

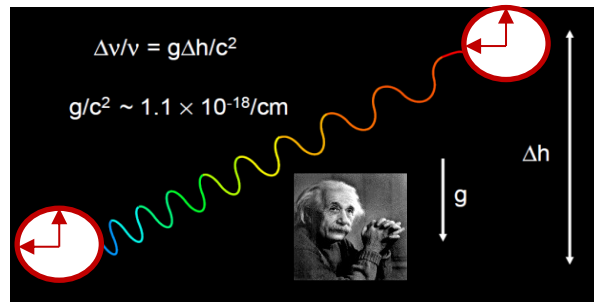


**Sdílení vláken: přenosy ultra stabilních veličin a využití pro vláknové snímání**  
**NESPOQ workshop, Praha 19.10.2021**

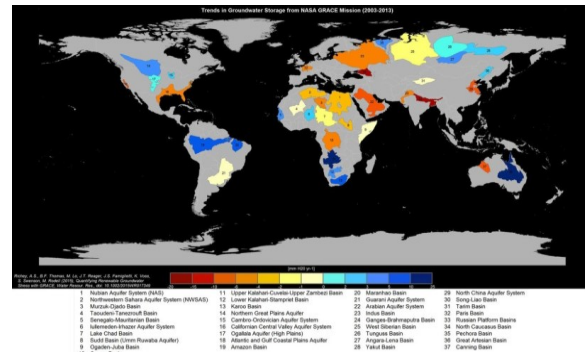
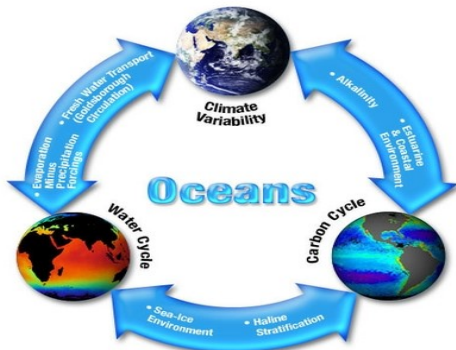
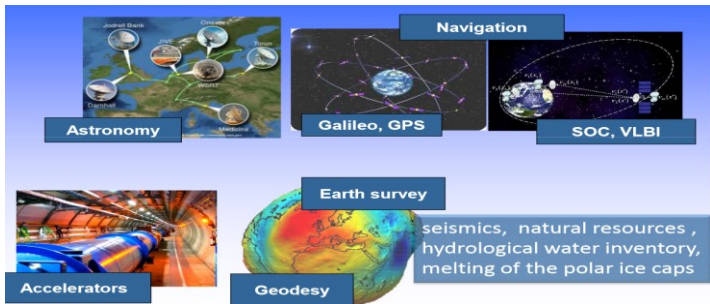


**Ondřej Havliš**

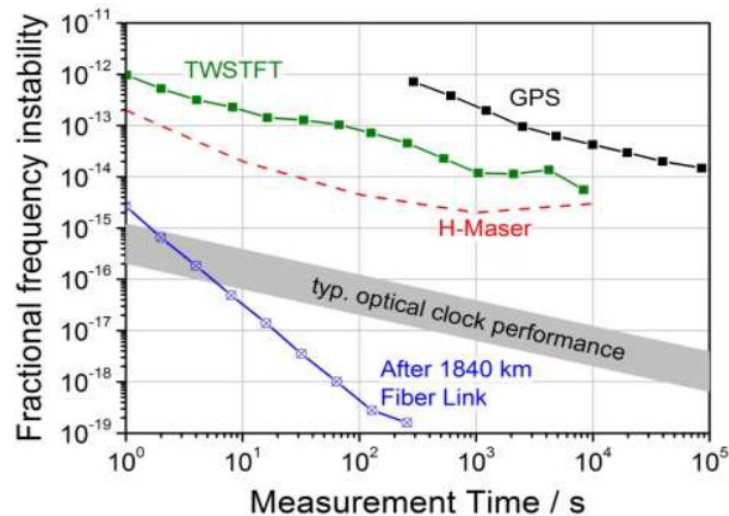
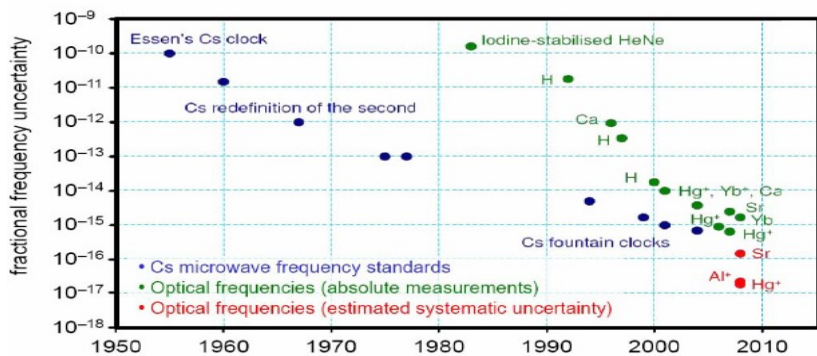
- Důležitý etalon nejen pro výzkumné aktivity
  - Čas a frekvence jsou veličiny, které jsme schopni změřit s nejvyšší přesností
  - Představuje ideální způsob měření drobných efektů
  - Stálost základních konstant
  - Detekce gravitační vlny



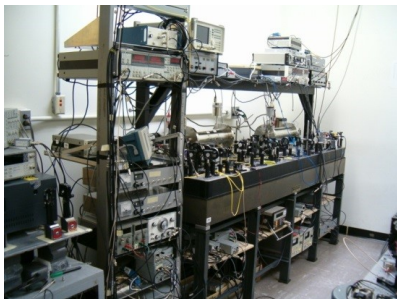
- Ve vědách o Zemi
  - Země - geodézie, seismologie, vodní zdroje a další zásoby přírodních zdrojů
  - Atmosféra - modelování klimatu a sledování změn
  - Oceány - oběh/cirkulace, monitorování geoidů
- V astronomii
  - Satelitní propoje a komunikace
- Využití v navigačních systémech
  - Galileo, GPS



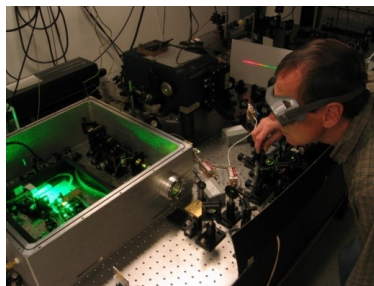
- Přesnost hodin se zlepšuje s vyvíjející se technologií
- Tradiční satelitní metody (GPS, TWSTFT) dosahují svých limitů
- Zvýšený zájem o přenos na bázi optických vláken



- Je těžké přemístit některé hodiny
  - Velice citlivé a náchylné na změny, robustní a velice drahý systém
- Vysoké finanční náklady na vlastnictví
- Více propojených hodin (Cs primární standardy a H masery) zlepšuje přesnost a stabilitu časového měřítka
- „Propojení“ znamená přenos času
  - Přes vláknovou optickou infrastrukturu-velký potenciál



Stabilizovaný acetylenový laser



Optický frekvenční hřeben



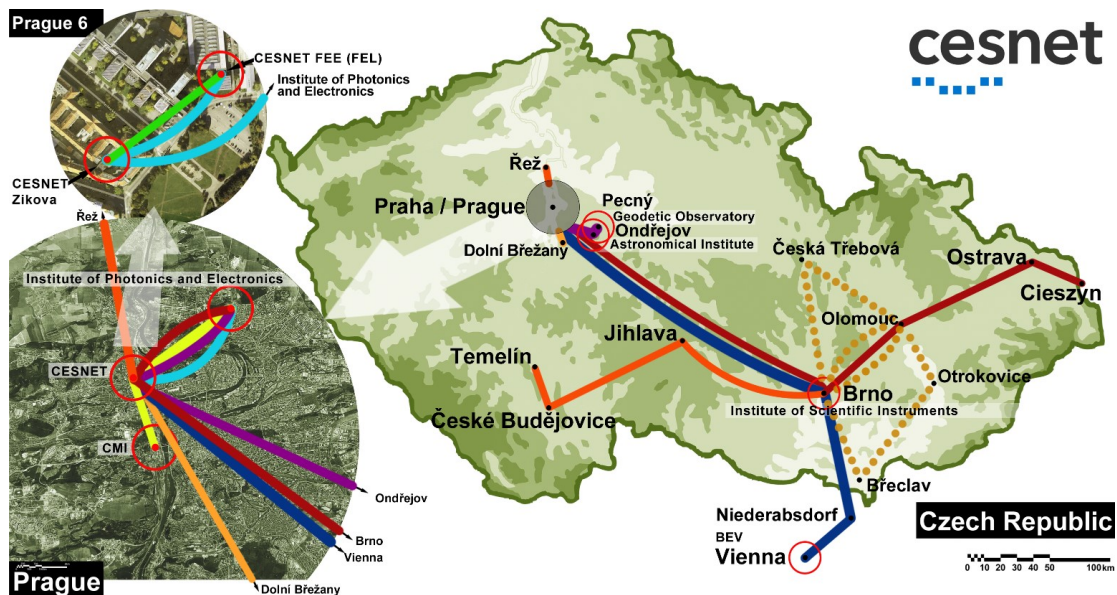
Cesiové hodiny v NPL UK, výška 2,5 m



- Open DWDM Czech Light
  - Obousměrné optické zesilovače CLA BiDi, SOA
    - C-band, 1570 nm, L-band, 1458 nm
- Přenos na současných optických trasách tedy sdílení optických vláken
  - Vyhrazené část spektra za pomoci speciálních optických filtrů
  - Praha–Brno, Brno–Temelín, Brno–Vídeň, Brno–Olomouc (v rámci nadstavbové služby)
- CISCO+CzL
  - White Rabbit (WR Switch + WR Len)
    - Praha–Brno, vyhrazený kanál 33 (1550,92 nm) na Cisco
      - Probíhá příprava na realizaci kanálu 34 (1550,12 nm) na Cisco
    - Praha–Ostrava, vyhrazený kanál 34 (1550,12 nm) na Cisco
    - Brno–Vyškov–Olomouc
      - Probíhá příprava na realizaci, kombinace obou technologií Cisco+CzL
    - Brno–Bratislava
      - Probíhá realizace (Brno hotovo, Bratislava v řešení na přelomu října a listopadu)
      - Vyhrazený kanál 32 (1551,72 nm) přes CzL
  - Časový adapter
    - Praha–Brno–Niederabsdorf–Vídeň (BEV), vyhrazený kanál 32 (1551,72 nm)

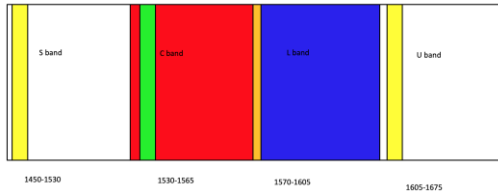


- Realizace zhruba na 2 700 km (včetně nadstavbové služby)
- Kombinace vlastní vyvíjené technologie CzL s produkčním systémem CISCO
  - White Rabbit a časový adapter

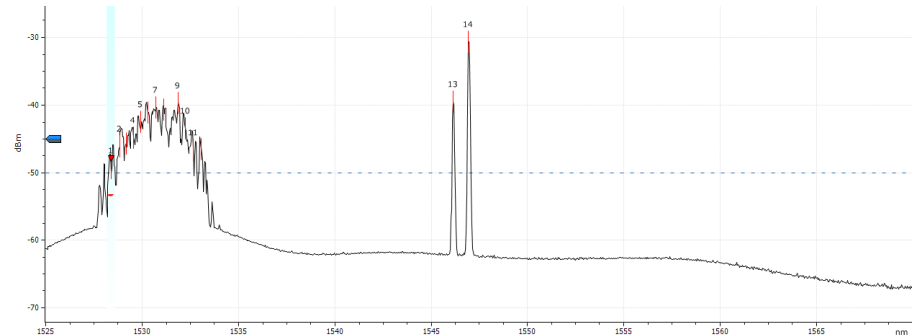
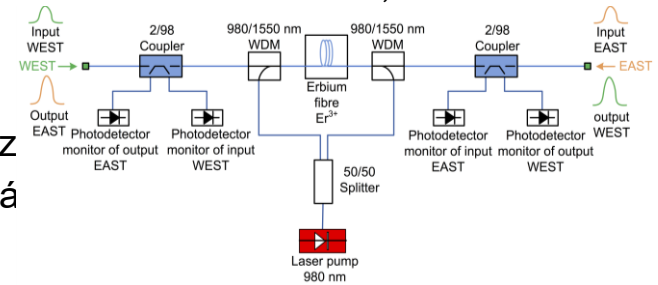


- Technické požadavky

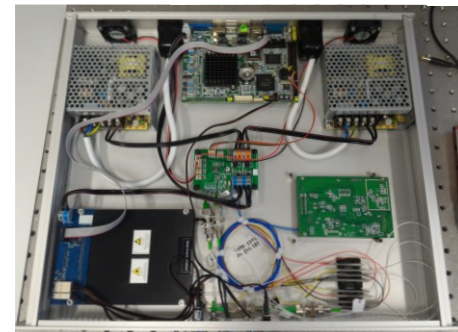
- Používáme vyvinuté vlastní zařízení obousměrné optické zesilovače CLA BiDi, SOA
  - Multi band: C-band, 1570 nm, L-band, 1458 nm



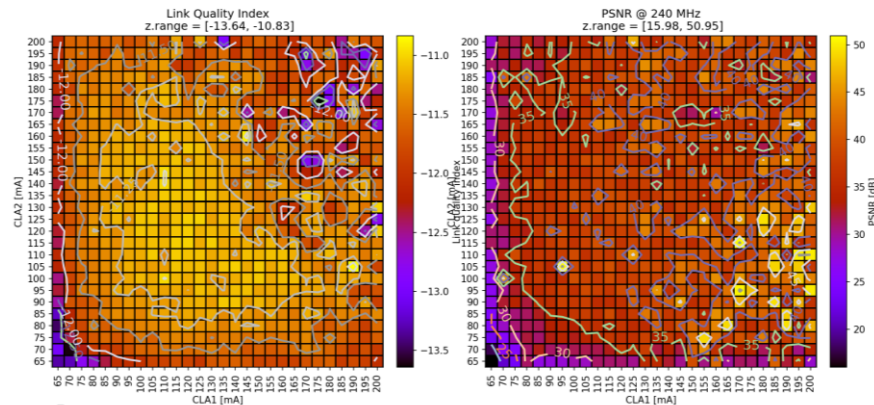
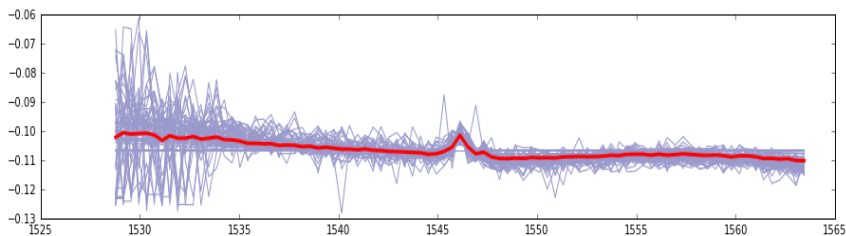
vé optické propoje + pouze optické “z  
u dodržena tato pravidla, může dochá  
nosu tedy stability



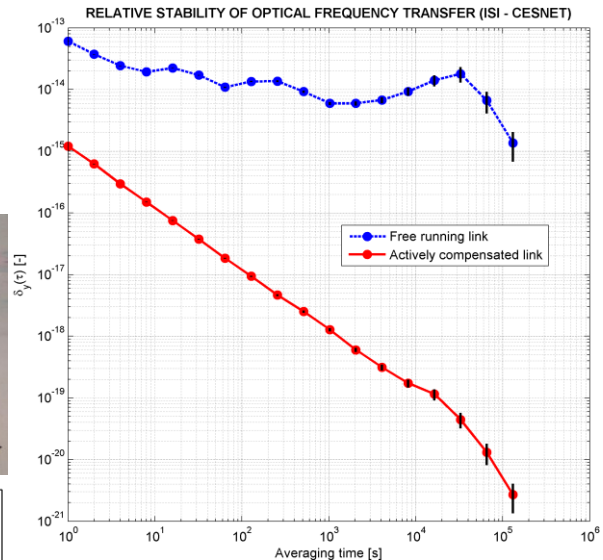
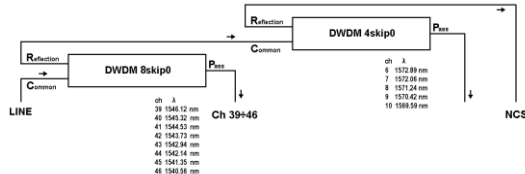
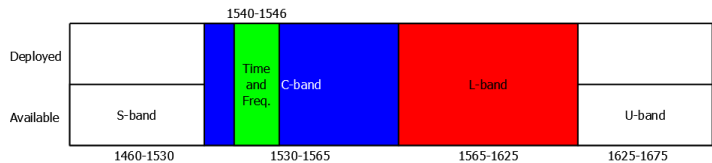
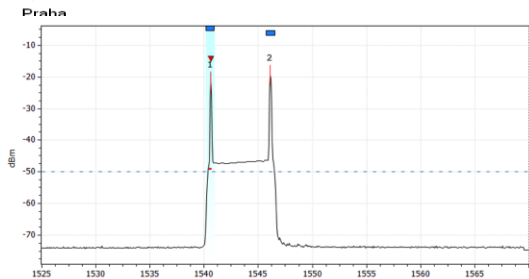
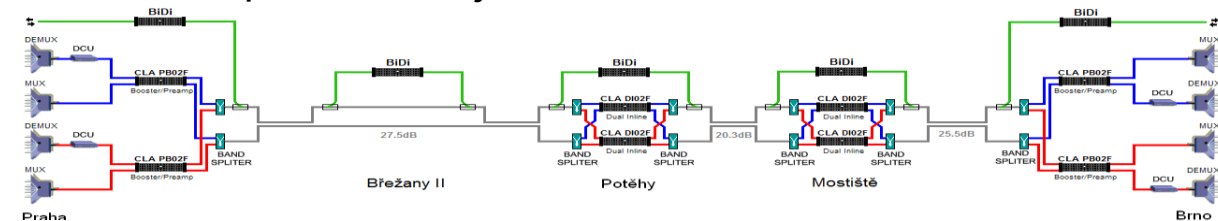
- Technické požadavky
  - Vypořádání se samovolným laserováním
    - CLA BiDi noLase zamezí samovolnému laserování
      - Integrované OCM, které proměřuje spektrum
  - Vyhodnocení kvality indexu
    - Výkonové balancování kaskád obousměrných zesilovačů



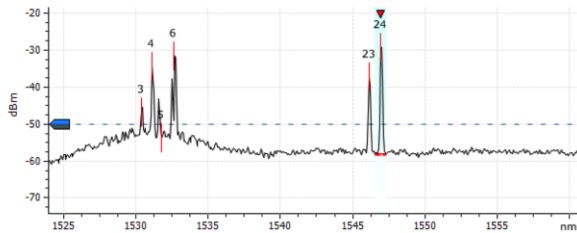
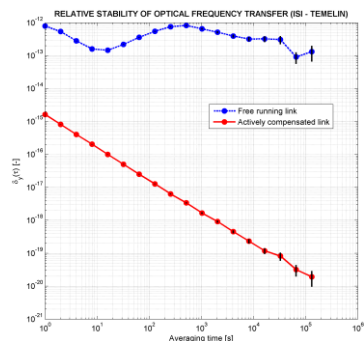
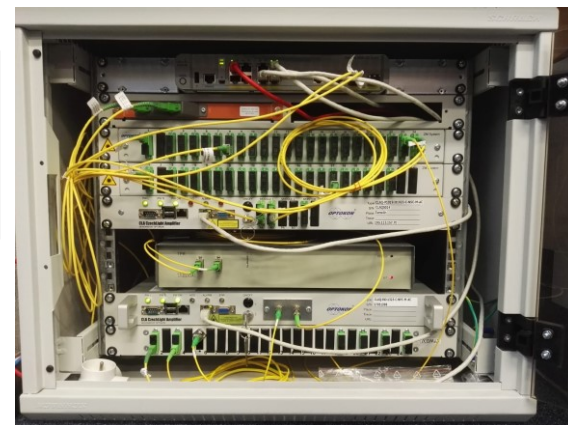
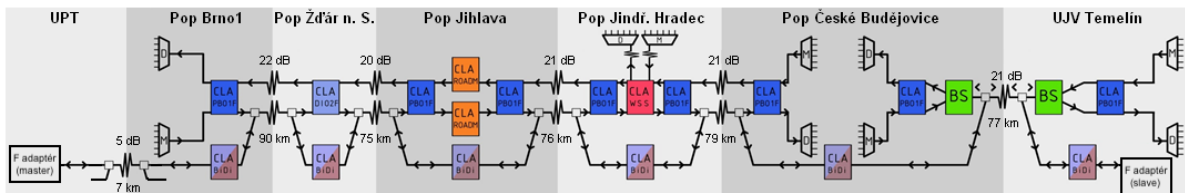
LiPoBa2 - GridSearch - LQI v3  
 CLA1=BRNO (ID148) - CLA2 = OL (ID149)  
 Limit 65-200 mA



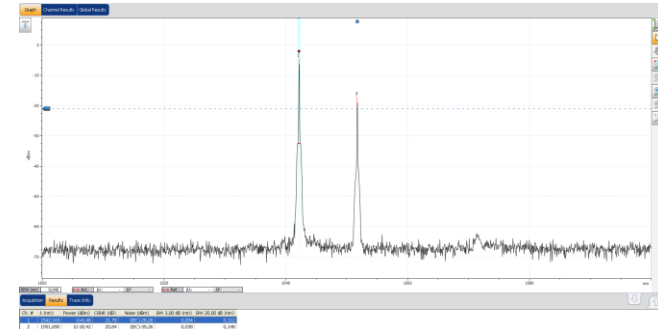
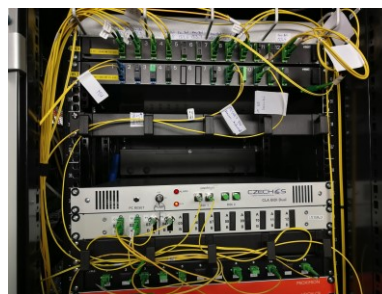
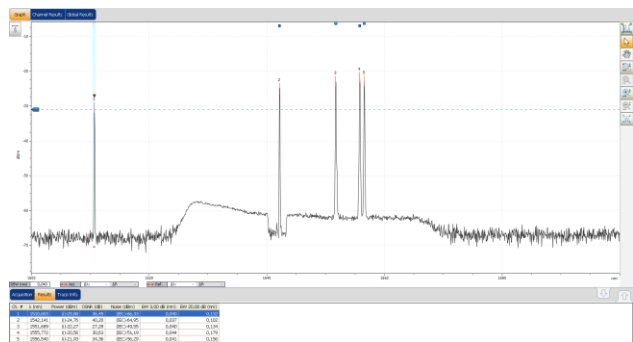
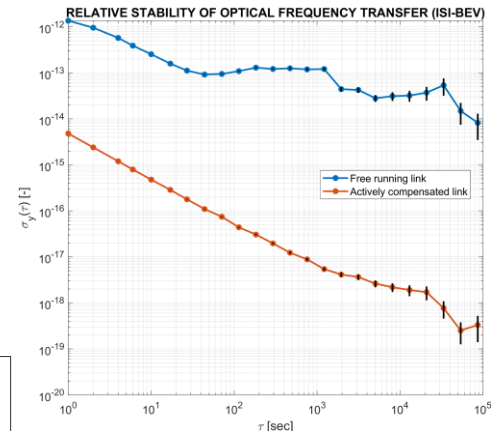
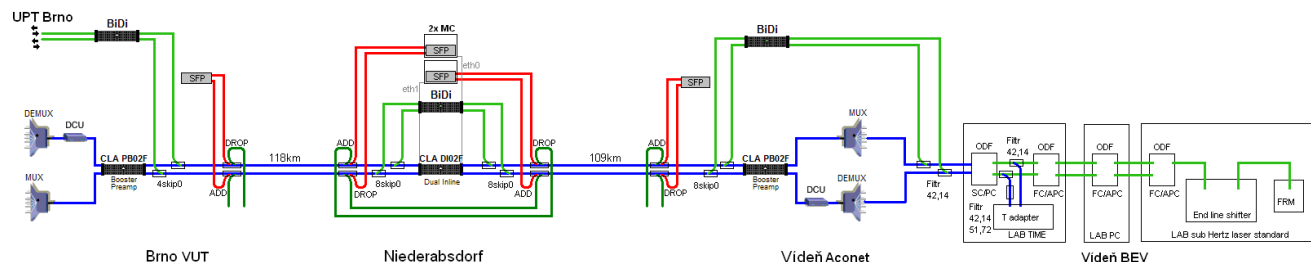
- Vyhrazený optický kanál 800 GHz
- Sdílení páru vláken jak v C tak L bandu.



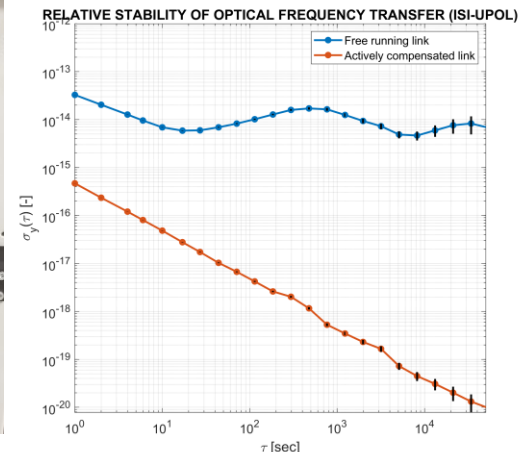
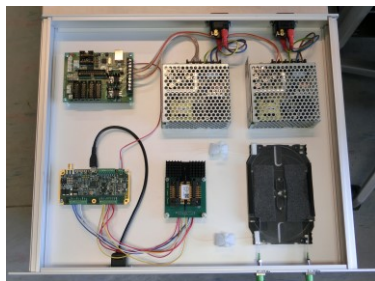
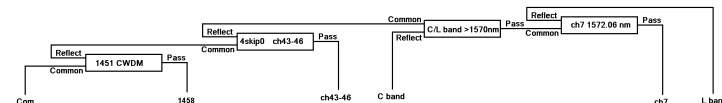
- Vyhrazený optický kanál 400GHz
- Koherentní frekvence pro snímání kontejmentu v Temelíně
- S metodou aktivní kompenzace dosažení stability na lince  $7 \times 10^{-16}$ 
  - Bez kompenzace dosažena stabilita  $9 \times 10^{-13}$



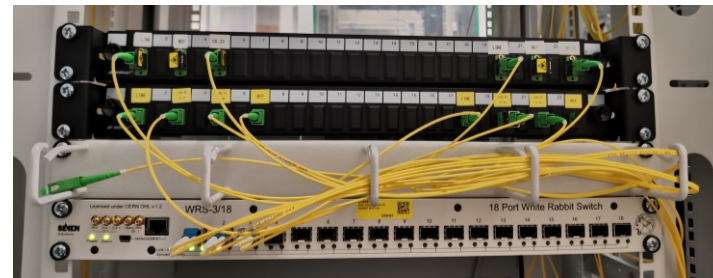
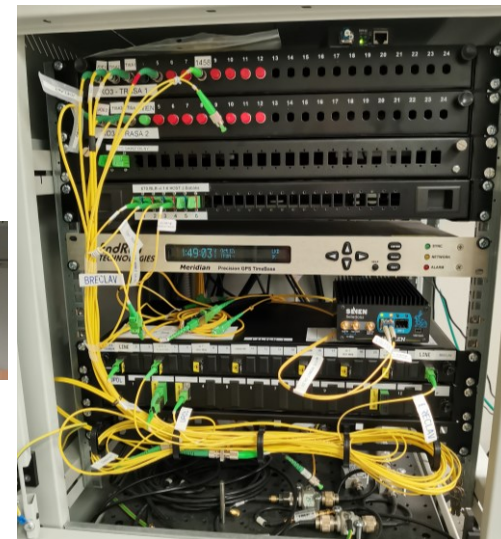
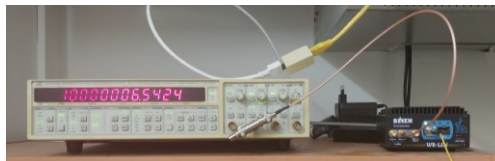
- Vyhrazený optický kanál 400GHz
- Propojení do atomic institutu BEV
- Dosažená stabilita na lince  $7 \times 10^{-16}$



- Multi Band na reálné trase
  - Vyhrazený optický kanál 400GHz v C-band, 1572 nm, 1458 nm
    - CLA BiDi, SOA
- Realizace v rámci nadstavbové služby
- Prvenství v propojení kvantových zdrojů frekvence
- Dosažená stabilita na lince  $7 \times 10^{-16}$



- Přenos přes nový přenosový systém CISCO (FWDM0)
  - Vyhrazené kanály (32,33 a 34) přes speciální optické filtry
  - Praha–Brno, Praha–Ostrava–Cieszyn
- Přenos přes CzL
  - CBF Brno–Bratislava (kanál 32)



- Proč jsme to začali řešit:
- Nenadálé přerušení optické trasy
  - Přerušení/překopnutí optického vlákna během výkopových prací
  - Krádež optických kabelů
  - Neoprávněná / nehlášená manipulace s vlákny
- Aktivní sledování vibrací v blízkosti kabelu s optickými vlákny
  - Možnost včasné reakce (zamezení přerušení vlákna)
- V kombinaci s SDN a NetOS umožňuje zkrácení doby výpadku



- Metody snímání vibrací pomocí vlákna nebo vláken
  - Fázově citlivé OTDR
  - Polarizační metoda
  - Interferometrické metody

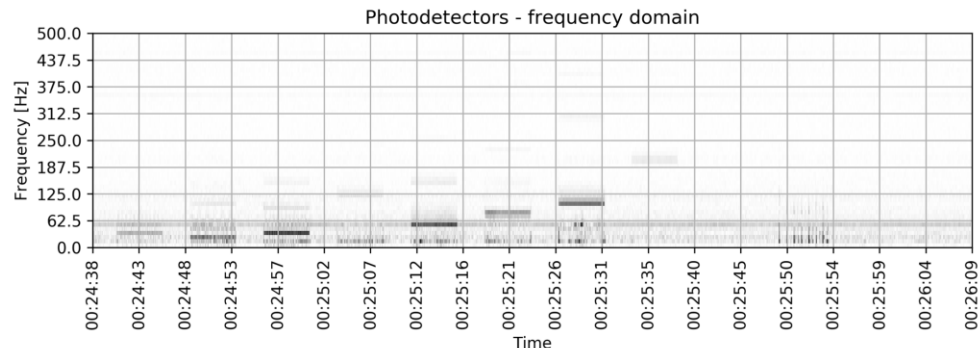
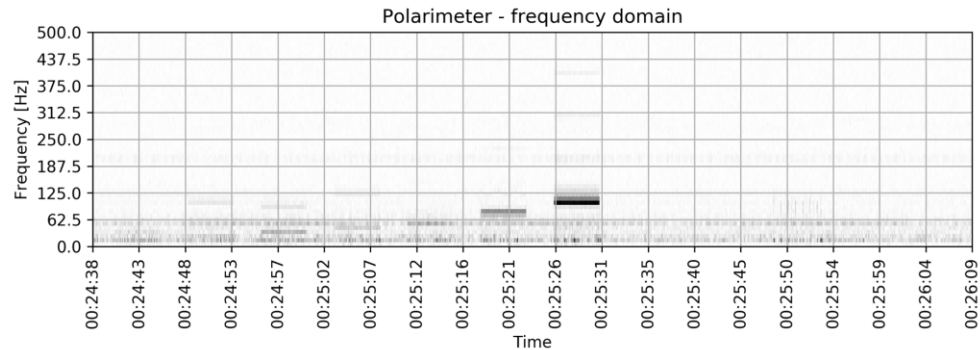
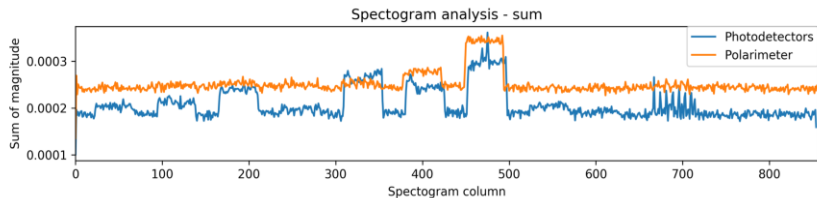
Metoda	Fázově citlivé OTDR	Polarizační metoda	Interferometrické metody
Citlivost	++	+	+++
Počet požadovaných vláken	1	1	2
Měření s jedním koncem	Ano	Ne (nejméně pasivní zrcátko)	Ne (nejméně pasivní zrcátko)
Měřicí dosah	Desítky kilometrů	Desítky kilometrů	Desítky kilometrů
Lokalizace událostí	Ano	Ne (v základní konfiguraci)	Ne (v základní konfiguraci)
Cena	Vysoká	Nízká	Průměrná
Speciální požadavky	Eliminace odrazů v optické trase, vzdálenost kanálů >200GHz od přenosových dat		



- Polarizační metody
  - Vlákno je slabě nelineární prostředí
  - Světlo se šíří ve dvou rovinách polarizace (horizontální/vertikální)
  - Vliv okolního prostředí způsobí změnu rotace
  - Výhody vs. nevýhody Polarizační metody
    - **Lze analyzovat přímo datový signál**
    - Jednoduché a levné řešení
    - Nemožnost lokalizace
    - Nižší citlivost než u ostatních metod

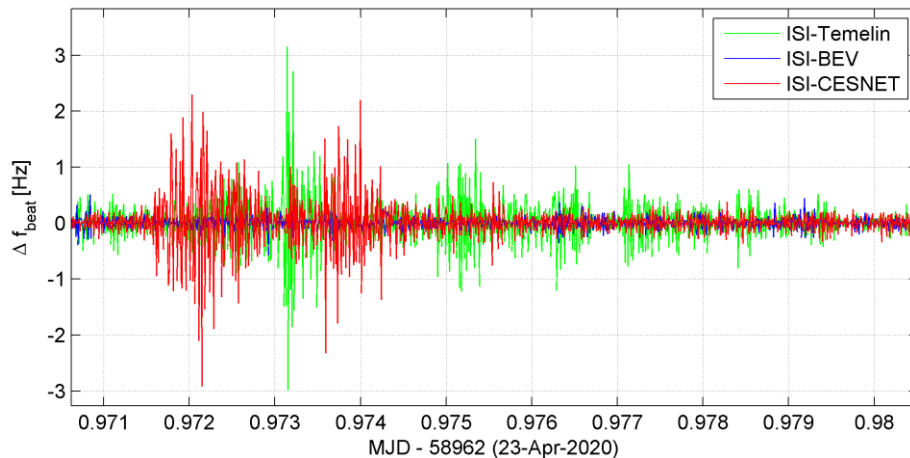


- Polarimetr
  - Měření úhlových změn polarizace
  - Nákladné řešení
- Polarizační dělič + fotodiody
  - Umožňuje citlivé měření
  - Levnější řešení
  - V případě horizontální/vertikální polarizace minimální citlivost

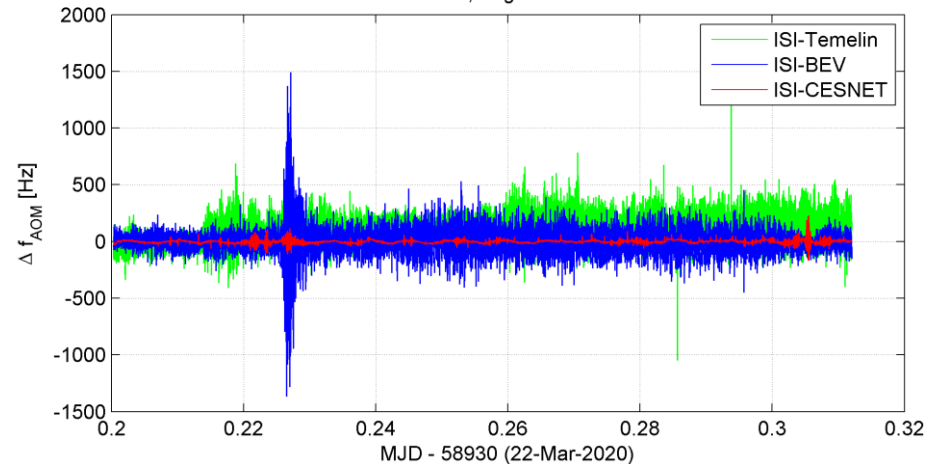


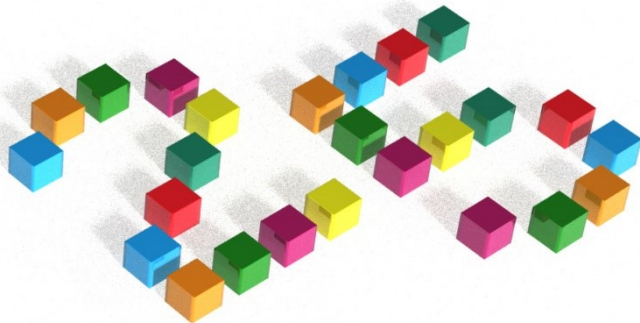
- Aplikace z reálných tras
  - Zachycení zemětřesení v Chorvatsku a na Slovensku (spolupráce s UPT)
    - Brno–Praha, cca 305 km dlouhý senzor/interferometr
    - Brno–Temelín, cca 395 km dlouhý senzor/interferometr
    - Brno–Vídeň, cca 225 km dlouhý senzor/interferometr

Zemetreseni M 3.7 - Slovensko, 23.4.2020 23:18 UTC



Zemetreseni M5.4 CR, Zagreb - 22.3.2020 5:24 UTC





**Děkuji za pozornost!**



Ondřej Havliš, [havlis@cesnet.cz](mailto:havlis@cesnet.cz)