

Praktické aspekty přenosu přesného času

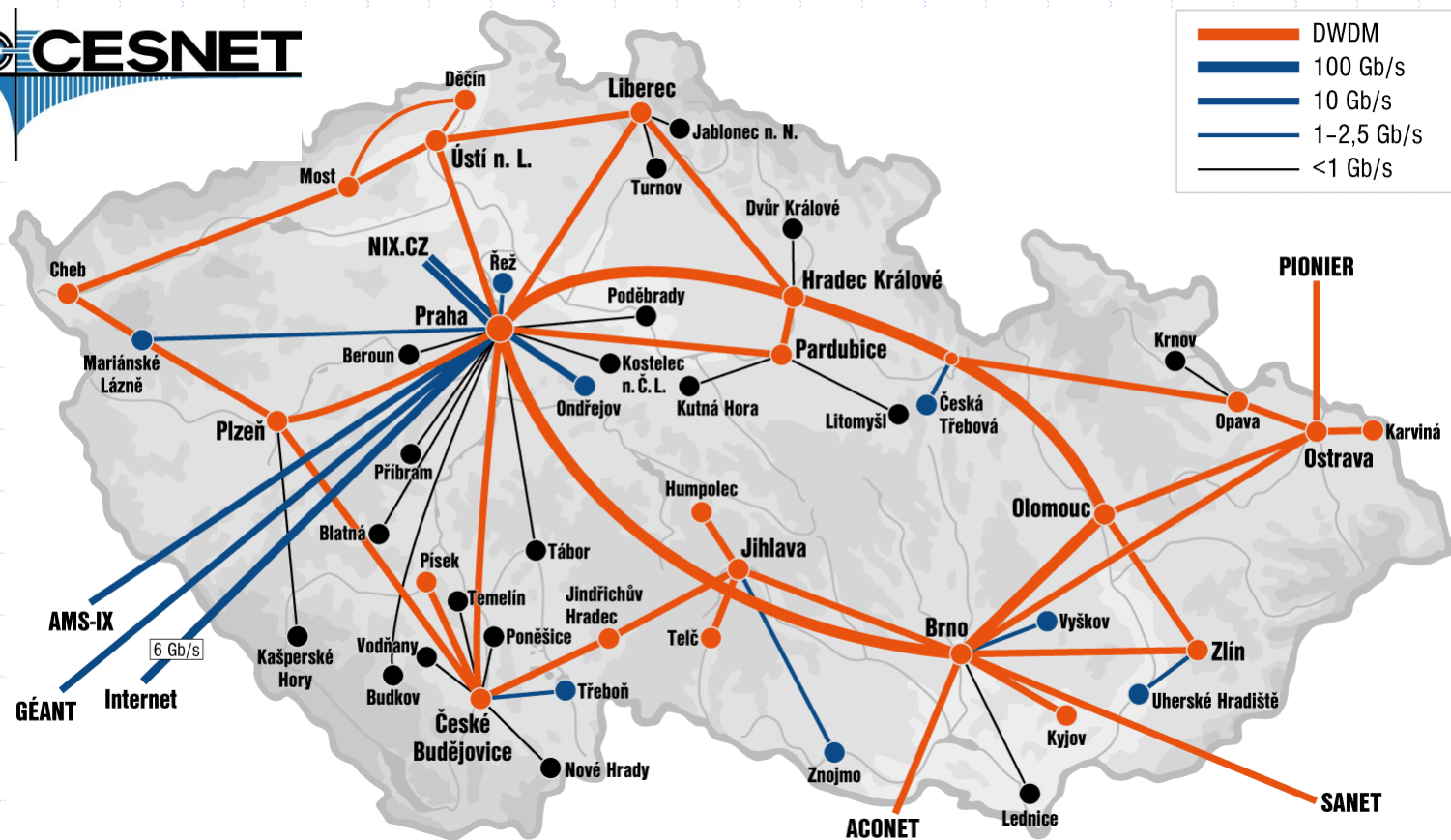


Jan Radil, Vladimír Smotlacha, Josef Vojtěch
OPTICKÉ KOMUNIKACE 2014

Praktické aspekty přenosu přesného času

- ◆ CESNET - Czech Educational and Scientific NETwork
- ◆ Sdružení založeno 1996 jako nezisková organizace
- ◆ z.s.p.o. – veřejné univerzity a Akademie věd ČR
- ◆ Národní síť pro vědu a vzdělávání – CESNET2
- ◆ www.cesnet.cz

Praktické aspekty přenosu přesného času

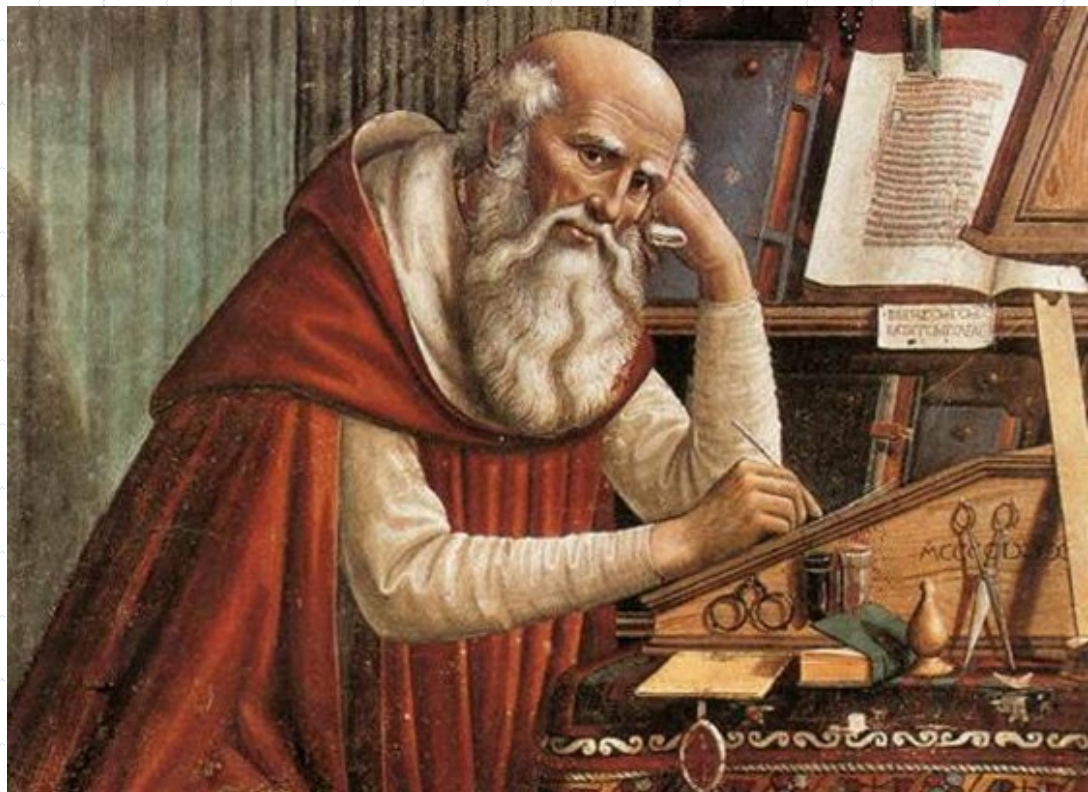


Praktické aspekty přenosu přesného času

- ◆ Tato prezentaci obsahuje pouze naše osobní názory na danou problematiku.
- ◆ S využitím našich předchozích prezentací.
- ◆ Použité ukázky z jiných děl jsou použity pouze pro vzdělávací účely.
- ◆ Přesun do této sekce – drobné úpravy.
 - Praktické aspekty oslabeny

Praktické aspekty přenosu přesného času

◆ Přesný čas. Víme vůbec co to čas je?



Praktické aspekty přenosu přesného času

- ◆ Přesný čas. Víme vůbec co to čas je?
- ◆ Co je tedy čas? Vím to, když se mě na něj nikdo netáže; ale mám-li to někomu vysvětlit, nevím.
- ◆ Čas jest, jenom když zaniká?
 - Aurelius Augustinus, 354-430, Vyznání (Confessiones)

Praktické aspekty přenosu přesného času

◆ Sekunda – základní jednotka času v soustavě SI.

- Doba trvání (časový interval vymezený) 9 192 631 770 period (kmitů) záření, které odpovídá přechodu mezi dvěma hladinami (hyperjemné) struktury základního stavu atomu ^{133}Cs .
- Hyperjemný – působení elektronů a jádra, rozštěpení hladin. Mikrovlny.
- Frekvence - počet opakování periodického děje za daný časový úsek. $1\text{Hz} = \text{jedna událost za sekundu}$. $1\text{Hz} = 1/\text{s}$. Čas je integrál frekvence.
- Cs atom: jeden jediný, v klidu, absolutní nula, nulové magnetické pole, bez vnějších vlivů – v praxi nelze dosáhnout.

◆ V minulosti jiné definice – doba rotace Země.

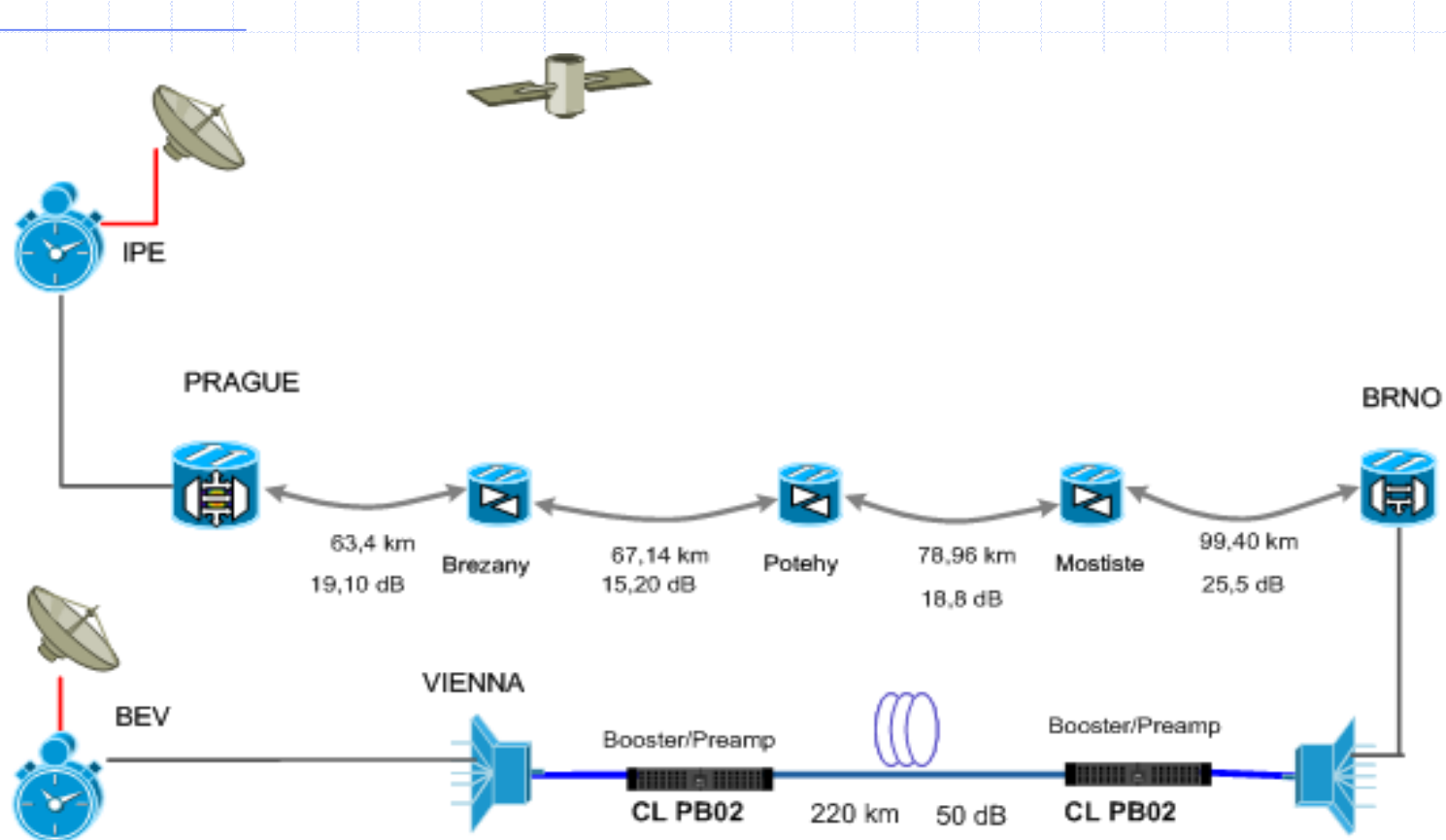
- Přesnost nebyla dostatečná. Samozřejmě SI sekunda je blízká „starším“ sekundám. Proto Cs a hyperjemné přechody – nic lepšího nebylo.

Praktické aspekty přenosu přesného času

◆ Přesný čas a CESNET: Praha - Vídeň

- Porovnání atomových hodin Praha (UFE) – Vídeň (BEV)
- Začátky 2010, od 2011 v provozním režimu – CESNET, AConet
- Celková délka vláknové trasy 550km, celkový útlum 137dB
- Cisco a OpenDWDM přenosové systémy (multivendor, multidomain)
- Různé metody kompenzace chromatické disperze – vlákno DCF i mřížky FBG, mají vliv na přesnost, stabilitu
- Jde vlastně o Alien Wavelength (aka ITU Black Link), rychlost přenosu je mimo ITU doporučení
- Obrázky a text z [1],[2]

Praktické aspekty přenosu přesného času



Praktické aspekty přenosu přesného času

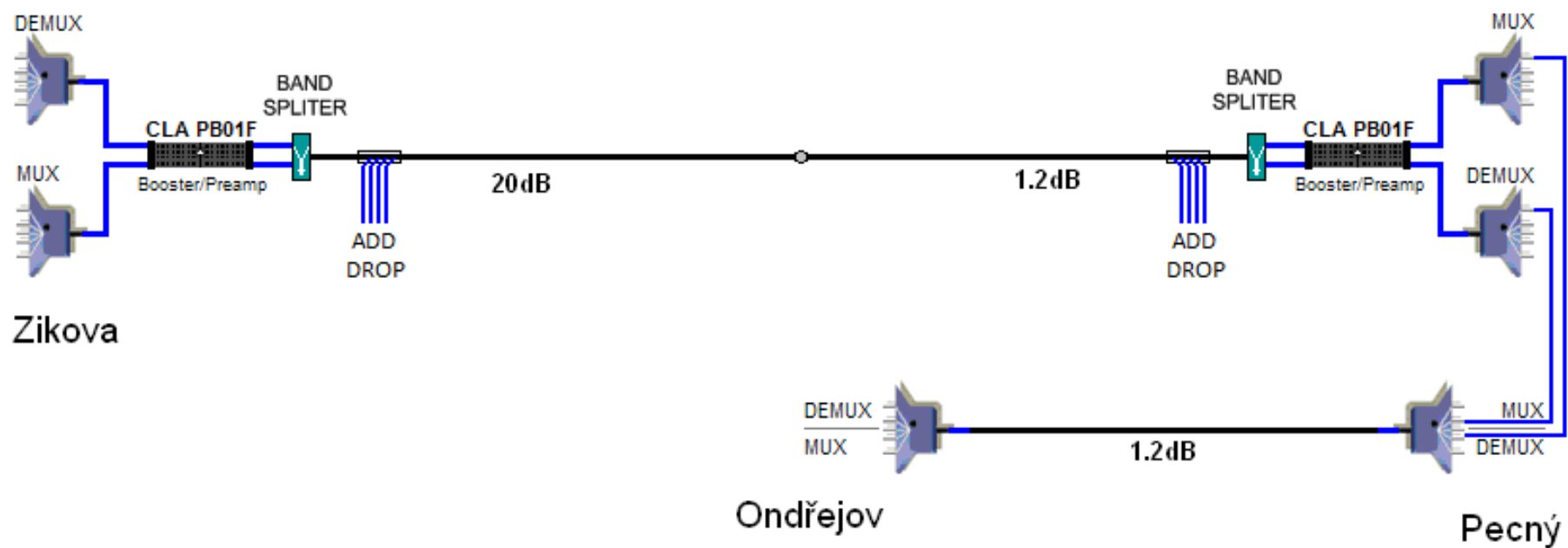
◆ Propojení Praha-Ondřejov-Pecný

- Specifické požadavky na přenos přesného času (možný kandidát pouze vlákno)
- Praha-Ondřejov pouze jedno vlákno (poměrně běžné v CESNETu, finanční úspora oproti klasickým dvouvláknovým trasám)
- Ondřejov-Pecný jsou dvě vlákna (krátká vzdálenost)
- Přesný čas nutný mezi Prahou a Pecným

Praktické aspekty přenosu přesného času

◆ Propojení Praha-Ondřejov-Pecný

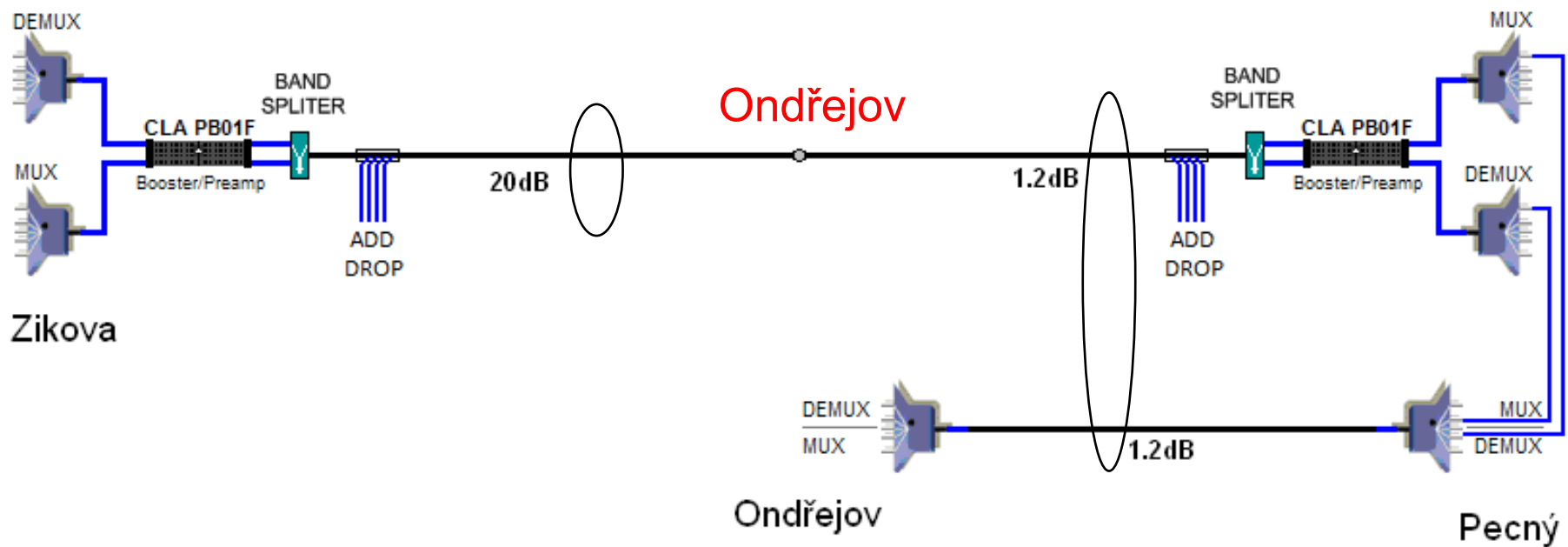
➤ Návrh: M. Hůla, CESNET



Praktické aspekty přenosu přesného času

Propojení Praha-Ondřejov-Pecný

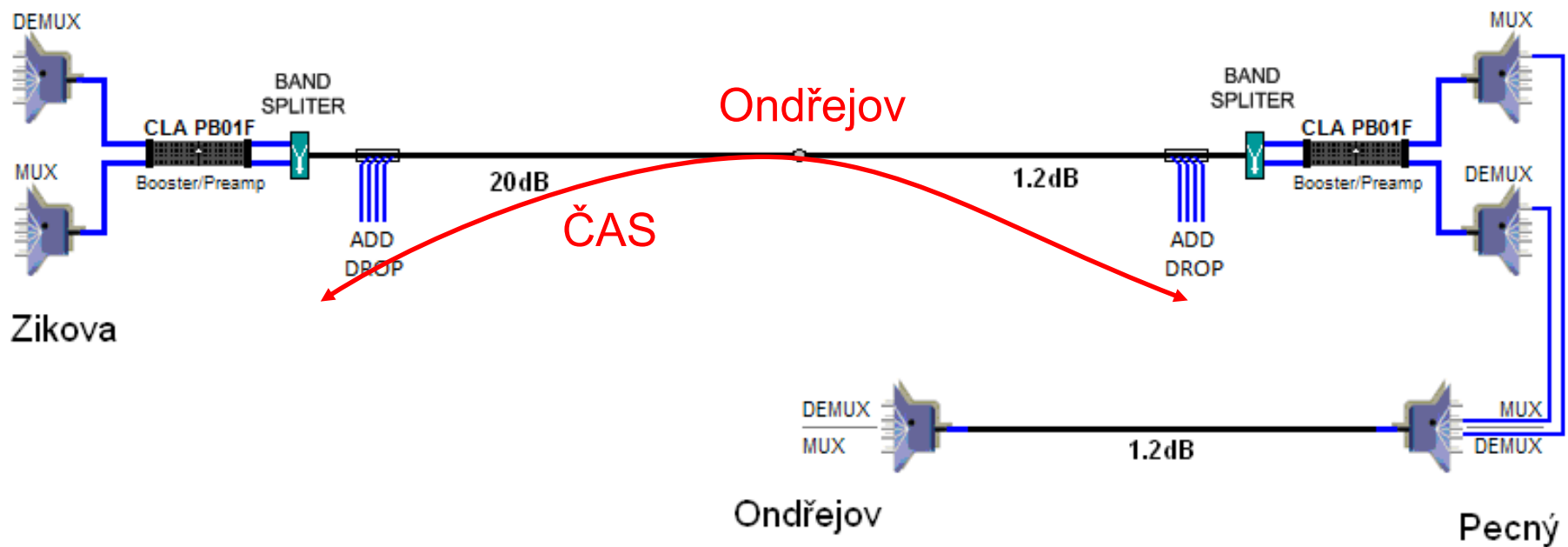
➤ Návrh: M. Hůla, CESNET



Praktické aspekty přenosu přesného času

◆ Propojení Praha-Ondřejov-Pecný

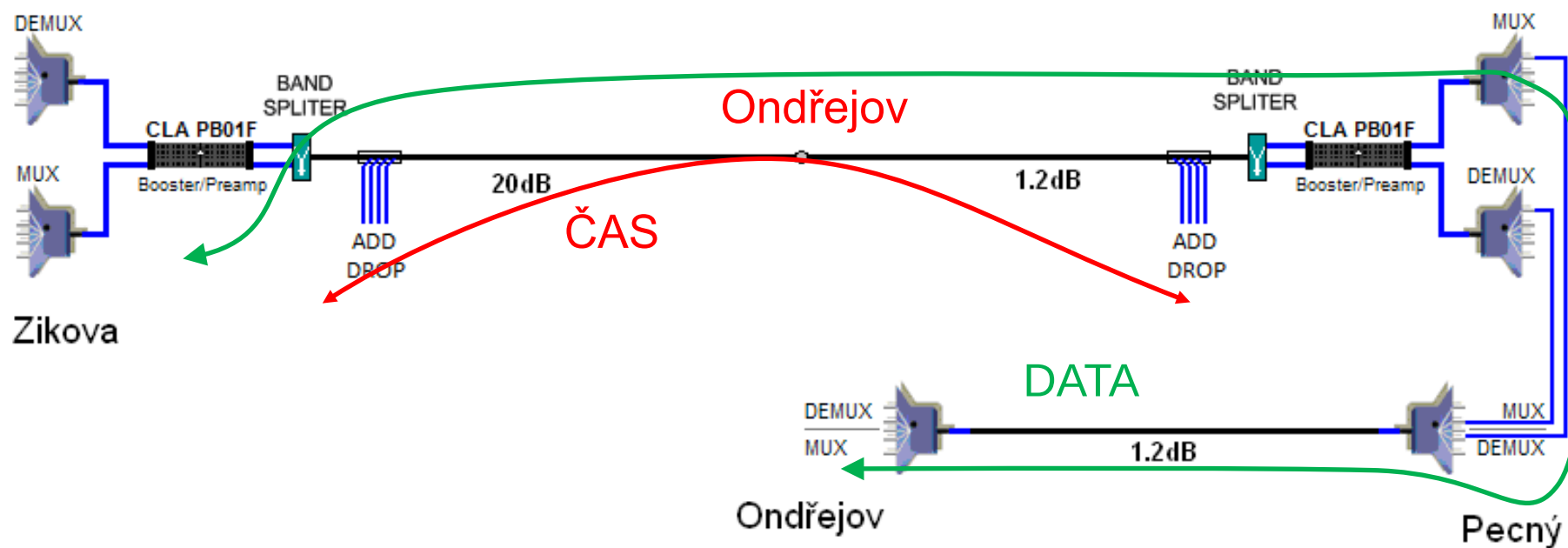
➤ Návrh: M. Hůla, CESNET



Praktické aspekty přenosu přesného času

◆ Propojení Praha-Ondřejov-Pecný

➤ Návrh: M. Hůla, CESNET



Praktické aspekty přenosu přesného času

◆ CESNET: adaptér pro přenos času a frekvence

➤ Návrh: V.Smotlacha, CESNET

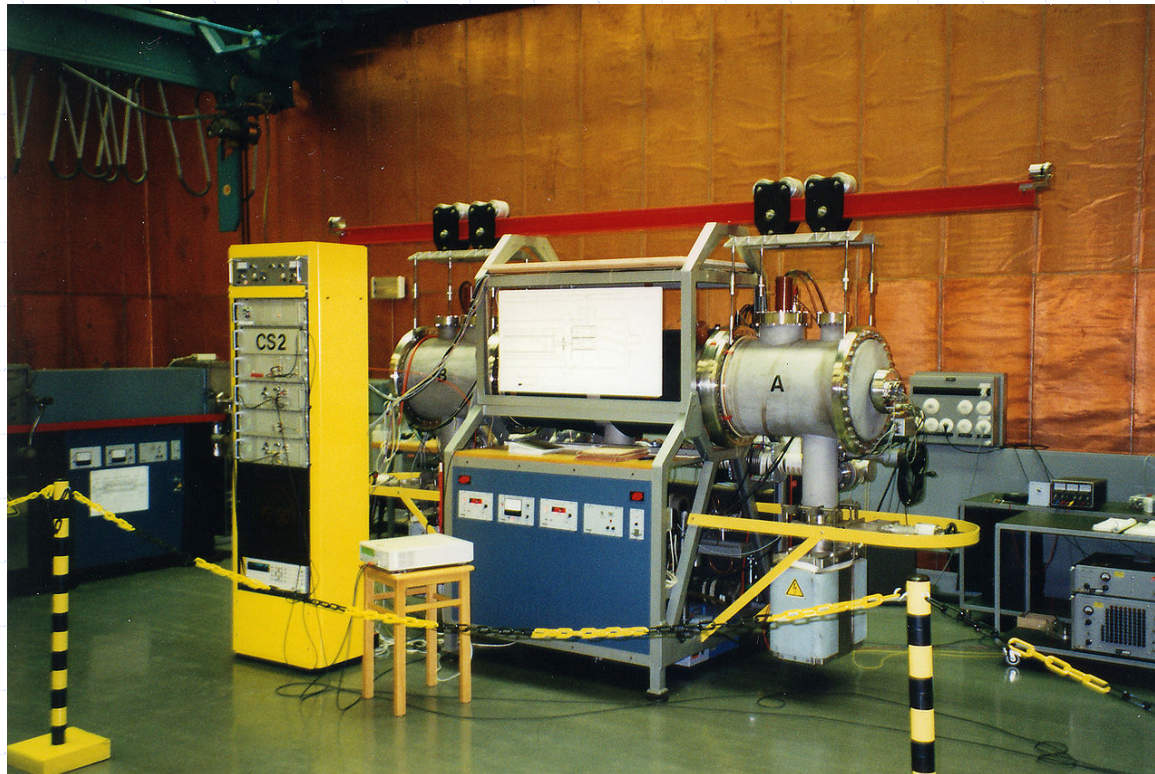


Praktické aspekty přenosu přesného času

- ◆ Atomové hodiny – nejen Cs, Rb nebo H (maser), ale i Yb (optické mřížkové hodiny) a další (Ca, Al).
 - Přesný zdroj frekvence a času.
- ◆ Problém v názvech velkých čísel!
 - milion(10^6)-miliarda-bilion-biliarda-trilion(10^{18})-triliarda... nebo
 - million(10^6)-billion-trillion-quadrillion-quintillion(10^{18})...

Praktické aspekty přenosu přesného času

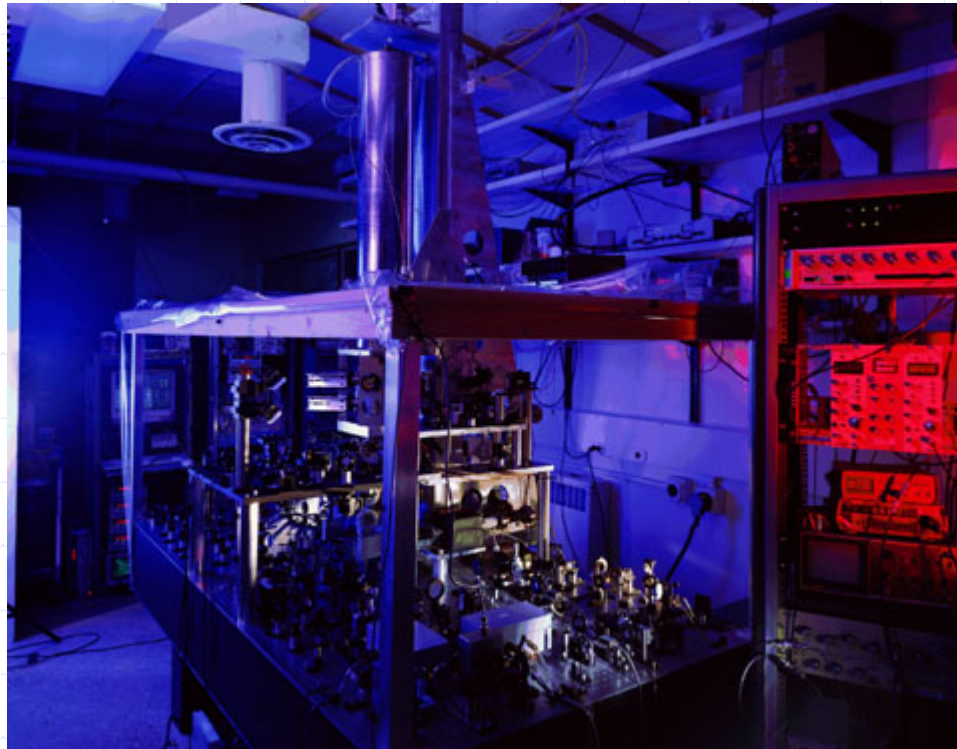
Atomuhr-CS2 [CC BY-SA 3.0 Jörg Behrens](#) - Own work



Atomic clock CS2 at the Physikalisch Technischen Bundesanstalt, Braunschweig. CS2 provides the German national legal time standard. Open house day 1997.

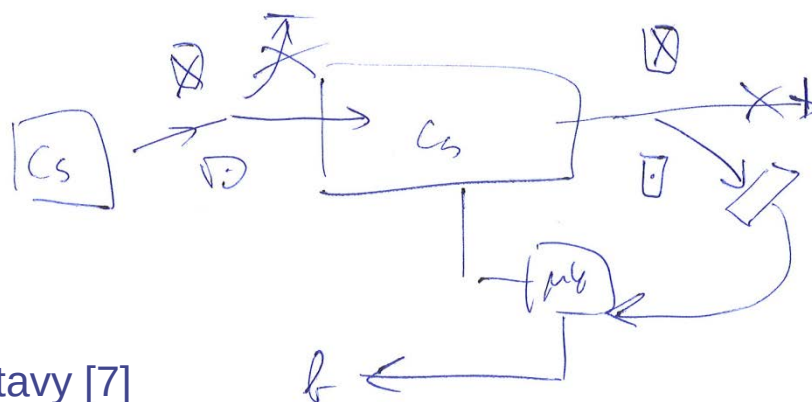
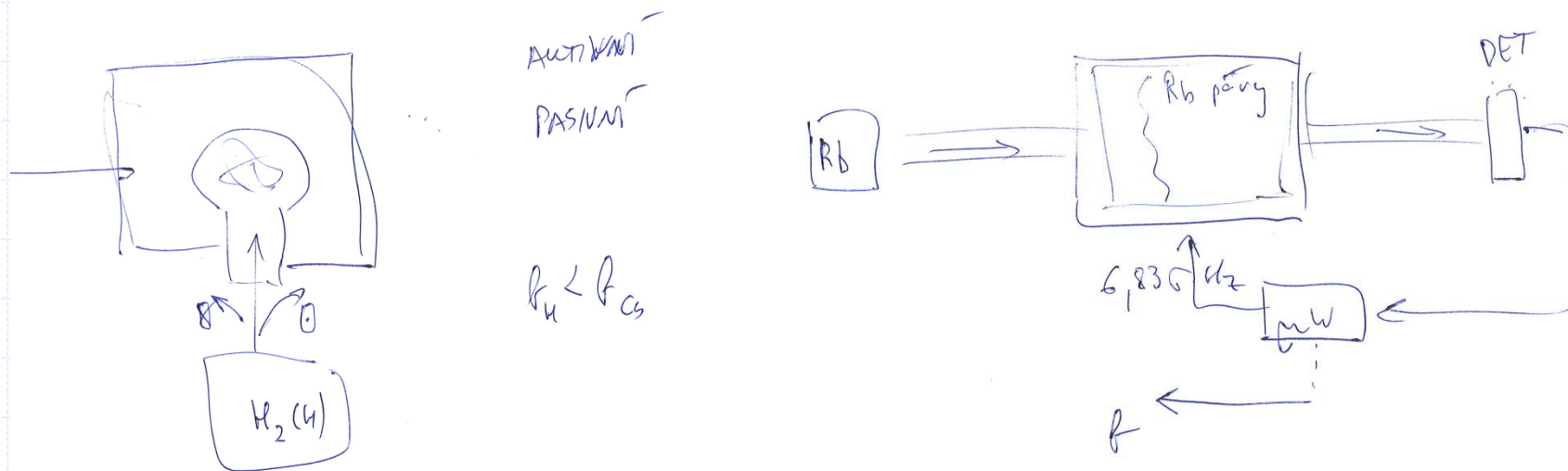
Praktické aspekty přenosu přesného času

Original source: <http://tf.nist.gov/cesium/fountain.htm>



NIST-F1 Cesium fountain atomic clock, serving as the US time and frequency standard, with an uncertainty of $5 \cdot 10^{-16}$ (as of 2005). NIST-F2 more accurate (2014). [3]

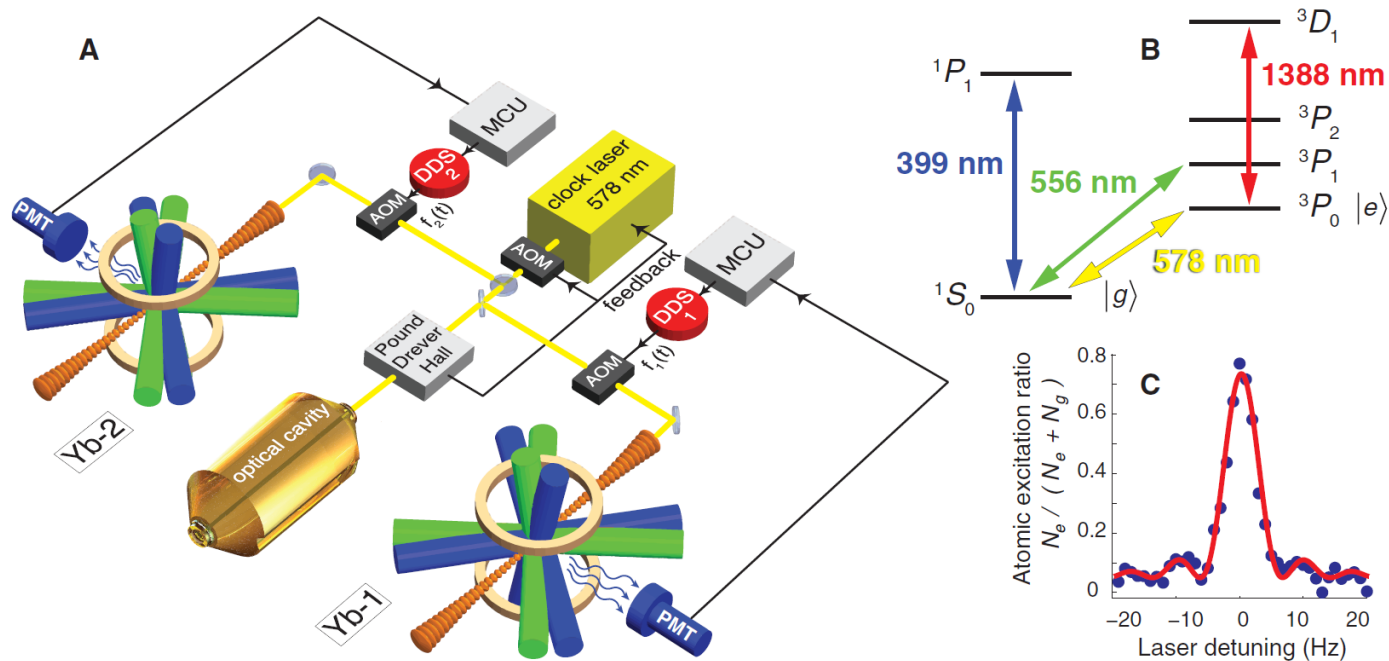
Praktické aspekty přenosu přesného času



Dvojhladinové soustavy [7]

Praktické aspekty přenosu přesného času

Original source: tf.boulder.nist.gov/general/pdf/2688.pdf



Yb optical lattice clock (OLC) with instability $1,6 \cdot 10^{-18}$ (desetina sekundy za dobu trvání vesmíru).
Petahertz ytterbium vs gigahertz u cesiových hodin. [4]

Praktické aspekty přenosu přesného času

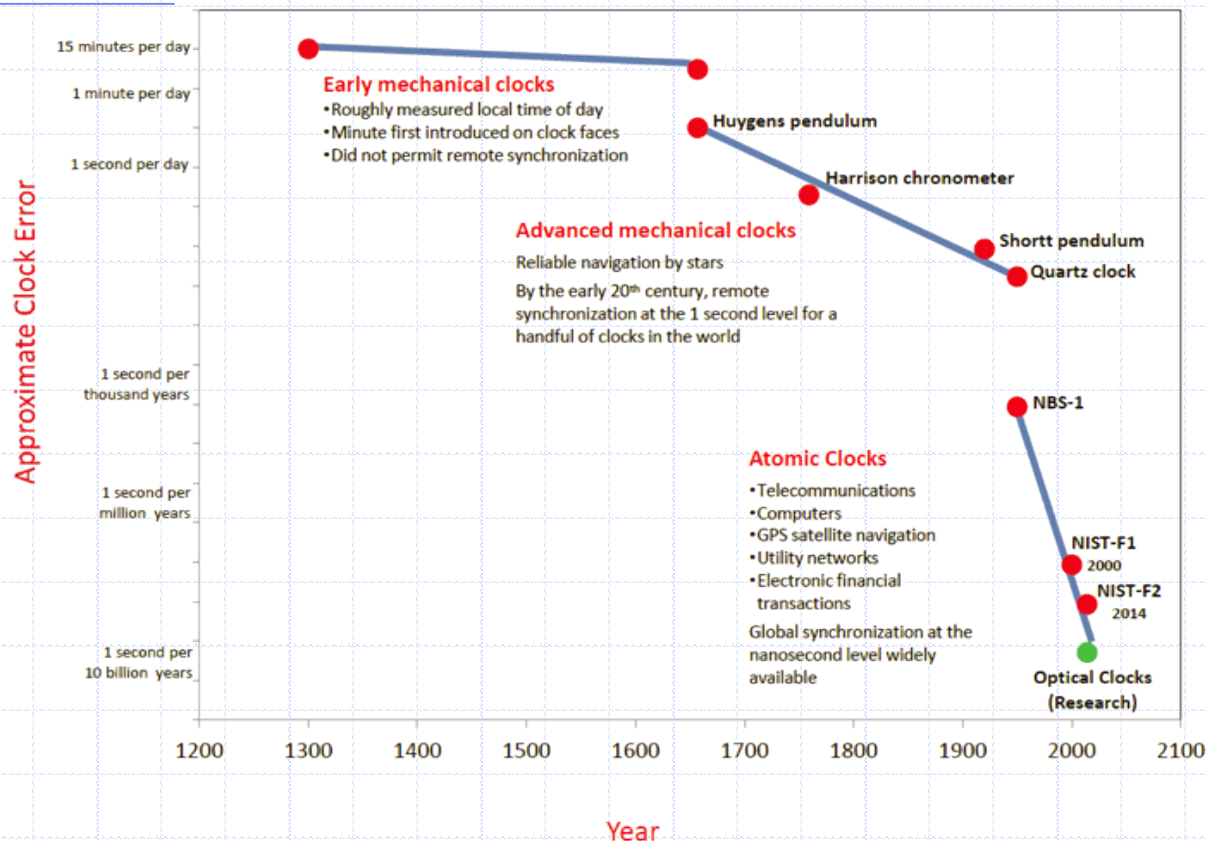
Rb oscillator, uncertainty $10^{-10}, 10^{-11}$ (Cs 10^{-13})



http://www.sbtron.co.kr/gps_rubidium_time/Rubidium%20Frequency%20Standards/picture_h/90096-AR133A20big.jpg

Praktické aspekty přenosu přesného času

<http://www.nist.gov/pml/div688/f2-briefing-opening-statement-040314.cfm>



Historical improvements in timekeeping over the ages. The NIST-F2 cesium fountain clock, a new U.S. civilian time standard, is the world's most accurate time standard as of April 2014.

Praktické aspekty přenosu přesného času

- ◆ Přesný čas. Ted' už to víme?
 - ◆ Ó Pane můj, Světlo mé! Zdaž i zde se Tvá pravda nevysměje člověku?
 - ◆ Kdy vlastně byl minulý čas dlouhý? Jakmile totiž uplynul, již ho není.
 - ◆ Přítomný čas tedy nemá žádného trvání.
 - ◆ (K budoucímu času) Ale jak se může nazývat dlouhým nebo krátkým, co vůbec není?
- Aurelius Augustinus, 354-430, Vyznání (Confessiones)

Praktické aspekty přenosu přesného času

- ◆ Proč to vlastně potřebujeme?
- ◆ Protože to jde.
- ◆ Redefinice jednotek SI, fyzika, navigační systémy, geodézie, astronomie, další obory (armáda).
- ◆ Příklad konfliktu...
- ◆ Vlákenná optika
 - Používají se neobvyklá zařízení, např. Brillouinovy zesilovače nebo obousměrné EDFA, šance vyzkoušet nové věci

Praktické aspekty přenosu přesného času

- ◆ Proč to vlastně potřebujeme?
- ◆ Další možné ‚hrátky‘.
- ◆ Například vztah mezi frekvencí a hmotností.
- ◆ $E=mc^2$ a $E=hf$ takže lze napsat: $f=mc^2/h$
- ◆ $f[\text{Hz}] = 1,36 \cdot 10^{50} \cdot m [\text{kg}]$
- ◆ Je třeba být opatrný, třeba pro atom uhlíku lze spočítat ‚frekvenci‘ $2,72 \cdot 10^{24} \text{ Hz}$.
- ◆ Tato ‚frekvence‘ je kvantověmechanická vlastnost, třeba jako spin. [5]

Praktické aspekty přenosu přesného času

◆ Evropský projekt NEAT-FT

- Accurate time/frequency comparison and dissemination through optical telecommunication networks
- Network for European Accurate Time and Frequency Transfer
- http://www.ptb.de/emrp/neatft_home.html
- Čas: 50ps, Frekvence: 10^{-17} (a lepší stabilita)

◆ Francouzský projekt REFIMEVE+

- Ultrastabilní frekvence
- Na produkční síti francouzské NREN - RENATER

Praktické aspekty přenosu přesného času



Praktické aspekty přenosu přesného času

◆ Závěry

- Přenos přesného času už není taková exotika
- Lze použít ,normálníˆ optickou síť – CESNET má tuto službu v provozním režimu od 2011
- Evropský projekt NEAT-TF úspěšně pokračuje
- Přesný čas lze přenášet společně s daty (možný problém kompenzace chromatické disperze nebo sousedící 100G a pomalé časové signály)
- Stabilní frekvence je další specifická aplikace – nemodulovaný signál
- Fotonická služba – termín pro plně optické spojení mezi koncovými body, vhodné pro tyto nové ,nedatovéˆ aplikace [6]
- Optické hodiny: další směr k ještě vyšší přesnosti

Praktické aspekty přenosu přesného času

- [1] J.Radil, WDM Systems Summit 2013
- [2] J.Radil, Optické Komunikace 2013
- [3] www.nist.gov/pml/div688/nist-f2-atomic-clock-040314.cfm
- [4] www.nist.gov/pml/div688/grp80/yb-lattice-clock.cfm
- [5] www.nature.com/news/the-time-about-a-quarter-past-a-kilogram-1.12191
- [6] GN3 report, Photonic Services: Challenge for Users and for Networkers, 2013.
czechlight.cesnet.cz/documents/projects/gn3-year4/GN3-13-110_JRA1-T2_Photonic-Services.pdf
- geant3.archive.geant.net/Media_Centre/Media_Library/Media%20Library/GN3-13-110_JRA1-T2_Photonic-Services.pdf
- [7] Feynman, Leighton, Sands: Feynmanovy přednášky z fyziky 3.díl

Praktické aspekty přenosu přesného času

Poděkování:

CESNET: Lada Altmanová, Miloslav Hůla, Stanislav Šíma,
Pavel Škoda.

Praktické aspekty přenosu přesného času

Děkuji za pozornost.
Otázky?