



# PV109: Historie a vývojové trendy ve VT

## Historie počítačových sítí

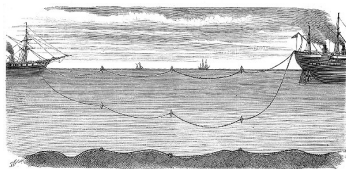
Luděk Matyska a Eva Hladká

podzim 2023



## Potřeba komunikace na velké vzdálenosti

- 550 p.n.l.: poštovní služby v Persii
- Až do novověku – kouřové signály, semaforová abeceda (vlajky)
- 1837/8: vynález telegrafu (Samuel Morse)
  - 1844: První zpráva odeslaná mezi Washingtonem a Baltimorem: *What hath Got wrought*
  - 1866: položení transatlantického kabelu
- 1865: potrubní pošta
- 1876: vynález telefonu (Alexander Graham Bell)
- 1910: vynález dálnopisu (viz 6. přednáška)



Pokládání transatlantického kabelu



# Podmořský kabel v Národním muzeu americké historie



Transatlantic telegraph cable souvenir



1858



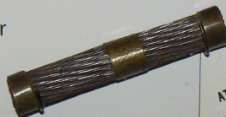
made and sold by Tiffany & Co., New York



Long before the internet, a network of undersea telegraph cables allowed almost-instantaneous communication around the world. Cyrus Field's Atlantic Telegraph Company completed the first transatlantic cable in 1858, then sold twenty miles of surplus cable to Tiffany & Co. to make souvenirs. Although this first cable failed, within twenty years over 100,000 miles had been laid beneath the seas.



Gift of Silver Creations Ltd. and Lenello Reserves, Inc.



The laying of the Atlantic telegraph captured popular imagination, as seen in this sheet music commemorating the event.

Courtesy of Library of Congress

Zdroj: National Museum of American History, Washington DC

## Komunikace po telefonních linkách

- Modulátor–DEModulátor analogových na digitální data
- Vynalezen v roce 1949 v Lincoln Labs na MIT
- Až do 60. let hlavní forma komunikace
- Přepojování okruhů (circuit switching)
- 1958 – AT&T zahajuje výrobu počítačových modemů nazvaných *Digital Subset*, rychlost 110 b/s
- 1953–1962: Projekt SAGE (Semi-Automatic Ground Environment)
  - Systém vzdušné obrany USA
  - 23 lokalit propojených telefonními linkami a komunikující přes modemy



Modem ADC-300

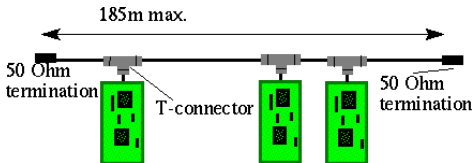
Zdroj:

<http://computerhistory.org>

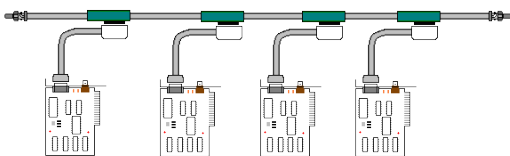
# Metalická přenosová média I.

- Telefonní kabel
  - Původně jeden vodič (neizolovaný)
  - S rozvojem MHD ve městech nutnost řešit problém rušení → přechod na kroucené dvoulinky
- Kroucená dvoulinka
  - 1881: Vynález Alexandra G. Bella
  - Varianty: FTP, STP, UTP (Foiled/Shielded/Unshielded Twisted Pair)
- Koaxiální kabel
  - 1880: patent Olivera Heavysidea
  - Pro počítačové sítě využíván např. IBM
  - Ethernet 10Base2 (Thin Ethernet) a 10Base5 (Thick Ethernet)

# Metalická přenosová média



10Base2 Ethernet – schéma zapojení  
Zdroj: <http://www.linuxfocus.org/>



10Base5 Ethernet – schéma zapojení  
Zdroj: <http://physinfo.ulb.ac.be>

10BASE5 - "Thicknet"



10BASE2 - "Thinnet"



10BASE-T



Zdroj:

<http://learn-networking.com>

## Optická vlákna

- Technologie známá již od 2. poloviny 19. století
- 1966: První funkční demonstrace přenosu dat optickým vláknem v Telefunken Research Labs, Ulm
- V 70. letech Charles K. Kao a George A. Hockham dokázali snížit útlum v kabelu pod 20 dB/km → optické kabely byly použitelné pro přenos dat
- Charles Kuen Kao (\*1933) – *Father of Fiber Optic Communications*, nositel Nobelovy ceny za fyziku (2009)



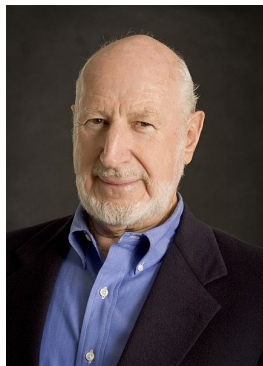
Charles Kuen Kao

Zdroj:

<http://en.wikipedia.org>

## ALOHA (1971)

- První bezdrátová síť, vznikla na University of Hawaii
- Vývoj je spojen zejména se jménem Norman Abramson
- Cílem bylo propojit jednotlivé ostrovy
- Hvězdicová topologie; využívala 2 kanálů (inbound / outbound)
- Koncepční základ dnešních bezdrátových sítí
- Více o ALOHA v předmětech doc. Staudka PV169, PA151





## Ethernet (1973/4)

- Vyvinut v Xerox PARC, v rámci projektu „Kancelář budoucnosti“
- Vůdčí osobností byl Robert Metcalfe
- V roce 1976 nasazen v PARC, standardizován až v roce 1985
- Inspirace v ALOHANETu – použití stejného přístupu pro kabelová média
- Kabeláž se tak stává pouze pasivním médiem mezi stanicemi
- Protokol umožňuje odeslat zprávu vždy, když na lince neprobíhá jiná komunikace; při kolizi zpráv jsou obě odeslány později znovu
- Název Ethernet byl převzat z domnělého média (éteru), které mělo přenášet světlo k zemi



Robert Metcalfe

Zdroj:

<http://dailytexanonline.com>

## Před vznikem ARPANETu – 40. a 50. léta

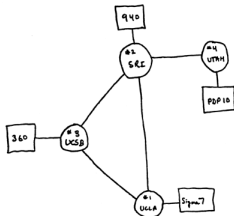
- Zásadní vliv Vannevara Bushe
  - profesor MIT, vizionář
  - viz 3. přednáška
  - Od 40. let budoval spolupráci ministerstva obrany a předních univerzit, např. Harvard či Berkeley
  - 1945: Vizionářská esej *As We May Think* – memex
- 1957: Vypuštění družice Sputnik 1. následované obavami o bezpečnost země (USA) vedly vládu k založení *Advanced Research Projects Agency (ARPA)*

## Před vznikem ARPANETu – 60. léta

- V 60. letech bylo na světě cca 10000 počítačů; nebyly propojeny
- 1962: Vzniká projekt počítačového výzkumu agentury ARPA
- 1965: První WAN – propojení dvou počítačů (MIT–Santa Monica) po dedikované telefonní lince
- 1968: První WAN s paketovým přepínáním – v National Research Laboratory ve Velké Británii (Paul Baran)

# ARPANET I.

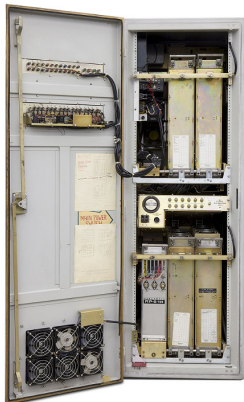
- Motivace: decentralizovaná síť, která by byla funkční i při jadernému útoku
- 1969: 4 uzly
  - SDS Sigma 7 – University of California, Los Angeles
  - IBM 360/75 – University of California, Santa Barbara
  - SDS 940 – Stanford Research Institute, Menlo Park
  - DEC PDP-10 – University of Utah, Salt Lake City
- *Interface Message Processor (IMP)* – rozhraní mezi počítačem a sítí ARPANET
- Pro komunikaci používán *Network Control Program (NCP)*



ARPANET na konci roku 1969  
Zdroj: <http://www.computerhistory.org>

## ARPANET II.

- Od roku 1983 pak TCP/IP
- Postupně byly vyvinuty služby telnet, e-mail, FTP a NVP (Network Voice Protocol)
  - Popsané v dokumentech RFC – Request for Comments
- Největší rozmach počátkem 80. let, více než 200 uzlů
- ARPANET byl vypnut 28. 2. 1990
  - V té době bylo zapojeno více než 100 uzlů
  - Dalších cca 70 bylo v odštěpené síti MILNET (Military Network)

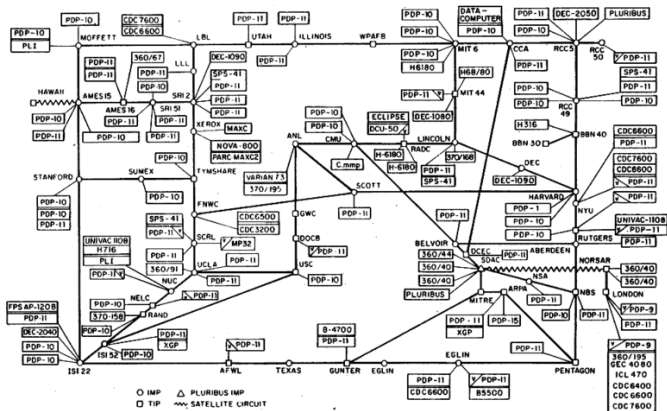


Pohled do nitra IMP  
Zdroj:

<http://www.computerhistory.org>

# Logická struktura ARPANETu v roce 1977

ARPANET LOGICAL MAP, MARCH 1977



(PLEASE NOTE THAT WHILE THIS MAP SHOWS THE MOST POPULATION OF THE NETWORK ACCORDING TO THE BEST INFORMATION OBTAINABLE, NO CLAIM CAN BE MADE FOR ITS ACCURACY)

NAMES SHOWN ARE IMP NAMES, NOT NECESSARILY HOST NAMES

Zdroj: <http://en.wikipedia.org>

# TCP/IP

- Autoři: Vinton Gary Cerf (\*1943) a Robert Elliot Kahn (\*1938) – *Otcové Internetu*
- Cíl: skryt odlišnosti jednotlivých sítí, za spolehlivost ručí uzly
- Předávání *paketů* mezi sítěmi zajišťuje *router*
- Vývoj začal v roce 1973
- 1978: Zveřejnění první verze protokolů TCP a IP
- Celkem vznikly 4 verze; poslední se používá dodnes
- Pro testování „v terénu“ byla nasazena i speciálně upravená dodávka



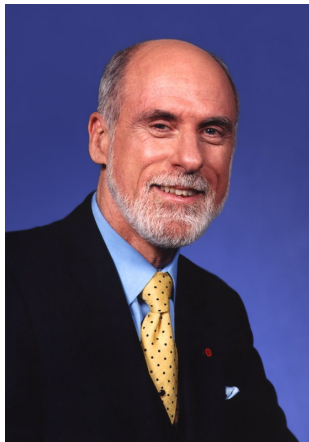
Zdroj: <http://en.wikipedia.org>

## Fathers of the Internet



Bob Kahn

Zdroj: <http://en.wikipedia.org>



Vint Cerf

Zdroj: <http://battlemedia.com>



# IPv6

- Obavy o vyčerpání adresního prostoru IPv4 vedly k práci na vývoji IPv6
- 3. 2. 2011 byly rozděleny poslední bloky adres IPv4 – den vyčerpání IPv4 adres
- IPv6
  - problémy s nasazováním
  - nejistá budoucnost
  - čeká se na významný impuls (např. Čína)

## Další rodiny síťových protokolů

- DECNet (1975)
  - Skupina protokolů vyvinutá firmou DEC původně určená k propojení počítačů PDP-11
  - Postupně jedna z prvních peer-to-peer síťových architektur
  - 5 vývojových fází, původně 4vrstevná architektura
  - Poslední *Phase V* 7vrstevná, kompatibilní s ISO/OSI
- AppleTalk (1984)
  - Vyvinutý firmou Apple, součást počítačů Macintosh
  - Striktně dodržoval ISO/OSI model, určený pouze pro LAN
  - Snaha o kompletní autokonfiguraci
  - Klíčové protokoly: AARP (Apple ARP) a NBP (Network Binding Protocol) – obdoba DNS
- IPX/SPX (1985)
  - Internetwork Packet Exchange/Sequenced Packet Exchange
  - Využíván v síťovém operačním systému Novell NetWare
  - SPX – využíván zejména v modelu *klient-server*
- Tyto a další rodiny protokolů byly nakonec vytlačeny TCP/IP

# Směrování v sítích I.

- Potřeba přenést data přes více autonomních sítí
- Přístupy:
  - Distance Vector – Algoritmus Bellman-Ford (1958)
  - Link State – Dijkstrův algoritmus (1956, publikován 1959)
- Autonomní systémy
  - směrování uvnitř AS
  - směrování mezi AS

## Směrování v sítích II.

### Významné DV algoritmy

- Crowtherův směrovací algoritmus – používán v první dekádě ARPANETu (70. léta)
- DRP – DEC Routing Protocol (1975)
- EGP – Exterior Gateway Protocol, (1984, RFC 904)
- RIP – Routing Information Protocol, (1988, RFC 1058)
- BGP – Border Gateway Protocol, (1989, RFC 1105)

### Významné LS algoritmy

- OSPF – Open Shortest Path First, první masivně používaný LS algoritmus (1989, RFC 1131)
  - Předchůdcem byl algoritmus SPF
- IS-IS – Intermediate System To Intermediate System (1987)
  - Vyvinut jako součást DECNet Phase V (viz výše)
  - Standardizován ISO v roce 1992 (ISO 10589)

## Transportní protokoly

- UDP – (1981, RFC 768), nezaručený přenos zpráv
- TCP – (1981, RFC 793), zaručený přenos zpráv
- RDP – (1984, RFC 1151)
  - též RUDP – Reliable UDP
- ATP – (1984), AppleTalk Transaction Protocol
- SPX – (1985), Sequenced Packet Exchange
  - Součást protokolové sady IPX/SPX
- RTP – (2003), Real-time Transport Protocol
  - Protokol pro přenos multimediálních dat

## Cesta k Internetu

- 1975 – Rozdělení ARPANETu
  - ARPANET – zůstává pro akademické účely
  - MILNET – zabezpečuje potřeby armády
- V 80. letech vznikají další sítě propojující akademické a výzkumné organizace
  - BITNET – Because It's Time Network
  - CSNET – Computer Science Network
- 1986: NSF vytváří vysokorychlostní síť NSFNET
  - Rychlost 56 Kb/s
  - Propojení výzkumných ústavů přes několik center se superpočítači
- 1987: Vzniká pojem *Internet* – připojeno 27000 počítačů

## Historie Internetu v datech

1969 ARPANET

1971 e-mail

1972 telnet

1973 FTP

1976 královna Elisabeth  
posílá e-mail

1977 mailing list

1979 Usenet, uucp

1981 BITNET

1983 TCP/IP

1984 DNS

1986 NSFNET

1990 ARPANET končí

1991 WWW

1992 Veronica

1993 Mosaic (následně  
Netscape)

1993 Optické sítě

## World Wide Web

- Vznikl v CERN, vývoj začal v roce 1989
- Autorem je Sir Tim Berners-Lee
- Inspirován Bushovou vizí *Memexu*
- HTML + URL + HTTP
- Klíčová je myšlenka **hypertextu** – vzájemně propojených stránek pomocí odkazů
- `http://info.cern.ch` – první webová stránka, spuštěna 6. 8. 1991
- 1993: Představen *Mosaic* – první webový prohlížeč schopný zobrazovat obrázky spolu s textem



Zdroj: <http://http://history-computer.com>



# World Wide Web



Počítač NeXT Cube, na kterém byl spuštěn 1. webový server

Zdroj: <http://http://history-computer.com>

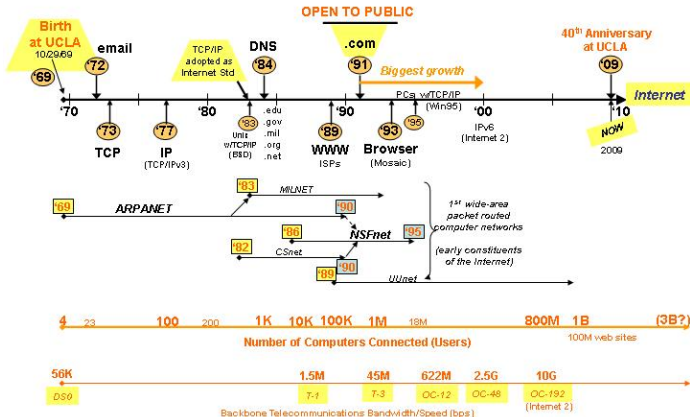


Prohlížeč Mosaic

Zdroj: <http://http://history-computer.com>

# Vývoj Internetu

## INTERNET TIMELINE



## Historie akademické sítě v ČR

- Před rokem 1989 bez připojení
- 1990: Sálový počítač IBM 4381 na ČVUT připojen k síti EARN
  - EARN – European Academic and Research Network
  - Evropská větev sítě BITNET
- 1991: ČSFR připojena k Internetu
- 1992: Zahájen projekt FESNET – Federal Education and Scientific Network
- 13. 2. 1992 – Oficiální zahájení provozu sítě Internet v ČSFR
- Přelom '92/'93 – rozpad federace, akademická síť je rozdělena na dvě: CESNET a SANET
  - Přenosová rychlost 19,2 kb/s, pouze páteřní spoj Praha–Brno nabízí 64 kb/s
  - Zahraniční linka s kapacitou 19,2 kb/s vede do Rakouska
- Koncem března '93 měl CESNET uzly již v 11 městech po celé ČR
- 1994: ČVUT získává povolení k poskytování neveřejných datových služeb, připojují se první komerční zákazníci



# Zahájení provozu sítě Internet v ČSFR



ČESKÉ  
VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V PRAZE

Oblastní výpočetní  
centrum vysokých  
škol

NOSITEL ŘÁDU REPUBLIKY Zikova 4 166 35 Praha 6

C. j. \_\_\_\_\_ V Praze dne 3. 2. 1992

## POZVÁNKA

Vážené kolegyně, vážený kolego,

dovoluji si Vás pozvat na oficiální zahájení provozu počítačové sítě INTERNET v ČSFR, které se bude konat ve čtvrtek 13. února 1992 v 9.30 hod. v posluchárně č. 256 elektrotechnické fakulty ČVUT v Praze, Technická 2, Praha 6.

Na oficiálním zahájení přednesou přednášky Stephen GOLDSTEIN - vedoucí oddělení zahraniční spolupráce National Science Foundation z USA, Rob BLOKZIJL - předseda RIPE (výbor pro koordinaci INTERNETu v Evropě) a další přední odborníci z oblasti počítačových sítí. Na oficiálním zahájení budou dále podány informace o plánech na distribuci počítačových sítí v Československu (projekt FESNet - Federal Educational and Scientific Network).

Od 14.00 hod budou v prostorách OVC VŠ ČVUT, Zikova 4, Praha 6 předvedeny praktické ukázky aplikací sítě INTERNET.

Převážná část jednání bude vedena v anglickém jazyce bez překladu.

Prosím, informujte o konání této akce své spolupracovníky.

S pozdravem

Ing. Jan Gruntorád, CSc.  
vedoucí oddělení  
informačních sítí

## PROGRAM

of the Official Opening of the INTERNET Services  
in ČSFR

Czech Technical University Prague, February 13th, 1992

- |               |  |
|---------------|--|
| 9.30 - 9.45   | Opening - Lubomir OHERA /ohera@cssearn.bitnet/<br>Czech Technical University Prague, ČSFR  |
|               | Welcome - Michal CHYTIŁ /chytıl@cssearn.bitnet/<br>the Office of Presidium of Government of Czech<br>and Slovak Federal Republic   |
| 9.45 - 10.15  | The Internet, Yesterday, Today and Tomorrow -<br>- Steven GOLDSTEIN /sgoldste@ce.nsf.gov/<br>National Science Foundation, USA  |
| 10.15 - 10.45 | R and D Networking in Europe - Rob BLOKZIJL<br>/k13@nikhef.nl/<br>RIPE, Netherlands  |
| 10.45 - 11.00 | Break  |
| 11.00 - 11.20 | INTERNET Services, CENC Project - Wilfried MASCHTERA<br>/k000160@aljkull.bitnet/, Guenther SCHMITTNER<br>/schmittner@edvz.uni-linz.ac.at/<br>University of Linz, Austria |
| 11.20 - 11.40 | Distribution of Internet Services, Copernicus<br>Project - Yves DEVILLERS /yves.devillers@inria.fr/<br>INRIA, France   |
| 11.40 - 12.00 | Internet in ČSFR, FESNet Project - Jan GRUNTORÁD<br>/tkj3@cssearn.bitnet/<br>Czech Technical University Prague, ČSFR   |
| 12.20 - 12.35 | Administration of the Top Level Domain CS -<br>Jiří ORSÁG /orsas@sch.tu.cs/<br>High School of Chemical Technology, ČSFR  |
| 12.35 - 13.00 | Discussion   |
| 13.00 - 14.00 | Lunch break  |
| 14.00 - 16.00 | Practical demonstration of the INTERNET services<br>at the Czech Technical University - University Regional<br>Computing Centre<br>Zikova 4, Room 6, 3rd floor           |

# Technika na ČVUT



Část počítače IBM 4381 na ČVUT  
Zdroj: <http://www.cesnet.cz>



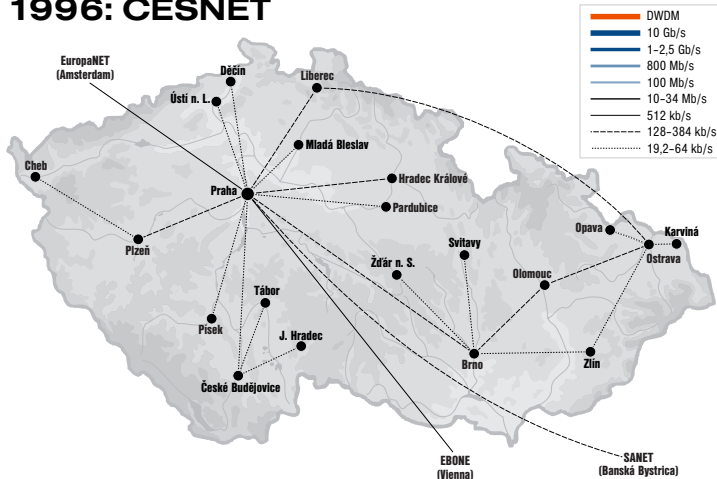
Přípojný bod do EARN  
Zdroj: <http://www.cesnet.cz>

## Sdružení CESNET (1996 – 2001)

- 6. 3. 1996: podpis zakladatelské smlouvy zájmového sdružení právnických osob CESNET
  - Sdružuje vysoké školy a Akademii věd ČR
  - Cílem je provoz a rozvoj páteří akademické počítačové sítě
- Pod hlavičkou sdružení postupně realizovány projekty
  - TEN-34 – Trans-European Network at 34 Mbps
  - TEN-34 CZ – Upgrade národní sítě
  - TEN-155 – zavádění technologie ATM, přenosová rychlost 155 Mb/s
- 1999: 5letý výzkumný záměr: *Vysokorychlostní síť národního výzkumu a její nové aplikace*
- 2000: Contactel kupuje komerční část sítě CESNET
- 2001: Spuštění provozu sítě GÉANT, CESNET se stává součástí jádra sítě
  - Významná část sítě je postavena na temných vláknech principem CEF (Customer Empowered Fibre)

# Síť CESNET v roce 1996

## 1996: CESNET



Zdroj: <http://www.cesnet.cz>

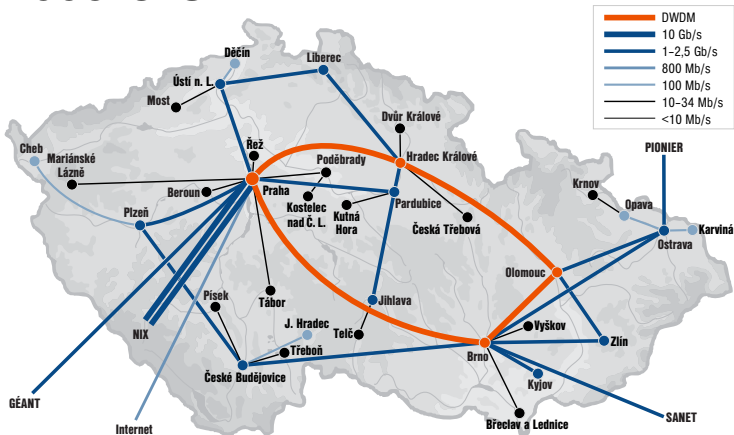
## Sdružení CESNET (2002 – 2006)

- 2002: Koncept Nothing in-line (NIL) – provoz optických spojů bez zařízení na trase
  - CESNET se stává průkopníkem, nasazuje první produkční NIL trasy
- 2003: První mezinárodní trasa s nativní IPv6 v ČR, vzniká GLIF
  - GLIF – Global Lambda Integrated Facility
- 2004: síť CESNET2
  - EGEE (Enabling Grids for E-Science) – projekt EU na podporu gridové infrastruktury pro VaV
  - Na trase Brno–Praha nasazena technologie DWDM; několik nezávislých tras 10 Gb/s a 1 Gb/s
  - Začíná 7letý výzkumný záměr *Optická síť národního výzkumu a její nové aplikace*
- 2005: Spuštěna hybridní síť GÉANT2, kapacita 500 Gb/s, možnost sestavovat mezinárodní dedikované okruhy
  - V síti CESNET2 vzniká DWDM okruh  
Praha–Brno–Olomouc–Hradec Králové–Praha



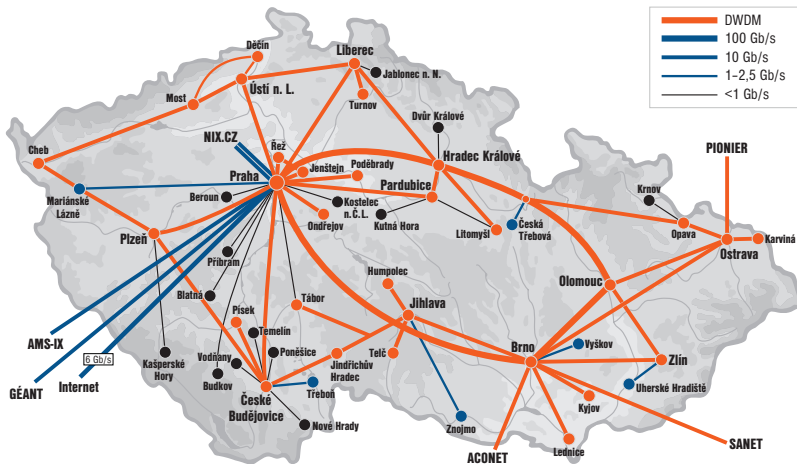
# Síť CESNET2 v roce 2006

## 2006: CESNET2

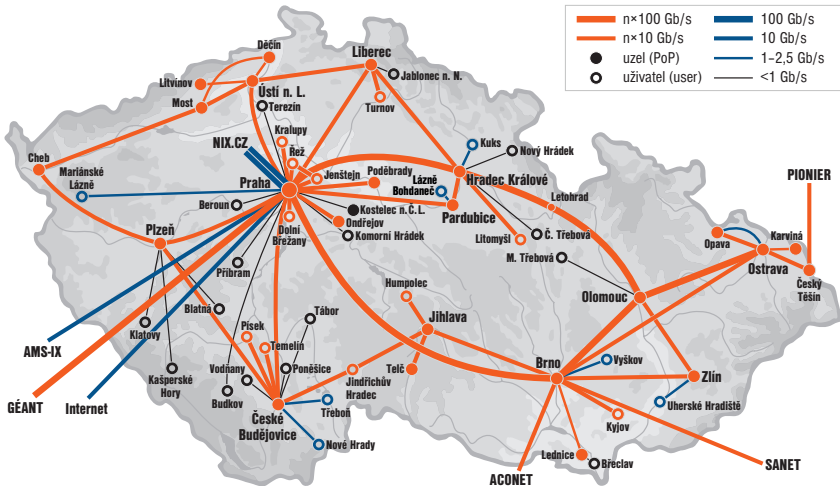


Zdroj: <http://www.cesnet.cz>

# Síť CESNET2 2014



# Síť CESNET2 dnes



Zdroj: <http://www.cesnet.cz>

## CESNET – výzkumné oblasti

- Rozvoj sítě národního výzkumu a vzdělávání
- Optické sítě
- Programovatelný hardware
- Sledování infrastruktury a provozu sítě
- Sledování a optimalizace výkonnostních charakteristik
- AAI a mobilita
- MetaCentrum
- Multimediální přenosy a kolaborativní prostředí
- CESNET CSIRT
- Podpora aplikací

## CESNET – Projekty

- Velké národní projekty
  - Velká infrastruktura CESNET
  - Česká národní infrastruktura pro biologická data (ELIXIR CZ)
- Národní projekty (např.)
  - EPCOM II – Soubor prvků pro fotonickou komunikaci
- Mezinárodní projekty (např.)
  - GN4 -- Multi-Gigabit European Academic Network
  - AARC – Authentication and Authorization for Research and Collaboration
  - CLONETS – Clock network services: Strategy and innovation for clock services over optical-fibre networks

## MetaCentrum

- NGI – Národní gridová infrastruktura
- <http://www.metacentrum.cz>
- Zajišťuje provoz a koordinaci
  - distribuované výpočetní infrastruktury
  - datových úložišť
  - služby nad nimi
- Zapojeno v projektech
  - EOSC-hub -- Integrating and managing services for the European Open Science Cloud
  - ELIXIR-EXCELERATE: Fast-track ELIXIR implementation and drive early user exploitation across the life-sciences
  - DEEP-HybridDataCloud
  - EOSCPilot – The European Open Science Cloud for Research Pilot Project

## MU a CERIT-SC

- V roce 1994 založeno Superpočítačové centrum Brno
  - součást ÚVT MU
- V letech 2011 až 2014 transformace do centra CERIT-SC
  - uzel národní e-infrastruktury
  - největší uzel NGI, virtualizované cloudové prostředí
  - cca 5000 jader a více jak 4 PB úložné kapacity
  - speciální hardware – např. SGI UV2 s 6 TB RAM
- Spolupráce informatiků a vědců ostatních disciplin
- Aplikačně orientované projekty
  - zapojeno do projektů ELIXIR EXCELERATE a EOSC-hub s MetaCentrem
  - z dalších mezinárodních např.
    - West-Life – World-wide E-infrastructure for structural biology
    - EDIReX – European Distributed Infrastructure for Research on patient-derived cancer Xenografts

# Multimediální přenosy – iGrid 2005

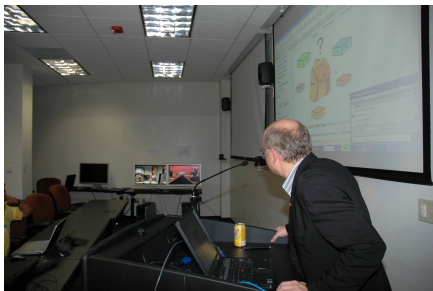
Nízkolatenční přenos nekomprimovaného FullHD videa





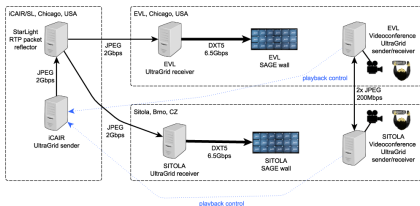
# Multimediální přenosy – HPC Class

Vícebodová videokonference ve FullHD (nekomprimované)



# Multimediální přenosy – GLIF 2012

Přenos komprimovaného videa v rozlišení 8K (16 × FullHD)



# Multimediální přenosy dnes

Přenos nekomprimovaného videa v rozlišení 8K (16 × FullHD)

- Datový tok téměř 32 Gbps
- Extrémní nároky na síť
  - plná saturace 40 Gbps linky
- Aktuálně state of the art v oblasti multimediálních přenosů
  - spolupráce laboratoře SITOLA a CESNETu
  - **můžete se zapojit**