

Akademické lambda sítě u nás a ve světě

Petr Holub, ÚVT MU,

Jan Radil, CESNET, z.s.p.o.

V minulém čísle Zpravodaje jsme si objasnili základní technologie používané pro výstavbu sítí založených na lambda službách. V tomto článku si ukážeme použití takových sítí v akademickém prostředí České republiky a stručně pojednáme také o zajímavých aktivitách ve světě. Úvod článku věnujeme vysvětlení dalších technických pojmů, které se používají u sítí založených na optických spojích - zejména pak vyjasnění některých nejasností a nepřesností, které v terminologii této oblasti vznikají, jak se její protagonisté ve svých prezentacích a pracích snaží vyvolat co největší dojem¹.

Mluví-li se - jak je dnes populární - o *optických* či dokonce *plně optických sítích*, dochází v řadě případů k nevhodnému matení pojmů. V naprosté většině případů je optické pouze přenosové médium (optické vlákno) a zpracování signálů (přepínání, směrování) se pak děje v elektrické formě. Často můžeme slyšet termín optický přepínač, ovšem po bližším seznámení se s daným zařízením vyjde najevo, že se jedná o prvek (nejčastěji SONET/SDH přepínač) používající optická rozhraní pro připojení do sítě, ovšem přepínací matice stále zůstává elektrická. Podle klasifikace uvedené v předchozím článku se tedy jedná o prvky kategorie O-E-O, nikoli O-O, jak se termín „plně optická síť“ snaží podsouvat.

Dalším problémem v terminologii lambda sítí je „lambda přepínání“ založené na časovém multiplexování (TDM). Při podrobnější analýze se ukáže, že řada „lambda sítí“ je v současné době realizována pomocí elektrických prvků založených na technologii SONET/SDH, nemajíce s přepínáním na optické vrstvě zhola nic společného. Technologie SONET/SDH je staršího data a je původně určená pro přenos hlasových kanálů,

¹ Autoři na tomto místě nemohou nepřipomenout slavnou Kancelář pro uvádění románových příběhů na pravou míru, kterou pan spisovatel Jirotka geniálně zhmotnil ve svém Saturninovi. Bohužel, i v lambda sítích je spousta *setapouchů* a *sobích hnusců*.

ovšem díky své robustnosti a velkému rozšíření je stále používána. Jedná se o technologii pracující na principu časového multiplexování (TDM) v režimu bod-bod (point-to-point), což může představovat problém se škálovatelností. Následníkem SONET/SDH je technologie Generic Framing Procedure (GFP, ITU-T G.7041), jež zachovává přenosové rychlosti a přidává nové vlastnosti - jako větší přizpůsobivost a rozšiřitelnost pro podporu nových protokolů. GFP poskytuje možnost dynamicky přidělovat šířku pásma, pozornost byla kladena také na podporu dat citlivých na zpoždění v síti. Ale stále se jedná o TDM a samotné zpracování signálů se odehrává na elektrické úrovni. Jedná-li se o poskytování jednotlivých kanálů v TDM, pak je přinejmenším pochybné mluvit o poskytování lambda služeb. Existuje ale také možnost poskytovat skutečné lambda služby i v kombinaci s TDM: pokud je poskytována skutečně vlnová délka, v níž shodou okolností běží SONET/SDH, pak je pojem lambda služba na místě.

Pro skutečné zpracování signálů v optické oblasti potřebujeme optickou přepínací matici, která dokáže signál z daného vstupního portu přepnout na požadovaný port výstupní. V této oblasti jsou dnes pravděpodobně nejznámější tzv. mikroelektrickomechanické systémy (MEMS) skládající se z miniaturních pohyblivých zrcadel. Výhody této technologie jsou nezávislost na vlnové délce, polarizaci a také nízké přeslechy mezi kanály. Nevýhodami pak jsou větší spotřeba energie a menší přepínací rychlost - jedná se o mechanický prvek, který by se dal na elektrické úrovni přirovnat k miniaturnímu relé. V současnosti je to nejběžnější používaná a komerčně dostupná technologie. Na trhu jsou k dispozici i přepínače na bázi rovinných světlovodných obvodů (Planar Lightwave Circuits - PLC).

Mezi další technologie, většinou používané pouze v laboratorním prostředí, patří termo-optické, elektro-optické, opticko-optické nebo akusticko-optické prvky. Nyní se stručně zmíníme alespoň o základních typech těchto prvků a laskavého čtenáře, pro něhož jsou tyto informace již příliš podrobné, požádáme o přeskočení tohoto odstavce. *Termo-optické* prvky využívají změny optických parametrů některých materiálů

v závislosti na teplotě a mají výhodu v možnosti integrace do čipů (například i v rámci technologie PLC), ovšem přepínací rychlost není vysoká (řádově milisekundy). Termo-optické prvky je možné dělit do dalších skupin (kapilární, bublinové nebo rezonátorové přepínače), detaily jsou již mimo rámec tohoto článku. *Elektro-optické* prvky jsou sice rychlejší, ovšem problémem je spotřeba a přeslechy. Tento typ tvoří druhou skupinu komerčně dostupných optických přepínačů, nejběžnější typ využívá chování optických parametrů materiálu LiNbO_3 , který má velký elektro-optický koeficient, což znamená velkou změnu indexu lomu v závislosti na přiloženém napětí. I v této skupině lze nalézt velké množství různých typů přepínačů (založené na využití polovodičových zesilovačů SOA, Mach-Zender interferometrů MZI, multimódových interferenčních filtrů MMI, kapalných krystalů, nebo braggovských přepínačů). V této skupině je určitě několik nadějných kandidátů na optické přepínače a výzkum v této oblasti pokračuje, ovšem komerční dostupnost novějších prvků není příliš dobrá. *Opticko-optické* (tedy plně optické) prvky jsou velmi rychlé, využívá se nelineárních optických jevů (vlastní fázová modulace SPM, čtyřvlnné směšování FWM, křížová fázová modulace XPM) nebo i holografie, problém je zatím s komerční dostupností. Existují dvě skupiny těchto prvků - první tvoří vláknové prvky, druhou skupinu polovodičové prvky. Zejména využití optických vlastností některých polovodičů se jeví slibně a tyto optické přepínače mohou mít nízkou spotřebu i rychlé přepínací časy. A konečně *akusticko-optické* prvky využívají akusticko-optických jevů, bohužel mají zatím velkou spotřebu, vysokou cenu a také se uvádí problém s rozšířitelností. Používají se například krystaly TiO_2 , kde se využívá nadzvukových vln k odrazu světla. Zajímavý přehled dostupných technologií je uveden v [1].

Optické přepínací matice tak dnes slouží spíše jako chytré propojovací panely a vlastní řízení matic zůstává stále elektrické. Ale rozhodně už můžeme mluvit o přepínání lambda kanálů. Výzkum samozřejmě probíhá také v oblasti plně optického zpracování signálu, kdy se řídicí informace přenášejí v hlavičce stejně jako v případě elektrických signálů, přičemž hlavička a samotná

přenášená data používají odlišné způsoby modулace. Zajímavé výsledky výzkumu v této oblasti lze nalézt opět v [1].

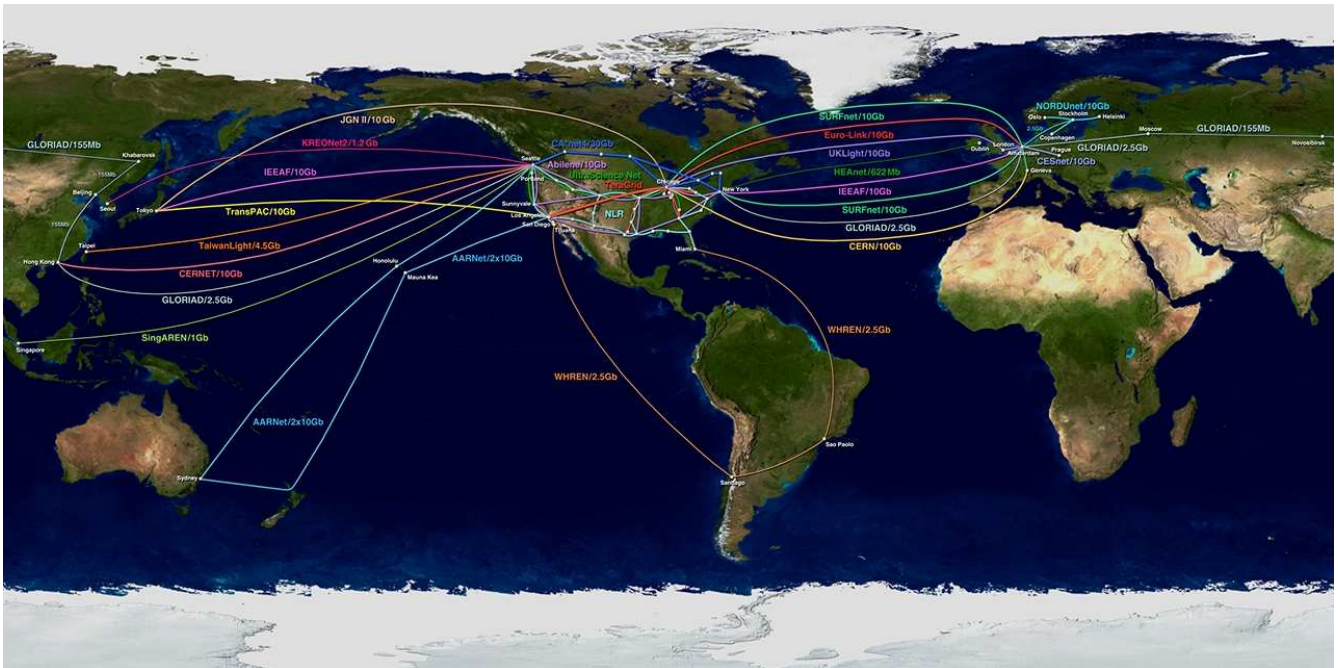
1 GLIF

Od roku 2001 se hlavní protagonisté lambda služeb v akademickém prostředí zabývali myšlenkou vytvoření globální infrastruktury, která by mohla být použita pro experimenty s těmito službami a pro vývoj potřebného middleware². Jako výsledek těchto snah byla roku 2003 na třetím setkání LambdaGrid Workshop ve městě Reykjavik na Islandu vytvořena virtuální organizace *Global Lambda Intergrated Facility* (GLIF) kladoucí si za cíl právě usnadnění vývoje potřebných komponent lambda služeb a experimentů s nimi na celosvětové úrovni. Zakládajícími členy se tak stali nejvýznamnější průkopníci lambda služeb v akademickém prostředí jako holandský SURFNet, kanadská CANARIE, americký StarLight a tohoto privilegia se dostalo také sdružení CESNET. GLIF se postupem času dále rozrůstalo a stav z poloviny roku 2004 je zachycen na obrázku 1.

V současné době GLIF zahrnuje čtyři pracovní skupiny: "Governance and Growth" mající na starost identifikaci cílů, řízení spolupráce s potenciálními aplikacemi a mezidoménové politiky, "Research and Applications", která vyhledává potenciální aplikace a podílí se na jejich vývoji, "Technical Issues" zabývající se technickými problémy při budování infrastruktury lambda služeb a "Control Plane and Grid Integration Middleware", jenž si klade za cíl vytvoření řídicí vrstvy, rozhraní a protokolů pro práci s lambda službami z vyšších vrstev softwaru.

Ze zahraničních sítí organizovaných v aktivitě GLIF se podrobněji podíváme na sítě Ca*NET4 a NetherLight, které jsou průkopníky lambda sítí ve světové akademické komunitě.

²Termínem middleware se v poslední době označují softwarové vrstvy, které zpřístupňují nějakou infrastrukturu či funkcionalitu pro vyšší softwarové vrstvy, skrývají komplikovanost nižších vrstev a které tedy přímo neinteragují s uživatelem.



Obrázek 1: Síť organizované ve sdružení GLIF. Červenec 2004. Přejato z [2].

2 NetherLight

Optická infrastruktura NetherLight [3] byla jako produkční aktivita holandského provozovatele akademické páteřní sítě SURFnet uvedena do provozu v lednu 2002, přičemž hnacím motorem tohoto projektu byl vedoucí SURFnetu – osoba v oblasti lambda služeb velmi známá – Kees Neggers. Cílem projektu NetherLight je jednak připojování holandských uživatelů, kteří dokáží lambda síť využít, a současně vytvoření evropského propojovacího uzlu lambda služeb, který bude také poskytovat transatlantické přemostění evropských sítí.

Pro holandské uživatele síť NetherLight přináší následující možnosti připojení: gigabitový Ethernet ať už optický nebo metalický, optický 10Gb/s Ethernet a také 2,5Gb/s a 10Gb/s SONET/SDH. Z pohledu infrastruktury připojení se pak jedná o plochou přepínanou ethernetovou doménu bez jakéhokoli směrování, což přináší netriviální úspory v ceně celé infrastruktury. Řízení celé infrastruktury je prozatím manuální z operačního centra sítě pomocí nástrojů firmy Cisco, do budoucna se však počítá s využitím technologie Generalized Multiprotocol Label Switching (GMPLS) [5, 6], které je ale doposud ve

stádiu vývoje a standardizace a proto její produkční nasazení ještě není možné.

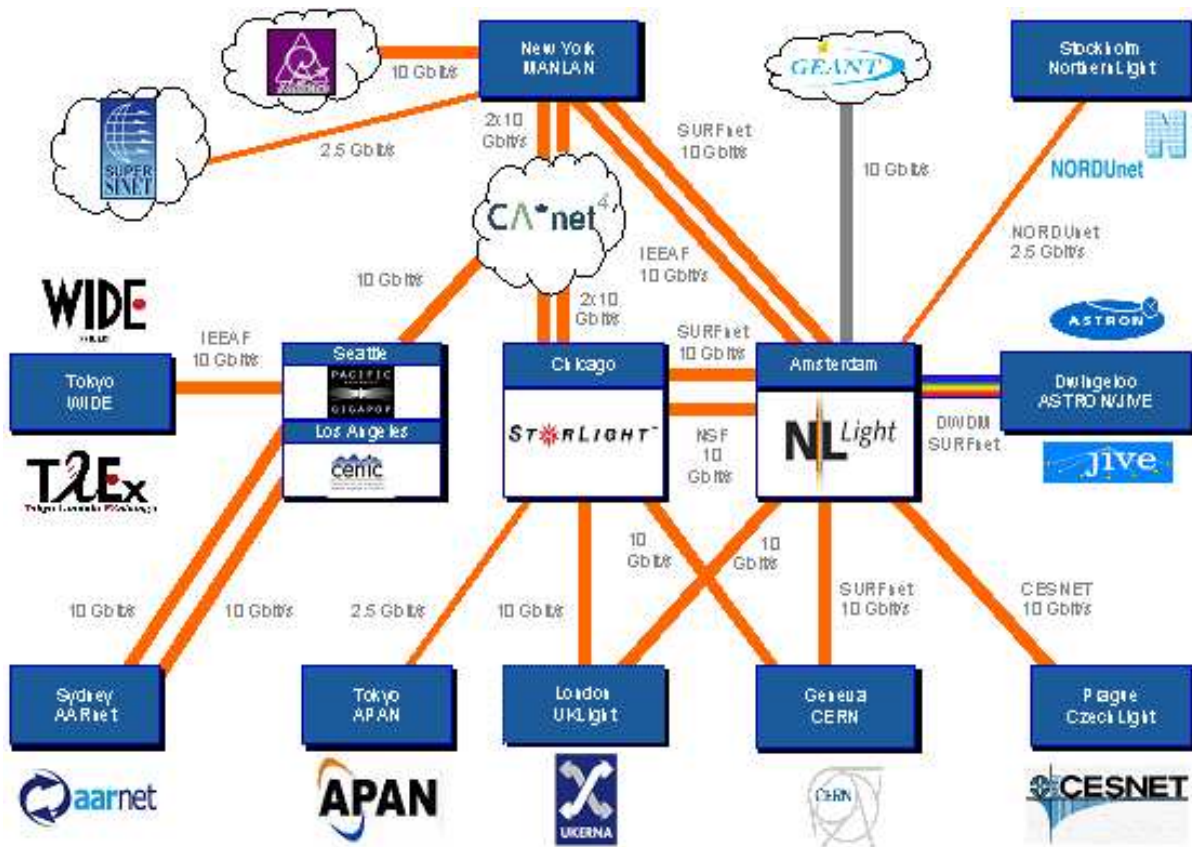
Z pohledu propojování zahraničních partnerů se pak využívá optické přepínací matice 64×64 typu MEMS od firmy Calient PXC, která dokonce základní řízení pomocí GMPLS již nyní podporuje. Tímto řešením je propojení pro zahraniční síť transparentní a alespoň teoreticky je možné posílat data v jakémkoli formátu – v praxi je ovšem z důvodu správy vyžadováno používání rámců SONET.

3 StarLight

Ekvivalentem propojovacího centra NetherLight je na severoamerickém kontinentě StarLight [7] v Chicagu, které kromě tradičního propojení založeného na směrování nabízí také propojení na optické vrstvě pomocí MEMS matice firmy Calient, ovšem s velikostí 128×128 . Za tímto projektem stojí další významná osobnost – Tom DeFanti. Schéma propojení lze nalézt v [8].

4 Ca*NET4

Když v roce 1998 kanadský poskytovatel akademické páteřní sítě Canarie vybudoval síť



Obrázek 2: Topologie propojení hlavních partnerů v rámci GLIF. Přejato z [4].

Ca*NET3 spojující jednotlivé provinční sítě, jednalo se o první síť svého druhu postavenou výhradně na optických spojích. K návrhu takové sítě přispěl mimo jiné i fakt, že v Kanadě je potřeba překlenovat obrovské oblasti, v nichž je často minimální osídlení a tudíž i infrastruktura.

V roce 2001 pak kanadská vláda podpořila projekt sítě Ca*NET4, která provinční sítě propojuje řadou spojů založených na lambda službách, nad nimiž je typicky provozován SONET OC-192 s rychlostí 10 Gb/s. Hlavní architekt této sítě a jeden z průkopníků těchto technologií, Bill St. Arnaud, od začátku prosazoval dva základní koncepty: jednak princip uživatelem řízeného vlákna (viz diskusi o vlastnických modelech optických spojů v minulém článku) a dále poskytování světelných cest (lightpaths) nebo lambda okruhům koncovým uživatelům.

Takto navržená síť pak dala vznik projektu *User Controlled Lightpaths* (UCLP) [9], tedy uživatelem řízených optických cest, které umožňují vytvá-

ření dedikovaných okruhů mezi dvěma specifikovanými body přímo koncovým uživatelem akademické sítě. Projekt UCLP vytvořil softwarové nástroje, které nejen umožňují řízení okruhů pomocí webového rozhraní, ale navíc také middleware, který tyto činnosti umožňuje vykonávat programově z gridových aplikací. Z pohledu implementace je tato aplikace založena na 15 páteřních zařízeních Cisco ONS 15454, které jsou umístěny v jednotlivých uzlech sítě Ca*NET4.

5 National LambdaRail

S podobnými cíli jako výše popsané sítě vznikl v USA projekt National LambdaRail (NLR) [10], který v několika okruzích propojuje řadu významných míst od východního až po západní pobřeží USA. Projekt je založen opět na DWDM s 32–40 vlnovými délkami provozovanými na jednom vlákne a vlákna jsou vlastněna provozovatelem sítě. Jeho unikátnost spočívá ve výhradním využití 10 Gb/s Ethernetu, což oproti zaříze-

ním SONET/SDH umožňuje významně snížit náklady na zařízení osazená na koncích vláken – to je významné i proto, že při využívání vlnových délek různými výzkumnými pracovišti leží náklady na koncová zařízení právě na jejich straně.

6 CzechLight

CzechLight je experimentální síť, která slouží pro zajištění přenosu velkých objemů dat mezi výzkumnými pracovišti (například CERN, Fermi-Lab a jejich partneři v ČR). V současné době je připojena okruhem o kapacitě 10 Gb/s z Prahy na síť NetherLight v Amsterdamu a pracujeme na zpřístupnění CzechLight i v dalších městech. Kromě poskytování těchto služeb síť CzechLight slouží i pro experimenty na optické vrstvě, například pro ověřování výsledků vývoje zařízení na zvýšení dosahu 10 GE vysílačů. Takový typ sítí se v mezinárodní komunitě začíná označovat jako *breakable*, tedy síť která může být kdykoli „rozbita“, což asi nejlépe charakterizuje její možnosti i omezení.

Sdružení CESNET se v rámci aktivity Optické sítě zabývá společně s kolegy z ÚRE AV ČR a FEL ČVUT zvláště optickým zesilováním signálů. Pozornost je věnována převážně přenosům o rychlosti 10 Gb/s (10 Gigabitový Ethernet, 10 G SONET/SDH), ale také technologiím gigabitového Ethernetu a SONET/SDH na rychlosti 2,5 Gb/s. Naší snahou je zvětšit dosah tak, aby na trase nebyla potřebná žádná zařízení, přičemž tuto metodu nazýváme *Nothing-In-Line* (NIL). Vzdálenosti pro přenosové rychlosti 10 Gb/s jsou limitovány jednak útlumem trasy a dále tzv. chromatickou disperzí, kterou je nutné kompenzovat speciálním kompenzačním vláknem. Pro zesilování signálů v pásmu 1550 nm se dnes běžně používají erbiem dopované vláknové zesilovače (EDFA) a také se pro zesilování využívá Ramanova jevu. Při experimentech s 10 GE jsme zvětšili NIL dosah zařízení Cisco Catalyst 6503 z garantovaných 40 km (bez zesilování) na 252 km na vláknech G.652 (nejběžnější telekomunikační vlákno) [12]. Další experimenty jsme prováděli na vláknech G.655 (vlákna s menší hodnotou chromatické disperze) a na kombinaci vláken G.652 a G.655. Tyto kombinace tvoří některé trasy sítě

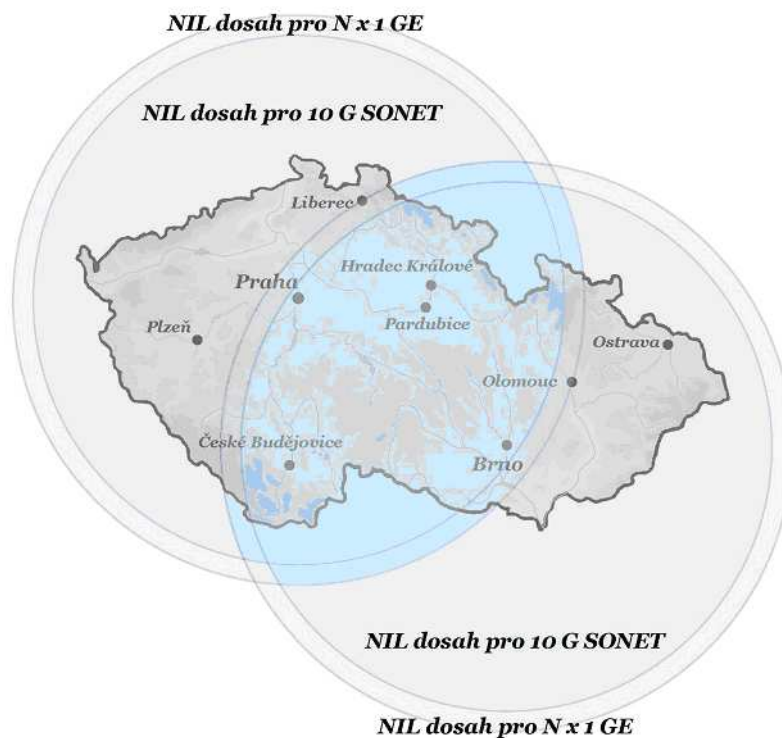
CzechLight i síť CESNET2. Nejvýznamnější výsledek je překonání trasy o délce 302 km složené z vláken 25 km G.652, 252 km G.652, 25 km G.655 při použití systému Cisco ONS 15454 s 10 G DWDM SONET kartami. Protože jde o SONET systém, raději mluvíme o poskytování kanálů s vyhrazenou šířkou pásma než o poskytování lambda služeb.

Systém Cisco ONS 15454 tvoří jádro sítě CzechLight, přičemž jeho současný dosah je znázorněn na obr. 3. Jeho nasazení na nejdůležitější trase mezi Brnem a Prahou však již naráží na hranici jeho bezchybného fungování. Optická trasa byla dodána s vyšším útlumem než původně slibovaným, což vedlo k neúnosnému nárůstu frekvence chyb. Řešení hledáme ve spolupráci s dodavatelem trasy, který přislíbil snížení útlumu. Současně analyzujeme možnosti nasazení jiného typu filtru, použití laditelných kompenzátorů chromatické disperze, případně výkonnějších optických zesilovačů. Podrobnosti lze nalézt v průběžné zprávě sdružení CESNET [11].

Pro přenos signálů je využívána nejen oblast 1550 nm, ale také oblast 1310 nm. V tomto případě je obrovskou výhodou fakt, že vlákno G.652 má v oblasti 1310 nm nulovou chromatickou disperzi a je možné ušetřit na kompenzačních vláknech, což je jedna z nejdražších komponent komerčních DWDM systémů. Většina dnes dostupných 10 GE adaptérů pro PC také používá nevyměnitelné vysílače 1310 nm. Pro zesilování v této oblasti se používají vláknové zesilovače dopované praseodymem (PDFFA). Oproti technologii EDFA jsou vlákna používaná pro PDFFA fluoridová, což přináší určité problémy (výroba je náročnější, problémy při spojování s křemennými vlákny) a nasazení není tak běžné. Dosažené výsledky jsou shrnuty v [13]. Další experimenty provádíme v současné době také s ramanovským zesilováním, přičemž použití této technologie je méně běžné, neboť naráží na špatnou komerční dostupnost příslušných zařízení.

Literatura

- [1] IEEE Comm. Mag., vol. 41, no. 11, pp. S16-S23.
- [2] Global Lambda Integrated Facility (GLIF), <http://www.glif.is>



Obrázek 3: Pokrytí území ČR systémem Cisco ONS 15454 metodou NIL. Převzato z [11]

- [3] NetherLight, <http://www.surfnet.nl/info/innovatie/netherlight/home.jsp>
- [4] <http://www.surfnet.nl/info/innovatie/netherlight/home.jsp>
- [5] GMPLS, <http://www.polarisnetworks.com/gmpls/>, http://www.polarisnetworks.com/gmpls/gmpls_drafts.html
- [6] A. Banerjee, J. Drake, J. P. Lang, B. Turner, K. Kompella, Y. Rekhter, "Generalized Multiprotocol Label Switching: An Overview of Routing and Management Enhancements", IEEE Comm. Mag., January 2001, <http://www.calient.net/files/GMPLS.pdf>
- [7] StarLight, <http://www.startap.net/starlight/>
- [8] <http://www.startap.net/starlight/ENGINEERING/SL-Summer04.pdf>
- [9] User Controlled Lightpaths (UCLP), <http://www.canarie.ca/canet4/uc1p/uc1ponc4.html>
- [10] National Lambda Rail (NLR), <http://www.nlr.net/>
- [11] Zpráva o řešení výzkumného záměru "Optická síť národního výzkumu a její nové aplikace", CESNET z. s. p. o., 2004. <http://www.cesnet.cz/>
- [12] J. Radil, M. Karásek, "Experiments with 10 GE long-haul transmissions in academic and research networks." In *Internet2 Member Meeting*, Arlington, USA, Spring 2004.
- [13] J. Vojtěch, M. Karásek, J. Radil, "Ověření použitelnosti PDFA zesilovačů v pásmu 1310 nm." *Optické komunikace*, Praha, 2004, pp. 201-206. □