

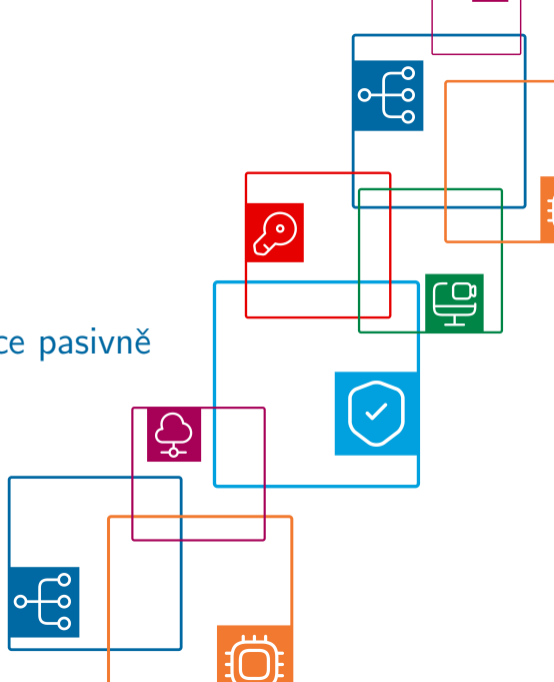


Optická vlákna se hlídají sama a dokonce pasivně

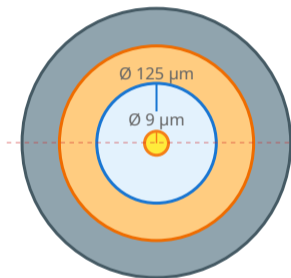
Ing. Martin Šlapák, Ph.D.

CESNET

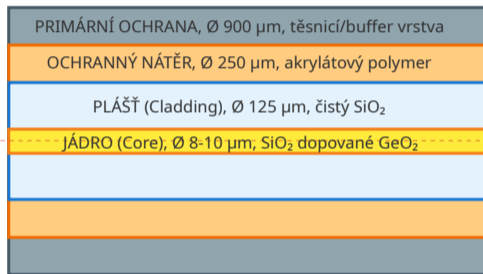
28. 4. 2026



Příčný řez



Podélný řez (soustředné vrstvy)



▶ single-mode vlákna:

- ▶ malé jádro ($8-10 \mu\text{m}$) umožňuje přenos pouze základního vidu (nízká disperze)
- ▶ index lomu jádra $>$ pláště \rightarrow totální vnitřní reflexe na rozhraní jádro/pláště
- ▶ Standard: ITU-T G.652.D (SMF-28; vlnová délka 1260–1675 nm), G.655, G.657
- ▶ útlum cca 0.17–0.2 dB/km



Vnější vlivy působící na vlákno

- ▶ změna teploty okolí (velmi pomalé)
- ▶ akusto-mechanické vibrace/pnutí
 - ▶ 0.1 Hz až nízké desítky kHz
 - ▶ v zemi v kabelech jsou frekvence > 1 kHz významně tlumené

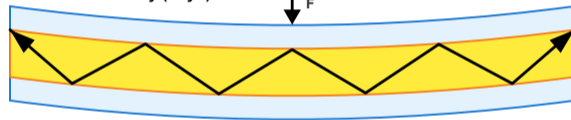
Důsledek působících vlivů

- ▶ změna délky vlákna, mikroohyby, změna indexu lomu
- ▶ **vše extrémně malé, přesto jde měřit:**
 - ▶ amplitudu
 - ▶ změnu fáze
 - ▶ zpětné odrazy
 - ▶ polarizaci

Základní stav



Působení boční síly (ohyb)



Tlak/tah (změna hustoty, indexu lomu)



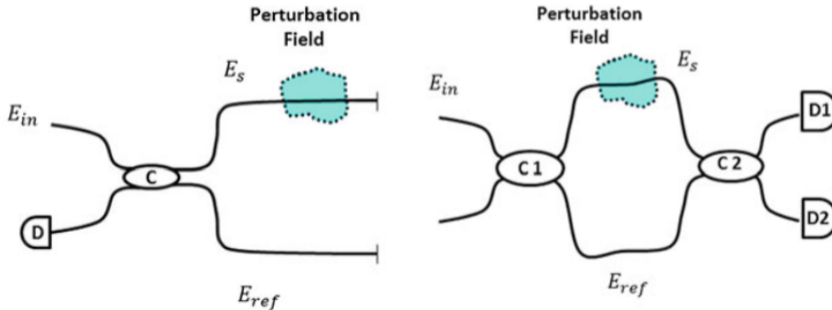
Z hlediska jakou fyzikální vlastnost světla měříme, lze senzorické metody rozdělit do několika hlavních skupin:

1. interferometrie – změna fáze mezi rameny interferometru
2. distributed acoustic sensing (DAS) – Rayleighův zpětný rozptyl
3. stav polarizace (SOP) – změny v rovinách polarizace
4. hybridní metody – SOP-OTDR



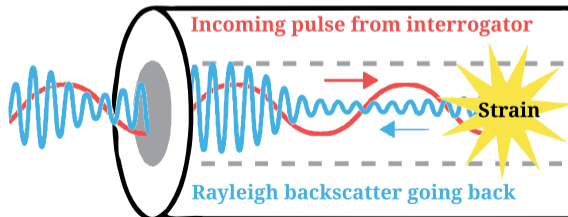
Interferometrie

- ▶ Světlo se rozdělí a prochází dvěma rameny a je následně spojeno za vzniku interference.
- ▶ Extrémně citlivé → je možné **zaznamenat mluvené slovo v okolí (holého) vlákna**.
- ▶ Potřebujeme dvě vlákna a laser s extra úzkou spektrální čarou.



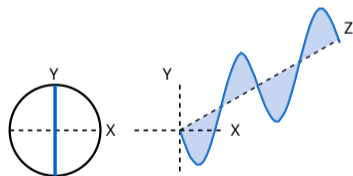
Distributed acoustic sensing

- ▶ Založeno na Rayleighově zpětném rozptylu (na nedokonalostech reálného vlákna se velmi malá část výkonu odrazí zpět).
- ▶ Velmi citlivé, posílají se velmi výkonné pulzy (dedikované vlákno, filtrace, ...), velmi drahý HW, produkuje extrémní množství dat.
- ▶ Jako jediná* z metod umožňuje lokalizovat událost.

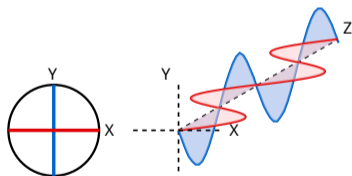


- ▶ Sledujeme změny stavu polarizace světla v čase.
- ▶ Méně citlivé, vyšší vzorkovací frekvence, levnější komponenty (stačí běžný telco laser).
- ▶ **Pasivní technologie (lze odbočit běžný datový provoz, např. OSC).**

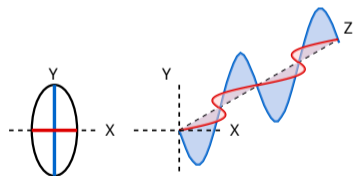
Linear



Circular



Elliptical



- ▶ Kombinují více principů s cílem odstranit dílčí nedostatky daných metod.
- ▶ SOP-OTDR
 - ▶ Polarizačně citlivé OTDR, pracuje na principu zpětného Rayleighova rozptylu, ale měří se polarizace místo fáze.
 - ▶ Prototyp postaven v CESNETu a nasazen v rámci projektu SUBMERSE na reálnou trasu (částečně podmorský kabel).



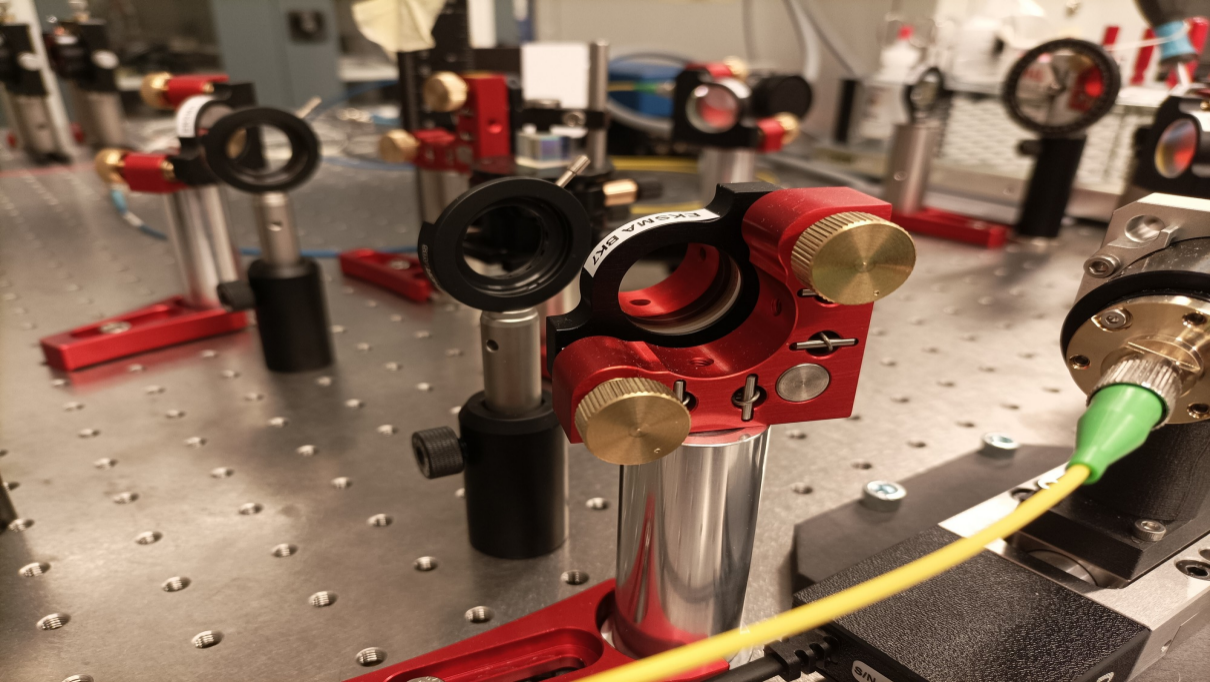
	Interferometrie	DAS/ ϕ -OTDR	Polarimetrie
Citlivost	+++	++	+
Potřeba vláken	2	1	1
Měření z jedné strany	Ne ¹	Ano	Ne ²
Dosah	desítky km	desítky km	desítky km
Lokalizace události	Ne ³	Ano	Ne ³
Cena	střední	velmi vysoká	nízká
Speciální požadavky	vysoce koherentní laser	eliminace odrazů (APC), channel spacing > 200 GHz od ostatního provozu	ne DP modulace

¹ minimálně pasivní zrcátka na druhém konci

² alespoň zdroj světla na druhém konci / pasivní měření

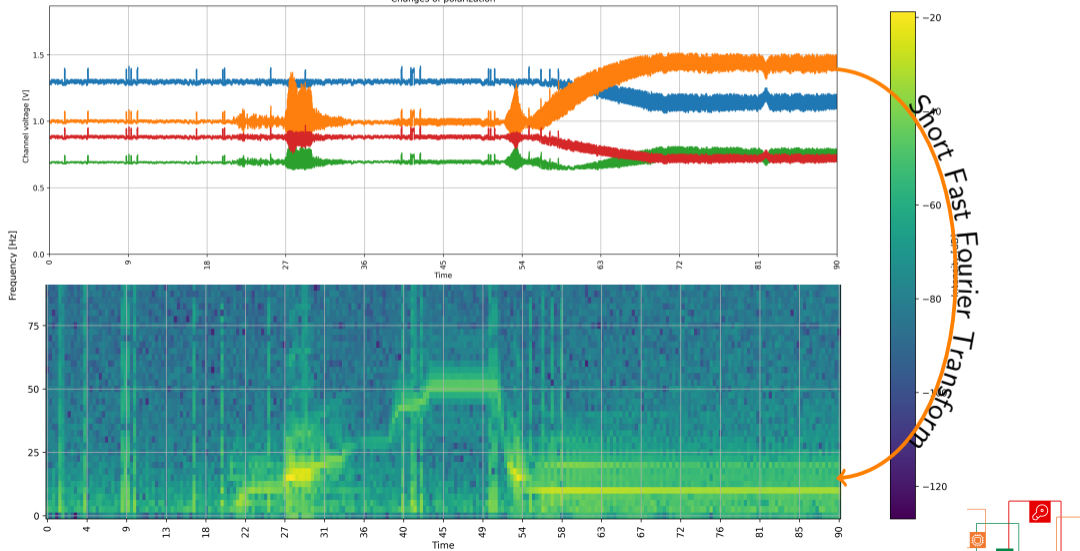
³ v základním módu





Měříme polarizaci – data

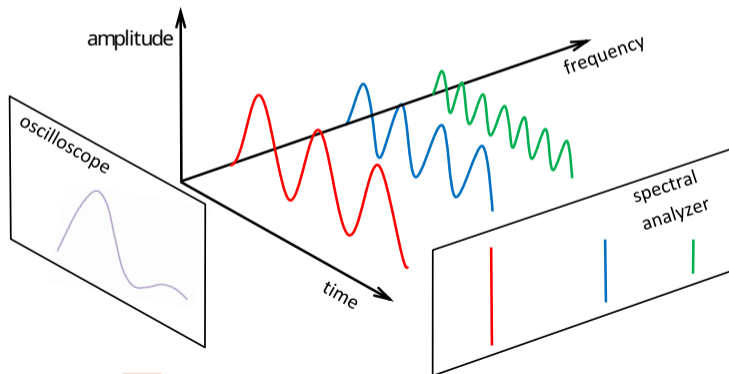
Changes of polarization



Měříme polarizaci – pohledy na data

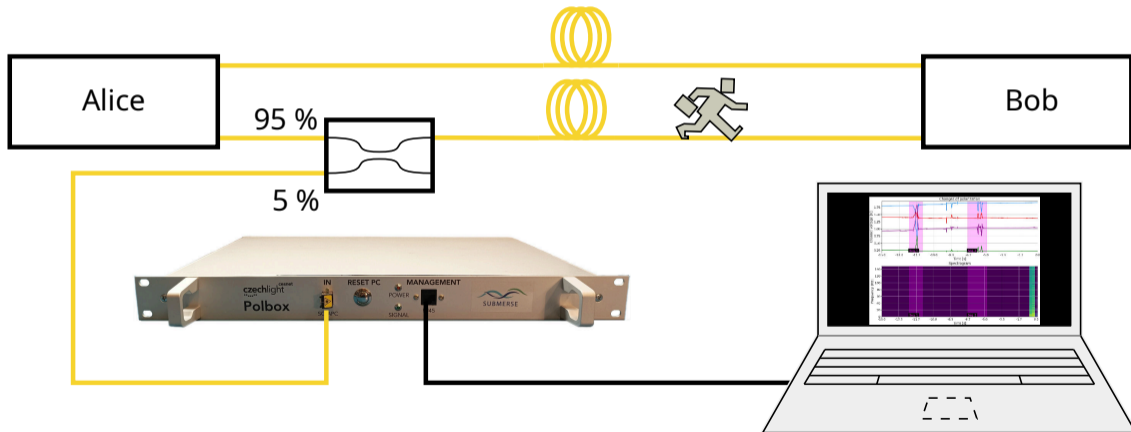
- časová a frekvenční doména (lze mezi nimi převádět)

time vs frequency view

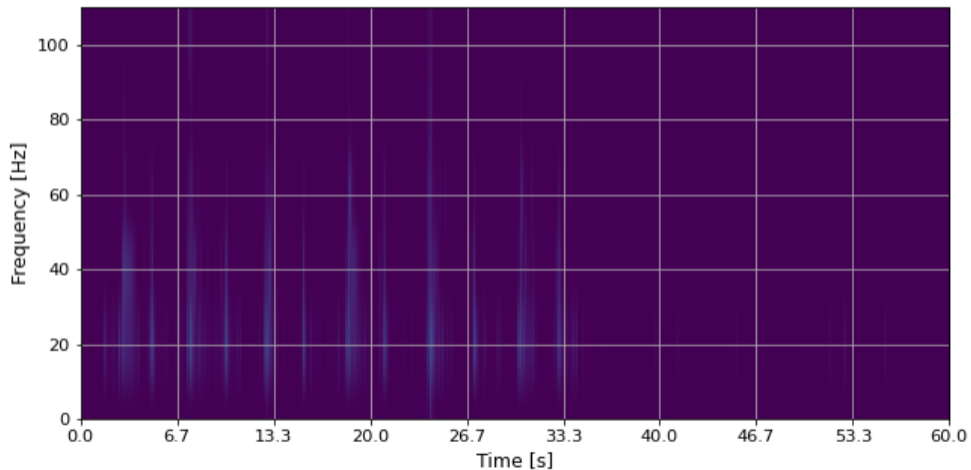


Use-case: Pasivní dohled

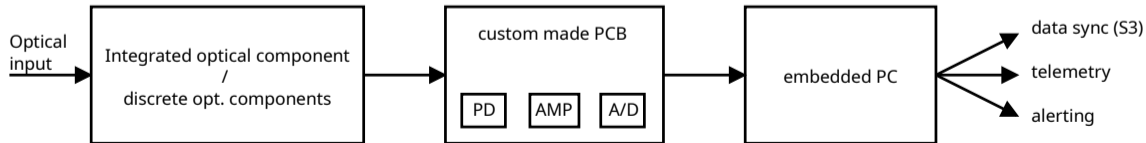
- ▶ Standardní CWDM/DWDM spoj + tap 5 % + Polbox.



Use-case: Pasivní dohled – otvírání a zavírání racku



Polbox – zařízení pro dlouhodobé kontinuální měření SOP

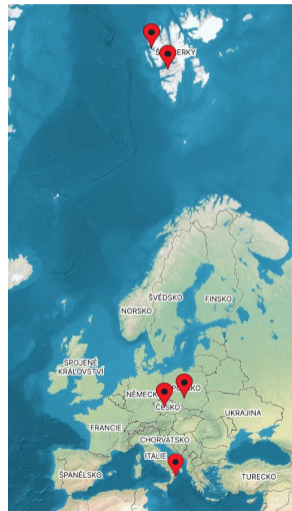


Polbox – zařízení pro dlouhodobé kontinuální měření SOP

- ▶ Vysoká vzorkovací frekvence 20 kHz, 4 kanály s 16 bitovým rozlišením na kanál.
- ▶ Volitelný vstupní zdroj: tap na **existujícím signálu**, nebo vlastní laserový zdroj (např. SFP).
 - ▶ Prototypy operují od 1270 do 1610 nm (ideálně 1520–1610 nm).
 - ▶ Optický vstupní výkon od -15 do 15 dBm (speciální verze od -35 do 5 dBm).
- ▶ Odolné 1U 19" šasí s duálními zdroji.
- ▶ Monitoring kompatibilní s Influx DB a Grafanou.
- ▶ Lokální SSD úložiště, volitelně synchronizované na vzdálený filesystem nebo objektové úložiště (S3 kompatibilní).



- ▶ Zikova–Řež od 2022/05 dosud (pre-prototyp)
- ▶ Nová verze vyvíjena pro HE projekt SUBMERSE
 - ▶ Longyearbyen, Špicberky, NO od 2024/04
 - ▶ Ny-Ålesund, Špicberky, NO od 2024/04
 - ▶ Poznaň/PSNC, PL 2024/04 (time-tagging testy)
 - ▶ Crotone-Preveza, IT-GR, od 2026/03 (GEANT)
- ▶ OSC kanál na lince Praha–Beroun, léto 2024
- ▶ V přípravě západní okruh sítě CESNET3.





- ▶ Vyzkoušejte si různé ruchy v okolí vlákna:
 - ▶ dupnutí na zodolněné "military" vlákno na zemi
 - ▶ truhlík + kladivo (simulace výkopových prací)
 - ▶ plot (indukované manipulace s vláknem)
- ▶ Polbox měří a streamuje data do notebooku s Polive GUI...



Polive GUI – živý náhled s automatickou detekcí událostí

Polarilog live preview

Menu Links Help

Settings

Device: USB003:009 Polarilog v2

Stream URI: [input field]

Stream token: [input field]

Serial: -None-

FS [Hz]: 20000

Live plot len [s]: 15

Name	Last [V]	[RAW]	A [V]	[RAW]	DA [V]	IA [RAW]
1 CH0	1.918	30688	4.092	65473		
2 CH1	1.369	21908	4.094	65500		
3 CH2	0.220	3526	3.000	47999		
4 CH3	1.045	16726	4.093	65481		

Plotting options

Time plot options:

- average 1000

Show derived measures:

- delta angle
- delta distance

Spectrogram options:

Spec.channel 0

Spec.psrpsec 6000

Spec.cutFreq 150

Show channels (analysis tab):

- display CH0

Event detection

- Detrend

Live plots Analysis Detrended signals

977536 samples (48.88 s) - 1 %

Changes of polarization

Channel voltage [V]

Time [s]

Spectrogram

Frequency [Hz]

Time [s]

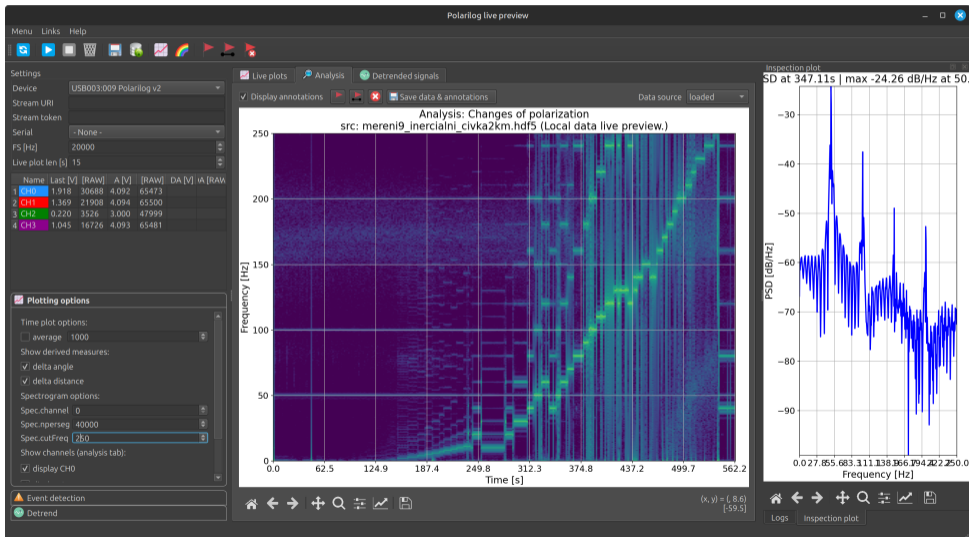
(x, y) = (2.36)

Logs

```
{
  "end": 625068,
  "time_start": "2026-04-15T11:26:21.1971",
  "time_end": "2026-04-15T11:26:26.043338",
  "label": "Seg 0",
  "label_class": "",
  "annotation_type": "Interval",
  "detector": "specp_msl",
  "score": -6.751534461975098,
  "properties": {
    "freq_low": 0.0,
    "freq_up": 150.0
  }
},
{
  "start": 730516,
  "end": 755758,
  "time_start": "2026-04-15T11:26:32.1157",
  "time_end": "2026-04-15T11:26:33.377838",
  "label": "Seg 1",
  "label_class": "",
  "annotation_type": "Interval",
  "detector": "specp_msl",
  "score": -11.725666046142578,
  "properties": {
    "freq_low": 0.0,
    "freq_up": 150.0
  }
},
{
  "start": 842782,
  "end": 879532,
  "time_start": "2026-04-15T11:26:37.7298",
  "time_end": "2026-04-15T11:26:39.566538",
  "label": "Seg 2",
  "label_class": "",
  "annotation_type": "Interval",
  "detector": "specp_msl",
  "score": -24.515518188476562,
  "properties": {
    "freq_low": 0.0,
    "freq_up": 150.0
  }
}
]
11:26:27 Cleaning up worker acquisition
11:26:27 Cleaning up worker processing
11:26:27 Cleaning up worker spectral_proc
```

Logs Inspection plot

Polive GUI – offline analýza

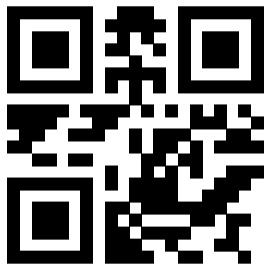


Vláknová sensorika vám umožní:

- ▶ Lépe pečovat o svěřené či vlastní prostředky.
- ▶ Snadno získat informace o tom, že se něco děje okolo vlákna.
- ▶ Poskytovat pokročilé služby na optické infrastruktuře.
- ▶ A první krok už jste udělali. . .

Již máte **senzor – optické vlákno!**





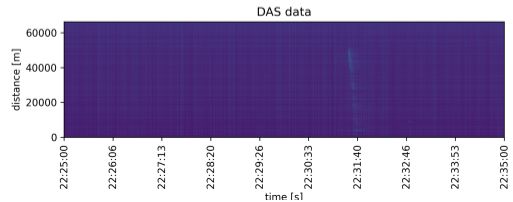
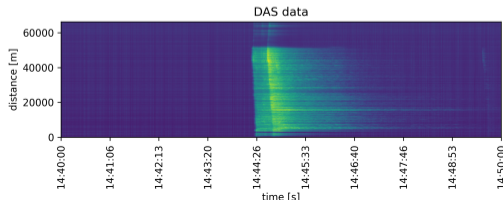
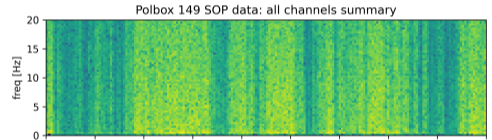
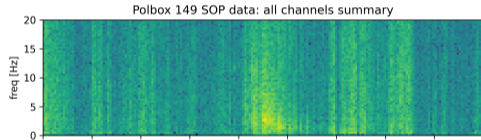
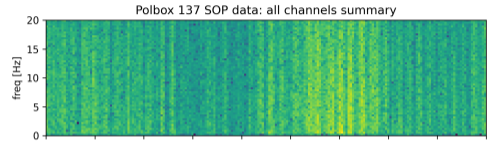
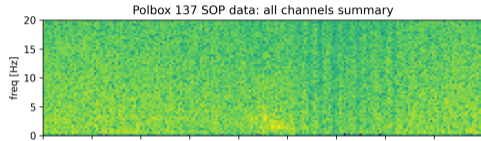
e-mail contact



Polbox website



SUBMERSE – podmořský kabel DAS + Polbox zemětřesení



Terestriální linka podél železniční trati

