojde k výběru některé z nich, zobrazí se detail vybrané události jak v průběhu OTDR, tak v průběhu derivace. Vrácení zpět na zobrazení celého vlákna (nikoli celého průběhu, jako je tomu u tlačítka „Celý průběh“, popsaného v kapitole 2.1.1.2), tedy od začátku po konec vlákna, proběhne po výběru první hodnoty v seznamu, která je označena slovem „Události“. Pokud dojde po vybrání některé z událostí k přepočtu, vrátí se průběh zpět na zobrazení celého vlákna a výběr seznamu se resetuje na první hodnotu v seznamu.

Udalosti	Zacatek [km]	Konec [km]	Pravdepodobnost udalosti [%]	Delka udalosti [km]	Utlum udalosti [dB]	Merny utlum useku [dB/km]	Delka useku [km]	Odhad typu udalosti
1	1.9743	2.1161	12.5000	0.1417	0.0320	0.0972	1.9743	1
2	3.8676	4.1511	100	0.2835	0.1860	0.0787	1.8933	2
3	5.8116	6.0141	10.4167	0.2025	0.0450	0.0751	1.9439	1
4	7.7150	7.9378	87.5000	0.2227	0.0830	0.0799	1.9034	1
5	11.5320	11.8560	75	0.3240	0.2360	0.0870	3.8170	2
6	13.4659	13.7089	66.6667	0.2430	0.0810	0.0791	1.9338	1
7	15.4301	15.5718	25	0.1417	-0.0190	0.0769	1.9642	1
8	17.3031	17.5056	52.0833	0.2025	0.0610	0.0812	1.8731	1
9	21.1404	21.3530	43.7500	0.2126	0.0590	0.0904	3.8373	1
10								
11								

Obr. 2.1.1-11: Seznam a tabulka detekovaných událostí.

Tabulka detekovaných událostí, vpravo od seznamu, má za úkol zobrazovat veškeré informace ke zjištěným událostem:

- **Začátek [km]**..... vzdálenost v kilometrech, kde daná detekovaná útlumová událost začíná
- **Konec [km]**..... vzdálenost v kilometrech, kde daná detekovaná útlumová událost končí
- **Pravděpodobnost události [%]**..... určuje pravděpodobnost, se kterou se na daném místě vyskytuje útlumová událost

- **Délka události** [km]..... je rozdílem mezi koncem a začátkem události
- **Útlum události** [dB]..... určení útlumu události z průběhu OTDR
- **Měrný útlum úseku** [dB/km]..... měrný útlum úseku je počítán pro úsek mezi koncem předchozí události po začátek aktuální události
- **Délka úseku** [km]..... délka úseku se vždy bere od začátku předchozí události (nebo začátku vlákna pro první detekovanou událost) po začátek aktuální události
- **Odhad typu události**..... hodnoty 1 až 3 dle velikosti útlumu události

Napravo vedle tabulky událostí se nachází vysvětlivky k poslednímu sloupci tabulky – odhadu typu události. V tomto sloupci se mohou objevit tři různé hodnoty. Pokud se u nějaké z detekovaných událostí objeví číslo 1, pak je útlum události relativně malý a je považován za svar (útlum do 0.22 dB). Jestliže se zde objeví číslo 2, pak je útlum události v rozmezí 0.22 dB až 12 dB, může se tedy jednat o špatně provedený svar, konektor, rozbočovač či útlumový článek. Pokud útlum události překročí 12 dB, pak se s velkou pravděpodobností jedná o konec vlákna (za koncem vlákna klesá výkon až k prahu šumu, proto je zde veliký skok ve výkonu, a tedy detekován velký útlum), o asymetrický rozbočovač (např. s dělicím poměrem 95:5 i více), či o pasivní rozbočovač s větším množstvím výstupů (8 a více), mezi kterými se dělí výkon.



## 2.1.2 Popis výpočtů a detekce útlumových událostí

V této kapitole je věnována pozornost samotným výpočtům – jakým způsobem se detekují jednotlivé události. Je zde popsán postupný průchod programem tak, jak probíhají jednotlivé výpočty. Všechny kalkulace probíhají uvnitř vytvořených funkcí, jejichž úloha je zde popsána.

Jak již bylo uvedeno v předchozí kapitole, prostřednictvím tlačítka „Načíst soubor .csv“ (str. 20) jsou načtena data z měření voláním funkce *getDeriv* (kapitola 2.1.2.1). První sloupec obsahuje vzdálenosti v kilometrech a druhý sloupec výkon v decibelech (výstup z aplikace *sor2csv* [8]). Po úvodním zpracování (výpočtu derivace) proběhne výpočet klouzavého průměru a rozptylu prostřednictvím funkce *klouzavy\_prum\_rozpt* (kapitola 2.1.2.2). Velikost okna určí parametr velikost filtru, jeden z výstupních proměnných funkce *getDeriv*. Klouzavý rozptyl je klíčovým parametrem pro funkci *pravdepodobnost* (kapitola 2.1.2.3), která má za úkol rozpoznat a zaznamenat útlumové události. S těmito detekovanými událostmi se pak dále pracuje v následujících funkcích – *eventy\_pravdepodobnost* (seskupení sousedních událostí do jedné – kapitola 2.1.2.4), *rozmezi\_udalosti* (určení začátku a konce každé detekované události – kapitola 2.1.2.5) a nakonec *zobrazeni\_udalosti* (vykreslení událostí do průběhů – kapitola 2.1.2.6).

### 2.1.2.1 Funkce *getDeriv*

Jelikož samotný průběh závislosti výkonu na vzdálenosti (průběh OTDR) není pro automatickou detekci úplně vhodný, je pro celý průběh spočítána změna výkonu ku změně vzdálenosti, čili derivace. Pokud je do grafu vynesena závislost derivace na vzdálenosti, je daleko snáze poznat drobnější nerovnosti ve výkonu a detekovat tak jednotlivé události. Rozdíl v průbězích je možné vidět na Obr. 2.1.2-1 (průběh derivace) a Obr. 2.1.2-2 (průběh výkonu). Po dostatečném přiblížení průběhu derivace je možné pozorovat i ty nejmenší výchyly ve výkonu. Program by fungoval i pro pouhé hodnoty rozdílů výkonu (rozdíl následující a aktuální hodnoty výkonu), ale jelikož hodnoty derivace přímo určují měrný útlum, byla zvolena právě derivace (například střední hodnota derivace od konce počáteční mrtvé zóny po konec vlákna určuje přímo jeho měrný útlum).

Funkce *getDeriv* se nestará pouze o načtení dat a výpočet derivace, ale výstupem z ní jsou i ostatní důležité parametry pro další zpracování jako vzdálenost identifikační mrtvé zóny (identifikační vzdálenosti), konec počáteční mrtvé zóny, vzdálenost konce vlákna a velikost filtru.

Pro výpočet identifikační mrtvé zóny (identifikační vzdálenosti), což je dle [1] poloviční hodnota vzdálenosti, kterou urazí světlo ve vlákně za dobu trvání jednoho pulzu, je třeba znát index lomu jádra vlákna, který byl stanoven na hodnotu 1,48, a rychlost světla ve vakuu. Identifikační mrtvá zóna je pak spočtena podle vzorce:

$$d_l = \frac{t_p}{2} \cdot \frac{c}{n} \quad (3)$$

Kde:

$d_l$  [m].....identifikační mrtvá zóna (identifikační vzdálenost)

$t_p$  [s] .....čas trvání (šířka) pulzu

$c$  [ $m \cdot s^{-1}$ ].....rychlost světla ve vakuu

$n$  [-].....index lomu jádra vlákna

Počáteční mrtvá zóna, resp. její konec (vzdálenost od začátku vlákna), je spočtena jako trojnásobek identifikační vzdálenosti. To může u některých měření (u malých hodnot délek pulzu) způsobit ne zcela přesný výsledek, proto je implementována možnost upravit vzdálenost konce počáteční mrtvé zóny.

K určení konce vlákna je využita Matlab funkce `movvar` pro výpočet klouzavého rozptylu hodnot derivace. Velikost okna byla v tomto případě zvolena na hodnotu 2 (počítá rozptyl ze 2 sousedních hodnot), aby se docílilo co nejlepšího rozlišení. Využívá se zde faktu, že na konci vlákna dochází k velkému skoku výkonu, který je způsoben případným odrazem od nezakončeného konce vlákna a/nebo poklesem výkonu k šumovému prahu optického reflektometru. Takový skok vyvolá velký nárůst rozptylu v tomto místě. Obvykle je pak hodnota rozptylu na konci vlákna mnohem větší než rozptyl, který je vyvolán útlumovými událostmi na trase. Jelikož ale často nemívá rozptyl vyvolaný skokem výkonu na konci vlákna nejvyšší hodnotu v celém průběhu (šum za koncem vlákna často způsobuje větší špičky rozptylu), konec vlákna je určen jako první výskyt hodnoty rozptylu větší než 0,4-násobek maxima rozptylu v intervalu od mrtvé zóny po konec (vzdálenostní rozsah) měření. Délka vlákna se pak jednoduše odvodí jako vzdálenost od počátku měření po detekovaný konec vlákna.

Velikost filtru je spočtena za pomoci již určené délky vlákna a experimentálně určeným koeficientem, který určuje, kolik filtrovacích oken se má vejít do jednoho kilometru. Hodnota byla stanovena ze zvoleného referenčního měření (měření, kde je možno jednoznačně určit nejvíce útlumových událostí), a to je hodnota 2,17. Pomocí tohoto koeficientu se nejdříve spočítá, kolik je potřeba filtrovacích oken pro celé vlákno vynásobením délky vlákna (v kilometrech) číslem 2,17. Tedy pro případ, kdy je vlákno dlouhé 46 kilometrů, výsledek je přibližně 100 filtrovacích oken na tuto vzdálenost. Následně je z počtu filtrovacích oken spočítána samotná velikost filtru dle vzorce:

$$VF = \text{round}\left(\frac{d_v}{N_{fo}} \cdot d_{1v}\right) \quad (4)$$

Kde:

$VF$  [-, km].....velikost filtru [počet vzorků, počet vzorků násobených délkou 1 vzorku]

$d_v$  [km] .....délka vlákna

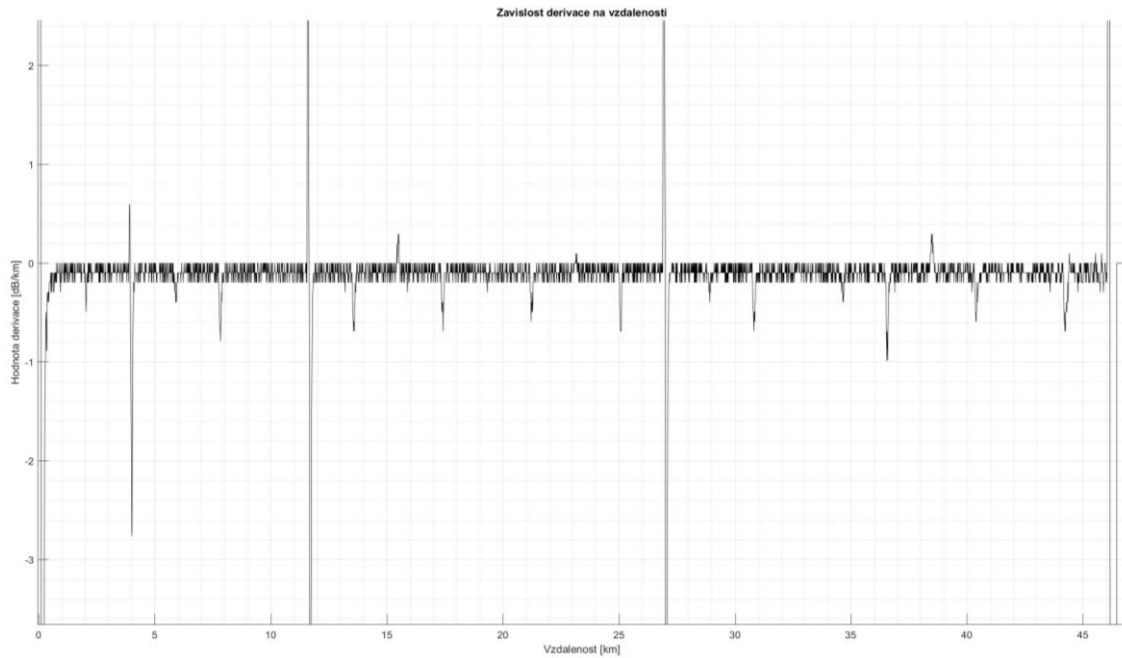
$N_{fo}$  [-] .....počet filtrovacích oken

$d_{1v}$  [km].....délka jednoho vzorku (vzdálenost mezi sousedními vzorky)

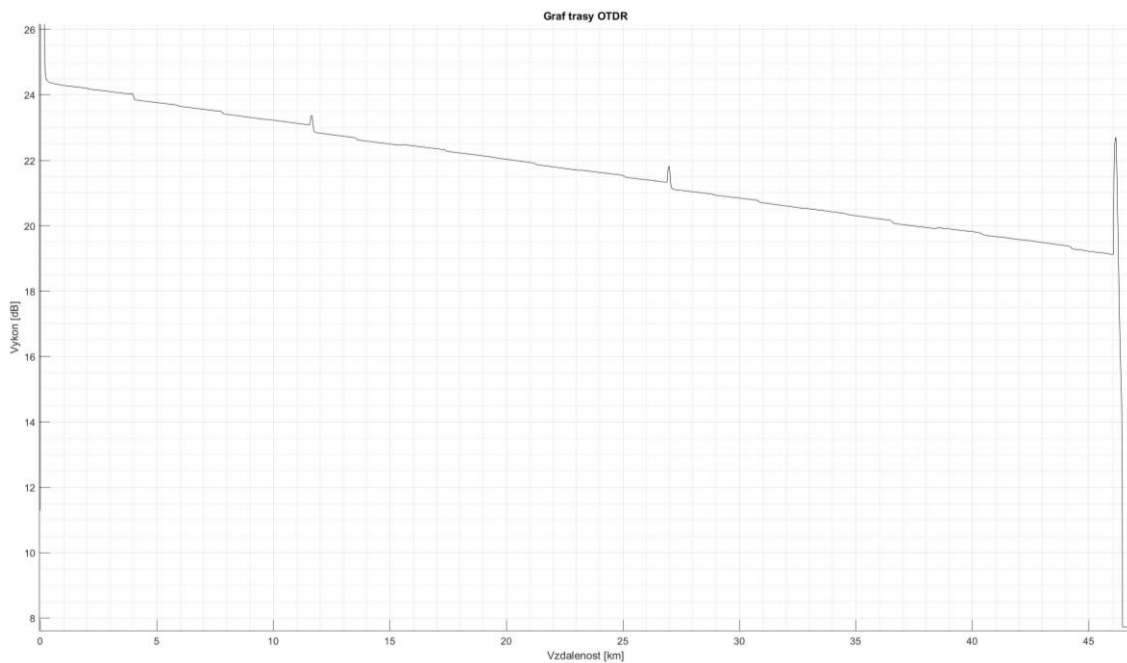
`round()` .....funkce v Matlabu pro zaokrouhlení



Vypočtená hodnota velikosti filtru určuje počet vzorků – velikost okna klouzavého rozptylu, jehož výsledky jsou následně využity k detekci událostí. Proto je správné určení velikosti filtru klíčové pro správnou funkci vytvořeného programu pro detekci útlumových událostí.



Obr. 2.1.2-1: Graf závislosti derivate na vzdálenosti pro měření se šířkou pulzu 1000 nm.



Obr. 2.1.2-2: Graf závislosti výkonu na vzdálenosti pro měření se šířkou pulzu 1000 nm.

### 2.1.2.2 *Funkce klouzavy\_prum\_rozpt*

Úlohou této funkce je primárně počítání klouzavého průměru a rozptylu o velikosti okna  $k$  (do tohoto parametru se zadává velikost filtru). Později byla přidána i možnost zjištění maxim a minim derivace v intervalu daném taktéž velikostí okna  $k$ . Výstupy z této funkce (klouzavý průměr, rozptyl) se od nativních funkcí v Matlabu (*movvar*, *movmean*) lehce odlišují.

Ve funkci *klouzavy\_prum\_rozpt* se klouzavý průměr/rozptyl počítá a zapisuje po intervalech daných velikostí okna  $k$ . Tedy pokud je například  $k = 10$ , první zápis do vektoru klouzavých průměrů/rozptylů bude výpočet průměru a rozptylu pro vzorky 1 až 10. Druhý zápis pak bude výpočet průměru a rozptylu pro vzorky 11 až 20, atd. Výsledky se pak zapisují do dvou typů matic. Zprv do matic, kde se opakuje vypočtená hodnota  $k$ -krát (ty slouží pro jednoduché vykreslení do společného průběhu s derivací), a zadruhé do matic, kde se hodnoty neopakují (obvykle se v nich lépe orientuje). Stejně tak probíhá určování minim a maxim ve shodných intervalech jako pro klouzavý průměr/rozptyl. Data z matic s opakujícími se hodnotami maxim a minim je možné zobrazit v průběhu derivace po zaškrtnutí příslušných zaškrťávacích políček.

Odlišností vůči Matlab funkce *movvar* a *movmean* je právě v počítání „po oknech“. Funkce *movvar* a *movmean* počítají klouzavý rozptyl/průměr také o velikosti okna, ale vzorek po vzorku. To znamená, že pokud je  $k = 10$ , průměr a rozptyl se počítá pro interval 1 až 10, poté 2 až 11 atd.

### 2.1.2.3 *Funkce pravdepodobnost*

Funkce *pravdepodobnost* má za úkol prozkoumat průběh derivace od hranice počáteční mrtvé zóny po jeho konec a určit oblasti, kde se s určitou pravděpodobností vyskytují útlumové události. Tyto oblasti jsou dány velikostí filtru (velikostí okna klouzavého průměru/rozptylu).

Detekce útlumových událostí je založena na spočteném klouzavém rozptylu. Postupně se prochází maticí klouzavého rozptylu a vždy se porovnává velikost aktuálního rozptylu se čtyřmi sousedními rozptyly – dva vlevo a dva vpravo. Sousedními rozptyly se myslí hodnoty rozptylu pro oblasti posunuté o velikost filtru, resp. o dvě velikosti filtru (demonstrace principu na Obr. 2.1.2-3).

Například pro velikost filtru 500 metrů a výpočet nacházející se např. ve 20 kilometrech, Aktuálním rozptylem se rozumí hodnota klouzavého rozptylu derivace pro vzdálenost 20 až 20,5 kilometrů (interval daný velikostí filtru). Tato (aktuální) hodnota klouzavého rozptylu se porovnává s hodnotami klouzavých rozptylů derivace sousedních oblastí. Pro tento příklad  $-1 * \text{velikost filtru}$  znamená klouzavý rozptyl pro oblast 19,5 až 20 kilometrů,  $-2 * \text{velikost filtru}$  pak pro oblast 19 až 19,5 kilometru. Analogicky na pravé straně  $+1 * \text{velikost filtru}$  (oblast 20,5 až 21 kilometrů) a  $+2 * \text{velikost filtru}$  (oblast 21 až 21,5 kilometru).

-2 * velikost filtru	-1 * velikost filtru	Aktuální rozptyl	+1 * velikost filtru	+2 * velikost filtru
-------------------------	-------------------------	------------------	-------------------------	-------------------------

Obr. 2.1.2-3: Princip detekce útlumových událostí - porovnávání velikosti aktuálního rozptylu s hodnotami rozptylu posunutými o vzdálenost o velikosti filtru.

Jelikož samotné porovnávání rozptylů není příliš spolehlivý způsob detekce, hlavně kvůli přítomnému šumu, bylo potřeba zajistit, aby byly události detekované účinkem šumu vyfiltrovány. Toho je docíleno tím, že je porovnávána velikost aktuálního rozptylu s dvou až třináctinásobky rozptylů okolních. Pokud tedy není aktuální rozptyl alespoň dvakrát větší než kterýkoli ze čtyř sousedních, zachází se s aktuální oblastí tak, jako by zde byl pouze šum a nezapočítá se do detekovaných událostí. Naopak aktuální rozptyl, který je vyšší než dvojnásobek až třináctinásobek sousedních, je zanesen do matice potenciálních útlumových událostí.

Pravděpodobnost, že se na daném místě opravdu nachází útlumová událost, je odvozena přímo z matice násobků rozptylů, která ukládá logické hodnoty, zda je aktuální rozptyl 2- až 13-krát větší než 2 sousední rozptyly vlevo a vpravo. Matice násobků rozptylů má rozměry dané počtem sousedních rozptylů a počtem násobků. V tomto případě má matice rozměry  $12 \times 5$  (12 řádků, 5 sloupců). Z toho je prostřední sloupec vždy roven 0 (porovnává se aktuální rozptyl sám se sebou), tedy možný počet hodnot „1“ (aktuální rozptyl je větší než daný násobek sousedního rozptylu) je  $12 \times 4 = 48$ . Této hodnoty je využito pro určení pravděpodobnosti. Ta je pak spočtena jako počet hodnot „1“ v matici násobků rozptylů vůči všem polím (48), kde se může hodnota „1“ vyskytnout. Pravděpodobnost určuje, jak je velká šance, že se v dané oblasti skutečně vyskytuje útlumová událost.

Standardně je nastaveno, že pro detekci útlumové události stačí, aby v matici násobků rozptylů byly alespoň dvě hodnoty „1“ (součet jedniček v matici rozptylů musí být větší než 1). Tuto hodnotu je možné upravovat na jezdcí „Rozlišení“. Posunutím jezdce vlevo či vpravo dojde ke změně spodní hranice, kterou každá detekovaná událost musí splňovat. To znamená, že posunutím jezdce například na hodnotu 10 se posouvá hranice detekce tak, že pro detekci události musí být součet jedniček v matici násobků rozptylů větší než 10.

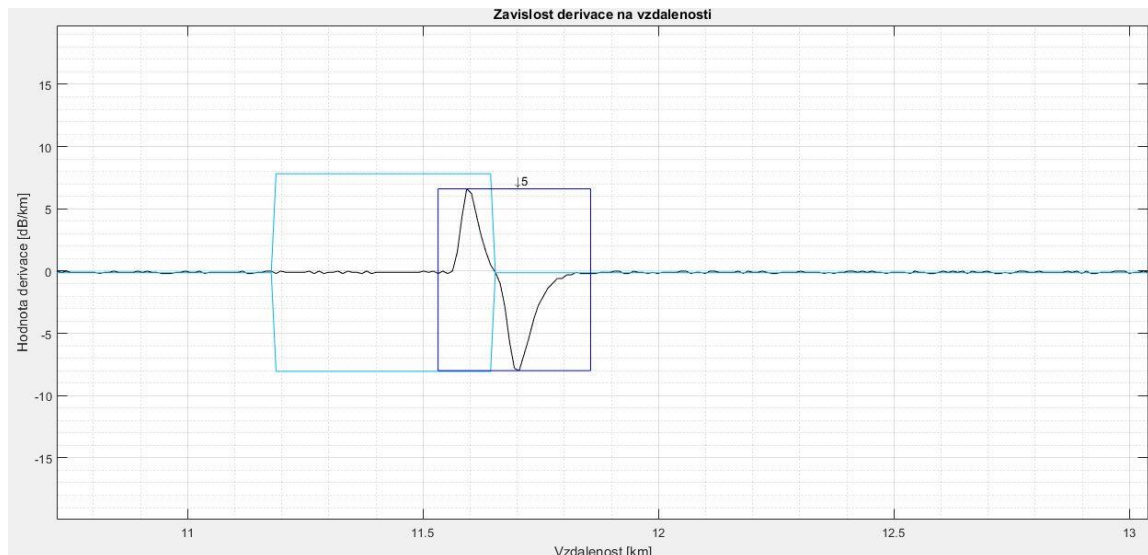
<input checked="" type="checkbox"/> Vlastní analýza					
Rozptyly					
	-2×VF	-1×VF	Akt	+1×VF	+2×VF
	0.00420	0.00411	0.01145	0.00381	0.00346
2	1	1	0	1	1
3	0	0	0	1	1
4	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0
Součet	6		Pst	12.5	

Obr. 2.1.2-4: Mód vlastní analýzy a zobrazení matice násobků rozptylů při detekci útlumové události.

Funkce *pravdepodobnost* je také místo, kde je implementován mód vlastní analýzy. Jednak zde dochází k úpravám zobrazení průběhů (limity osy x a y tak, aby byl zobrazen dostatečný detail na danou oblast), ale také k vyhodnocení zmáčknutých kláves, což umožňuje ovládání pomocí klávesnice. To je řešeno pomocí funkce `getkey` [10], která umožňuje identifikovat právě stisknutou klávesu. Způsob ovládání módu vlastní analýzy je popsán v kapitole 2.1.1.3. S módem vlastní analýzy souvisí i výše uváděná matice rozptylů, která je zobrazena v panelu „Rozptyly“ v levé horní části grafického rozhraní (detail na Obr. 2.1.2-4). Po spuštění módu vlastní analýzy slouží ke zobrazení logických hodnot, které odpovídají podmínkám popsaným v odstavci výše. Je možné tak vizuálně na průběhu sledovat, co bylo detekováno jako útlumová událost.

#### 2.1.2.4 Funkce *eventy\_pravdepodobnost*

Výstup z funkce *pravdepodobnost* (detekované oblasti, ve kterých se nachází potenciální události) vstupuje do funkce *eventy\_pravdepodobnost*. Hlavním důvodem pro vznik této funkce je situace demonstrována na Obr. 2.1.2-5. Na obrázku je bleděmodrým obdélníkem znázorněna aktuálně zkoumaná oblast (zda je rozptyl v rámci této oblasti větší než násobky okolních rozptylů). Problémem je to, že se ve zkoumané oblasti nenachází celá událost, ale pouze její část. To vyústí v nesprávnou detekci jedné události jako dvou oddělených událostí, resp. oblastí, ve které se událost vyskytuje. Kvůli problému dvojité detekce shodné události bylo implementováno vyhledávání a seskupování sousedících oblastí do jedné větší.



Obr. 2.1.2-5: Znáznornění situace, kdy je při detekci některá z událostí rozdělena na dvě části. Bleděmodrý obdélník znázorňuje aktuální zkoumanou oblast. Tmavě modrý obdélník s číselným označením zobrazuje detekovanou událost (již po všech úpravách).

Funkce *eventy\_pravdepodobnost* má tedy za úkol zkontrolovat, zda spolu detekované oblasti nesousedí (v rámci intervalu daného jednou velikostí filtru). Pokud tomu tak je – jestliže se oblasti se nacházejí v přímém kontaktu (např. aktuální oblast 20–20,5 km, kontaktní oblastí je myšlen interval 19,5–20 km) – dojde ke spojení těchto oblastí. Počátek intervalu je převzat z počáteční oblasti a dokud jsou detekované oblasti sousedící, přepisuje se vždy konec intervalu jako konec poslední oblasti. Po zjištění, že další oblast je dále než velikost filtru, provede se zápis aktuální oblasti. Sdružená oblast je pak dána intervalem od počátku první oblasti až po konec poslední oblasti. Přidána je i informace o pravděpodobnosti, která má hodnotu maxima pravděpodobnosti ze všech oblastí z právě získaného intervalu. Cyklus vyhledávání a spojování sousedních oblastí se opakuje, dokud nejsou vyčerpány všechny detekované oblasti. Výstupem je pak matice, jejíž obsahem jsou upravené počátky a konce detekovaných oblastí společně s nejvyšší hodnotou pravděpodobnosti ze spojovaných oblastí.

Je nutno poznamenat, že správná funkce seskupování sousedních oblastí je velmi závislá na velikosti filtru. Pokud je velikost filtru příliš velká, může dojít k seskupení všech oblastí a zaznamená se pouze jedna výsledná oblast, která může mít délku shodnou s délkou vlákna a ve výsledku se určí pouze jedna událost, i když jich mohlo být potenciálně více. Naopak pokud je velikost filtru příliš malá, může nastat situace, kdy je v poměrně malém intervalu detekováno hodně oblastí, které jsou ale od sebe vzdálenější, než je velikost filtru. Tak může dojít k falešné detekci jedné události jako několika oblastí velmi blízko sebe, ve kterých se pak určují samotné útlumové události (pro každou oblast jedna událost).

#### 2.1.2.5 Funkce *rozmezi\_udalosti*

Sloučené oblasti z funkce *eventy\_pravdepodobnost* jsou předány funkci *rozmezi\_udalosti*. Protože samotné oblasti slouží pouze pro informaci, že někde uvnitř se nachází útlumová událost, je potřeba danou událost v dané oblasti vyhledat a určit tak její

začátek a konec. Po úspěšném určení začátku a konce všech detekovaných útlumových událostí je možné určit i další parametry jako útlum a délku události, měrný útlum a délku úseku. Následně lze z útlumu odhadnout, o jaký typ události se jedná. Výstupem této funkce jsou tedy již finální informace o každé detekované útlumové události.

V grafu derivace se mohou vyskytnout tři různé možnosti, jak vypadají jednotlivé události – událost s kladnou hodnotou derivace (např. ziskový svar), zápornou hodnotou derivace (např. obyčejný svar) a jejich kombinace (odrazivá událost, např. konektor). Pro jednodušší určování událostí jsou převedeny hodnoty derivace do absolutních hodnot. Odpadá tím problém, že některé události mají kladnou a některé zápornou hodnotu derivace.

Po převedení derivace do absolutních hodnot je vyhledáno maximum derivace pro danou oblast a jeho umístění (index řádku) v rámci matice derivace. Umístění každého maxima je novým výchozím bodem pro určení začátku a konce události v dané oblasti. Rozsah nové oblasti, ve které se vyhledává konec a začátek události, je dán dvojnásobkem hodnoty zobrazené na jezdcí „Max interval pro určení události“. Dvojnásobkem proto, protože hodnota na jezdcí určuje, v jaké vzdálenosti se má hledat začátek (interval nalevo od lokálního maxima derivace) a konec události (interval napravo od lokálního maxima derivace). Standardní hodnota zobrazovaná na jezdcí je spočtena jako násobek velikosti filtru v závislosti na šířce pulzu. V současné verzi programu jsou hodnoty stanoveny jako 0,5- až 1,5 násobek velikosti filtru v závislosti na šířce pulzu.

Následně jsou v dané oblasti vyhledány hodnoty (v absolutních hodnotách derivace), které přesahují hranici dvojnásobku nejčastější hodnoty z maxim derivace. Pokud je nejčastější hodnota rovna nule, pak se vyhledávají hodnoty (v absolutních hodnotách derivace), které se nachází nad hranicí stanovenou poloviční hodnotou maxima derivace z dané oblasti. Následně se ve vektoru zjištěných hodnot určují sousedící hodnoty stejným principem jako u funkce *eventy\_pravdepodobnost*. Zde se ale nepracuje s oblastmi, nýbrž s jednotlivými vzorky. Tedy vyskytuje-li se v daném intervalu (umístění lokálního maxima derivace pro danou oblast  $\pm$  hodnota jezdcí „Max interval pro určení události“) např. 8 vzorků za sebou, které jsou vyšší než stanovená hodnota, vznikne tak jeden blok po sobě následujících hodnot, který má velikost/šířku 8. Takových bloků za sebou jdoucích hodnot může být v dané oblasti několik, proto se vždy berou pouze dva, které jsou z dané oblasti nejširší (obsahují nejvíce po sobě jdoucích hodnot). Dva bloky se berou z toho důvodu, že některé události mohou obsahovat jak kladnou, tak zápornou část derivace. V absolutní hodnotě derivace však dojde k převrácení záporné části do kladné, tudíž vzniknou v dané oblasti dva kladné píky derivace. Pro správné určení začátku a konce je proto potřeba započítat oba píky derivace, které jsou obvykle odděleny několika vzorky, které nesplňují podmínku být vyšší než stanovená hranice.

K určení druhého nejširšího bloku po sobě následujících hodnot slouží funkce *druhe\_max*, kap. 2.1.2.9. Pokud se vyskytne situace, kdy je více shodně velkých bloků, do dalších výpočtů se berou pouze první a druhý a jako první blok se bere ten, který obsahuje vyšší hodnotu derivace. Nastane-li situace, kdy je více shodných druhých maxim velikosti bloků po sobě jdoucích hodnot, započítá se pouze ten blok, který je nejbližší prvnímu maximu. Pokud je vzdálenost od prvního maxima velikosti bloků shodná, zapíše se ten, který obsahuje větší hodnotu derivace.

Dalším krokem je již určení samotného začátku a konce události v dané oblasti. Určení začátku a konce závisí na tom, zda je vzájemná vzdálenost určených bloků po sobě

následujících hodnot menší či větší než hodnota maximální vzdálenosti dvou bloků, která je standardně nastavena na 5 vzorků, ale je možné ji upravit pomocí jezdce „Maximální vzdálenost dvou bloků“ (kap. 2.1.1.4). Pokud je vzájemná vzdálenost bloků menší, pak je začátek události určen jako počátek prvního bloku a konec události je určen jako konec druhého bloku. Naopak pokud je vzájemná vzdálenost bloků větší, začátek a konec události určuje blok s největší velikostí (obsahující nejvíce za sebou jdoucích vzorků). Výsledné vzdálenosti začátků a konců jsou ještě kompenzovány o určitý počet vzorků v závislosti na šířce pulzu (od začátku se odečte určitý počet vzorků (lze přepočítat na vzdálenost) a ke konci se přičte určitý počet vzorků). Kompenzace je nutná z toho důvodu, že se určují hodnoty, které jsou vyšší než stanovená hranice. To vede k tomu, že bloky hodnot často neodpovídají přímo začátku/konci události, ale bývají o několik vzorků posunuty. Navíc pro určení měrného útlumu úseku je lepší, pokud je událost určena těsně před/za skutečnou události, aby nedošlo ke zkreslení přímo samotnou událostí, což platí i pro určení útlumu události. Počet přidávaných vzorků na začátek a konec každé události je od 0 (pro šířku pulzu  $\geq 10 \mu\text{s}$ ) po 4 (pro šířku pulzu  $\leq 1 \mu\text{s}$ ). Počet kompenzačních vložených vzorků byl stanoven experimentálně dle provedených měření.

Po zjištění rozmezí jednotlivých událostí je možné určit další parametry událostí a úseků, jako útlum události, délka události, měrný útlum úseku, délka úseku a odhadovaný typ události. Úsekem vlákna se zde rozumí částí vlákna před událostí. Pokud je událostí více, pak je každý úsek určen od začátku předchozí události po začátek aktuální události.

**Útlum události  $A_u$**  je určen jako rozdíl výkonu na začátku události a výkonu na konci události.

$$A_u = L_{P,zac} - L_{P,kon} \quad (5)$$

Kde:

$A_u$  [dB] ..... útlum události

$L_{u,zac}$  [dB] ..... výkonová úroveň na začátku události

$L_{u,kon}$  [dB] ..... výkonová úroveň na konci události

**Délka události  $d_{udal}$**  je pak rozdílem vzdálenosti konce události od začátku vlákna a začátku události od začátku vlákna.

$$d_{udal} = d_{kon} - d_{zac} \quad (6)$$

Kde:

$d_{udal}$  [km] ..... délka události

$d_{kon}$  [km] ..... vzdálenost konce události od začátku vlákna

$d_{zac}$  [km] ..... vzdálenost začátku události od začátku vlákna

**Měrný útlum úseku  $\alpha_u$**  je spočítán jako podíl rozdílu výkonové úrovně na konci předchozí události a výkonové úrovně na začátku aktuální události ku rozdílu vzdálenosti začátku aktuální události a vzdálenosti konce předchozí události.

$$\alpha_u = \frac{L_{kon,pred} - L_{zac,akt}}{d_{zac,akt} - d_{kon,pred}} \quad (7)$$

Kde:

$\alpha_u$  [dB/km] ..... měrný útlum úseku

$L_{kon,pred}$  [dB] ..... výkonová úroveň na konci předchozí události

$L_{zac,akt}$  [dB] ..... výkonová úroveň na začátku aktuální události

$d_{zac,akt}$  [km] ..... vzdálenost začátku aktuální události od začátku vlákna

$d_{kon,pred}$  [km] ..... vzdálenost konce předchozí události od začátku vlákna

**Délka úseku  $d_{useku}$**  je výsledek rozdílu vzdálenosti začátku aktuální události a vzdálenosti začátku předchozí události.

$$d_{useku} = d_{zac,akt} - d_{zac,pred} \quad (8)$$

Kde:

$d_{useku}$  [km] ..... délka úseku

$d_{zac,akt}$  [km] ..... vzdálenost začátku aktuální události od začátku vlákna

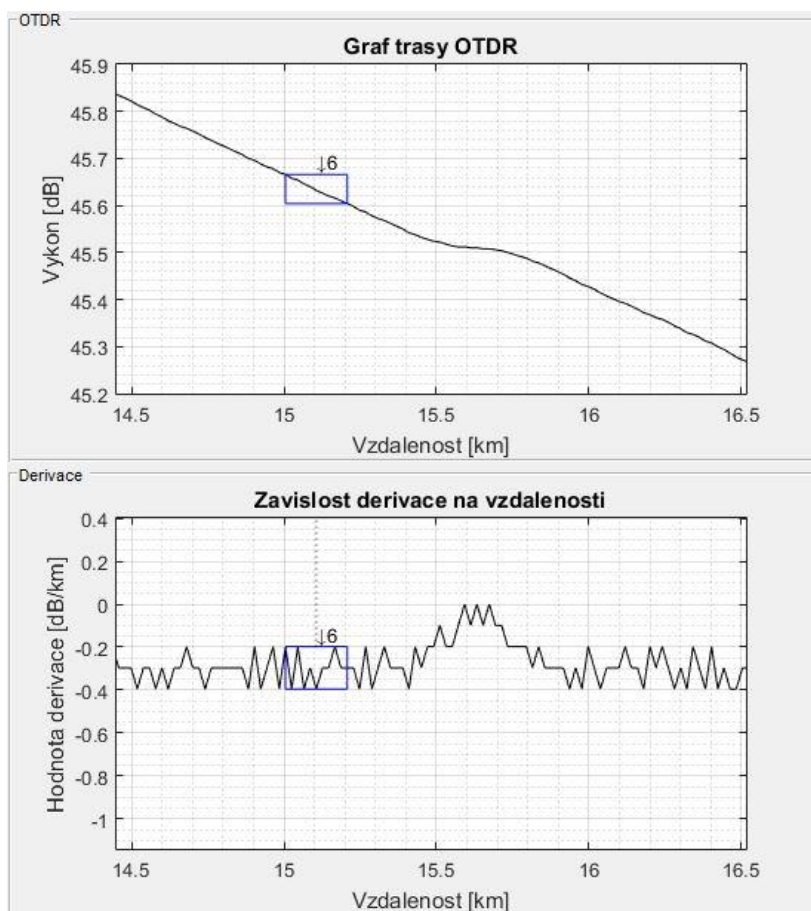
$d_{zac,pred}$  [km] ..... vzdálenost začátku předchozí události od začátku vlákna

Odhad typu události je založen na znalosti vypočteného útlumu události. Pokud je útlum menší než 0,22 dB, s velkou pravděpodobností se jedná o svar. Je-li útlum větší než 0,22 dB, ale menší než 12 dB, pravděpodobně se jedná o konektor (typický útlum cca 0,2 až 1,5 dB) nebo o pasivní rozbočovač. Pokud je útlum větší než 12 dB, je událost detekována buď jako konec vlákna (kvůli skoku výkonu k šumovému prahu optického reflektometru) nebo asymetrický rozbočovač (dělicí poměr 95:5 i více), či o pasivní rozbočovač s více výstupy (typicky 8 a více).

Určování rozmezí událostí pomocí převedení derivace do absolutních hodnot má své výhody i nevýhody. Hlavní výhodou je, že se při určování nemusí řešit, zda má útlumová událost pouze kladnou/zápornou derivaci, či obě. Jelikož jsou všechny hodnoty větší než nula, pro určení stačí zjistit pouze maximum, resp. maxima, derivace. Omezením je, že se ve trase může objevit tzv. ziskový svar s relativně nízkým útlumem, resp. měrným útlumem. Jelikož je derivace tečnou k průběhu výkonu (OTDR), její průměrná hodnota (s opačným znaménkem) odpovídá měrnému útlumu vlákna. Průměr derivace na Obr. 2.1.2-6 je záporný s hodnotou okolo -0,3 dB/km, měrný útlum úseku je tedy přibližně 0,3 dB/km. Ziskový svar způsobí lokální nárůst hodnoty derivace, oproti poklesu u obyčejného svaru. Pokud je tento lokální nárůst příliš malý, dojde k tomu, že se hodnota derivace přiblíží k nule či jejímu okolí. Když se následně převedou hodnoty derivace do absolutních hodnot, ziskový svar je „utopen“ pod střední hodnotou derivace. Jelikož se rozmezí události určuje pomocí maxima absolutní hodnoty derivace a jeho okolí, ziskový svar není správně detekován kvůli jeho hodnotě derivace blížící se nule. Ke správné detekci by došlo, kdyby měl ziskový svar



dostatečně vysoký (měrný) útlum, více než přibližně dvojnásobek střední hodnoty derivace v jeho okolí. Pro příklad na Obr. 2.1.2-6 by pro správnou detekci bylo potřeba, aby měl ziskový svar hodnotu derivace alespoň 0,4 dB/km.



Obr. 2.1.2-6: Omezení při určování rozmezí události převedením derivace do absolutních hodnot. Může totiž nastat situace, kdy je nesprávně určeno rozmezí tzv. ziskového svaru. Převzato z měření s délkou pulzu 3000 ns a vlnovou délkou 1310 nm (strana 57).

### 2.1.2.6 Funkce zobrazeni\_udalosti

Hlavním úkolem této funkce je vykreslení všech detekovaných událostí do průběhu derivace a OTDR. Nejprve je ale třeba uvést oba grafy do původního zobrazení, k čemuž slouží funkce *resetGrafu* (kapitola 2.1.2.7). Vykreslení oblasti, ve které se nachází detekovaná útlumová událost, je provedeno pomocí čtyř čar tak, aby vznikl obdélník vymežující událost. Levá a pravá část obdélníku přímo odpovídá začátku a konci dané události, která je zapsána v tabulce. Spodní a horní část pak zobrazuje hodnotu minima, resp. maxima. Pro snazší orientaci ve výsledném průběhu jsou přidány ukazatele ve formě přerušované čáry a popisku, který určuje pořadí dané události. Ukazatele s označením MZ a KV označují konec počáteční mrtvé zóny, resp. konec vlákna.

### 2.1.2.7 Funkce *resetGrafu*

Tato funkce má za úkol obnovit původní nastavení zobrazení grafů derivace a OTDR a připravit je na vykreslení průběhů, označení událostí a jejich popisků. V rámci této funkce se vykresluje průběh derivace a průběh výkonu (OTDR). Funkce *resetGrafu* je volána z funkce *zobrazení\_udalosti* (kapitola 2.1.2.7), kde slouží k tomu, aby nedošlo k překryvu průběhů prvně nahraného měření a měření, která byla nahrána následovně.

### 2.1.2.8 Funkce *nasobky\_rozptylu*

Tato funkce je využívána v rámci funkce *pravdepodobnost*. Vytváří matici násobků rozptylů a násobky porovnává s aktuálním rozptylem. Výsledkem je matice logických jedniček a nul, pomocí které se následně ve funkci *pravdepodobnost* detekují útlumové události a určuje se jejich pravděpodobnost (viz kap. 2.1.2.3).

### 2.1.2.9 Funkce *druhe\_max*

Tato funkce zjišťuje, jakou má hodnotu a jaký je index druhého maxima ve vloženém vektoru. Pokud je více shodných maxim, zaznamená se index druhého maxima v pořadí. Tak je zaručeno, že je umístění druhého maxima nejbližší prvnímu. Pokud je hodnota maxima pouze jedna, zjistí se hodnota druhého maxima v pořadí. Pro případ, kdy je více shodných hodnot druhých maxim, zaznamená se index pouze toho nejbližšího k hodnotě prvního maxima (případně dvou nejbližších, pokud jsou ve stejné vzdálenosti od prvního maxima).

Funkce *druhe\_max* určuje druhé maximum počtu za sebou jdoucích vzorků při stanovování začátků a konců detekovaných útlumových událostí, viz funkce *rozmezi\_udalosti*, kap. 2.1.2.5.

## 2.2 Výsledky analýzy provedených měření

Hlavním cílem obou měření bylo získat dostatečné množství dat pro následnou analýzu datového souboru SOR a zpracování v softwaru Matlab. Všechna dílčí měření byla provedena za pomoci optického reflektometru JDSU MTS-6000 na dvou testovacích optických trasách na Katedře telekomunikační techniky Fakulty elektrotechnické ČVUT v Praze. Měření byla provedena pro různé délky pulzů a snímací časy. Ostatní parametry byly ponechány na automatické reflektometru.

První sada měření byla provedena na optické trase o délce přibližně 46 kilometrů. Trasa je složena ze 24 úseků vláken, které jsou mezi sebou spojeny svary různé kvality. Druhé měření bylo provedeno na dvou vláknech spojených pasivním rozbočovačem s dělicím poměrem 50:50. Předřadné vlákno o délce 1,48 kilometru bylo zapojeno jedním koncem do optického reflektometru a druhým do vstupu pasivního rozbočovače. Na výstup pasivního rozbočovače bylo přivedeno vlákno o délce 1,64 kilometru.

### 2.2.1 Měření na testovací optické trase se 24 úseky (svary spojených) optických vláken

Testovací optická trasa obsahuje 24 vláken o délce přibližně 1,9 kilometru, tedy trasa měří zhruba 46 kilometrů. Vlákna jsou mezi sebou spojena svary různé kvality – některé není možné na průběhu výkonu zaznamenat, mají téměř nulový přidaný útlum. Naopak některé svary mají na průběhu charakter konektoru - část energie se odráží zpět, což je možné pozorovat jako lokální nárůst výkonu v průběhu OTDR.

Celkem bylo na této trase provedeno deset měření pro délky pulzu 300, 1000, 3000 a 10000 nanosekund. Z nich bylo vybráno pět referenčních – pro každou délku pulzu jedno. Měření s délkou pulzu 300 ns bylo navíc změřeno s různými snímacími časy – 20 a 60 sekund. Každé z těchto pěti vybraných měření bylo provedeno pro dvě vlnové délky – 1310 nm a 1550 nm. Souhrn provedených měření je uveden v Tab. 2.2.1-1.

Měření	Délka pulzu [ns]	Snímací čas [s]	Vlnová délka [nm]
1.	300	20	1310 a 1550
2.	300	60	1310 a 1550
3.	1000	30	1310 a 1550
4.	3000	30	1310 a 1550
5.	10000	30	1310 a 1550

Tab. 2.2.1-1: Tabulka parametrů provedených měření pro trasu se 24 úseky.

#### 2.2.1.1 Analýza a výsledky měření – délka pulzu 300 ns

Měření s délkou pulzu 300 ns bylo provedeno dvakrát – s délkou snímacího času 20 a 60 sekund. Cílem bylo zjistit, zda má délka snímacího času podstatný vliv na výsledek měření. Zvýšená délka snímacího času by měla pomoci ke snížení hladiny vzniklého šumu v příliš zašuměných průbězích, typicky při volbě příliš malé délky pulzu, jako je tomu

v tomto případě. Obzvláště při vlnové délce 1310 nm je možné pozorovat značné zašumění zhruba již od poloviny průběhu (Obr. 2.2.1-3 a Obr. 2.2.1-4 na str. 46).

Při vlnové délce 1310 nm a snímacím časem nastaveném na 20 sekund je možné určit útlumové události zhruba do 25. kilometru. Za tímto bodem je již obtížné určit, zda se při náhlé změně výkonu jedná o šum či o útlumovou událost. Jak je patrné z Obr. 2.2.1-3 a Obr. 2.2.1-4 (str. 46), u tohoto měření došlo kvůli šumu i k nesprávné detekci konce vlákna u obou programů. U detekčního programu vytvořeného v prostředí Matlabu je tomu proto, protože okolo kilometru 42 průběh padá k šumovému prahu optického reflektometru, proto zde velmi naroste rozptyl derivace výkonu. Vzhledem k tomu, že detekce konce je postavena na faktu, že konec vlákna je určen právě pomocí takto velkého nárůstu rozptylu, byl v tomto případě nesprávně určen. Co se týče detekce událostí, JDSU TraceViewer a vytvořený program v Matlabu dávají prakticky totožné výsledky. Vytvořený program sice detekoval více událostí, ale pouze s velmi malou pravděpodobností, tudíž se nejspíše jedná o šum (události označeny čísly 10, 12 a 13). Událost číslo 14 zde označuje první velký skok výkonu k šumovému prahu, a tedy detekovaný konec vlákna. Použité parametry pro detekci jsou uvedeny v Tab. 2.2.1-2.

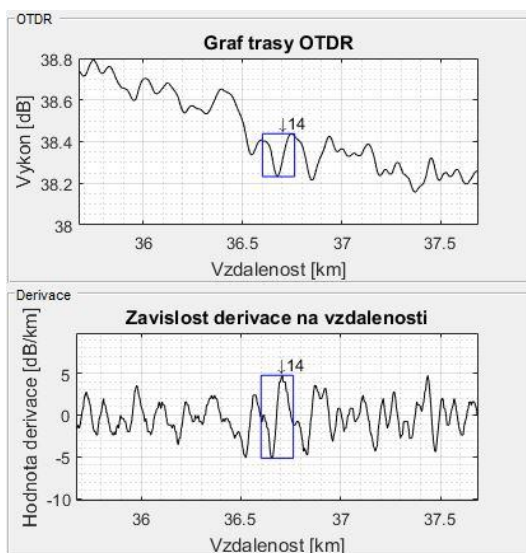
<b>Velikost filtru [km]</b>	<b>Rozlišení [%]</b>	<b>Max vzdálenost 2 bloků [km]</b>	<b>Max interval pro určení události [km]</b>
0,4607	2,1	0,0253	0,2329

*Tab. 2.2.1-2: Vstupní parametry pro detekci událostí programem v Matlabu pro měření s vlnovou délkou 1310 nm, délkou pulzu 300 ns a snímacím časem 20 s.*

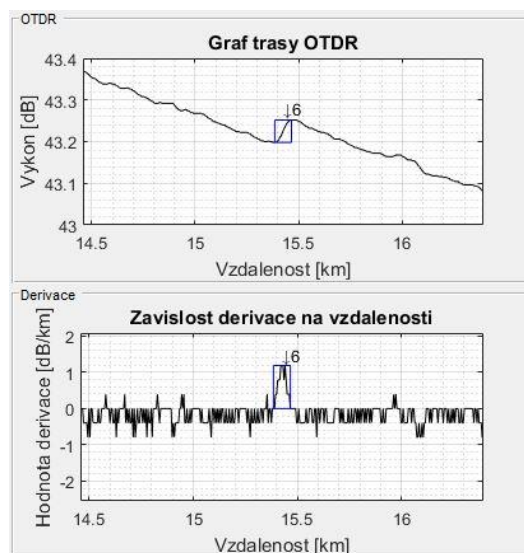
Po zvýšení snímacího času na 60 sekund došlo k poměrně výraznému zlepšení šumové situace ke konci vlákna, jak je možné pozorovat na Obr. 2.2.1-5 a Obr. 2.2.1-6 (str. 47). Stále je zde zvýšený šum kvůli nízké šířce pulzu znát, ale v porovnání s předchozím měřením je šum na dostatečně nízké úrovni alespoň pro správné určení konce vlákna. V tomto případě je konec vlákna (ne v případě softwaru JDSU TraceViewer) určen daleko přesněji než v předchozím měření (s délkou snímacího času pouze 20 sekund). Díky zvýšenému snímacímu času je také možno pozorovat více detekovaných událostí, dokonce i ke konci průběhu, kde již je ale větší pravděpodobnost falešné detekce. Pokud se jedná o událost, která má pravděpodobnost těsně nad hranicí detekce (standardně 2,1%), je nutno ji vždy zkontrolovat jak na průběhu výkonu, tak na průběhu derivace, zda se opravdu jedná o útlumovou událost, nebo je detekován pouze šum. Příklad, kdy je u detekované události vyhodnocena shodná (nízká) pravděpodobnost, je znázorněn na Obr. 2.2.1-1 a Obr. 2.2.1-2. V případě tohoto měření se jedná hlavně o detekované události, které se nacházejí již v zašuměné části – události 11 až 15. Pro tyto výskyty s nízkou pravděpodobností je vhodné využít seznam událostí nalevo od tabulky, který zobrazí detail vybrané události na obou průbězích, a zkontrolovat tak okolí události. Použité parametry jsou uvedeny v Tab. 2.2.1-3.

<b>Velikost filtru [km]</b>	<b>Rozlišení [%]</b>	<b>Max vzdálenost 2 bloků [km]</b>	<b>Max interval pro určení události [km]</b>
0,4455	2,1	0,0253	0,2329

*Tab. 2.2.1-3: Vstupní parametry pro detekci událostí programem v Matlabu pro měření s vlnovou délkou 1310 nm, délkou pulzu 300 ns a snímacím časem 60 s.*



Obr. 2.2.1-1: Ukázka detekované události (typicky ke konci vlákna) a jejího okolí při shodné hodnotě pravděpodobnosti jako na obrázku vpravo. V tomto případě se nejspíše jedná o šum.



Obr. 2.2.1-2: Ukázka detekované události (typicky na začátku vlákna) a jejího okolí při shodné hodnotě pravděpodobnosti jako na obrázku vlevo. Zde se jedná spíše o správně detekovanou událost

Útlum vlákna je pro vlnovou délku 1550 nm nižší, než je tomu u 1310 nm. Proto je na průbězích patrné snížení šumu, obzvláště ke konci vlákna. Jak JDSU TraceViewer, tak vytvořený program, dokázaly bez problému přesně určit konec vlákna. Pro spolehlivou detekci útlumových události však průběh po svaru ve vzdálenosti 26,8 km stále obsahuje příliš šumu (patrné hlavně na průbězích derivace na Obr. 2.2.1-13 a Obr. 2.2.1-14, str. 51).

Pro měření provedené na vlnové délce 1550 nm se snímacím časem 20 sekund stále není možné dostatečně spolehlivě určit události za hranicí 27 kilometru. Vytvořený program však dokázal identifikovat dvě události navíc, číslo 8 a 9 na Obr. 2.2.1-8 (str. 48). Po bližší vizuální inspekci je možné tyto výskyty zařadit do útlumových událostí. Detekované události za hranicí 27 kilometrů jsou již utopeny v šumu a nelze pouhým pohledem na průběh OTDR potvrdit jejich existenci. Tomu odpovídá i jejich nízká pravděpodobnost, která je těsně nad hranicí detekce. Parametry pro výpočet jsou uvedeny v Tab. 2.2.1-4. Průběhy je možné vidět na obrázcích na straně 48.

Velikost filtru [km]	Rozlišení [%]	Max vzdálenost 2 bloků [km]	Max interval pro určení události [km]
0,4607	2,1	0,0253	0,4607

Tab. 2.2.1-4: Vstupní parametry pro detekci událostí programem v Matlabu pro měření s vlnovou délkou 1550 nm, délkou pulzu 300 ns a snímacím časem 20 s.

Prodloužením snímacího času na 60 sekund se na průbězích příliš neodrazilo (na rozdíl od měření s vlnovou délkou 1310 nm), což je demonstrováno na Obr. 2.2.1-9 a Obr. 2.2.1-10 na straně 49. Přesto je možné detekovat větší množství útlumových událostí jak pomocí softwaru JDSU, tak pomocí vytvořeného programu. V tomto případě jsou si oba prakticky rovny. Ke konci vlákna (cca od 35. kilometru) ale opět není možné vizuálně

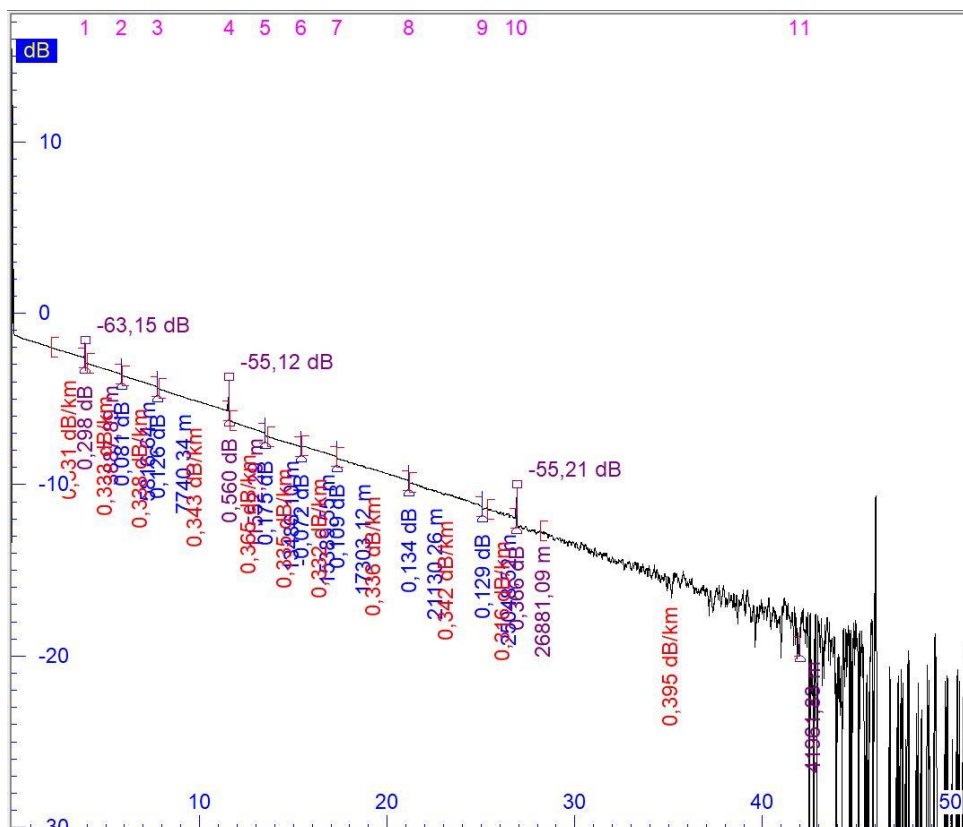
potvrdit, zda se jedná skutečně o svar či nikoli, obzvláště u události číslo 14 na Obr. 2.2.1-10. Parametry použité pro detekci jsou uvedeny v Tab. 2.2.1-5.

<b>Velikost filtru [km]</b>	<b>Rozlišení [%]</b>	<b>Max vzdálenost 2 bloků [km]</b>	<b>Max interval pro určení události [km]</b>
0,4607	2,1	0,0253	0,2329

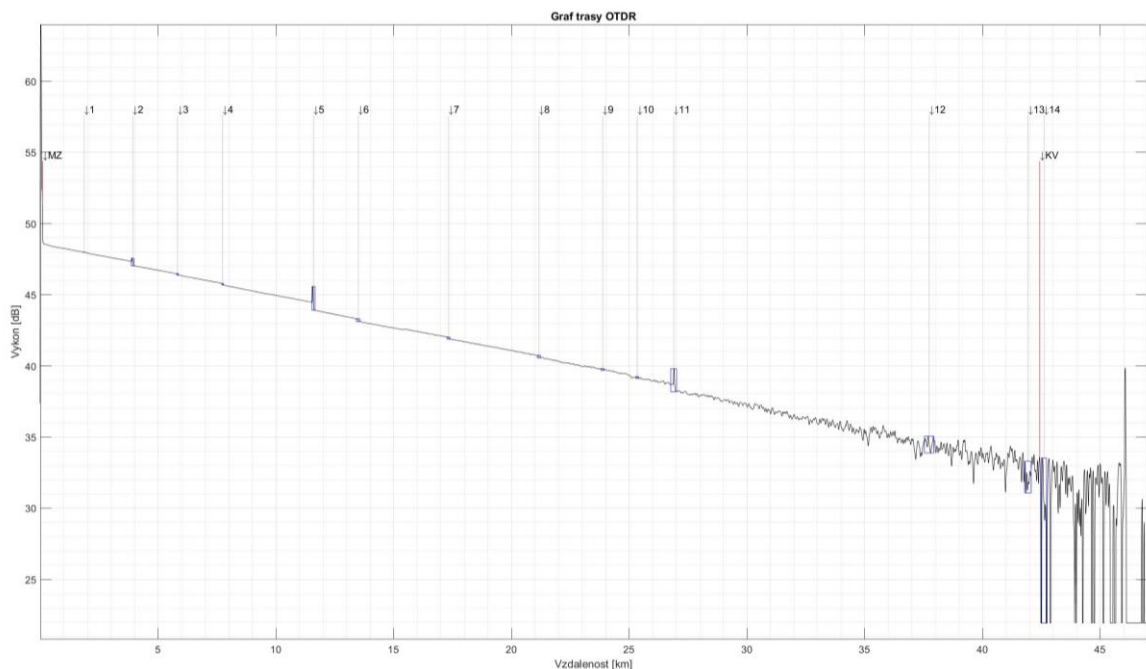
*Tab. 2.2.1-5: Vstupní parametry pro detekci událostí programem v Matlabu pro měření s vlnovou délkou 1550 nm, délkou pulzu 300 ns a snímacím časem 60 s.*

Měření s délkou pulzu 300 ns není pro tuto trasu příliš vhodné, protože se velmi obtížně určují události ke konci vlákna, kde je již průběh příliš zašuměný. Zvolením větší šířky pulzu je možné tento problém potlačit, či zcela eliminovat.



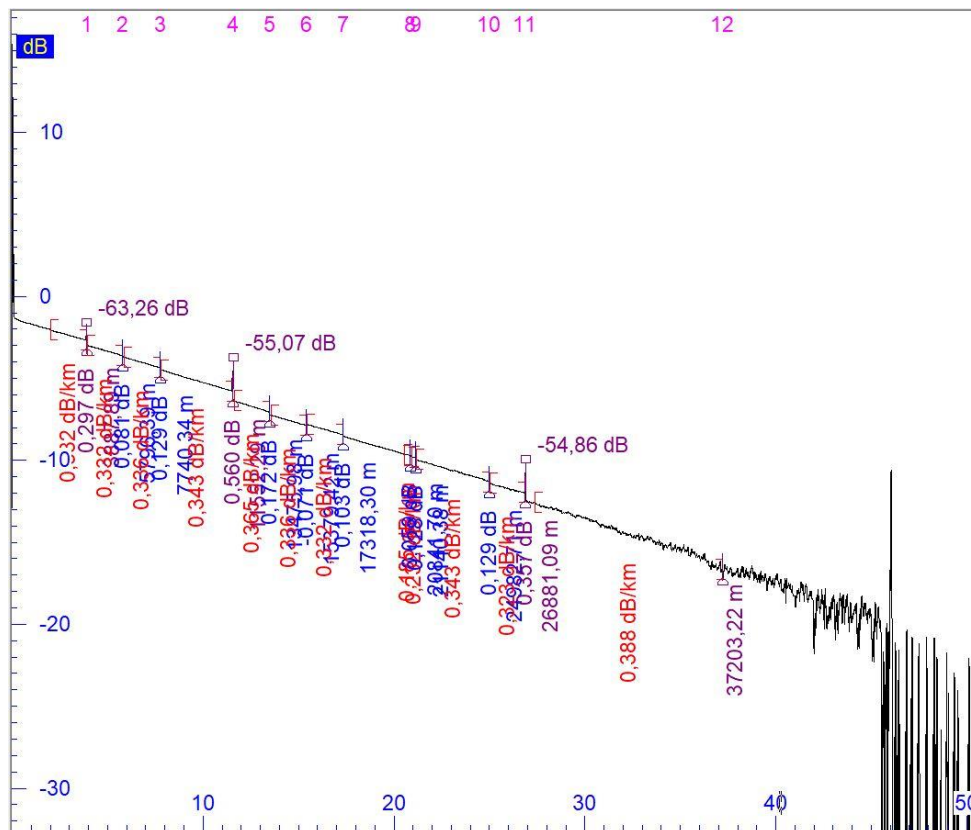


Obr. 2.2.1-3: Zobrazení OTDR průběhu pro vlnovou délku 1310 nm, délku pulzu 300 ns a snímací čas 20 s softwarem JDSU Fiber TraceViewer. Počet detekovaných událostí je 11, konec vlákna určen ve 41,9629 km (ze 46 km).

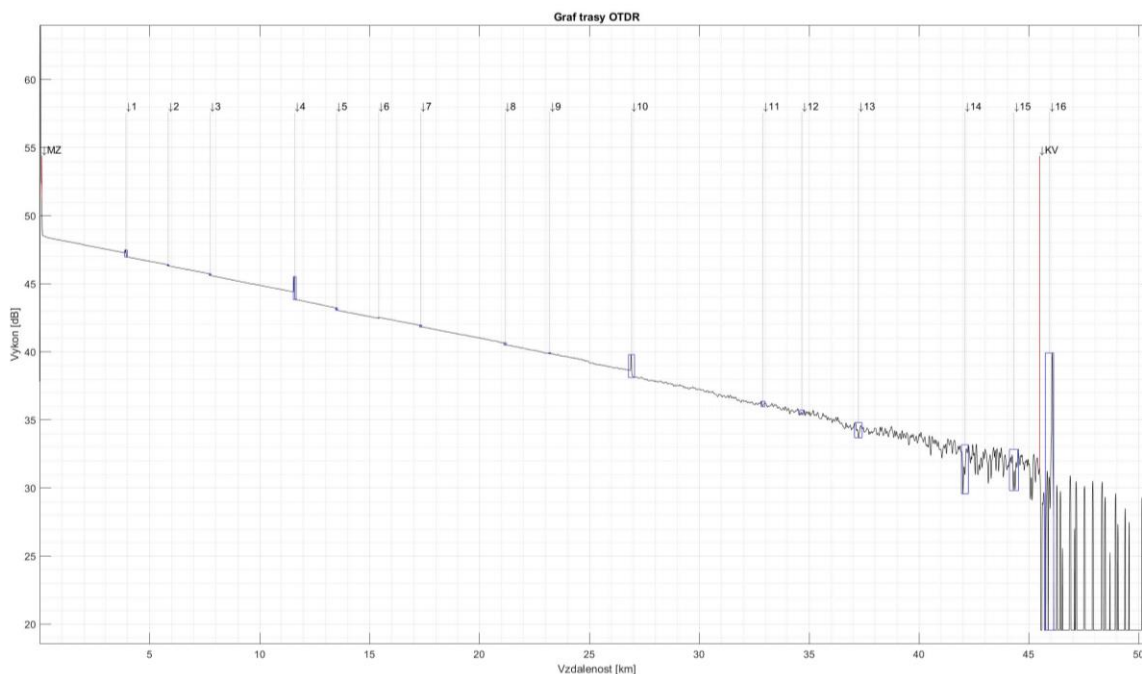


Obr. 2.2.1-4: Zobrazení OTDR průběhu s detekovanými událostmi pro vlnovou délku 1310 nm, délku pulzu 300 ns a snímací čas 20 s vytvořeným analyzačním programem. Počet detekovaných událostí je 14, konec vlákna určen ve 42,4337 km (ze 46 km).

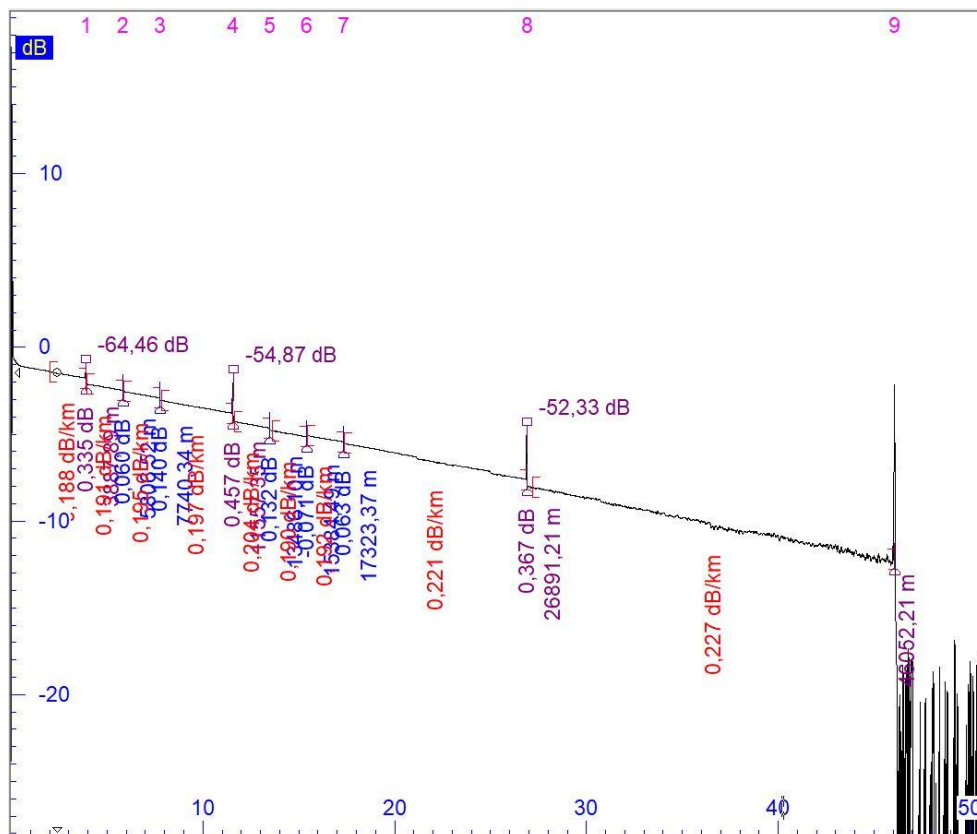




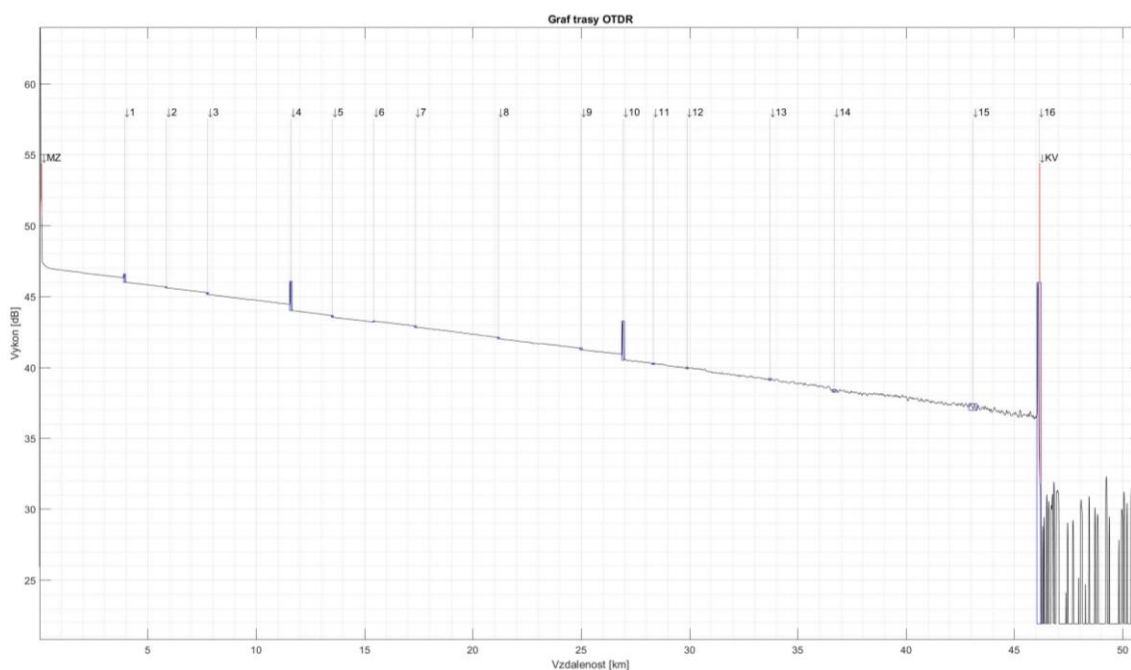
Obr. 2.2.1-5: Zobrazení OTDR průběhu pro vlnovou délku 1310 nm, délku pulzu 300 ns a snímání čas 60 s softwarem JDSU Fiber TraceViewer. Počet detekovaných událostí je 12, konec vlákna určen ve 37.2032 km (ze 46 km).



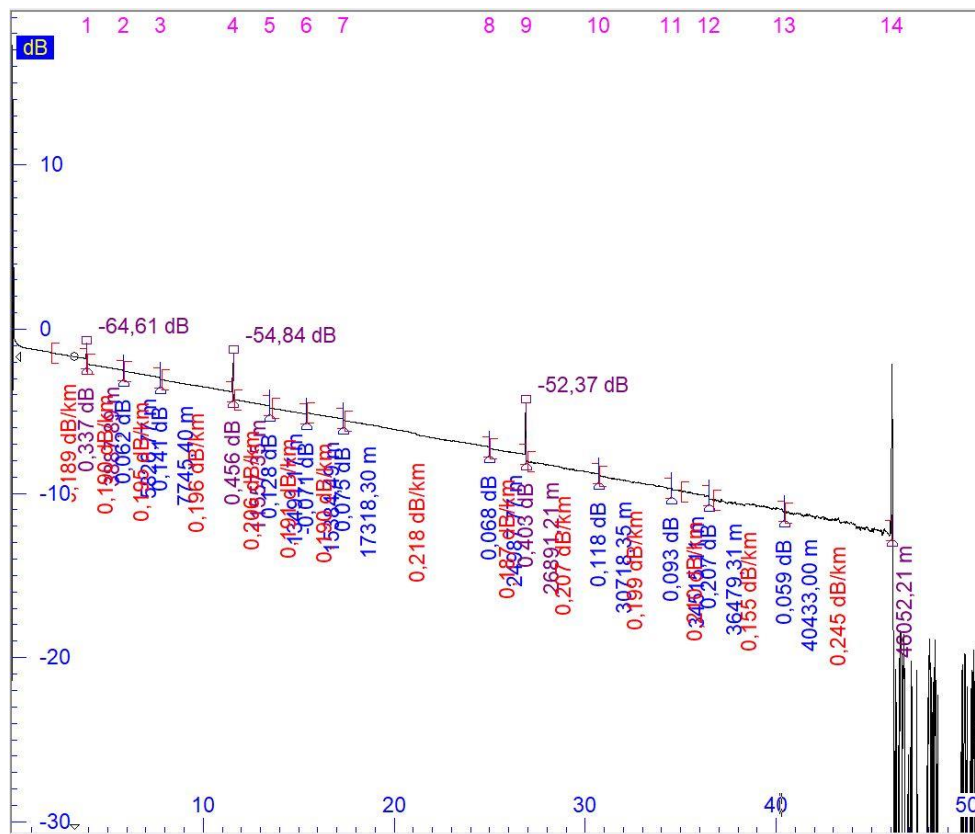
Obr. 2.2.1-6: Zobrazení OTDR průběhu s detekovanými událostmi pro vlnovou délku 1310 nm, délku pulzu 300 ns a snímání čas 60 s vytvořeným analyzačním programem. Počet detekovaných událostí je 16, konec vlákna určen ve 45,5004 km (ze 46 km).



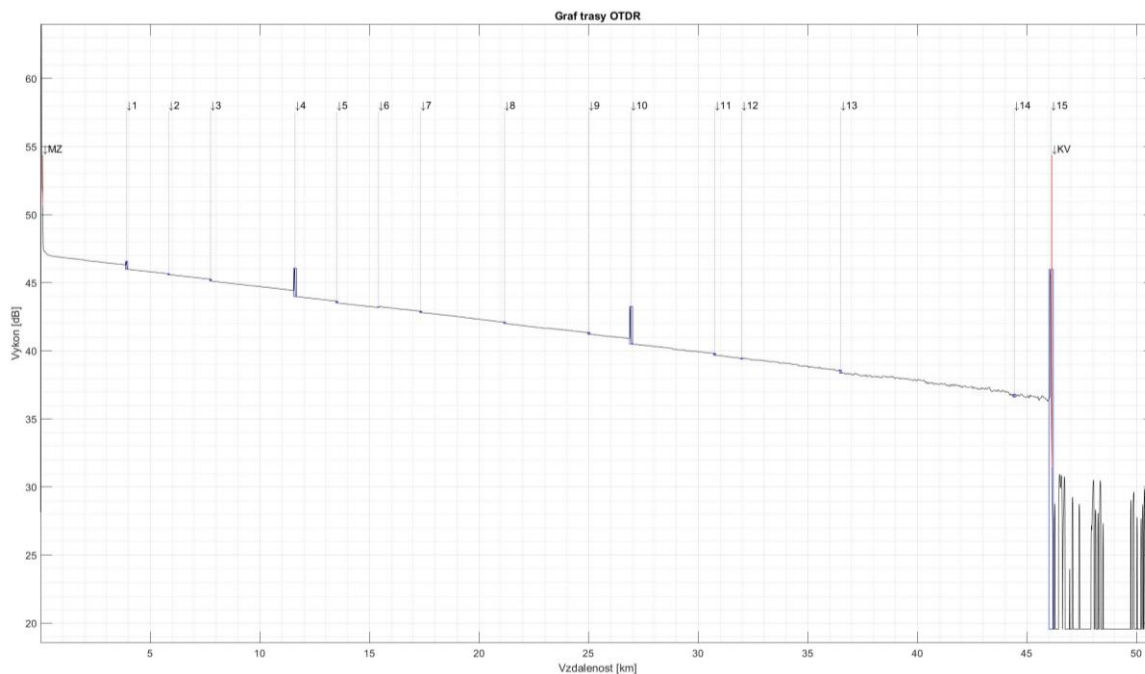
Obr. 2.2.1-7: Zobrazení OTDR průběhu pro vlnovou délku 1550 nm, délku pulzu 300 ns a snímací čas 20 s softwarem JDSU Fiber TraceViewer. Počet detekovaných událostí je 9, konec vlákna určen v 46,0522 km (ze 46 km).



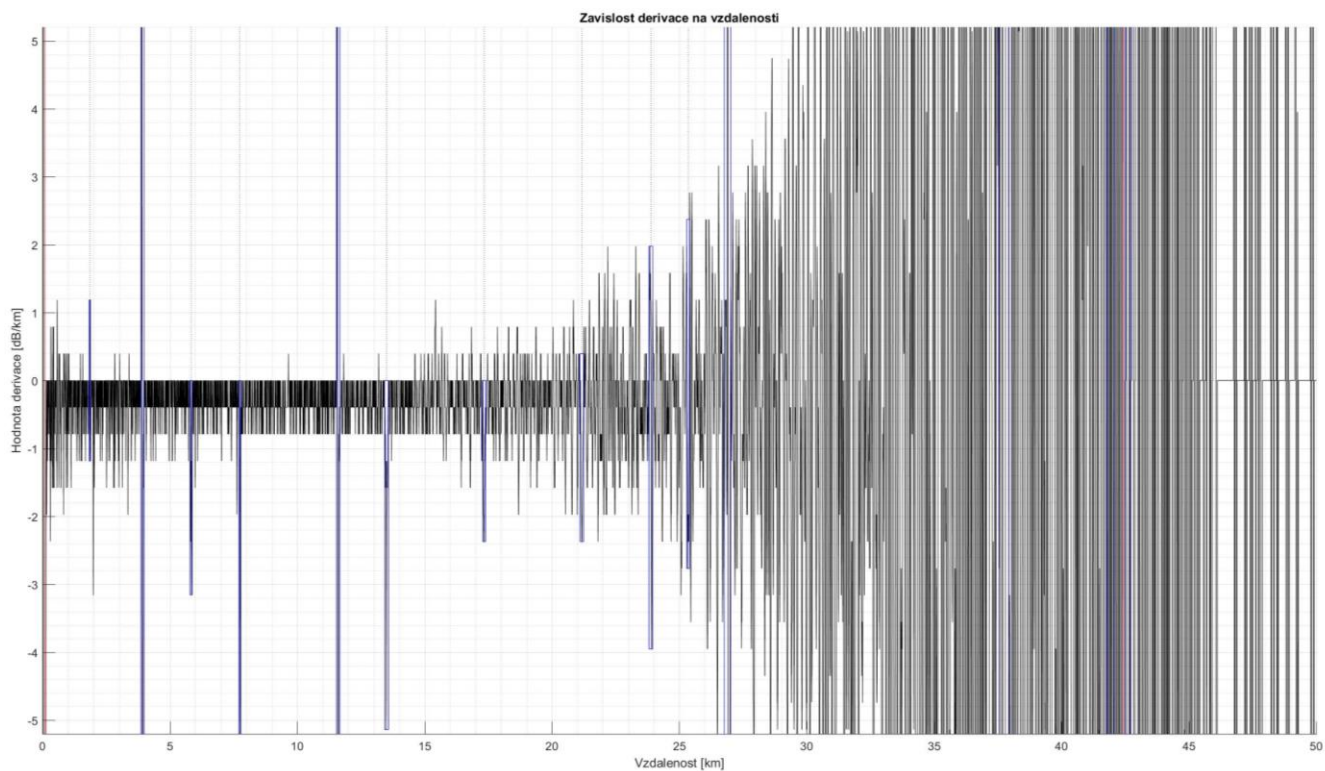
Obr. 2.2.1-8: Zobrazení OTDR průběhu s detekovanými událostmi pro vlnovou délku 1550 nm, délku pulzu 300 ns a snímací čas 20 s vytvořeným analyzáčním programem. Počet detekovaných událostí je 16, konec vlákna určen v 46,1687 km (ze 46 km).



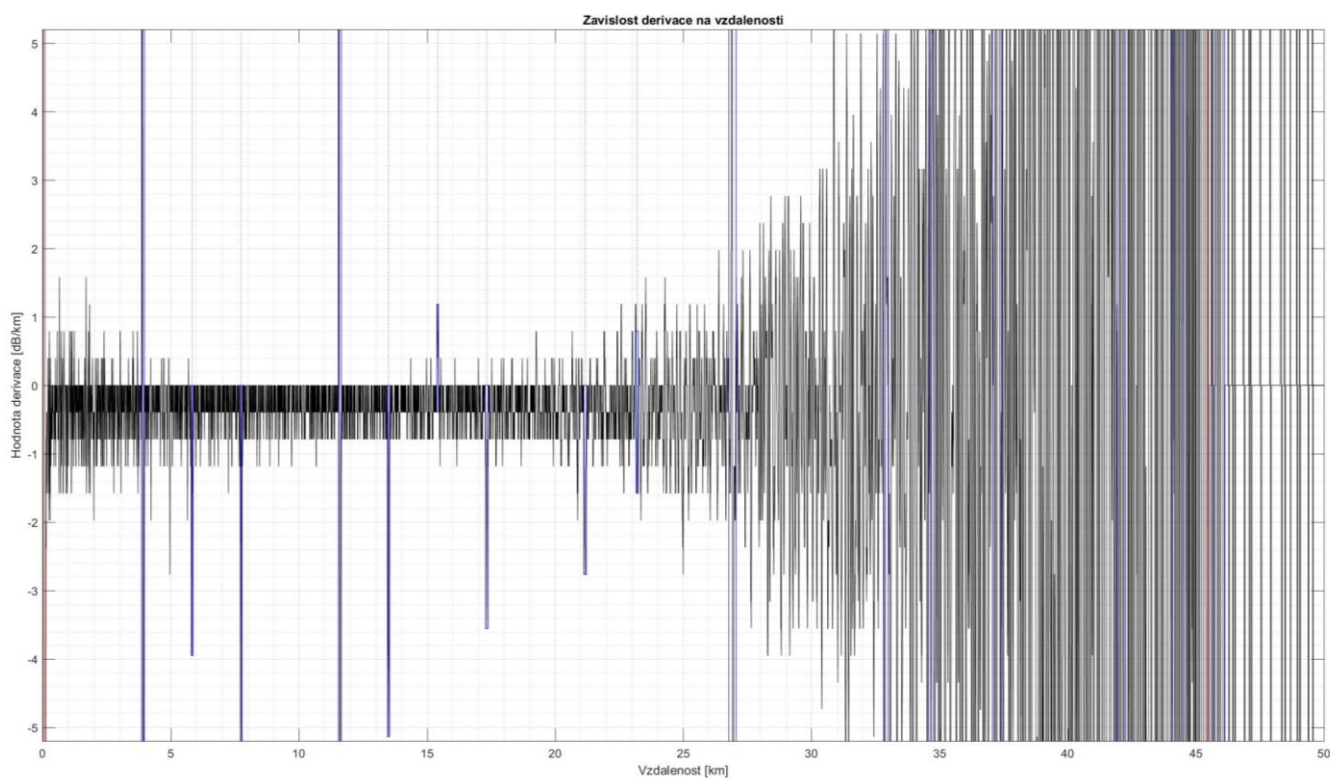
Obr. 2.2.1-9: Zobrazení OTDR průběhu pro vlnovou délku 1550 nm, délku pulzu 300 ns a snímací čas 60 s softwrem JDSU Fiber TraceViewer. Počet detekovaných událostí je 14, konec vlákna určen v 46,0522 km (ze 46 km).



Obr. 2.2.1-10: Zobrazení OTDR průběhu s detekovanými událostmi pro vlnovou délku 1550 nm, délku pulzu 300 ns a snímací čas 60 s vytvořeným analyzačním programem. Počet detekovaných událostí je 15, konec vlákna určen v 46,1484 km (ze 46 km).

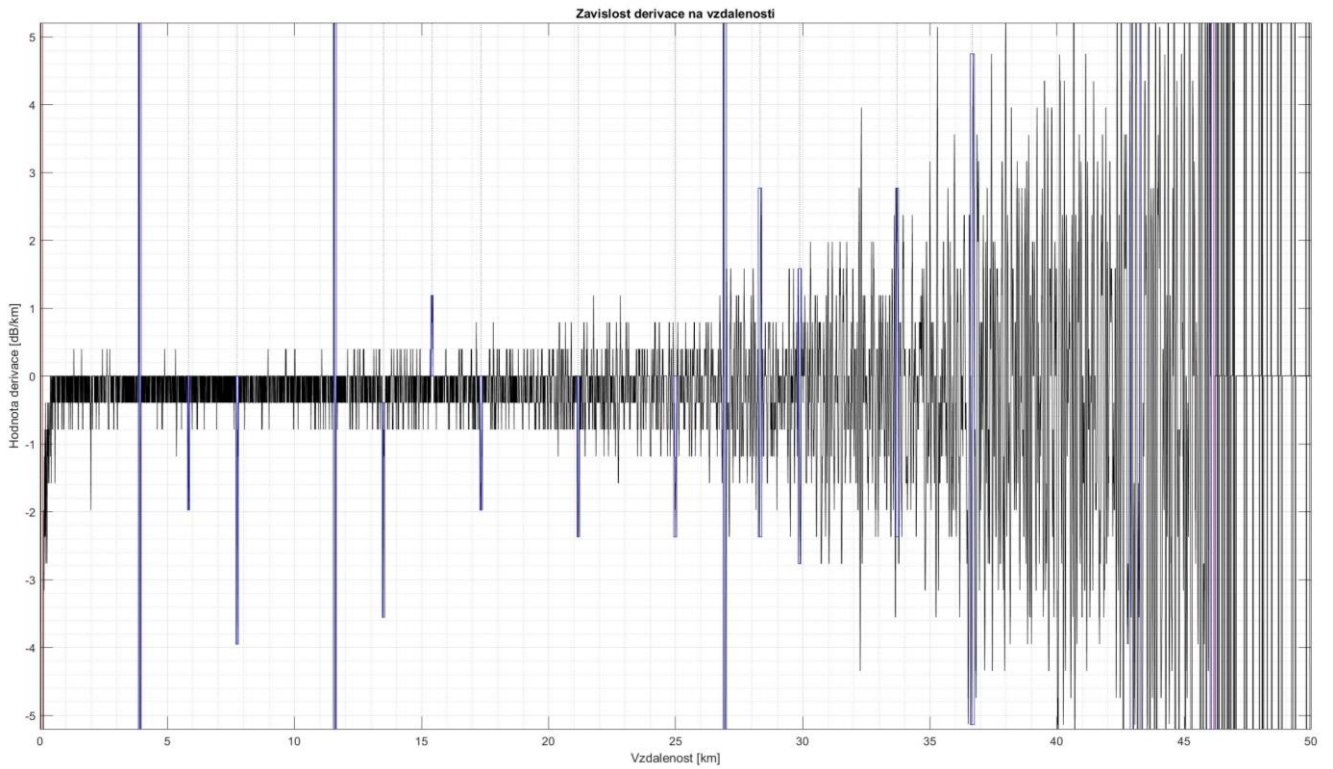


Obr. 2.2.1-11: Průběh derivace pro měření s vlnovou délkou 1310 nm, délkou pulzu 300 ns a snímacím časem 20 s. V druhé polovině průběhu již není dostatečně dobře možné určit útlumové události.

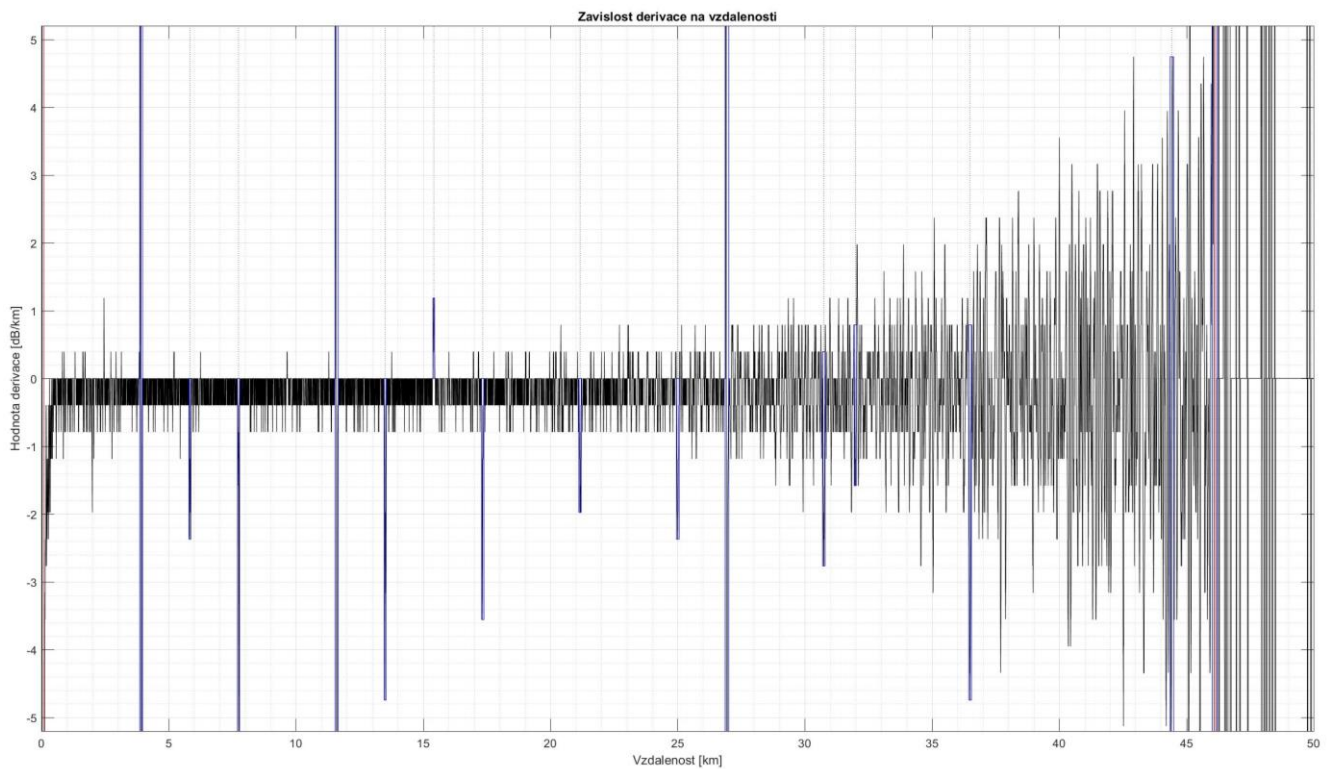


Obr. 2.2.1-12: Průběh derivace pro měření s vlnovou délkou 1310 nm, délkou pulzu 300 ns a snímacím časem 60 s. Stále je druhé polovině průběhu problém kvůli šumu určit útlumové události.





Obr. 2.2.1-13: Průběh derivace pro měření s vlnovou délkou 1550 nm, délkou pulzu 300 ns a snímacím časem 20 s. O něco lepší než v případě vlnové délky 1310 nm, ovšem stále příliš zašuměný konec.



Obr. 2.2.1-14: Průběh derivace pro měření s vlnovou délkou 1550 nm, délkou pulzu 300 ns a snímacím časem 60s. Je vidět správně určené útlumové události v první polovině průběhu, dále šum znemožňuje spolehlivé určení dalších událostí.

### 2.2.1.2 Analýza a výsledky měření – délka pulzu 1000 ns

U měření s délkou pulzu 1000 ns by mělo být daleko snazší určit útlumové události v poslední třetině vlákna, než jak tomu bylo u měření s délkou pulzu 300 ns. Měření bylo opět provedeno pro vlnové délky 1310 a 1550 nm a snímací čas 30 sekund. Byly testovány i jiné délky snímacího času, ale pro méně zašuměný průběh nebyly pozorovány výrazné rozdíly. Proto všechna měření od tohoto byla provedena pro tuto délku snímacího času. Oba programy již dokáží z daného OTDR průběhu spolehlivě určit konec vlákna pro obě vlnové délky.

Jak je patrné z průběhů na Obr. 2.2.1-16 a Obr. 2.2.1-17, délka pulzu 1000 ns při vlnové délce 1310 nm není stále zcela vhodná, jelikož se ke konci opět objevuje šum. Přesto je možné i za hranicí 35 kilometrů určit s relativně vysokou pravděpodobností svary, které nebylo u měření s délkou pulzu 300 ns určit. Pravděpodobnost pro tyto výskyty je více než třikrát vyšší, než stanovená hranice 2,1 %. Vzdálenosti detekovaných událostí (14 až 16, Obr. 2.2.1-17) od začátku vlákna odpovídají očekáváním, jsou přibližně 2 kilometry od sebe. Přestože jsou výsledky slibné, na průběhu OTDR se tyto detekované události jeví jako šum, tudíž je nemožné s jistotou říci, že se tam opravdu vyskytují. V porovnání se softwarem JDSU TraceViewer bylo detekováno o dvě události více, jelikož posledním detekovaným svarem je ve vzdálenosti 40,18 km, kdežto ve skutečnosti ještě dva následují. Při porovnání obou průběhů je také možné pozorovat, že ve vzdálenosti 28,73 km byl vytvořeným programem detekován svar, který JDSU TraceViewer nebyl schopen odhalit. Ačkoli se jedná o velmi malou změnu výkonu, po dostatečném přiblížení této události a jejího okolí je možné ji pozorovat jak na průběhu derivace, kde je znatelnější, tak na průběhu OTDR. Vstupní parametry pro výpočet jsou uvedeny v Tab. 2.2.1-6.

Velikost filtru [km]	Rozlišení [%]	Max vzdálenost 2 bloků [km]	Max interval pro určení události [km]
0,6378	2,1	0,0506	0,2329

Tab. 2.2.1-6: Vstupní parametry pro detekci událostí programem v Matlabu pro měření s vlnovou délkou 1310 nm, délkou pulzu 1000 ns a snímacím časem 30 s.

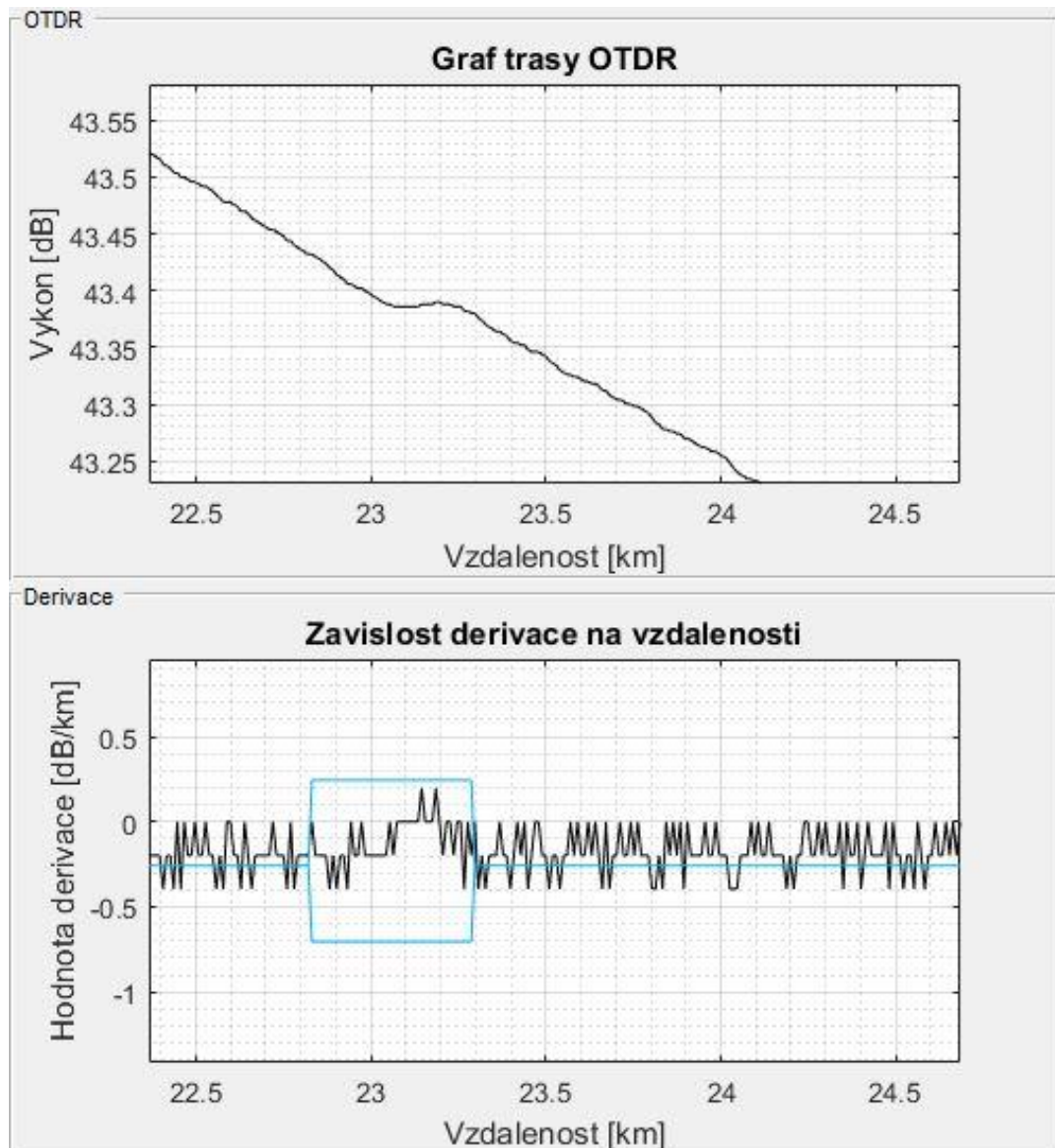
Pro vlnovou délku 1550 nm, na rozdíl od 1310 nm, jde naopak o jeden z nejlepších výsledků na této trase. Je možné spolehlivě detekovat události až do konce vlákna, který není zašuměný, jako tomu bylo u předchozích měření. Na Obr. 2.2.1-20 a Obr. 2.2.1-21 na straně 56 je toto demonstrováno porovnáním průběhů derivace pro měření s vlnovou délkou 1310 a 1550 nm a délkou pulzu 1000 ns.

Software JDSU TraceViewer detekoval celkem 17 událostí. Programu v Matlabu se podařilo detekovat dvě navíc – na počátku ve 2 kilometrech a následně na 29. kilometru. V průběhu OTDR jsou po dostatečném přiblížení znatelné dva další svary, které ale ani jeden z programů nebyl schopen detekovat, jelikož se jedná o svary s velmi nízkou hodnotou útlumu v porovnání s ostatními - detekovanými. Nedetekovaný svar na 23. kilometru je dobře znatelný v průběhu derivace na Obr. 2.2.1-21. Detailní zobrazení svaru je možné vidět

na Obr. 2.2.1-15, který je pořízen při spuštěném módu vlastní analýzy. Parametry použité pro výpočet jsou uvedeny v Tab. 2.2.1-7.

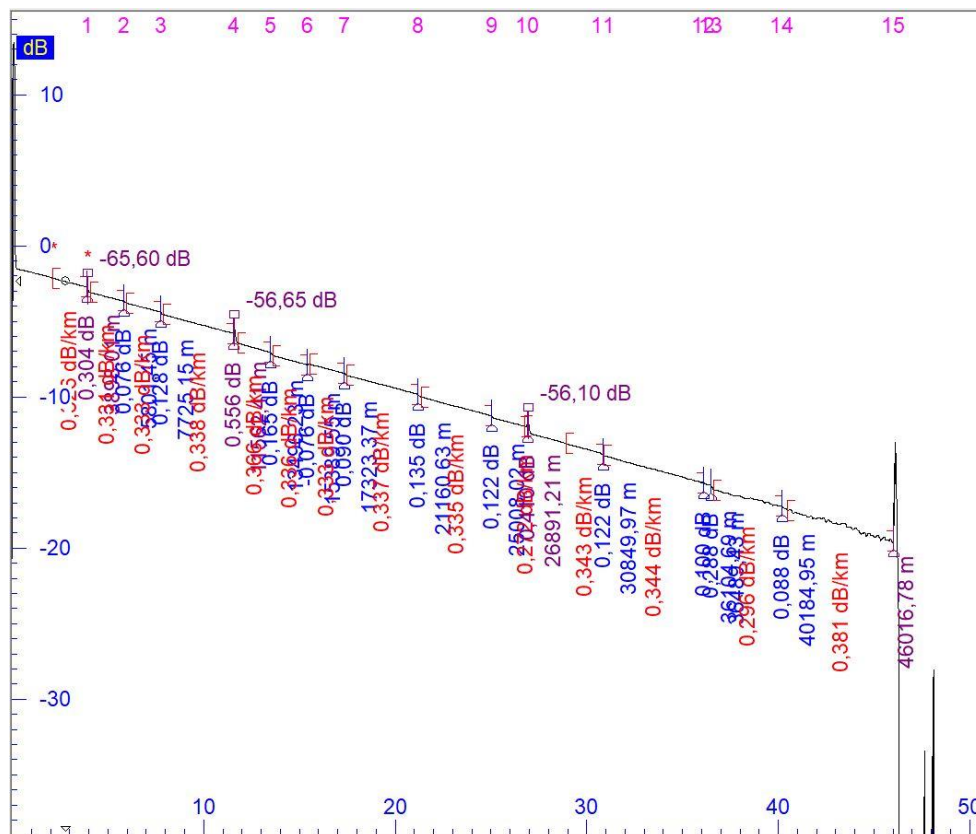
Velikost filtru [km]	Rozlišení [%]	Max vzdálenost 2 bloků [km]	Max interval pro určení události [km]
0,4657	2,1	0,0506	0,2329

Tab. 2.2.1-7: Vstupní parametry pro detekci událostí programem v Matlabu pro měření s vlnovou délkou 1550 nm, délkou pulzu 1000 ns a snímacím časem 30 s.

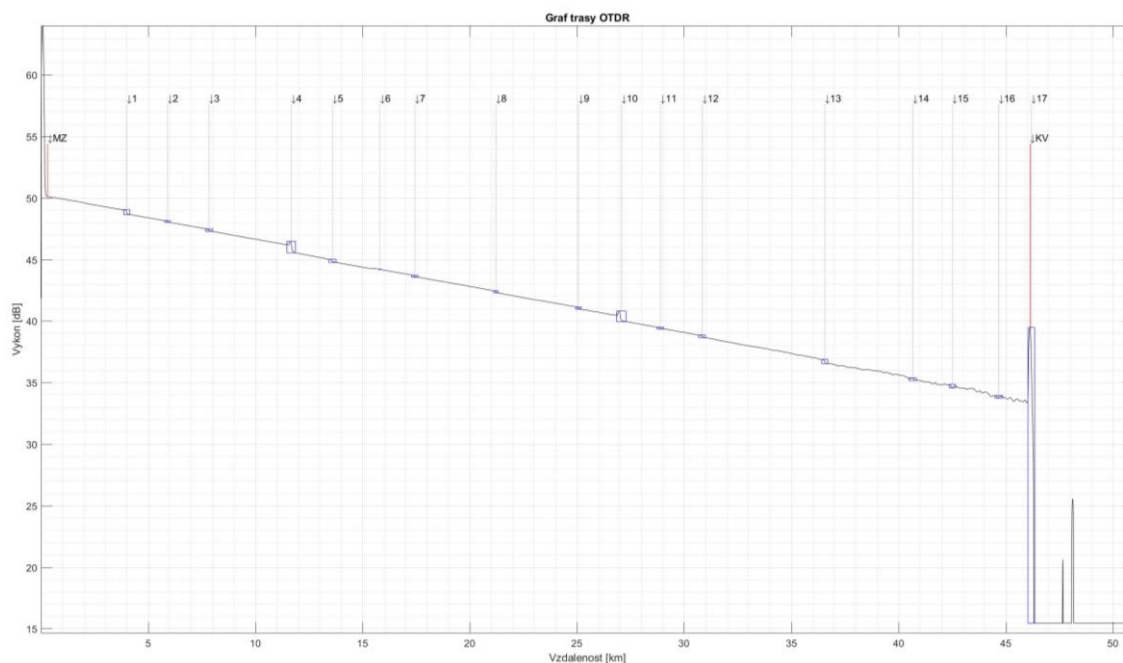


Obr. 2.2.1-15: Jeden z nedetekovaných svarů na průběžích pro měření s vlnovou délkou 1550 nm a 1000 ns pulz.

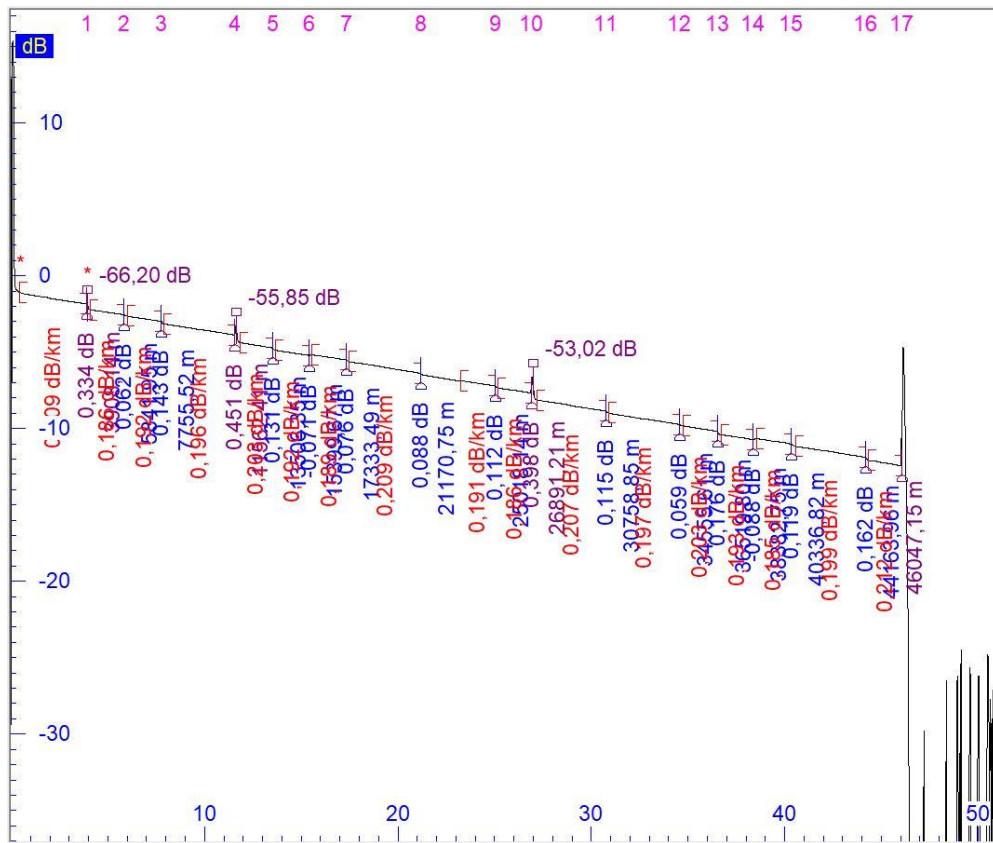




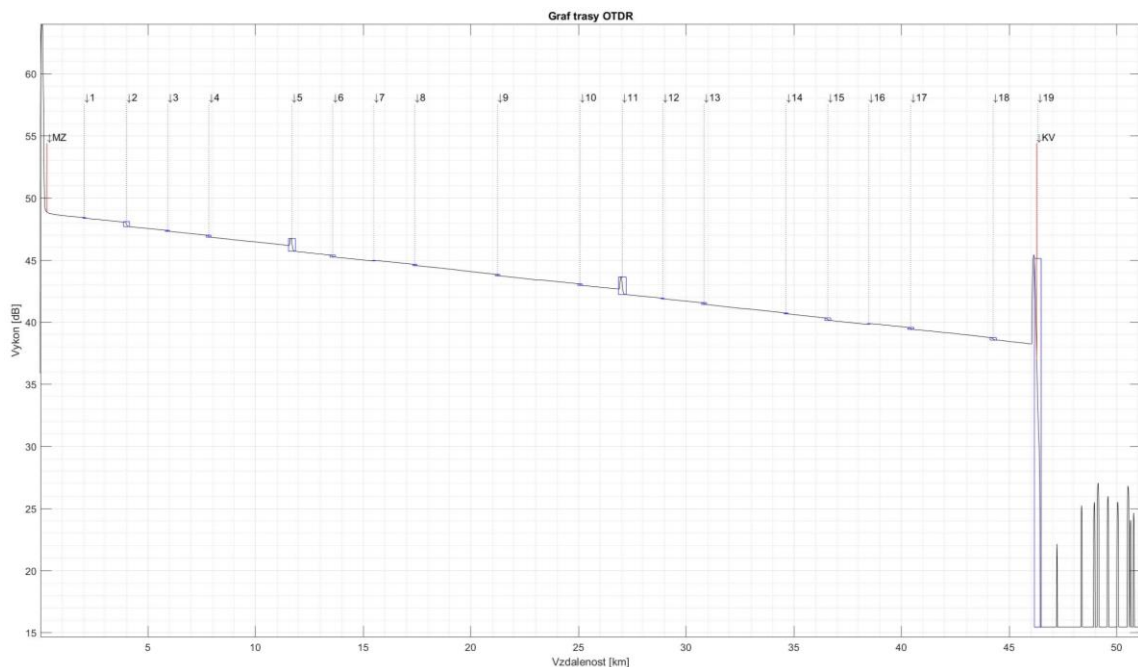
Obr. 2.2.1-16: Zobrazení OTDR průběhu pro vlnovou délku 1310 nm, délku pulzu 1000 ns a snímání čas 30 s softwarem JDSU Fiber TraceViewer. Počet detekovaných událostí je 15, konec vlákna určen v 46,0168 km (ze 46 km).



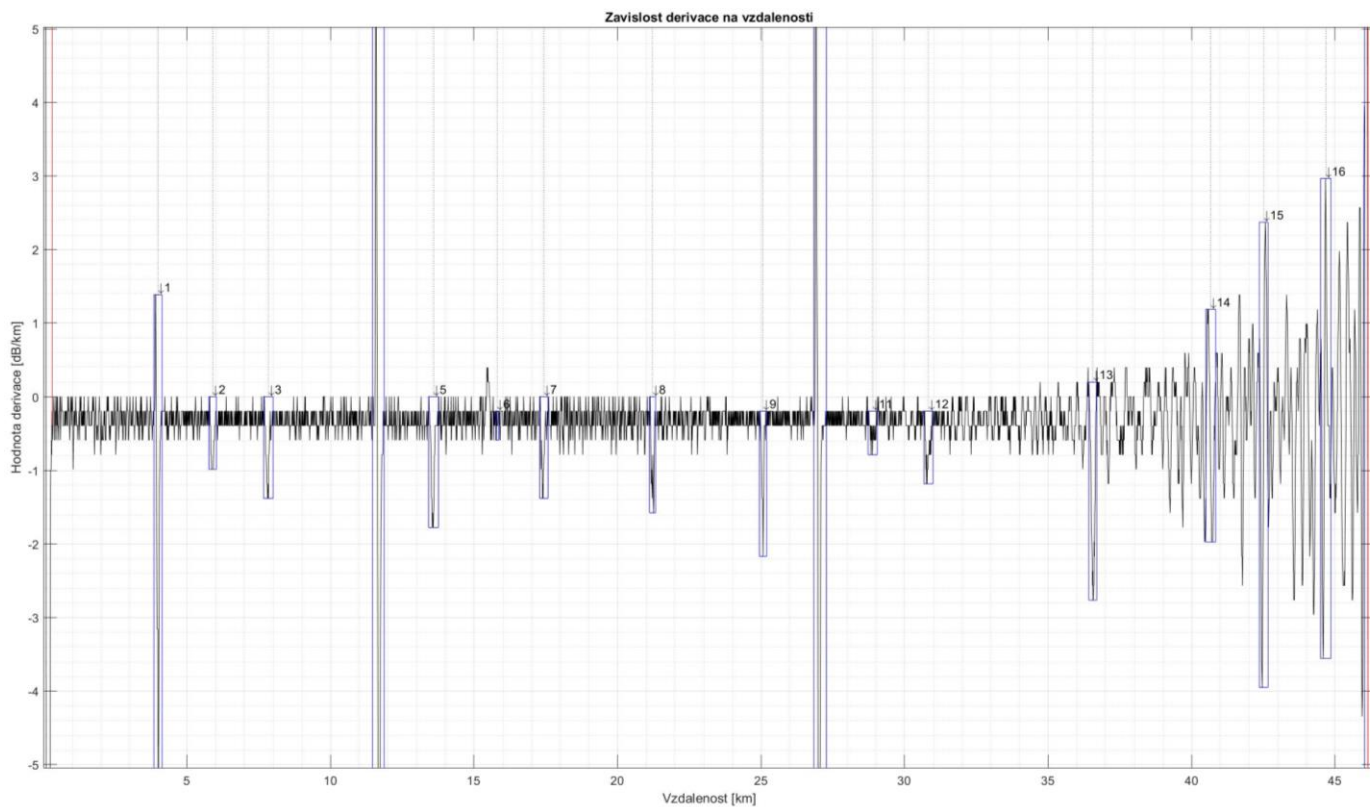
Obr. 2.2.1-17: Zobrazení OTDR průběhu s detekovanými událostmi pro vlnovou délku 1310 nm, délku pulzu 1000 ns a snímání čas 30 s vytvořeným analyzačním programem. Počet detekovaných událostí je 17, konec vlákna určen v 46,1484 km (ze 46 km).



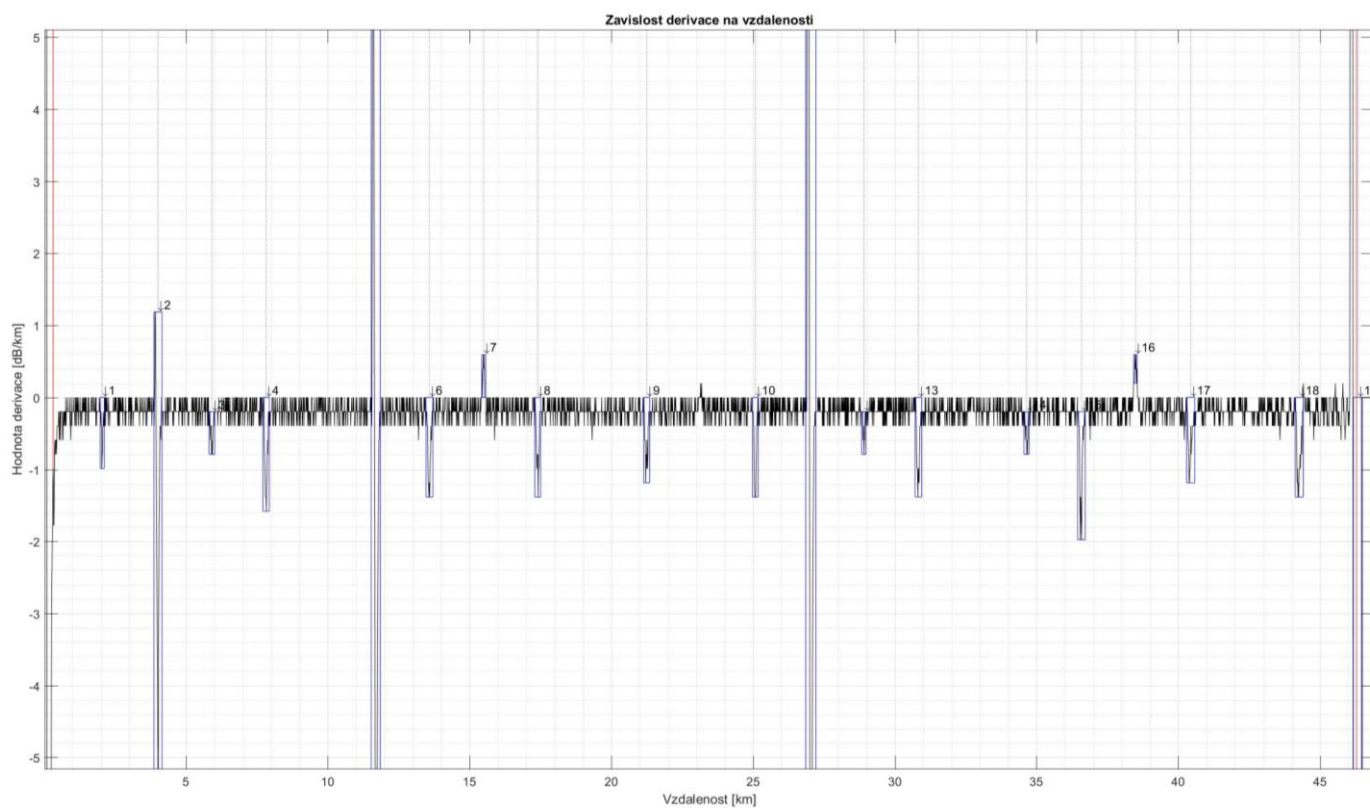
Obr. 2.2.1-18: Zobrazení OTDR průběhu pro vlnovou délku 1310 nm, délku pulzu 1000 ns a snímání čas 30 s softwarem JDSU Fiber TraceViewer. Počet detekovaných událostí je 17, konec vlákna určen v 46,0472 km (ze 46 km).



Obr. 2.2.1-19: Zobrazení OTDR průběhu s detekovanými událostmi pro vlnovou délku 1550 nm, délku pulzu 1000 ns a snímání čas 30 s vytvořeným analyzačním programem. Počet detekovaných událostí je 19, konec vlákna určen v 46,1484 km (ze 46 km).



Obr. 2.2.1-20: Průběh derivace pro měření s vlnovou délkou 1310 nm a délkou pulzu 1000 ns.



Obr. 2.2.1-21: Průběh derivace pro měření s vlnovou délkou 1550 nm a délkou pulzu 1000 ns.

### 2.2.1.3 Analýza a výsledky měření – délka pulzu 3000 ns

Další nastavení délky pulzu, které optický reflektometr JDSU MTS-6000 umožňuje zvolit po 1000 ns, je 3000 ns. S touto zvolenou délkou pulzu je možné na dané trase detekovat nejvíce událostí, i když ne s takovou přesností, jako u předchozího měření (dáno větší šířkou pulzu – větší identifikační mrtvou zónou).

V případě měření s vlnovou délkou 1310 nm bylo vytvořeným programem detekováno 21 útlumových událostí (Obr. 2.2.1-23) a softwarem JDSU TraceViewer 15 (Obr. 2.2.1-22). Událost číslo 21, resp. 15, je pouze zobrazení konce vlákna, tudíž ve skutečnosti je detekovaných událostí 20, resp. 14. To je dobrý výsledek vzhledem k tomu, že na trase se nachází celkem 23 svarů. Z toho je jeden, v rozmezí 8 až 12 kilometrů, téměř nedetekovatelný. Na průběhu derivace na Obr. 2.2.1-26 (str. 60) by bylo teoreticky možné určit všechny svary, kromě toho okolo desátého kilometru. Kolem kilometru 2 a 29 jsou pozorovatelné anomálie, ale ani jeden z programů je nebyl schopen detekovat, protože se jedná o velice nepatrné změny ve výkonu. Při pohledu na události 6 a 16 (ziskové svary) je možné vidět omezení, které způsobuje převod do absolutních hodnot derivace pro určení rozsahu události (popsáno v kapitole 2.1.2.5 na straně 36). Události jsou detekovány, ale nejsou zcela správně určeny jejich začátky a konce. Také při větším detailu na událost 14 je možné vyhodnotit, že se nejspíše jedná pouze o šum. Parametry použité pro detekci jsou uvedeny v Tab. 2.2.1-8.

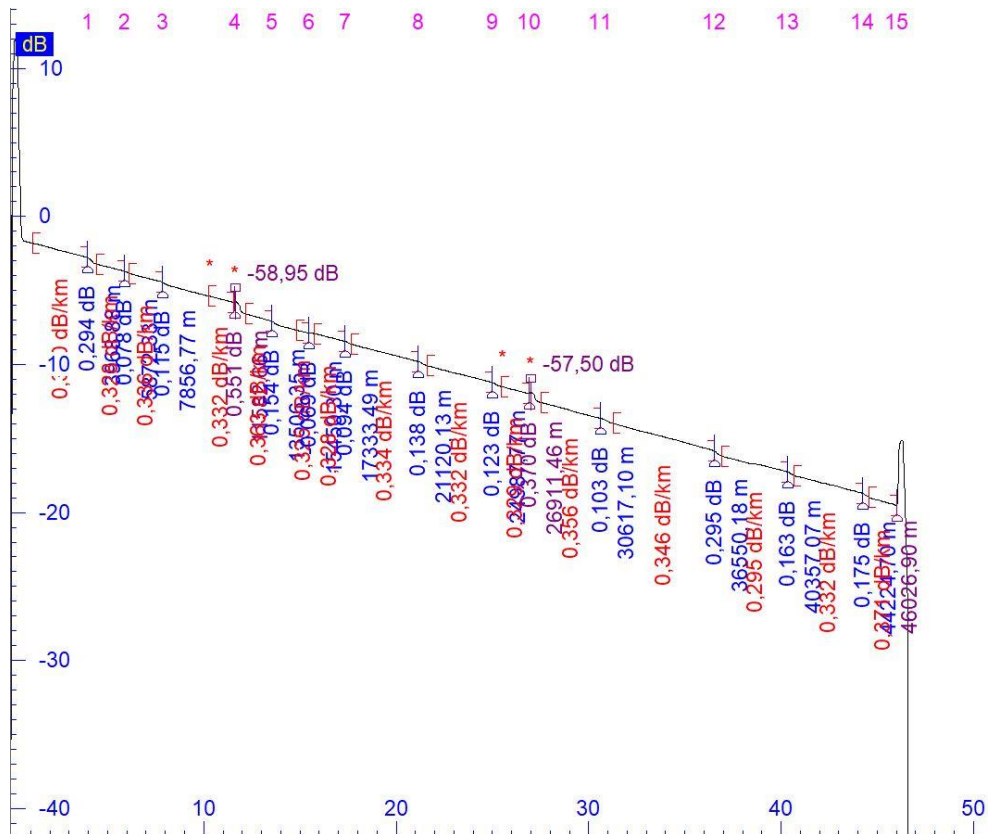
Velikost filtru [km]	Rozlišení [%]	Max vzdálenost 2 bloků [km]	Max interval pro určení události [km]
0,4656	2,1	0,1012	0,4656

Tab. 2.2.1-8: Vstupní parametry pro detekci událostí programem v Matlabu pro měření s vlnovou délkou 1310 nm, délkou pulzu 3000 ns a snímacím časem 30 s.

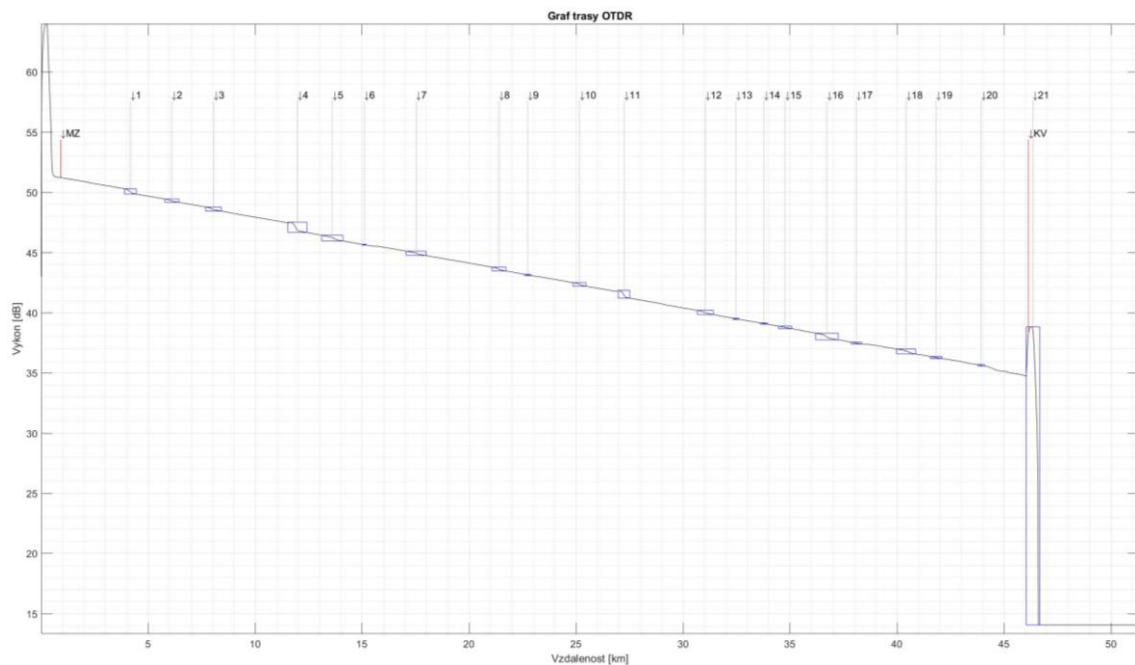
Velmi podobné výsledky je možné pozorovat i pro vlnovou délku 1550 nm. S parametry uvedené v Tab. 2.2.1-9 bylo pro toto měření možné určit 21, resp. 20, útlumových událostí, stejně jako v předchozím měření. JDSU FiberViewer dokázal detekovat pouze 16, resp. 15, stále je to ale více než v předchozím měření, což se dá u vlnové délky 1550 nm očekávat. I když došlo vytvořeným programem k detekci stejného množství událostí, událost číslo 14 z předchozího měření (Obr. 2.2.1-26, str. 60) byla vyhodnocena jako šum, ale naopak přibyla událost číslo 4 (Obr. 2.2.1-27, str. 60), která sice odpovídá umístění svaru okolo desátého kilometru, ale není možné ji ověřit z průběhu derivace, ani z průběhu OTDR. Při pohledu na průběh derivace (Obr. 2.2.1-27, str. 60) by bylo, stejně jako v měření s vlnovou délkou 1310 nm, teoreticky možné určit všechny útlumové události, vyjma události okolo desátého kilometru. Pro proměření této trasy je tedy nejvhodnější zvolit délku pulzu 3000 ns.

Velikost filtru [km]	Rozlišení [%]	Max vzdálenost 2 bloků [km]	Max interval pro určení události [km]
0,4656	4,2	0,1012	0,4656

Tab. 2.2.1-9: Vstupní parametry pro detekci událostí programem v Matlabu pro měření s vlnovou délkou 1550 nm, délkou pulzu 3000 ns a snímacím časem 30 s.

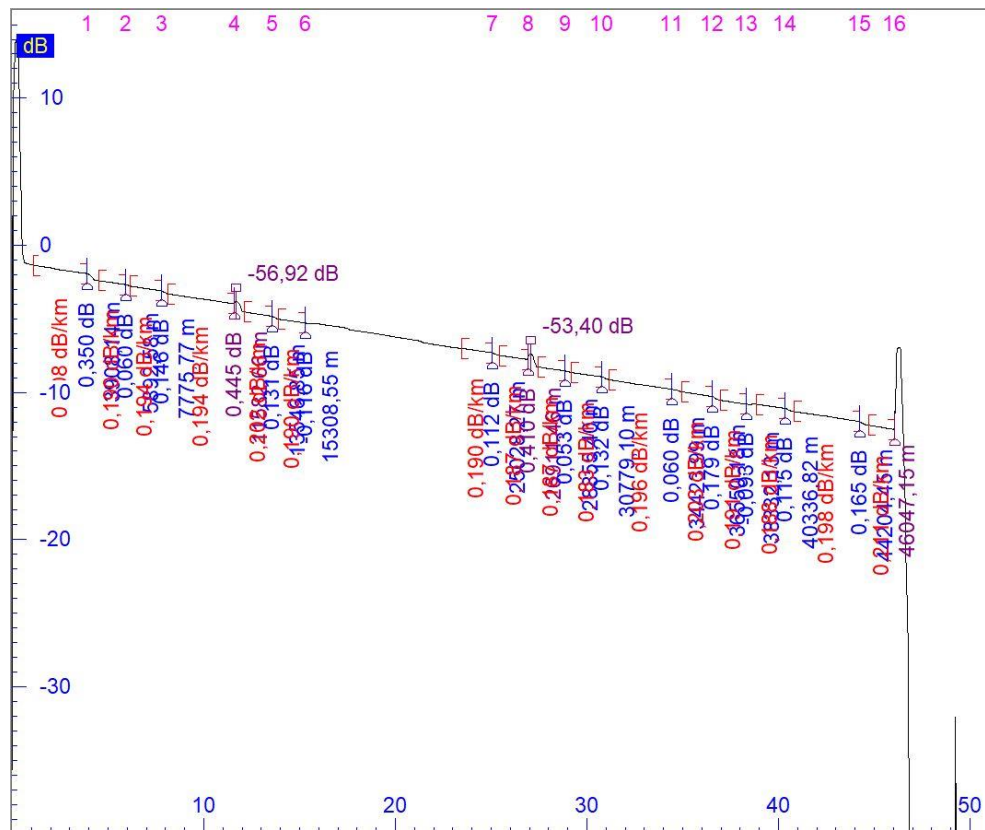


Obr. 2.2.1-22: Zobrazení OTDR průběhu pro vlnovou délku 1310 nm, délku pulzu 3000 ns a snímací čas 30 s softwarem JDSU Fiber TraceViewer. Počet detekovaných událostí je 15, konec vlákna určen v 46,0269 km (ze 46 km).

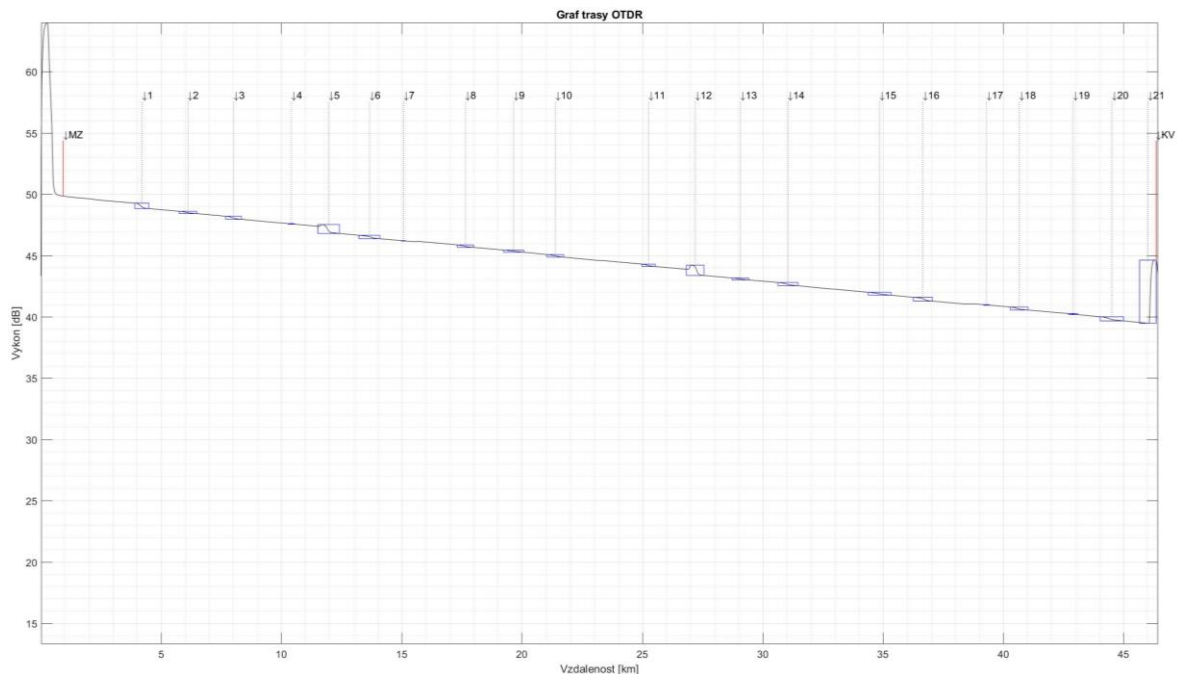


Obr. 2.2.1-23: Zobrazení OTDR průběhu s detekovanými událostmi pro vlnovou délku 1310 nm, délku pulzu 3000 ns a snímací čas 30 s vytvořeným analyzačním programem. Počet detekovaných událostí je 21, konec vlákna určen v 46,1484 km (ze 46 km).

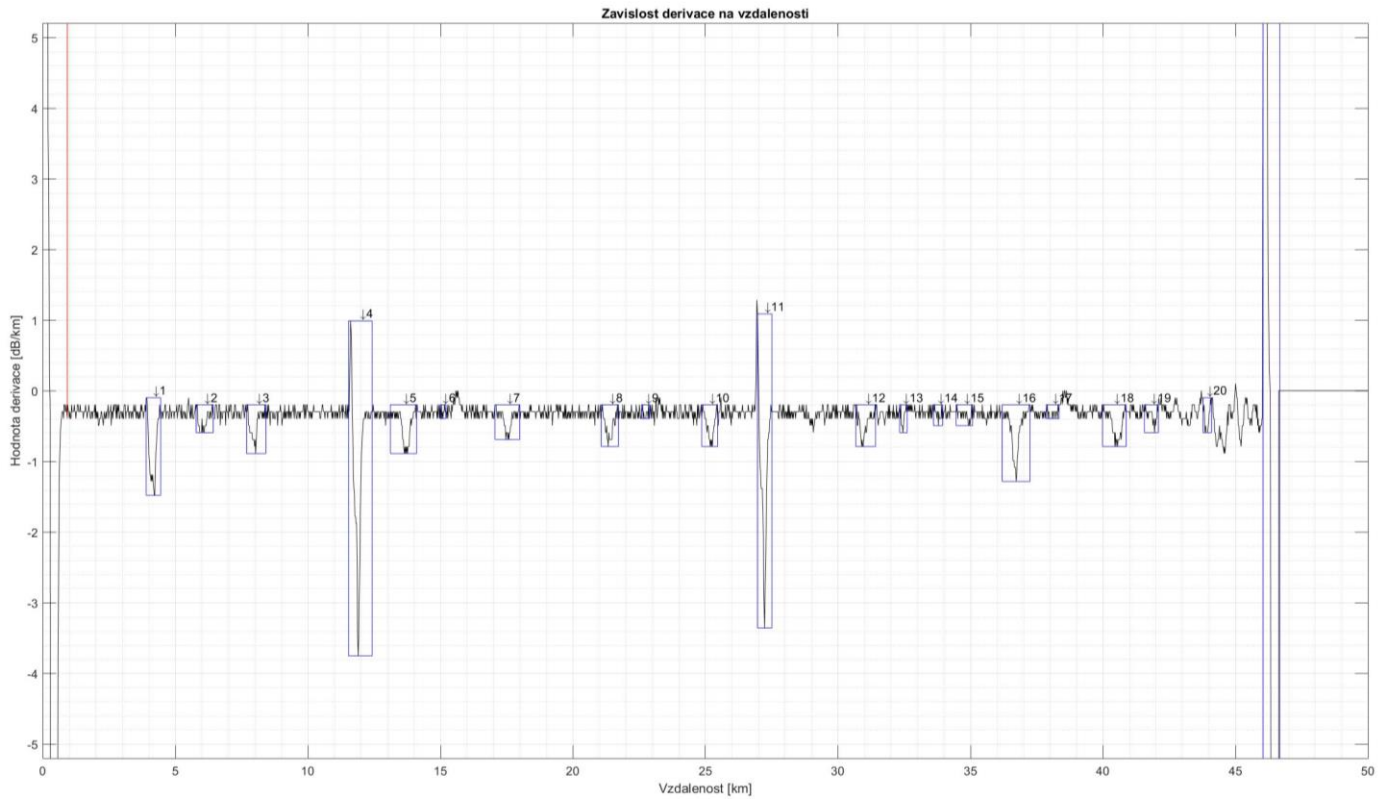




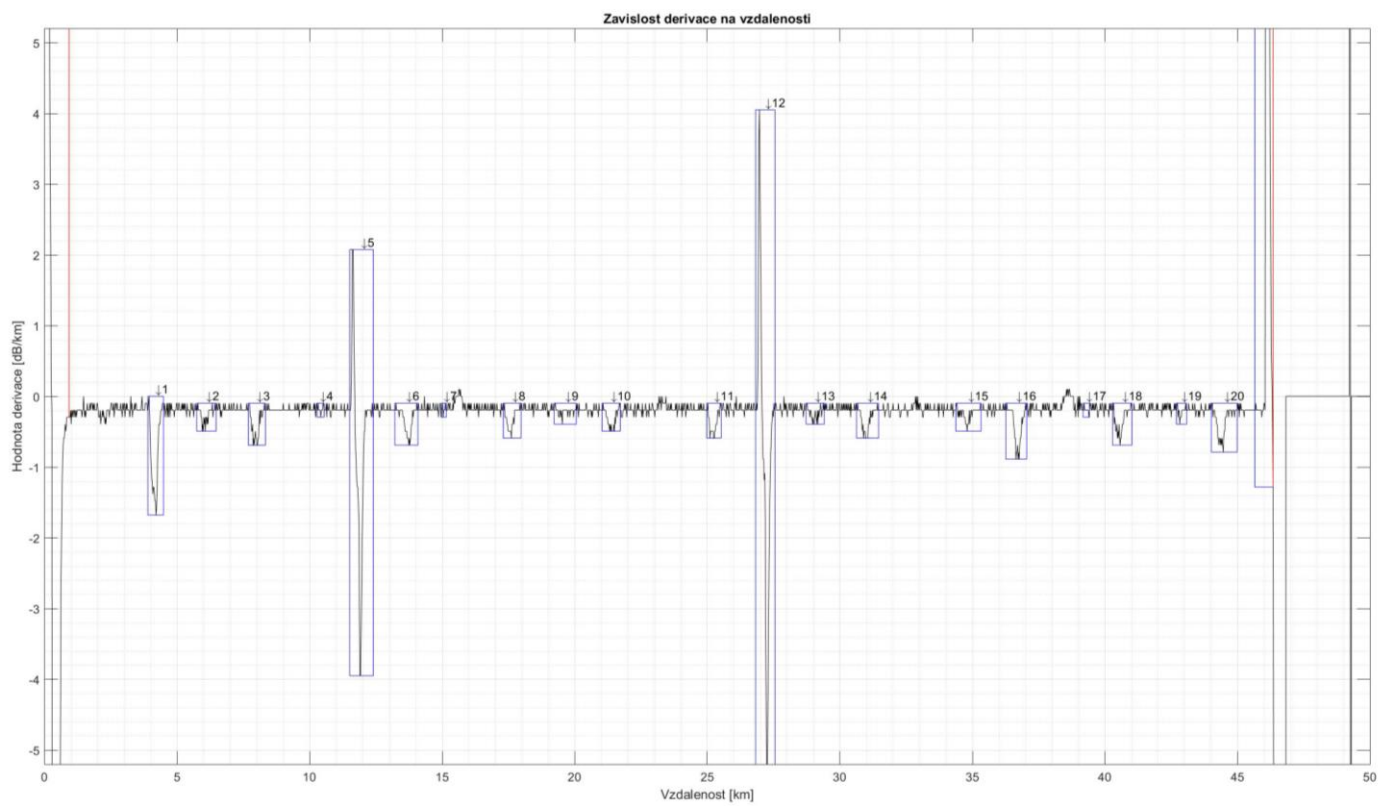
Obr. 2.2.1-24: Zobrazení OTDR průběhu pro vlnovou délku 1550 nm, délku pulzu 3000 ns a snímání čas 30 s softwarem JDSU Fiber TraceViewer. Počet detekovaných událostí je 16, konec vlákna určen v 46,0472 km (ze 46 km).



Obr. 2.2.1-25: Zobrazení OTDR průběhu s detekovanými událostmi pro vlnovou délku 1550 nm, délku pulzu 3000 ns a snímání čas 30 s vytvořeným analyzačním programem. Počet detekovaných událostí je 21, konec vlákna určen v 46,3509 km (ze 46 km).



Obr. 2.2.1-26: Průběh derivace pro měření s vlnovou délkou 1310 nm a délkou pulzu 3000 ns.



Obr. 2.2.1-27: Průběh derivace pro měření s vlnovou délkou 1550 nm a délkou pulzu 3000 ns.



#### 2.2.1.4 Analýza a výsledky měření – délka pulzu 10000 ns

Poslední měření pro testovací trasu o délce 46 kilometrů bylo provedeno s délkou pulzu 10000 ns (10  $\mu$ s). Jak se ukázalo, délka pulzu 10  $\mu$ s je pro danou trasu zcela nevhodná. Jelikož jsou od sebe svary vzdálené zhruba 1,9 kilometru a velikost identifikační mrtvé zóny pro délku pulzu je teoreticky 1 kilometr, prakticky bývá o něco větší, celý průběh je v podstatě pokryt pouze útlumovými událostmi. Spíše než na průběhu OTDR je nadměrné zvlnění vidět na průběhu derivace na Obr. 2.2.1-32 a Obr. 2.2.1-33 na straně 64. Velmi těžko se z takového průběhu určují události pomocí metody porovnávání rozptylů, která je použita ve vytvořeném programu. Jelikož na sebe jednotlivé svary téměř navazují, není také možné dostatečně přesně určit měrný útlum vláken mezi svary.

Pro vlnovou délku 1310 nm je detekce kvůli nevhodně zvolené délce pulzu značně nepřesná, což je možné vidět především na Obr. 2.2.1-32 (str. 64). JDSU TraceViewer také detekoval pouze 5 událostí, z toho poslední je konec vlákna. Z pohledu množství detekovaných událostí byl vytvořený program při parametrech z Tab. 2.2.1-10 detekovat celkem 11 událostí včetně konce vlákna. Ačkoli při bližším průzkumu mají události 4, 8 a 10 nesprávně určené hranice. Na průběhu jsou poznat události mezi 6 a 7 kilometrem a dvě události okolo patnáctého kilometru, které nebyly detekovány. To pravděpodobně z toho důvodu, který je popsán v kapitole 2.1.2.4 na straně 35. Výskyty, které jsou detekovány vedle sebe, jsou spojeny do jedné oblasti. Při dané velikosti filtru je poměrně pravděpodobné, že některé ze svarů byly zahrnuty do jedné spojené oblasti, ve které se vyhledává pouze jedná událost.

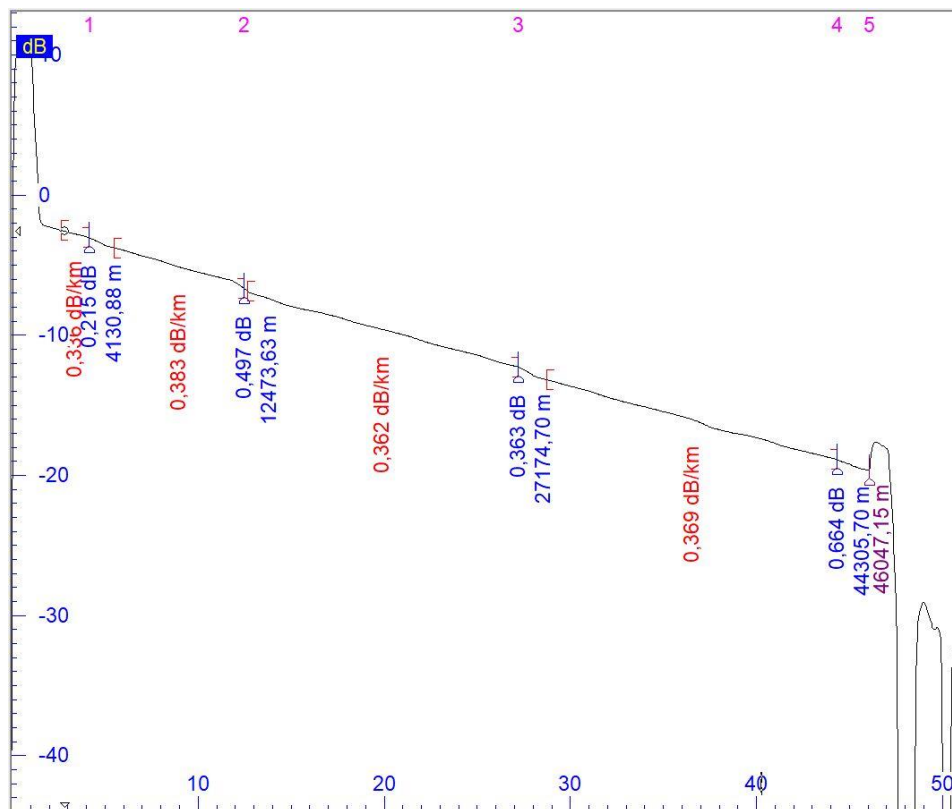
<b>Velikost filtru [km]</b>	<b>Rozlišení [%]</b>	<b>Max vzdálenost 2 bloků [km]</b>	<b>Max interval pro určení události [km]</b>
0,8501	4,2	0,2024	0,8501

Tab. 2.2.1-10: Vstupní parametry pro detekci událostí programem v Matlabu pro měření s vlnovou délkou 1310 nm, délkou pulzu 10000 ns a snímáním časem 30 sekund.

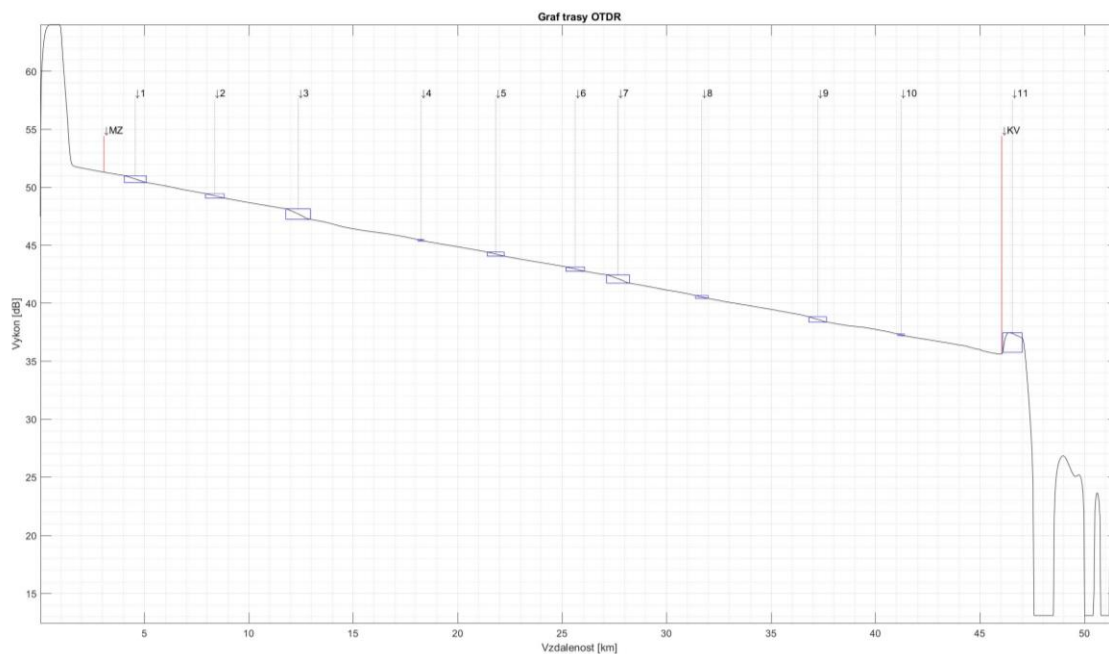
Stejně jako pro vlnovou délku 1310 nm, ani u měření s 1550 nm není možné s dostatečnou přesností určit většinu parametrů. Při pohledu na průběh derivace je však možné pozorovat určité zlepšení v přesnosti detekce jednotlivých událostí. Software JDSU TraceViewer detekoval událost na 44. kilometru, kterou vytvořený program neviděl. Naopak ten detekoval navíc události na 8., 18. a 31. kilometru. Po prohlédnutí detekovaných událostí na průbězích je možné potvrdit jejich výskyt na trase. Jelikož jsou ale všechny události na průbězích dlouhé více než kilometr, vypočtený útlum je daleko vyšší, než skutečný. Proto jsou v odhadu typu události svary určeny jako konektory. Parametry pro výpočet jsou uvedeny v Tab. 2.2.1-11.

<b>Velikost filtru [km]</b>	<b>Rozlišení [%]</b>	<b>Max vzdálenost 2 bloků [km]</b>	<b>Max interval pro určení události [km]</b>
0,8501	4,2	0,2024	1,0524

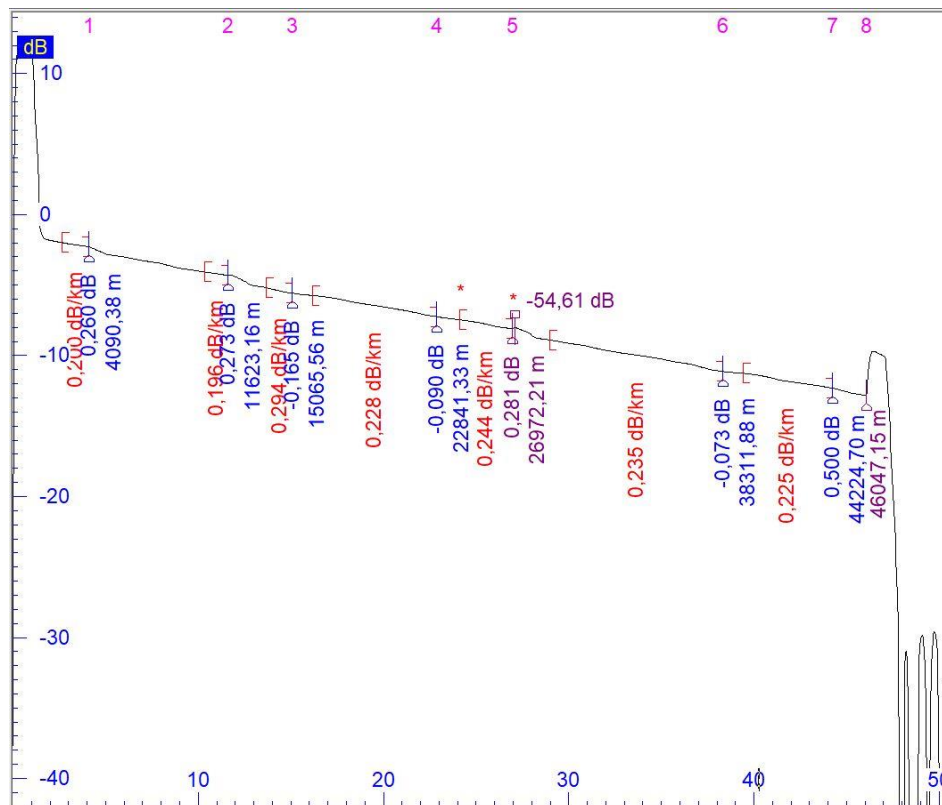
Tab. 2.2.1-11: Vstupní parametry pro detekci událostí programem v Matlabu pro měření s vlnovou délkou 1550 nm, délkou pulzu 10000 ns a snímáním časem 30 sekund.



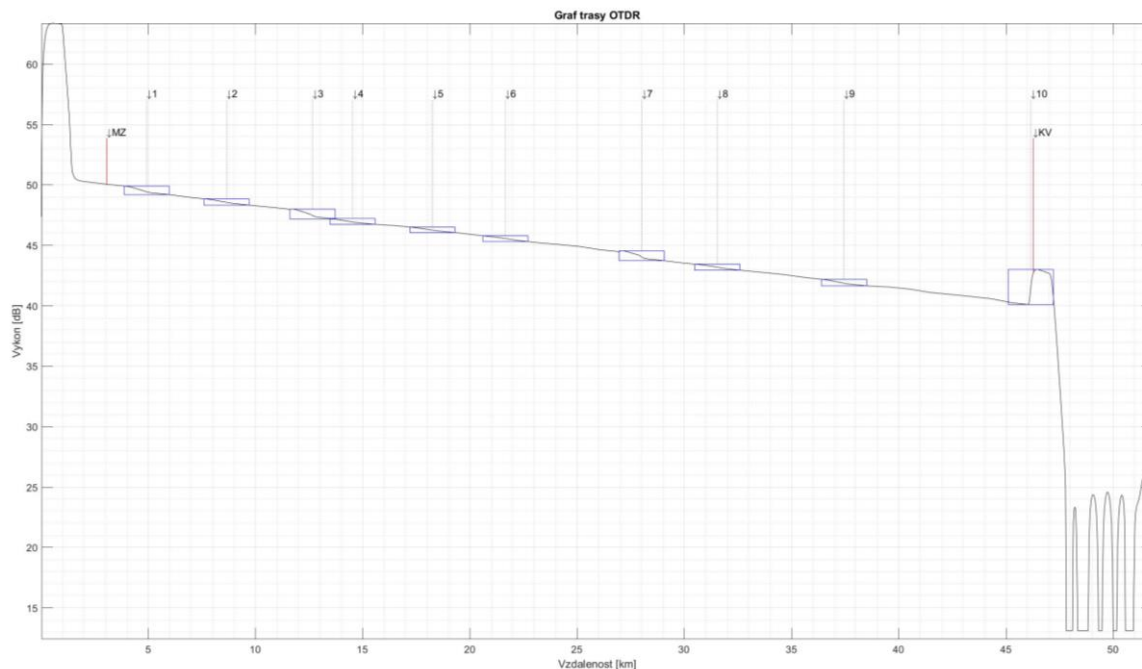
Obr. 2.2.1-28: Zobrazení OTDR průběhu pro vlnovou délku 1310 nm, délku pulzu 10000 ns a snímací čas 30 s softwarem JDSU Fiber TraceViewer. Počet detekovaných událostí je 5, konec vlákna určen v 46,0472 km (ze 46 km).



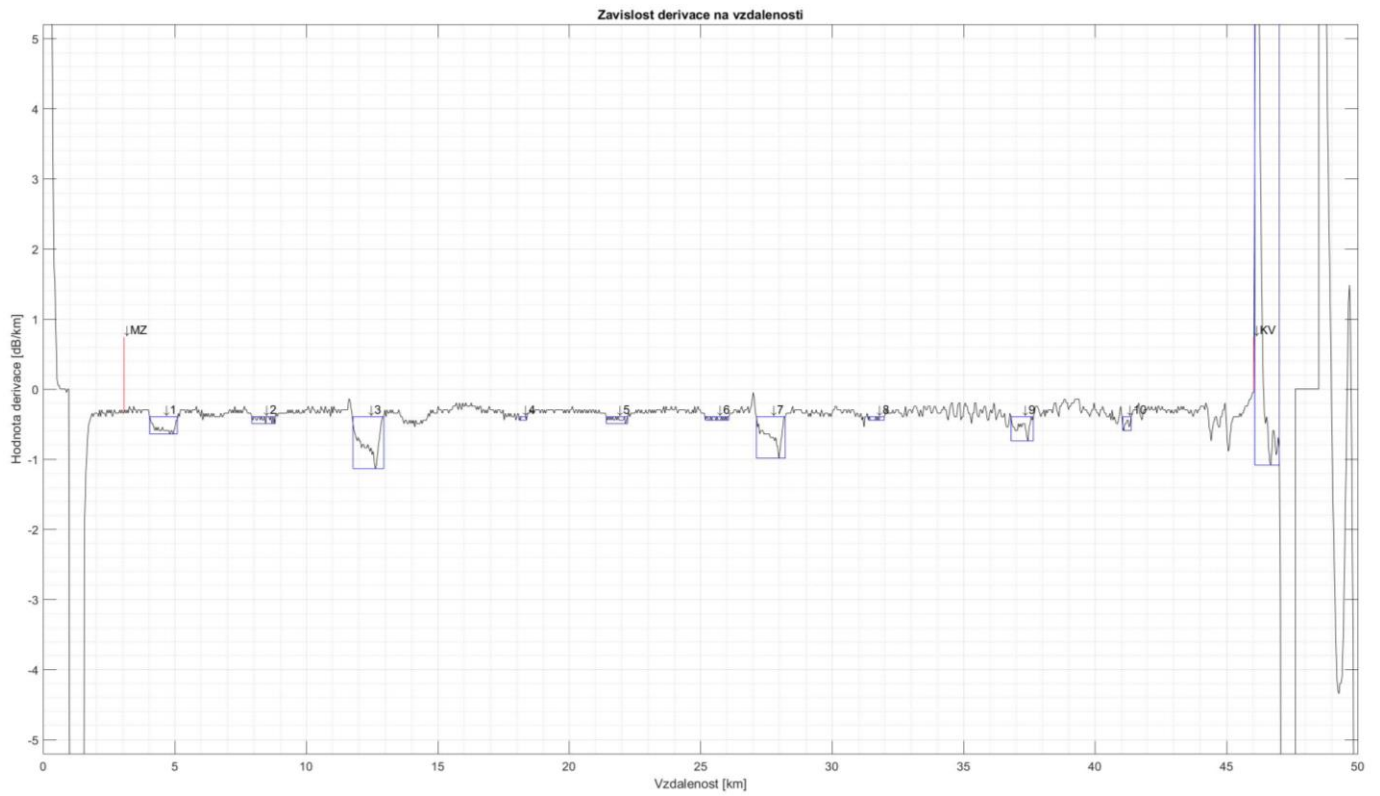
Obr. 2.2.1-29: Zobrazení OTDR průběhu s detekovanými událostmi pro vlnovou délku 1310 nm, délku pulzu 10000 ns a snímací čas 30 s vytvořeným analyzačním programem. Počet detekovaných událostí je 11, konec vlákna určen v 46,0472 km (ze 46 km).



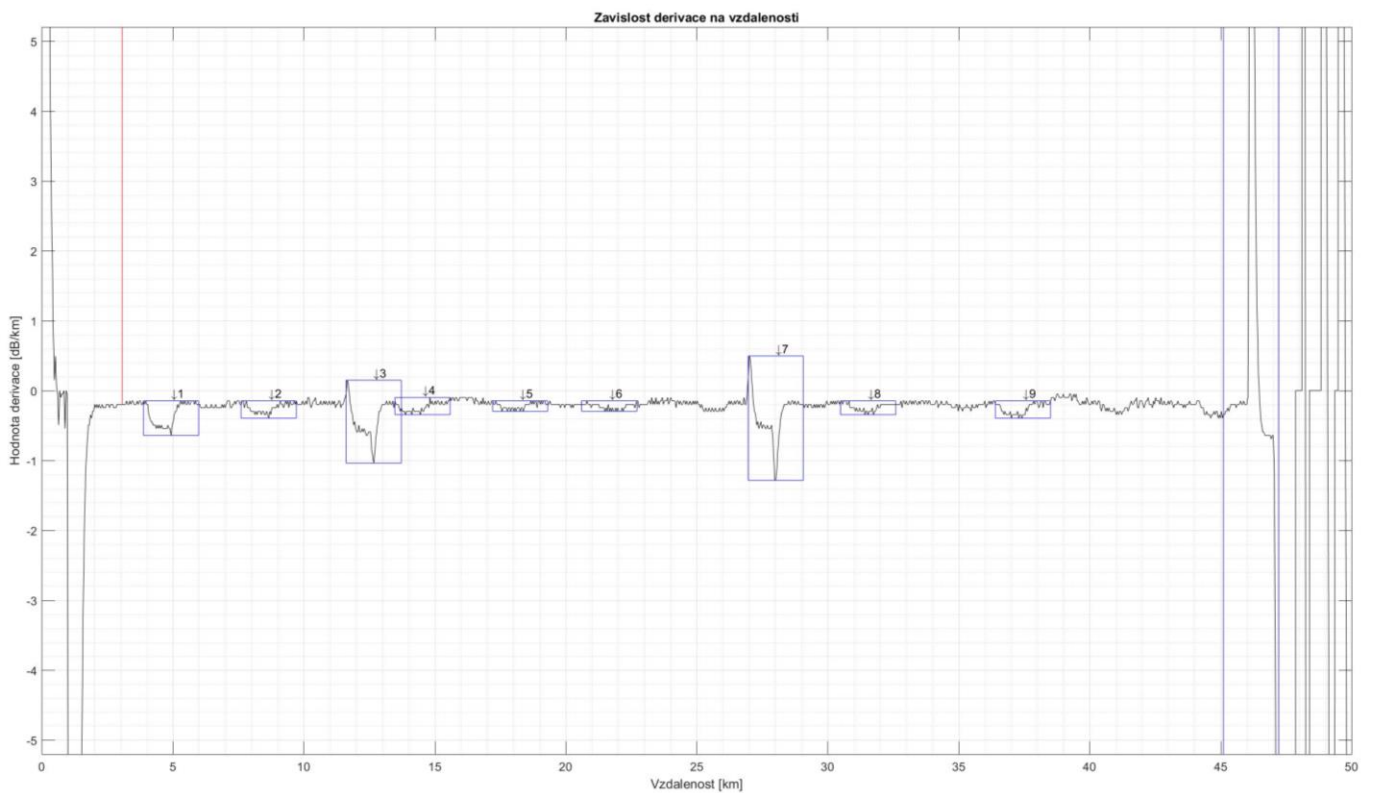
Obr. 2.2.1-30: Zobrazení OTDR průběhu pro vlnovou délku 1310 nm, délku pulzu 3000 ns a snímací čas 30 s softwarem JDSU Fiber TraceViewer. Počet detekovaných událostí je 8, konec vlákna určen v 46,0472 km (ze 46 km).



Obr. 2.2.1-31: Zobrazení OTDR průběhu s detekovanými událostmi pro vlnovou délku 1550 nm, délku pulzu 10000 ns a snímací čas 30 s vytvořeným analyzačním programem. Počet detekovaných událostí je 10, konec vlákna určen v 46,2901 km (ze 46 km).



Obr. 2.2.1-32: Průběh derivace pro měření s vlnovou délkou 1310 nm a délkou pulzu 10000 ns.



Obr. 2.2.1-33: Průběh derivace pro měření s vlnovou délkou 1550 nm a délkou pulzu 10000 ns.

### 2.2.1.5 Vyhodnocení první sady měření

Jak se ukázalo, nejlepší výsledky ukazuje měření se zvolenou délkou pulzu 3000 nm. Bylo možné spolehlivě detekovat téměř všechny svary, které se na testované trase vyskytují. Vytvořený program pro automatickou detekci dokázal konzistentně určit více událostí, než proprietární JDSU Fiber TraceViewer, ne vždy ale zcela přesně kvůli popisovanému problému s převodem derivace do absolutních hodnot. U měření s délkou pulzu 300 ns pro obě vlnové délky a snímací časy dochází k falešným detekcím ke konci vlákna, které je velmi zašuměné a nedají se tak spolehlivě určit události. Těmto výskytům je však obvykle přiřazena nízká pravděpodobnost, což je možné odfiltrvat posunem jezdce „Rozlišení“. Měření s délkou pulzu 1000 ns také vykazovalo slibné výsledky, ale pouze pro vlnovou délku 1550 nm, protože u 1310 nm byl stále přítomen šum ke konci vlákna. Jak se ukázalo, délka pulzu 10000 ns je pro tuto trasu příliš velká, protože se v průběhu vyskytují prakticky pouze útlumové události. Ty mají délku zhruba jako samotné úseky vláken, ze kterých je trasa složena, takže není možné zcela přesně určit měrný útlum úseků.

## 2.2.2 Analýza měření na optické trase s vloženým splitterem s poměrem 50:50

Měření bylo provedeno na přístroji JDSU MTS-6000, ke kterému bylo připojeno předřadné vlákno o délce 1,48 kilometru. Na předřadné vlákno byl napojen splitter s dělicím poměrem výkonu 50:50 a za ním testované optické vlákno o délce 1,64 kilometru. Provedena byla 3 měření pro délky pulzu 30, 100 a 300 ns a pro vlnové délky 1310 a 1550 nm. Jelikož v tomto případě změna vlnové délky nemá tak zásadní vliv na výsledky, jsou rozebrána měření pouze pro vlnovou délku 1310 nm. Parametry popsanych měření jsou uvedeny v Tab. 2.2.2-1.

Měření	Délka pulzu [ns]	Snímací čas [s]	Vlnová délka [nm]
1.	30	30	1310
2.	100	30	1310
3.	300	30	1310

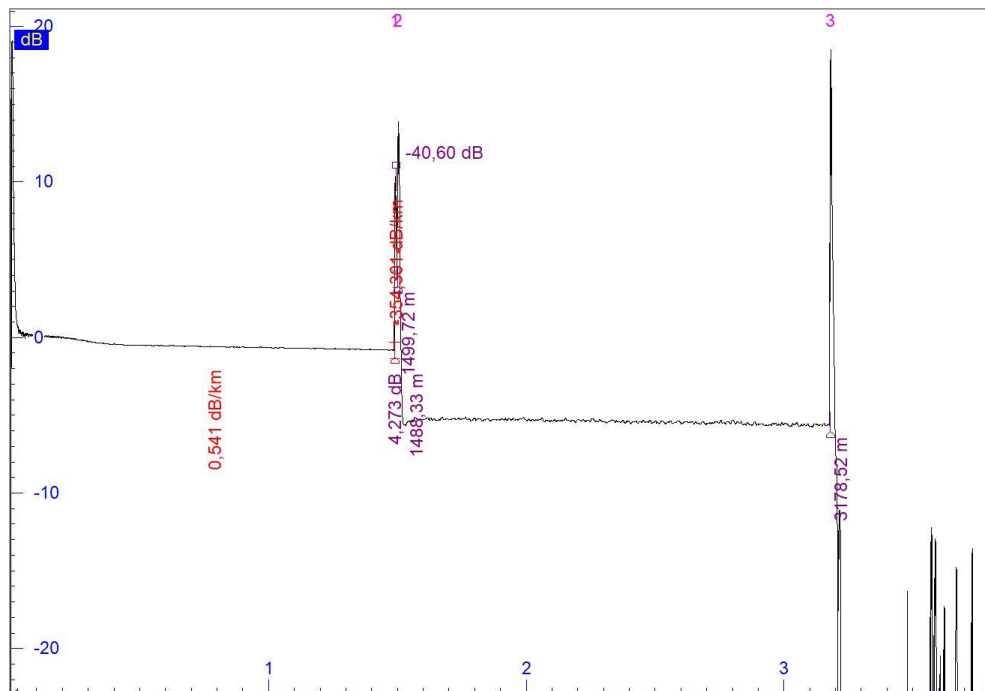
Tab. 2.2.2-1: Tabulka parametrů pro měření trasy se splitterem.

### 2.2.2.1 Analýza a výsledky měření – délka pulzu 30 ns

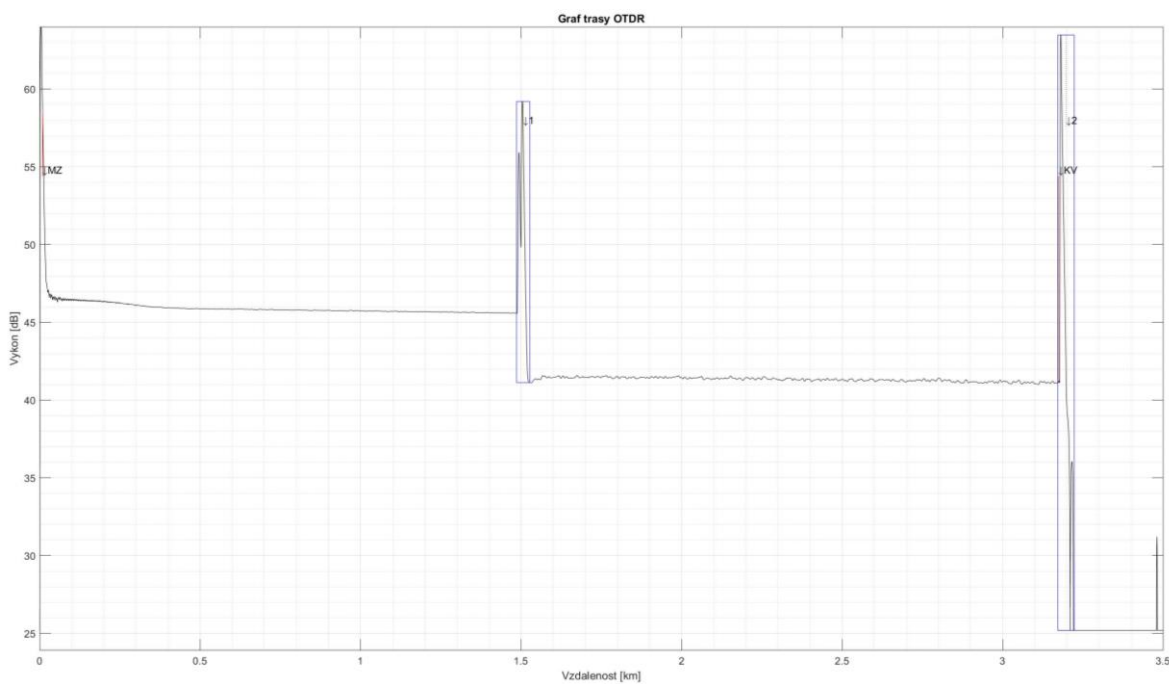
Pro první měření pro tuto trasu byla zvolena délka pulzu 30 ns, jelikož se jedná o relativně krátké úseky. Jak je patné z průběhů na Obr. 2.2.2-1, Obr. 2.2.2-2 (str. 67) a Obr. 2.2.2-3 (str. 68), druhý úsek při této délce pulzu ukazuje známky šumu. Nicméně je možné bez problému určit, že se na kilometru 1,48 vyskytuje odrazivá útlumová událost. Ve skutečnosti je možné detekovat dvě jednotlivé události, a to odraz od obou konektorů, které propojují vlákna skrz splitter, detailně zobrazeno na Obr. 2.2.2-4 (str. 68). Software JDSU TraceViewer dokázal určit oba tyto výskyty, vytvořený program určil událost jako jeden celek. V této formě není uzpůsoben na detekci takto blízko za sebou následujících událostí. Je teoreticky možné upravit velikost filtru tak, aby se dané dva píky určily, ale dojde zároveň i k detekci šumu, protože se porovnávají rozptyly z velmi malých oblastí a je tak větší pravděpodobnost, že aktuální rozptyl bude násobkem okolních. Dalším úskalím, patrným na Obr. 2.2.2-2, je určení konce mrtvé zóny pro takto malé délky pulzu (30 a 100 ns), jelikož identifikační vzdálenost je zde podstatně menší, než u větších délek pulzu (300 až 10000 ns). To nezpůsobuje zas tak velký problém při samotné detekci, ale při určení měrného útlumu prvního úseku, kde se první hodnota útlumu zjišťuje právě ve vzdálenosti určené detekovaným koncem počáteční mrtvé zóny. Tuto hodnotu je ale možné upravit ručně pomocí zadávacího pole v panelu úprav parametrů.

Velikost filtru [km]	Rozlišení [%]	Max vzdálenost 2 bloků [km]	Max interval pro určení události [km]
0,4606	2,1	0,0032	0,2303

Tab. 2.2.2-2: Vstupní parametry pro detekci událostí programem v Matlabu pro měření s vlnovou délkou 1310 nm, délkou pulzu 30 ns a snímacím časem 30 sekund.

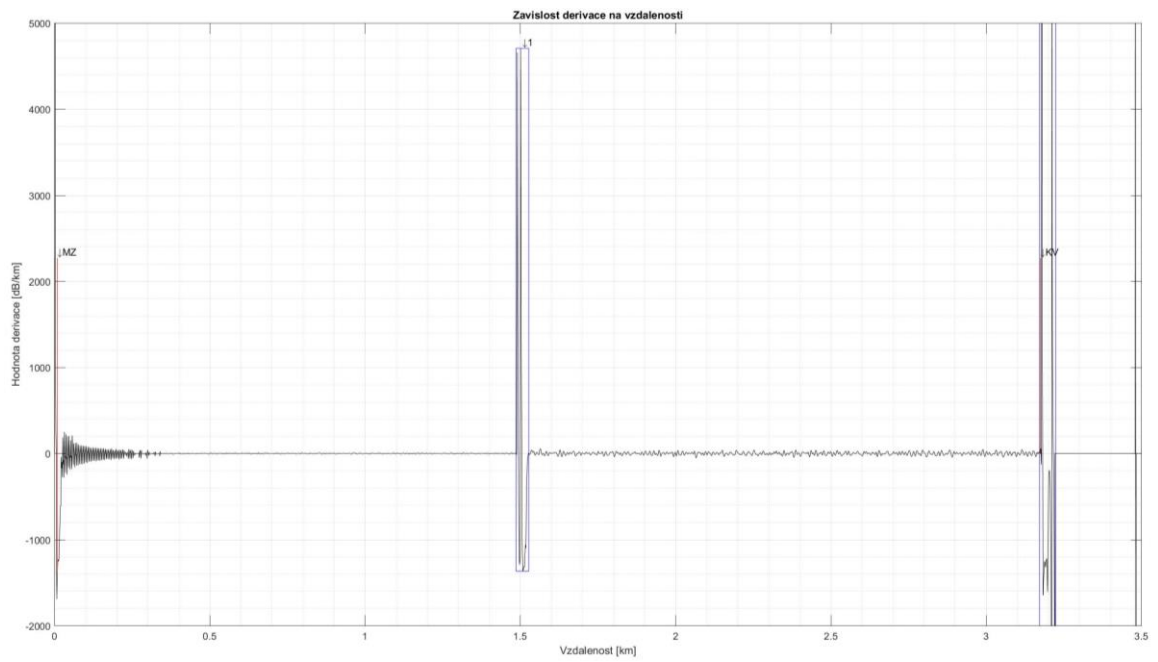


Obr. 2.2.2-1: Zobrazení OTDR průběhu pro vlnovou délku 1310 nm, délku pulzu 30 ns a snímací čas 30 s softwarem JDSU Fiber TraceViewer.

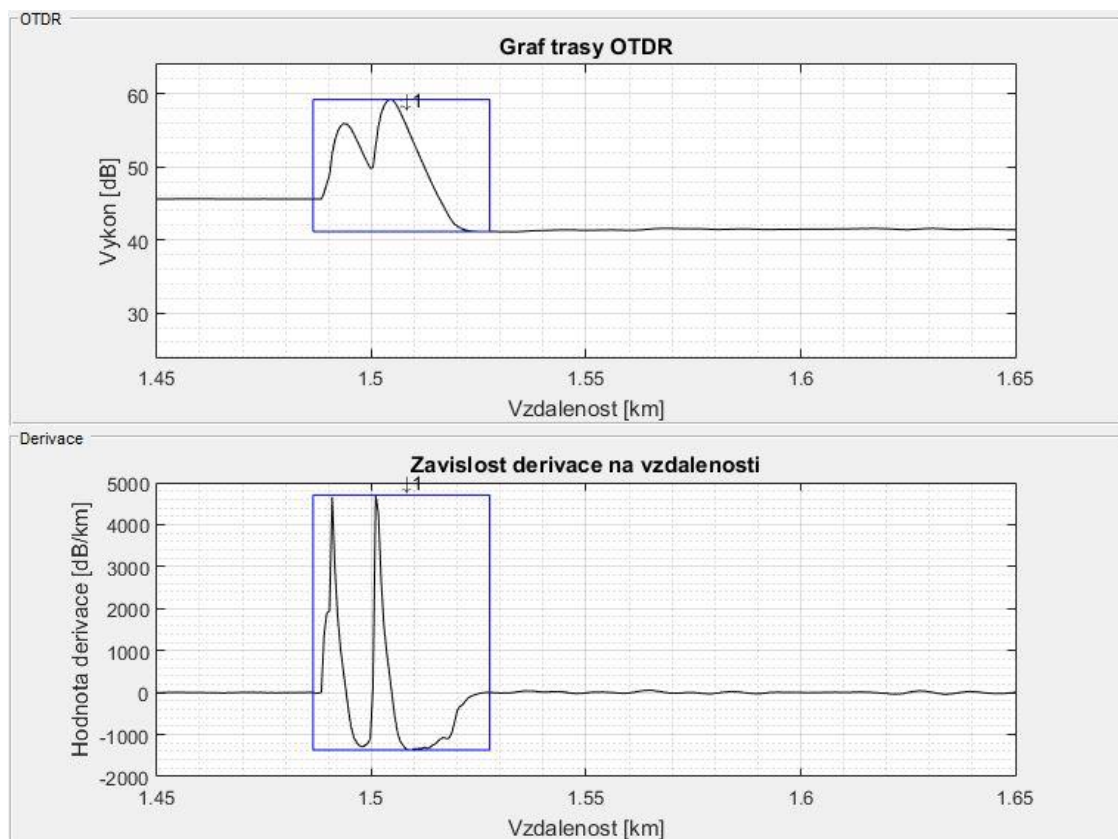


Obr. 2.2.2-2: Zobrazení OTDR průběhu s detekovanými událostmi pro vlnovou délku 1310 nm, délku pulzu 30 ns a snímací čas 30 s vytvořeným analyzačním programem.





Obr. 2.2.2-3: Průběh derivate pro měření s vlnovou délkou 1310 nm a délkou pulzu 30 ns.



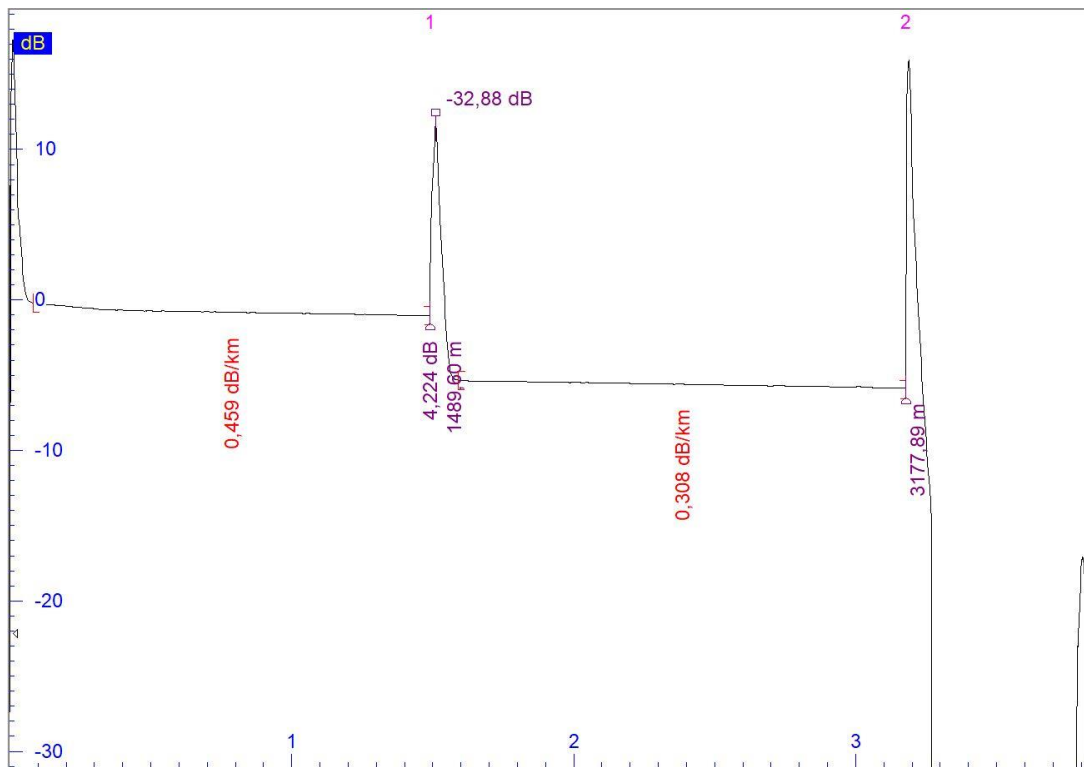
Obr. 2.2.2-4: Detailní zobrazení rozbočovače na průbězích OTDR a derivate pro délku pulzu 30 ns.

### 2.2.2.2 Analýza a výsledky měření – délky pulzu 100 a 300 ns

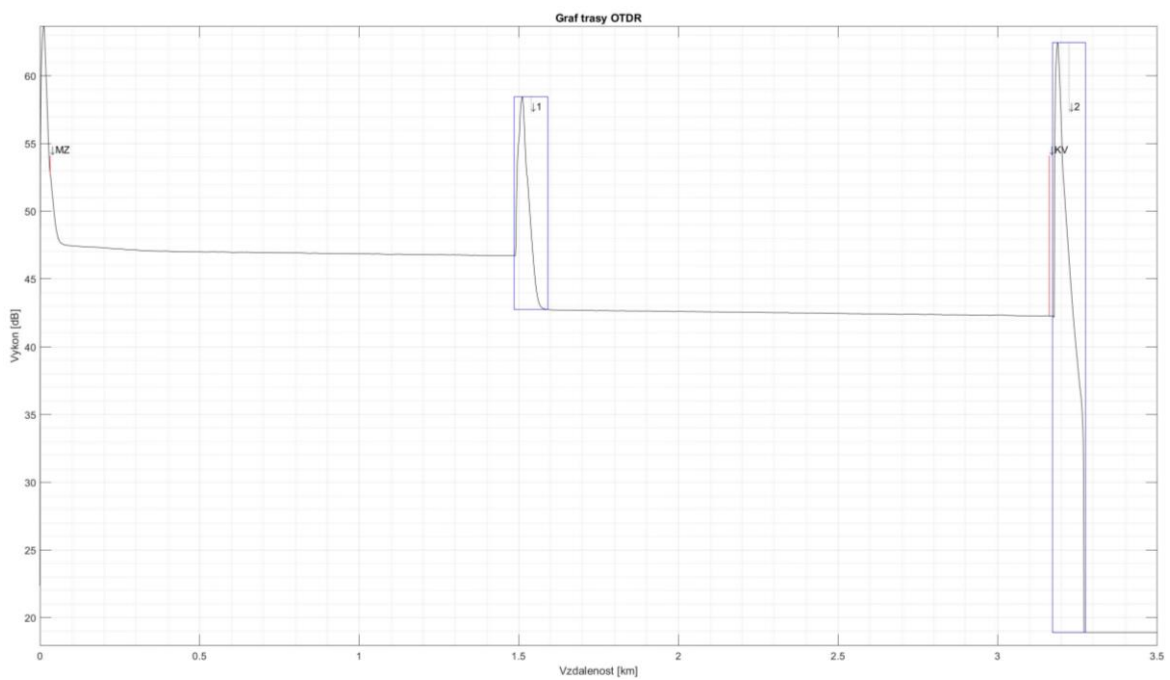
Všechna provedená měření pro tuto trasu dávají velmi podobné výsledky. Pro délky pulzu 100 a 300 ns jsou průběhy prakticky totožné (pro 100 ns na Obr. 2.2.2-5 a Obr. 2.2.2-6, str. 70, a pro 300 ns na Obr. 2.2.2-9 a Obr. 2.2.2-10, str. 72). Průběhy OTDR vypadají prakticky totožně, jen je možné po přiblížení určit, že je událost při délce pulzu 100 ns asi o 30 metrů kratší, než při 300 ns. To je dáno tím, že delší pulz způsobuje větší identifikační mrtvou zónu. Překvapivě i při těchto délkách pulzů je možné registrovat oba konektory propojující vlákna skrz splitter, i když v daleko menší míře než v předchozím měření s délkou pulzu 30 ns. Detailní zobrazení této události pro 100 a 300 ns pulz je možné vidět na Obr. 2.2.2-8 (100 ns pulz), str. 71, a na Obr. 2.2.2-12 (300 ns pulz), str. 73. Dva rozdílné píky jsou daleko lépe vidět na průběhu derivace ve spodních grafech, než na samotném průběhu OTDR. Píky ale už nejsou tak dobře rozlišitelné jako při délce pulzu 30 ns, proto již nebyly zaznamenány ani softwarem JDSU TraceViewer. Oba programy pak bez menších potíží detekovaly jak konec vlákna, tak splitter. Parametry, které byly použity pro výpočet, jsou uvedeny v Tab. 2.2.2-3. Obě měření se liší pouze v maximální vzdálenosti dvou bloků s největší šířkou, což je dáno tím, že u měření s délkou pulzu 100 ns je dvojnásobný počet vzorků, takže jeden vzorek má poloviční vzdálenost, než je tomu u měření s pulzem 300 ns.

Délka pulzu [ns]	Velikost filtru [km]	Rozlišení [%]	Max vzdálenost 2 bloků [km]	Max interval pro určení události [km]
100	0,4606	2,1	0,0063	0,2303
300	0,4606	2,1	0,0126	0,2303

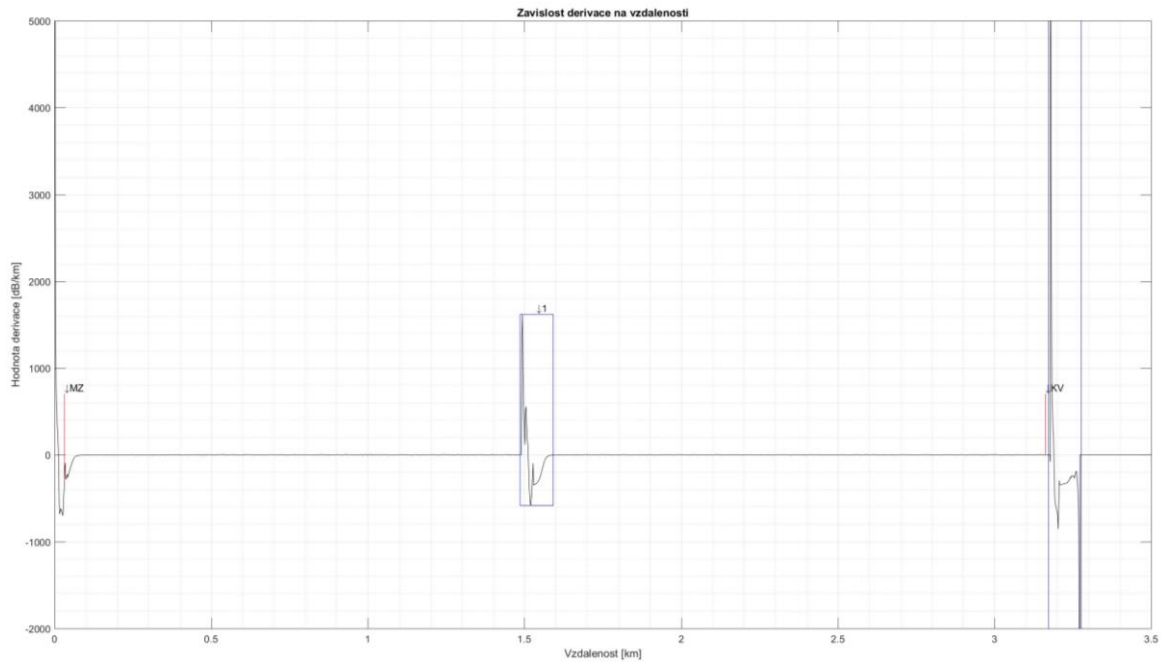
Tab. 2.2.2-3: Vstupní parametry pro detekci událostí programem v Matlabu pro měření s vlnovou délkou 1310 nm, délkou pulzu 100 a 300 ns a snímacím časem 30 sekund.



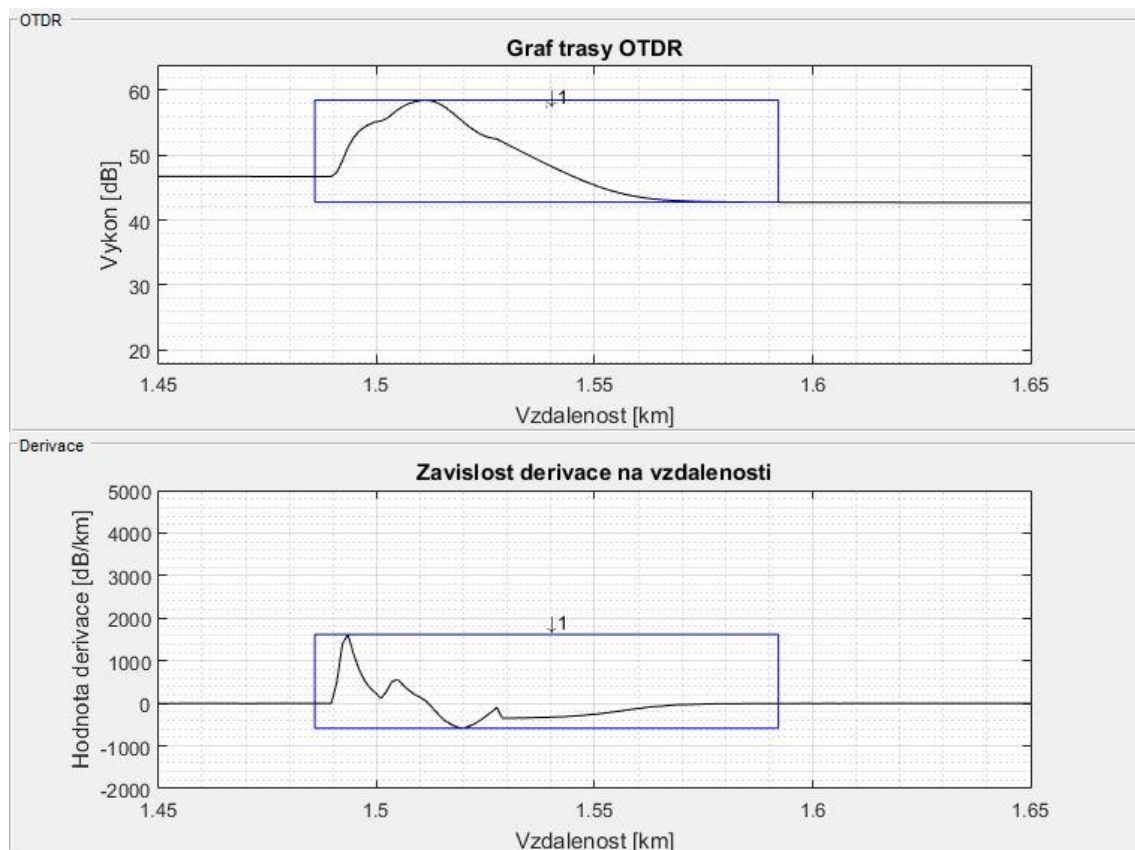
Obr. 2.2.2-5: Zobrazení OTDR průběhu pro vlnovou délku 1310 nm, délku pulzu 100 ns a snímací čas 30 s softwarem JDSU Fiber TraceViewer.



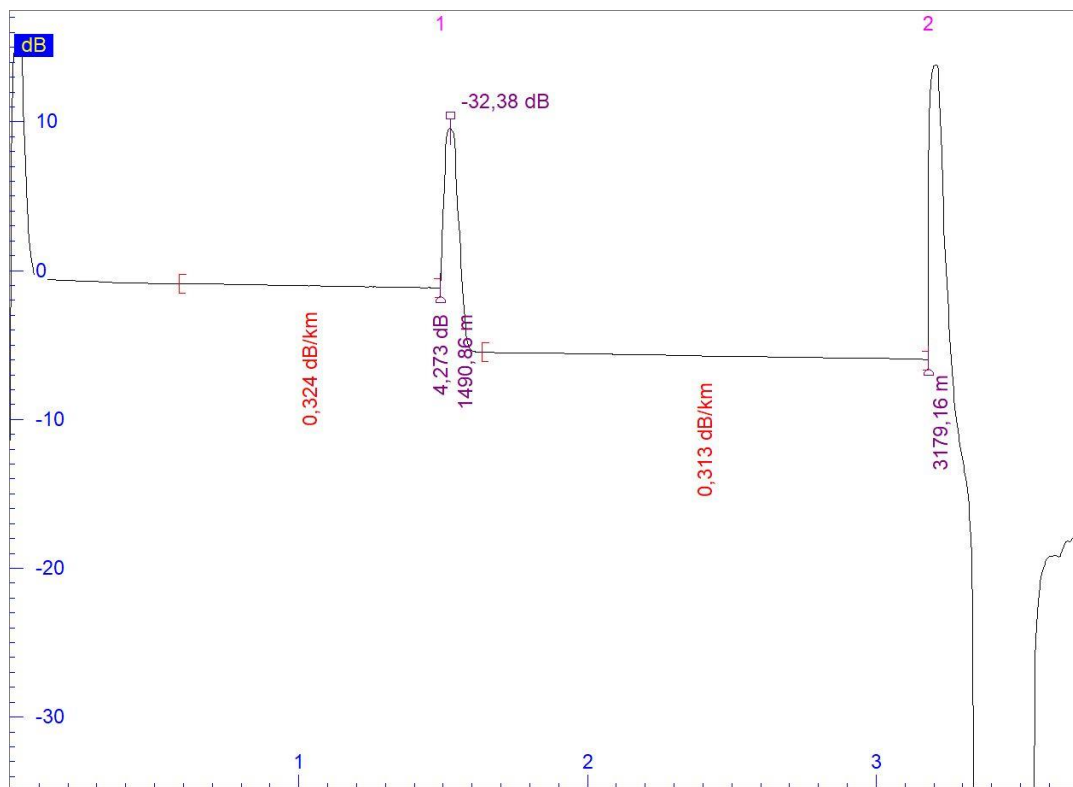
Obr. 2.2.2-6: Zobrazení OTDR průběhu s detekovanými událostmi pro vlnovou délku 1310 nm, délku pulzu 100 ns a snímací čas 30 s vytvořeným analyzačním programem.



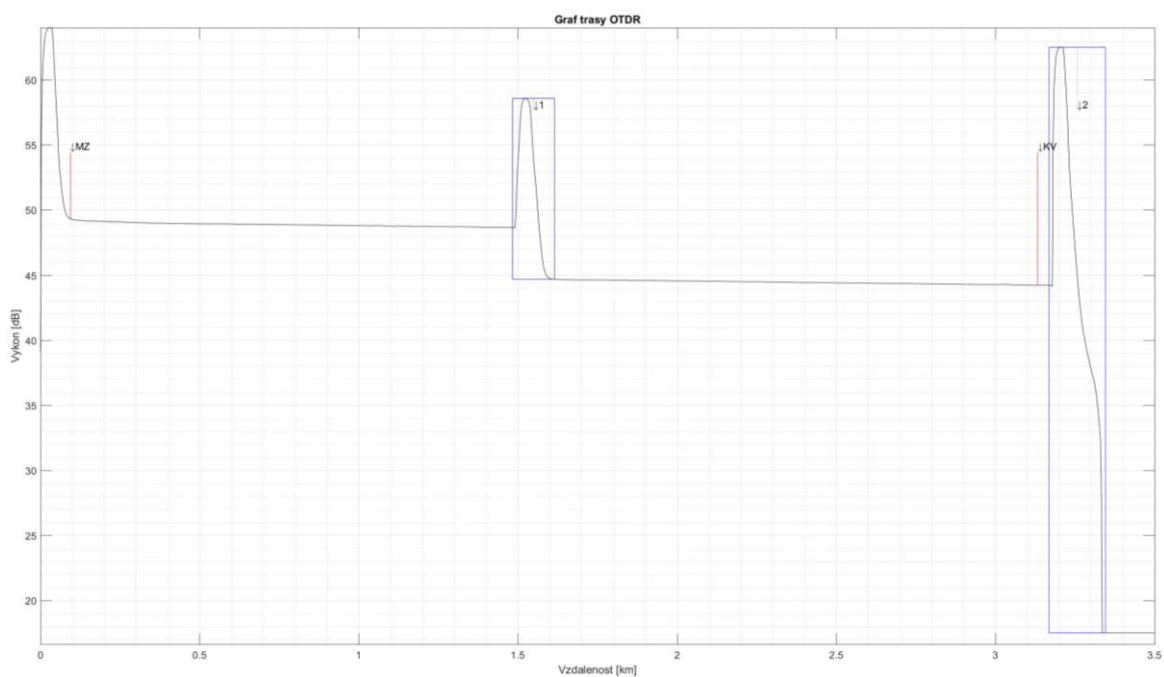
Obr. 2.2.2-7: Průběh derivace pro měření s vlnovou délkou 1310 nm a délkou pulzu 100 ns.



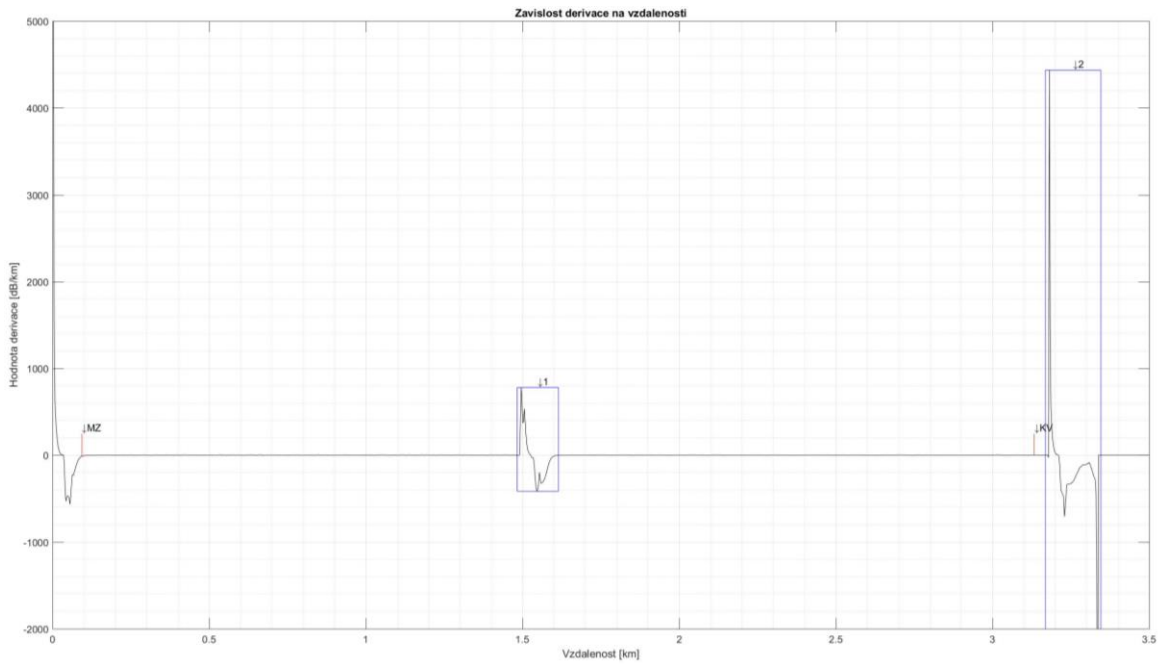
Obr. 2.2.2-8: Detailní zobrazení rozbočovače na průbězích OTDR a derivace pro délku pulzu 100 ns.



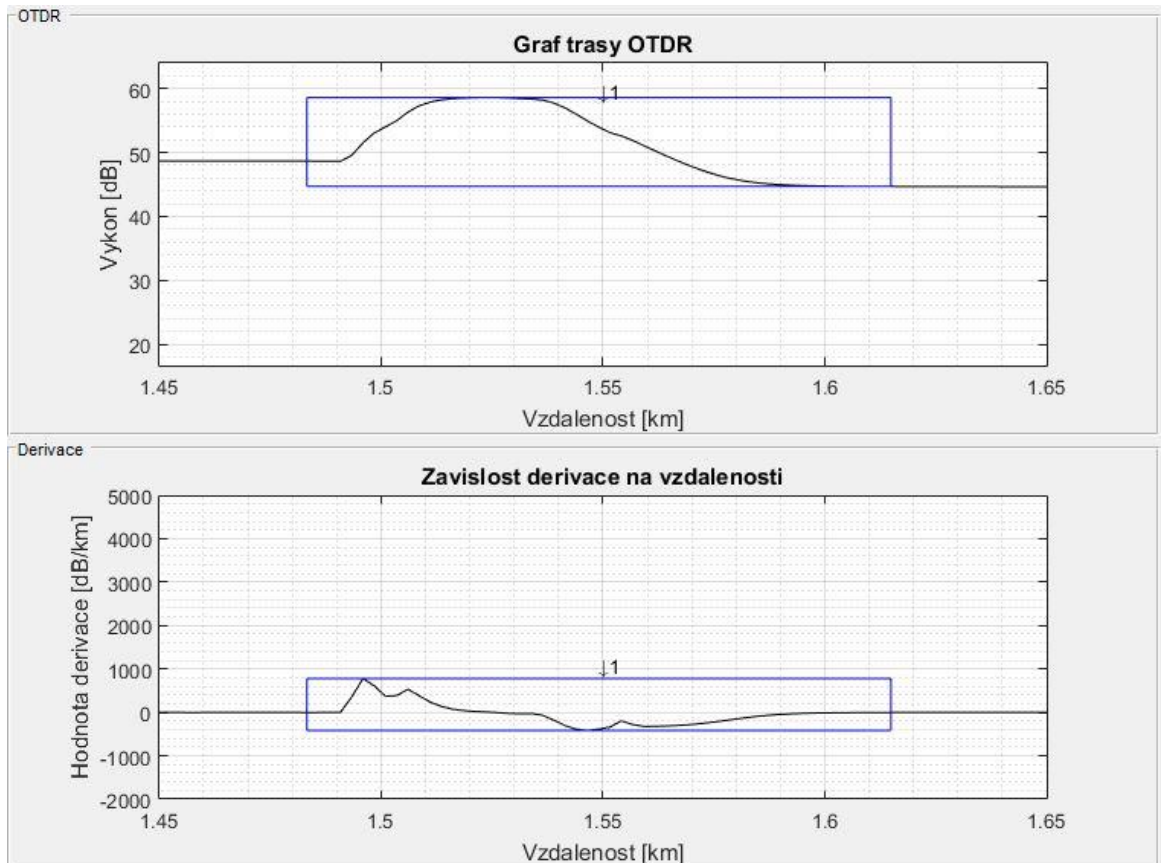
Obr. 2.2.2-9: Zobrazení OTDR průběhu pro vlnovou délku 1310 nm, délku pulzu 300 ns a snímací čas 30 s softwarem JDSU Fiber TraceViewer.



Obr. 2.2.2-10: Zobrazení OTDR průběhu s detekovanými událostmi pro vlnovou délku 1310 nm, délku pulzu 300 ns a snímací čas 30 s vytvořeným analyzačním programem.



Obr. 2.2.2-11: Průběh derivace pro měření s vlnovou délkou 1310 nm a délkou pulzu 300 ns.



Obr. 2.2.2-12: Detailní zobrazení rozbočovače na průběžích OTDR a derivace pro délku pulzu 300 ns.

### 2.2.2.3 *Vyhodnocení druhé sady měření*

Jelikož byla druhá testovací trasa mnohem méně komplexní než první, byla provedena pouze tři měření s délkami pulzu 30, 100 a 300 ns a snímací čas 30 sekund. Výsledky všech měření jsou si velice podobné, obzvláště pro pulzy 100 a 300 ns. Ačkoli je druhý úsek trasy pro délku pulzu 30 ns zašuměný, jeví se toto měření jako nejlepší, jelikož je možné určit i oba konektory spojující předřadné vlákno s testovaným skrz splitter. U ostatních délek pulzu je také možnost rozeznat dvě události, ale již ne s takovou jistotou, jako právě u měření s délkou pulzu 30 ns. Při tomto měření byl navíc schopen software JDSU Fiber TraceViewer detekovat právě dvě události (oba konektory), na což není vytvořený program připraven, a detekoval tak pouze jeden celek.



### 3. Vyhodnocení

Optická reflektometrie (OTDR) je velmi užitečnou metodou, jak zjistit nejen útlum optických tras, ale i jeho průběh. Navíc přímo nevyžaduje přístup k oběma koncům optické trasy, ale stačí přístup pouze k jednomu z nich. To je v mnoha případech velmi užitečné pro detekci různých poruch optických vláken (přerušování vedení, porušení izolace...), aniž by bylo nutné provádět rozsáhlé výkopové práce v celé délce vlákna v případě jeho selhání. Na rozdíl od např. metody měření dvou délek je navíc optická reflektometrie metodou nedestruktivní, tudíž není třeba pro její správnou funkci zkracovat, či jinak poškozovat, měřené optické vlákno.

Pomocí metody OTDR byly provedeny dvě sady měření na Fakultě elektrotechnické ČVUT v Praze. První sada se sestává z měření na testovací optické trase o délce 46 kilometrů, na které byla provedena série měření pro různé délky pulzů (300, 1000, 3000 a 10000 ns) a různé snímací časy. Z nich bylo následně pět referenčních vybráno a analyzováno. Druhá sada měření byla provedena na trase o délce přibližně 3 kilometry, která obsahovala předřadné vlákno o délce 1,48 km a měřené vlákno o délce 1,64 km. Vlákna byla propojena splitterem s dělicím poměrem 50:50. Na této trase byla provedena 3 měření pro vlnové délky 30, 100 a 300 ns, která byla rozebrána v druhé polovině praktické části.

Za pomoci aplikace sor2csv byla data z měření převedena z formátu SOR do csv. Na základě změřených dat se povedlo vytvořit detekční program v softwaru Matlab, který má za úkol po načtení souboru csv automaticky lokalizovat útlumové události v optické trase, určit jejich parametry (začátek, konec, pravděpodobnost, útlum, délku) a následně stanovit parametry úseků mezi nimi (měrný útlum, délku). Výsledná data a průběhy je možné exportovat do formátu csv či xls, resp. do jpeg, png, tiff atd. Na rozdíl od proprietárního softwaru JDSU Fiber TraceViewer je možné v rámci vytvořeného programu ovlivňovat parametry výpočtu, a získat tak lepší výsledky. Prakticky ve všech měřeních byl vytvořený program schopen spolehlivě detekovat více útlumových událostí než JDSU TraceViewer. To je důkazem, že formát SOR neukládá pouze přístrojem zjištěné události, ale ve skutečnosti zachovává informace o celém průběhu výkonu, čehož bylo možné využít k dalšímu zpracování, jako je tomu v této práci.

Vytvořený program by měl sloužit k přesnější a názornější identifikaci útlumových událostí, např. svarů či konektorů, v optických trasách. Pro větší názornost je možné zobrazit průběh derivace, na kterém lépe vyniknou velké a náhlé změny výkonu. Především za pomoci implementovaného módu vlastní analýzy, který uživatele krok po kroku provede zkoumanou trasou, je možné snadno a názorně určit jednotlivé útlumové události (za předpokladu vhodně zvolené šířky pulzu při měření – aby průběh nebyl příliš zašuměný). Dalšími potenciálními doplňky, které by usnadňovaly a zpřesňovaly detekci útlumových událostí, by mohly být například implementace nahrání více měření stejné trasy s různými parametry (snímacím časem, délkou pulzu atd) a následné souhrnné vyhodnocení, či zpřesnění určování začátků a konců událostí, které je v současné době omezené kvůli převodu derivace do absolutních hodnot.

## Literatura

- [1] MARŠÁLEK, Leoš. *Optická vlákna*. VŠB - technická univerzita Ostrava, Fakulta elektrotechniky a informatiky, 2006, 21, 108, 113.
- [2] LUCKI, Michal. *Vybrané aspekty měření výkonnosti optických tras*. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta elektrotechnická.
- [3] BOHÁČ, Leoš. *Měření optických vláken*. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta elektrotechnická.
- [4] TELCORDIA. *Optical Time Time Domain Reflectometer (OTDR) Data Format, SR-4731, Issue 2* [online]. 2011 [cit. 2018-02-06]. Dostupné z: <http://telecom-info.telcordia.com/site-cgi/ido/docs.cgi?ID=SEARCH&DOCUMENT=SR-4731&>
- [5] TELCORDIA. *Table of Contents SR-4731, Issue 2* [online]. 2011 [cit. 2018-02-06]. Dostupné z: [http://telecom-info.telcordia.com/ido/AUX/SR\\_4731\\_TOC.i02.pdf](http://telecom-info.telcordia.com/ido/AUX/SR_4731_TOC.i02.pdf)
- [6] *Software Informer: Fiber Traceviewer* [online]. [cit. 2018-02-06]. Dostupné z: <http://fiber-traceviewer.software.informer.com/>
- [7] PHILLIPS, Andrew W. *HexEdit* [online]. [cit. 2018-02-06]. Dostupné z: <http://www.hexedit.com/>
- [8] GAZLAN. *Sor2csv* [online]. 2015 [cit. 2018-02-06]. Dostupné z: <http://gazlan.ru/sor2x/sor2x.html>
- [9] *JDSU MTS-6000: Compact Network Test Platform* [online]. [cit. 2018-02-06]. Dostupné z: <https://cdn.testequity.com/documents/pdf/jdsu/6000A-ds.pdf>
- [10] GEEST, Jos van der. *File Exchange - MATLAB Central - MathWorks: getkey* [online]. [cit. 2018-04-15].
- [11] *MathWorks: Variance* [online]. [cit. 2018-05-19]. Dostupné z: <https://www.mathworks.com/help/matlab/ref/var.html>
- [12] *Optické přenosové systémy: Měření útlumu trasy. ELUC* [online]. [cit. 2018-05-17]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/838>
- [13] BUBNÍK, Ing. Lukáš, Ing. Jiří KLAJBL a Ing. Petr MAZUCH. *Optoelektrotechnika* [online]. Code Creator, 2015 [cit. 2018-05-17]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/185/Cover.html>
- [14] Ing. LUCKI, Michal, Ph.D. *Nové trendy v elektronických komunikacích: Optické systémy a sítě* [online]. České vysoké učení technické v Praze [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/241/Impresum.html>

- [15] Obr. 1.3.3-2: Průběh měrného útlumu křemíkového vlákna v závislosti na vlnové délce. *Ecse* [online]. [cit. 2018-02-08]. Dostupné z: <https://www.ecse.rpi.edu/~schubert/Light-Emitting-Diodes-dot-org/chap22/F22-02%20Attenuation%20in%20SiO2.jpg>
- [16] Obr. 1.3.3-3: Ilustrace všesměrovosti Rayleighova rozptylu. *Openstax cnx* [online]. [cit. 2018-02-08]. Dostupné z: <https://archive.cnx.org/resources/8cf5c28260b31fa58d31c042a09176e2ef3d554f/graphics1.png>

## Seznam obrázků

OBR. 1.3.1-1: ODCHYLKY V NASTAVENÍ JADER OPTICKÝCH VLÁKEN PŘI JEJICH SPOJOVÁNÍ: A) RADIÁLNÍ POSUV, B) AXIÁLNÍ POSUV, C) ÚHLOVÉ NATOČENÍ. PŘEVZATO Z [13].	7
OBR. 1.3.1-2: ZTRÁTY ZPŮSOBENÉ RŮZNÝMI PRŮMĚRY VLÁKEN. PŘEVZATO Z [13].	8
OBR. 1.3.1-1: ŠÍŘENÍ PAPERŮ V OHYBU VLÁKNA SE SKOKOVOU ZMĚNOU INDEXU LOMU. PŘEVZATO Z [13].	8
OBR. 1.3.1-2: ZTRÁTY ZPŮSOBENÉ MIKROOHYBY. PŘEVZATO Z [13].	9
OBR. 1.3.1-1: SCHÉMA METODY DVOU DÉLEK. PŘEVZATO Z [12].	9
OBR. 1.3.2-1: SCHÉMA METODY VLOŽNÝCH ZTRÁT. PŘEVZATO Z [12].	10
OBR. 1.3.3-1: BLOKOVÉ SCHÉMA OPTICKÉHO REFLEKTOMETRU [2].	12
OBR. 1.3.3-2: PRŮBĚH MĚRNÉHO ÚTLUMU KŘEMÍKOVÉHO VLÁKNA V ZÁVISLOSTI NA VLNOVÉ DÉLCE. PŘEVZATO Z [15].	13
OBR. 1.3.3-3: ILUSTRACE VŠESMĚROVOSTI RAYLEIGHOVA ROZPTYLU. PŘEVZATO Z [16].	13
OBR. 1.3.3-4: ZOBRAZENÍ PRVOTNÍ MRTVÉ ZÓNY NA REÁLNÉM PRŮBĚHU. V TOMTO PŘÍPADĚ BYLA DÉLKA PULZU NASTAVENA NA 1 $\mu$ s. VZNIKLÁ MRTVÁ ZÓNA MÁ PŘÍBLIŽNĚ 200-250 METRŮ.	14
OBR. 1.3.3-5: ZNÁZORNĚNÍ NEREFLEKTIVNÍ ÚTLUMOVÉ UDÁLOSTI (TYPICKY SVAR, OHYB).	15
OBR. 1.3.3-6: ZOBRAZENÍ REFLEKTIVNÍ UDÁLOSTI (TYPICKY KONEKTOR).	16
OBR. 1.3.3-7: ZOBRAZENÍ TZV. ZISKOVÉHO SVARU - SPECIÁLNÍHO TYPU NEREFLEKTIVNÍ UDÁLOSTI.	16
OBR. 1.3.3-8: TYPICKÝ PRŮBĚH ZPĚTNÉHO ROZPTYLU (OTDR) Z NAMĚŘENÉ TRASY. 1 – SVAR, 2 – TZV. ZISKOVÝ SVAR, 3 – KONEKTOR, 4 – ŠUM, 5 – KONEC VLÁKNA.	17
OBR. 2.1.1-1: ZOBRAZENÍ NÁPOVĚDY PŘI PŘEJETÍ KURZOREM NAD HODNOTU 2 V PANELU ROZPTYLŮ.	19
OBR. 2.1.1-2: VYSKAKOVACÍ OKNO PRO ZADÁNÍ ŠÍŘKY PULZU DANÉHO MĚŘENÍ.	20
OBR. 2.1.1-3: HORNÍ ČÁST OVLÁDACÍHO PANELU HNED PO SPUŠTĚNÍ PROGRAMU.	21
OBR. 2.1.1-4: HORNÍ ČÁST OVLÁDACÍHO PANELU PO KLIKUTÍ NA TLAČÍTKO „NAČÍST SOUBOR .CSV“ A ZADÁNÍ POTŘEBNÝCH HODNOT.	21
OBR. 2.1.1-5: OKNO VYZÝVAJÍCÍ K PŘEPNUTÍ NA ZOBRAZENÍ OBSAHUJÍCÍ PRŮBĚH DERIVACE.	23
OBR. 2.1.1-6: PANEL, POMOCÍ KTERÉHO LZE UPRAVOVAT JEDNOTLIVÉ PARAMETRY VÝPOČTU, POKUD ZÁKLADNÍ NEDÁVAJÍ USPOKOJIVÉ VÝSLEDKY.	24
OBR. 2.1.1-7: ZVOLENÍ PŘÍLIŠ VYSOKÉ HODNOTY VELIKOSTI FILTRU (8 KILOMETRŮ). RŮŽOVÁ ČÁRA UKAZUJE MAXIMÁLNÍ HODNOTY DERIVACE V RÁMCI INTERVALU JEDNÉ VELIKOSTI FILTRU.	25
OBR. 2.1.1-8: ZVOLENÍ PŘÍLIŠ NÍZKÉ HODNOTY VELIKOSTI FILTRU (100 METRŮ). RŮŽOVÁ ČÁRA ZOBRAZUJE LOKÁLNÍ MAXIMA DERIVACE V RÁMCI INTERVALU JEDNÉ VELIKOSTI FILTRU.	26
OBR. 2.1.1-9: PANEL PRO VÝBĚR PRŮBĚHU.	27
OBR. 2.1.1-10: ZAŠKRTÁVACÍ POLÍČKA V LEVÉM SPODNÍM ROHU PRACOVNÍHO OKNA.	27
OBR. 2.1.1-11: SEZNAM A TABULKA DETEKOVANÝCH UDÁLOSTÍ.	28
OBR. 2.1.2-1: GRAF ZÁVISLOSTI DERIVACE NA VZDÁLENOSTI PRO MĚŘENÍ SE ŠÍRKOU PULZU 1000 NM.	32
OBR. 2.1.2-2: GRAF ZÁVISLOSTI VÝKONU NA VZDÁLENOSTI PRO MĚŘENÍ SE ŠÍRKOU PULZU 1000 NM.	32
OBR. 2.1.2-3: PRINCIP DETEKCE ÚTLUMOVÝCH UDÁLOSTÍ - POROVNÁVÁNÍ VELIKOSTI AKTUÁLNÍHO ROZPTYLU S HODNOTAMI ROZPTYLU POSUNUTÝMI O VZDÁLENOST O VELIKOSTI FILTRU.	34
OBR. 2.1.2-4: MÓD VLASTNÍ ANALÝZY A ZOBRAZENÍ MATICE NÁSOBKŮ ROZPTYLŮ PŘI DETEKCI ÚTLUMOVÉ UDÁLOSTI.	35
OBR. 2.1.2-5: ZNÁZORNĚNÍ SITUACE, KDY JE PŘI DETEKCI NĚKTERÁ Z UDÁLOSTÍ ROZDĚLENA NA DVĚ ČÁSTI. BLEDEMODRÝ OBDĚLNÍK ZNÁZORŇUJE AKTUÁLNÍ ZKOUMANOU OBLAST. TMAVĚ MODRÝ OBDĚLNÍK S ČÍSELNÝM OZNAČENÍM ZOBRAZUJE DETEKOVANOU UDÁLOST (JIŽ PO VŠECH ÚPRAVÁCH).	36
OBR. 2.1.2-6: OMEZENÍ PŘI URČOVÁNÍ ROZMEZÍ UDÁLOSTI PŘEVEDENÍM DERIVACE DO ABSOLUTNÍCH HODNOT. MŮŽE TOTIŽ NASTAT SITUACE, KDY JE NESPRÁVNĚ URČENO ROZMEZÍ TZV. ZISKOVÉHO SVARU. PŘEVZATO Z MĚŘENÍ S DÉLKOU PULZU 3000 NS A VLNOVOU DÉLKOU 1310 NM (STRANA 58).	40
OBR. 2.2.1-1: UKÁZKA DETEKOVANÉ UDÁLOSTI (TYPICKY KE KONCI VLÁKNA) A JEJÍHO OKOLÍ PŘI SHODNÉ HODNOTĚ PRAVDĚPODOBNOTI JAKO NA OBRÁZKU VPRAVO. V TOMTO PŘÍPADĚ SE NEJSPIŠE JEDNÁ O ŠUM.	44
OBR. 2.2.1-2: UKÁZKA DETEKOVANÉ UDÁLOSTI (TYPICKY NA ZAČÁTKU VLÁKNA) A JEJÍHO OKOLÍ PŘI SHODNÉ HODNOTĚ PRAVDĚPODOBNOTI JAKO NA OBRÁZKU VLEVO. ZDE SE JEDNÁ SPÍŠE O SPRÁVNĚ DETEKOVANOU UDÁLOST.	44
OBR. 2.2.1-3: ZOBRAZENÍ OTDR PRŮBĚHU PRO VLNOVOU DÉLKU 1310 NM, DÉLKA PULZU 300 NS A SNÍMACÍ ČAS 20 S SOFTWAREM JDSU FIBER TRACEVIEWER. POČET DETEKOVANÝCH UDÁLOSTÍ JE 11, KONEC VLÁKNA URČEN VE 41,9629 KM (ZE 46 KM).	46

OBR. 2.2.1-4: ZOBRAZENÍ OTDR PRŮBĚHU S DETEKOVANÝMI UDÁLOSTMI PRO VLNOVOU DÉLKU 1310 NM, DÉLKU PULZU 300 NS A SNÍMACÍ ČAS 20 S VYTVOŘENÝM ANALYZAČNÍM PROGRAMEM. POČET DETEKOVANÝCH UDÁLOSTÍ JE 14, KONEC VLÁKNA URČEN VE 42,4337 KM (ZE 46 KM). .....	46
OBR. 2.2.1-5: ZOBRAZENÍ OTDR PRŮBĚHU PRO VLNOVOU DÉLKU 1310 NM, DÉLKU PULZU 300 NS A SNÍMACÍ ČAS 60 S SOFTWAREM JDSU FIBER TRACEVIEWER. POČET DETEKOVANÝCH UDÁLOSTÍ JE 12, KONEC VLÁKNA URČEN VE 37,2032 KM (ZE 46 KM).....	47
OBR. 2.2.1-6: ZOBRAZENÍ OTDR PRŮBĚHU S DETEKOVANÝMI UDÁLOSTMI PRO VLNOVOU DÉLKU 1310 NM, DÉLKU PULZU 300 NS A SNÍMACÍ ČAS 60 S VYTVOŘENÝM ANALYZAČNÍM PROGRAMEM. POČET DETEKOVANÝCH UDÁLOSTÍ JE 16, KONEC VLÁKNA URČEN VE 45,5004 KM (ZE 46 KM). .....	47
OBR. 2.2.1-7: ZOBRAZENÍ OTDR PRŮBĚHU PRO VLNOVOU DÉLKU 1550 NM, DÉLKU PULZU 300 NS A SNÍMACÍ ČAS 20 S SOFTWAREM JDSU FIBER TRACEVIEWER. POČET DETEKOVANÝCH UDÁLOSTÍ JE 9, KONEC VLÁKNA URČEN V 46,0522 KM (ZE 46 KM).....	48
OBR. 2.2.1-8: ZOBRAZENÍ OTDR PRŮBĚHU S DETEKOVANÝMI UDÁLOSTMI PRO VLNOVOU DÉLKU 1550 NM, DÉLKU PULZU 300 NS A SNÍMACÍ ČAS 20 S VYTVOŘENÝM ANALYZAČNÍM PROGRAMEM. POČET DETEKOVANÝCH UDÁLOSTÍ JE 16, KONEC VLÁKNA URČEN V 46,1687 KM (ZE 46 KM). .....	48
OBR. 2.2.1-9: ZOBRAZENÍ OTDR PRŮBĚHU PRO VLNOVOU DÉLKU 1550 NM, DÉLKU PULZU 300 NS A SNÍMACÍ ČAS 60 S SOFTWAREM JDSU FIBER TRACEVIEWER. POČET DETEKOVANÝCH UDÁLOSTÍ JE 14, KONEC VLÁKNA URČEN V 46,0522 KM (ZE 46 KM).....	49
OBR. 2.2.1-10: ZOBRAZENÍ OTDR PRŮBĚHU S DETEKOVANÝMI UDÁLOSTMI PRO VLNOVOU DÉLKU 1550 NM, DÉLKU PULZU 300 NS A SNÍMACÍ ČAS 60 S VYTVOŘENÝM ANALYZAČNÍM PROGRAMEM. POČET DETEKOVANÝCH UDÁLOSTÍ JE 15, KONEC VLÁKNA URČEN V 46,1484 KM (ZE 46 KM). .....	49
OBR. 2.2.1-11: PRŮBĚH DERIVACE PRO MĚŘENÍ S VLNOVOU DÉLKOU 1310 NM, DÉLKOU PULZU 300 NS A SNÍMACÍM ČASEM 20 S. V DRUHÉ POLOVINĚ PRŮBĚHU JIŽ NENÍ DOSTATEČNĚ DOBRĚ MOŽNÉ URČIT ÚTLUMOVÉ UDÁLOSTI.....	50
OBR. 2.2.1-12: PRŮBĚH DERIVACE PRO MĚŘENÍ S VLNOVOU DÉLKOU 1310 NM, DÉLKOU PULZU 300 NS A SNÍMACÍM ČASEM 60 S. STÁLE JE DRUHÉ POLOVINĚ PRŮBĚHU PROBLÉM KVŮLI ŠUMU URČIT ÚTLUMOVÉ UDÁLOSTI. ....	50
OBR. 2.2.1-13: PRŮBĚH DERIVACE PRO MĚŘENÍ S VLNOVOU DÉLKOU 1550 NM, DÉLKOU PULZU 300 NS A SNÍMACÍM ČASEM 20 S. O NĚCO LEPŠÍ NEŽ V PŘÍPADĚ VLNOVÉ DÉLKY 1310 NM, OVŠEM STÁLE PŘÍLIŠ ZAŠUMĚNÝ KONEC.....	51
OBR. 2.2.1-14: PRŮBĚH DERIVACE PRO MĚŘENÍ S VLNOVOU DÉLKOU 1550 NM, DÉLKOU PULZU 300 NS A SNÍMACÍM ČASEM 60S. JE VIDĚT SPRÁVNĚ URČENÉ ÚTLUMOVÉ UDÁLOSTI V PRVNÍ POLOVINĚ PRŮBĚHU, DÁLE ŠUM ZNEMOŽŇUJE SPOLEHLIVÉ URČENÍ DALŠÍCH UDÁLOSTÍ. ....	51
OBR. 2.2.1-15: JEDEN Z NEDETEKOVANÝCH SVARŮ NA PRŮBĚZÍCH PRO MĚŘENÍ S VLNOVOU DÉLKOU 1550 NM A 1000 NS PULZ.....	53
OBR. 2.2.1-16: ZOBRAZENÍ OTDR PRŮBĚHU PRO VLNOVOU DÉLKU 1310 NM, DÉLKU PULZU 1000 NS A SNÍMACÍ ČAS 30 S SOFTWAREM JDSU FIBER TRACEVIEWER. POČET DETEKOVANÝCH UDÁLOSTÍ JE 15, KONEC VLÁKNA URČEN V 46,0168 KM (ZE 46 KM).....	54
OBR. 2.2.1-17: ZOBRAZENÍ OTDR PRŮBĚHU S DETEKOVANÝMI UDÁLOSTMI PRO VLNOVOU DÉLKU 1310 NM, DÉLKU PULZU 1000 NS A SNÍMACÍ ČAS 30 S VYTVOŘENÝM ANALYZAČNÍM PROGRAMEM. POČET DETEKOVANÝCH UDÁLOSTÍ JE 17, KONEC VLÁKNA URČEN V 46,1484 KM (ZE 46 KM). .....	54
OBR. 2.2.1-18: ZOBRAZENÍ OTDR PRŮBĚHU PRO VLNOVOU DÉLKU 1310 NM, DÉLKU PULZU 1000 NS A SNÍMACÍ ČAS 30 S SOFTWAREM JDSU FIBER TRACEVIEWER. POČET DETEKOVANÝCH UDÁLOSTÍ JE 17, KONEC VLÁKNA URČEN V 46,0472 KM (ZE 46 KM).....	55
OBR. 2.2.1-19: ZOBRAZENÍ OTDR PRŮBĚHU S DETEKOVANÝMI UDÁLOSTMI PRO VLNOVOU DÉLKU 1550 NM, DÉLKU PULZU 1000 NS A SNÍMACÍ ČAS 30 S VYTVOŘENÝM ANALYZAČNÍM PROGRAMEM. POČET DETEKOVANÝCH UDÁLOSTÍ JE 19, KONEC VLÁKNA URČEN V 46,1484 KM (ZE 46 KM). .....	55
OBR. 2.2.1-20: PRŮBĚH DERIVACE PRO MĚŘENÍ S VLNOVOU DÉLKOU 1310 NM A DÉLKOU PULZU 1000 NS.....	56
OBR. 2.2.1-21: PRŮBĚH DERIVACE PRO MĚŘENÍ S VLNOVOU DÉLKOU 1550 NM A DÉLKOU PULZU 1000 NS.....	56
OBR. 2.2.1-22: ZOBRAZENÍ OTDR PRŮBĚHU PRO VLNOVOU DÉLKU 1310 NM, DÉLKU PULZU 3000 NS A SNÍMACÍ ČAS 30 S SOFTWAREM JDSU FIBER TRACEVIEWER. POČET DETEKOVANÝCH UDÁLOSTÍ JE 15, KONEC VLÁKNA URČEN V 46,0269 KM (ZE 46 KM).....	58
OBR. 2.2.1-23: ZOBRAZENÍ OTDR PRŮBĚHU S DETEKOVANÝMI UDÁLOSTMI PRO VLNOVOU DÉLKU 1310 NM, DÉLKU PULZU 3000 NS A SNÍMACÍ ČAS 30 S VYTVOŘENÝM ANALYZAČNÍM PROGRAMEM. POČET DETEKOVANÝCH UDÁLOSTÍ JE 21, KONEC VLÁKNA URČEN V 46,1484 KM (ZE 46 KM). .....	58
OBR. 2.2.1-24: ZOBRAZENÍ OTDR PRŮBĚHU PRO VLNOVOU DÉLKU 1550 NM, DÉLKU PULZU 3000 NS A SNÍMACÍ ČAS 30 S SOFTWAREM JDSU FIBER TRACEVIEWER. POČET DETEKOVANÝCH UDÁLOSTÍ JE 16, KONEC VLÁKNA URČEN V 46,0472 KM (ZE 46 KM).....	59

OBR. 2.2.1-25: ZOBRAZENÍ OTDR PRŮBĚHU S DETEKOVANÝMI UDÁLOSTMI PRO VLNOVOU DÉLKU 1550 NM, DÉLKU PULZU 3000 NS A SNÍMACÍ ČAS 30 S VYTVOŘENÝM ANALYZAČNÍM PROGRAMEM. POČET DETEKOVANÝCH UDÁLOSTÍ JE 21, KONEC VLÁKNA URČEN V 46,3509 KM (ZE 46 KM). .....	59
OBR. 2.2.1-26: PRŮBĚH DERIVACE PRO MĚŘENÍ S VLNOVOU DÉLKOU 1310 NM A DÉLKOU PULZU 3000 NS. ....	60
OBR. 2.2.1-27: PRŮBĚH DERIVACE PRO MĚŘENÍ S VLNOVOU DÉLKOU 1550 NM A DÉLKOU PULZU 3000 NS. ....	60
OBR. 2.2.1-28: ZOBRAZENÍ OTDR PRŮBĚHU PRO VLNOVOU DÉLKU 1310 NM, DÉLKU PULZU 10000 NS A SNÍMACÍ ČAS 30 S SOFTWAREM JDSU FIBER TRACEVIEWER. POČET DETEKOVANÝCH UDÁLOSTÍ JE 5, KONEC VLÁKNA URČEN V 46,0472 KM (ZE 46 KM).....	62
OBR. 2.2.1-29: ZOBRAZENÍ OTDR PRŮBĚHU S DETEKOVANÝMI UDÁLOSTMI PRO VLNOVOU DÉLKU 1310 NM, DÉLKU PULZU 10000 NS A SNÍMACÍ ČAS 30 S VYTVOŘENÝM ANALYZAČNÍM PROGRAMEM. POČET DETEKOVANÝCH UDÁLOSTÍ JE 11, KONEC VLÁKNA URČEN V 46,0472 KM (ZE 46 KM). .....	62
OBR. 2.2.1-30: ZOBRAZENÍ OTDR PRŮBĚHU PRO VLNOVOU DÉLKU 1310 NM, DÉLKU PULZU 3000 NS A SNÍMACÍ ČAS 30 S SOFTWAREM JDSU FIBER TRACEVIEWER. POČET DETEKOVANÝCH UDÁLOSTÍ JE 8, KONEC VLÁKNA URČEN V 46,0472 KM (ZE 46 KM).....	63
OBR. 2.2.1-31: ZOBRAZENÍ OTDR PRŮBĚHU S DETEKOVANÝMI UDÁLOSTMI PRO VLNOVOU DÉLKU 1550 NM, DÉLKU PULZU 10000 NS A SNÍMACÍ ČAS 30 S VYTVOŘENÝM ANALYZAČNÍM PROGRAMEM. POČET DETEKOVANÝCH UDÁLOSTÍ JE 10, KONEC VLÁKNA URČEN V 46,2901 KM (ZE 46 KM). .....	63
OBR. 2.2.1-32: PRŮBĚH DERIVACE PRO MĚŘENÍ S VLNOVOU DÉLKOU 1310 NM A DÉLKOU PULZU 10000 NS. ....	64
OBR. 2.2.1-33: PRŮBĚH DERIVACE PRO MĚŘENÍ S VLNOVOU DÉLKOU 1550 NM A DÉLKOU PULZU 10000 NS. ....	64
OBR. 2.2.2-1: ZOBRAZENÍ OTDR PRŮBĚHU PRO VLNOVOU DÉLKU 1310 NM, DÉLKU PULZU 30 NS A SNÍMACÍ ČAS 30 S SOFTWAREM JDSU FIBER TRACEVIEWER. ....	67
OBR. 2.2.2-2: ZOBRAZENÍ OTDR PRŮBĚHU S DETEKOVANÝMI UDÁLOSTMI PRO VLNOVOU DÉLKU 1310 NM, DÉLKU PULZU 30 NS A SNÍMACÍ ČAS 30 S VYTVOŘENÝM ANALYZAČNÍM PROGRAMEM. ....	67
OBR. 2.2.2-3: PRŮBĚH DERIVACE PRO MĚŘENÍ S VLNOVOU DÉLKOU 1310 NM A DÉLKOU PULZU 30 NS. ....	68
OBR. 2.2.2-4: DETAILNÍ ZOBRAZENÍ ROZBOČOVAČE NA PRŮBĚZÍCH OTDR A DERIVACE PRO DÉLKU PULZU 30 NS. ....	68
OBR. 2.2.2-5: ZOBRAZENÍ OTDR PRŮBĚHU PRO VLNOVOU DÉLKU 1310 NM, DÉLKU PULZU 100 NS A SNÍMACÍ ČAS 30 S SOFTWAREM JDSU FIBER TRACEVIEWER. ....	70
OBR. 2.2.2-6: ZOBRAZENÍ OTDR PRŮBĚHU S DETEKOVANÝMI UDÁLOSTMI PRO VLNOVOU DÉLKU 1310 NM, DÉLKU PULZU 100 NS A SNÍMACÍ ČAS 30 S VYTVOŘENÝM ANALYZAČNÍM PROGRAMEM. ....	70
OBR. 2.2.2-7: PRŮBĚH DERIVACE PRO MĚŘENÍ S VLNOVOU DÉLKOU 1310 NM A DÉLKOU PULZU 100 NS. ....	71
OBR. 2.2.2-8: DETAILNÍ ZOBRAZENÍ ROZBOČOVAČE NA PRŮBĚZÍCH OTDR A DERIVACE PRO DÉLKU PULZU 100 NS. ....	71
OBR. 2.2.2-9: ZOBRAZENÍ OTDR PRŮBĚHU PRO VLNOVOU DÉLKU 1310 NM, DÉLKU PULZU 300 NS A SNÍMACÍ ČAS 30 S SOFTWAREM JDSU FIBER TRACEVIEWER. ....	72
OBR. 2.2.2-10: ZOBRAZENÍ OTDR PRŮBĚHU S DETEKOVANÝMI UDÁLOSTMI PRO VLNOVOU DÉLKU 1310 NM, DÉLKU PULZU 300 NS A SNÍMACÍ ČAS 30 S VYTVOŘENÝM ANALYZAČNÍM PROGRAMEM. ....	72
OBR. 2.2.2-11: PRŮBĚH DERIVACE PRO MĚŘENÍ S VLNOVOU DÉLKOU 1310 NM A DÉLKOU PULZU 300 NS. ....	73
OBR. 2.2.2-12: DETAILNÍ ZOBRAZENÍ ROZBOČOVAČE NA PRŮBĚZÍCH OTDR A DERIVACE PRO DÉLKU PULZU 300 NS. ....	73
OBR. 2.2.2-1: UŽIVATELSKÉ ROZHRANÍ HNED PO SPUŠTĚNÍ PROGRAMU. ....	82
OBR. 2.2.2-2: GRAFICKÉ ROZHRANÍ PO STISKU TLAČÍTKA „NAČÍST SOUBOR .CSV" A ZADÁNÍ POTŘEBNÝCH HODNOT. ....	83



## Seznam zkratek a symbolů

**LD** – *Laser Diode* – Podobně jako LED dioda, ale s lepšími vyzařovacími charakteristikami.

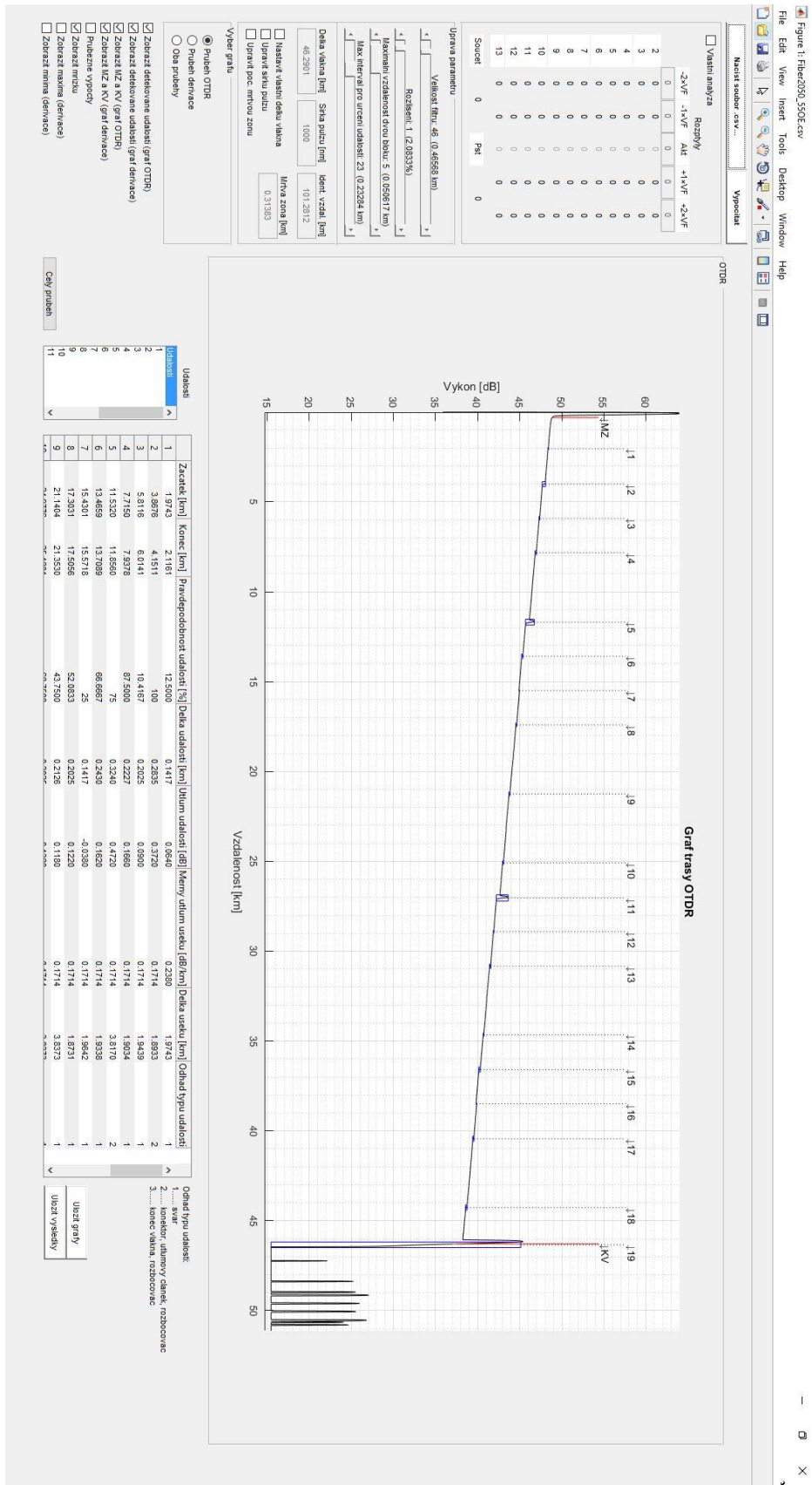
**LED** – *Light-Emitting Diode* – Dioda, která ze svého povrchu dokáže emitovat světelné záření.

**OTDR** - *Optical Time-Domain reflectometry* - Optická reflektometrie v časové oblasti.

**SOR** - *Standard OTDR Record* - Datový formát pro ukládání naměřených dat optickými reflektometry.



Obr. 2.2.2-1: Uživatelské rozhraní hned po spuštění programu.



Obr. 2.2.2-2: Grafické rozhraní po stisku tlačítka „Načíst soubor .csv“ a zadání potřebných hodnot.