



RNDr. Ing. Vladimír Smotlacha, Ph.D.

Katedra počítačových systémů  
Fakulta informačních technologií  
České vysoké učení technické v Praze  
© Vladimír Smotlacha, 2018

## Počítačové sítě BI-PSI LS 2018/19, Přednáška 4

<https://edux.fit.cvut.cz/BI-PSI>

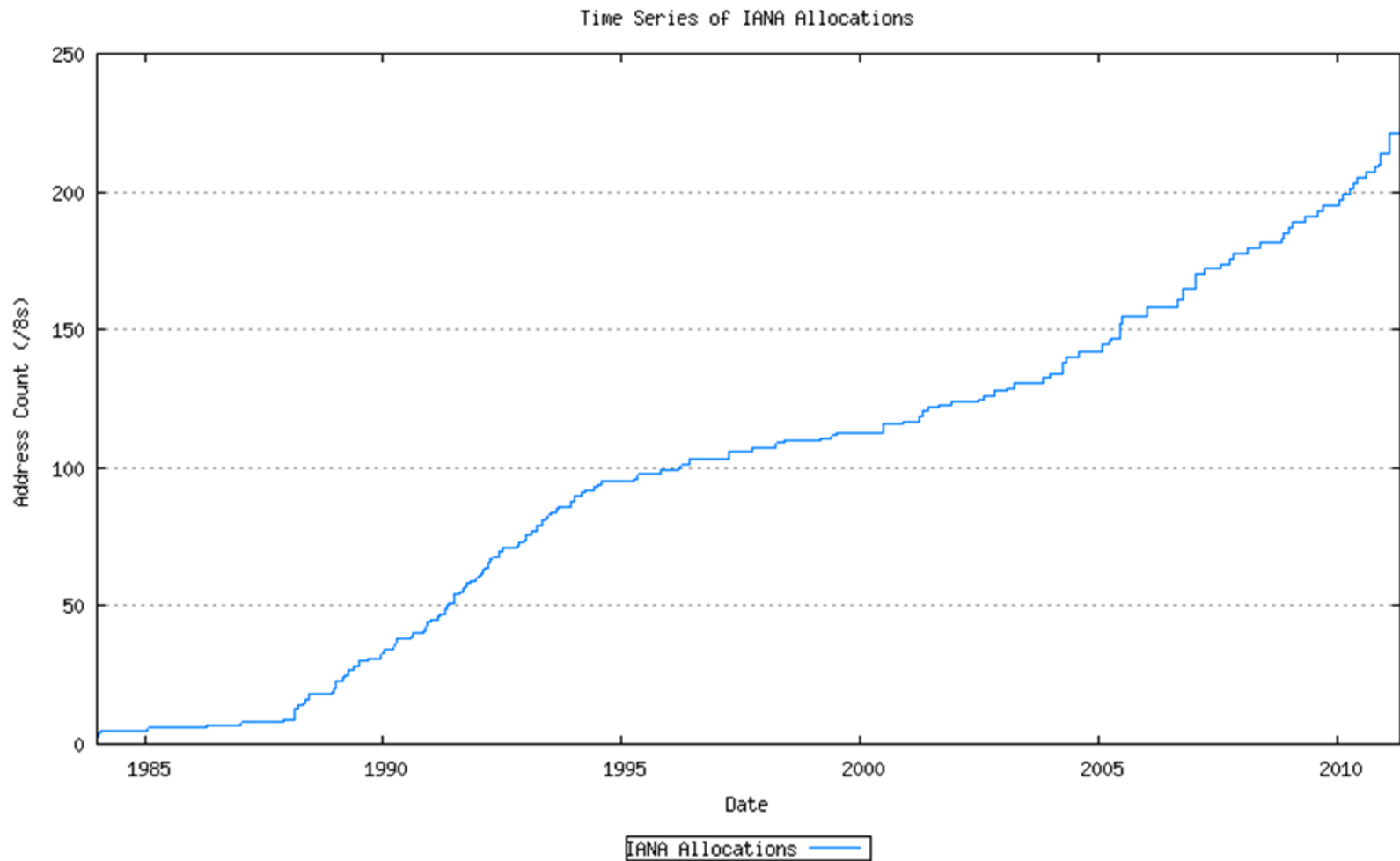


FAKULTA  
INFORMAČNÍCH  
TECHNOLOGIÍ  
ČVUT V PRAZE



EVROPSKÁ UNIE

- IPv6
- ATM
- MPLS



zdroj: <http://www.potaroo.net>



- classful design (80. léta) byl velmi neefektivní
  - 127 tříd A zabíralo polovinu adresního prostoru
- 90. léta: classless design (CIDR)
  - zjistilo se, že CIDR nevyřeší problém nedostatku IP adres
- vyčerpání adresního prostoru
  - 3. únor 2011 – IANA rozdělila poslední bloky adres IPv4
  - květen 2011 – vyčerpání u regionálních správců
  - část adresového prostoru není ve skutečnosti využívána
  - přidělené adresy nelze odebrat



- větší adresní prostor
- automatická konfigurace
  - bez externího serveru (např. eliminace DHCP)
- podpora QoS
- větší bezpečnost
- mobilita



## IETF

- 1993 ustavení prac. skupin IPng (IP next generation)
- 1995 RFC1550 – první specifikace IPv6 (zastaralé)
- 1998 RFC2460 Internet Protocol Version 6 Specification
- 2004 RFC3775 Mobility Support in IPv6

6bone – experimentální IPv6 síť (1996 – 2006)

Podpora v root DNS serverech - 2003

## Operační systémy

- 1996 Linux (2.1.8)
- 1997 IBM AIX 4.3
- 2000 Sun Solaris v.8, FreeBSD, OpenBSD, NetBSD,
- 2002 WindowsXP (SP1), Windows Server 2003



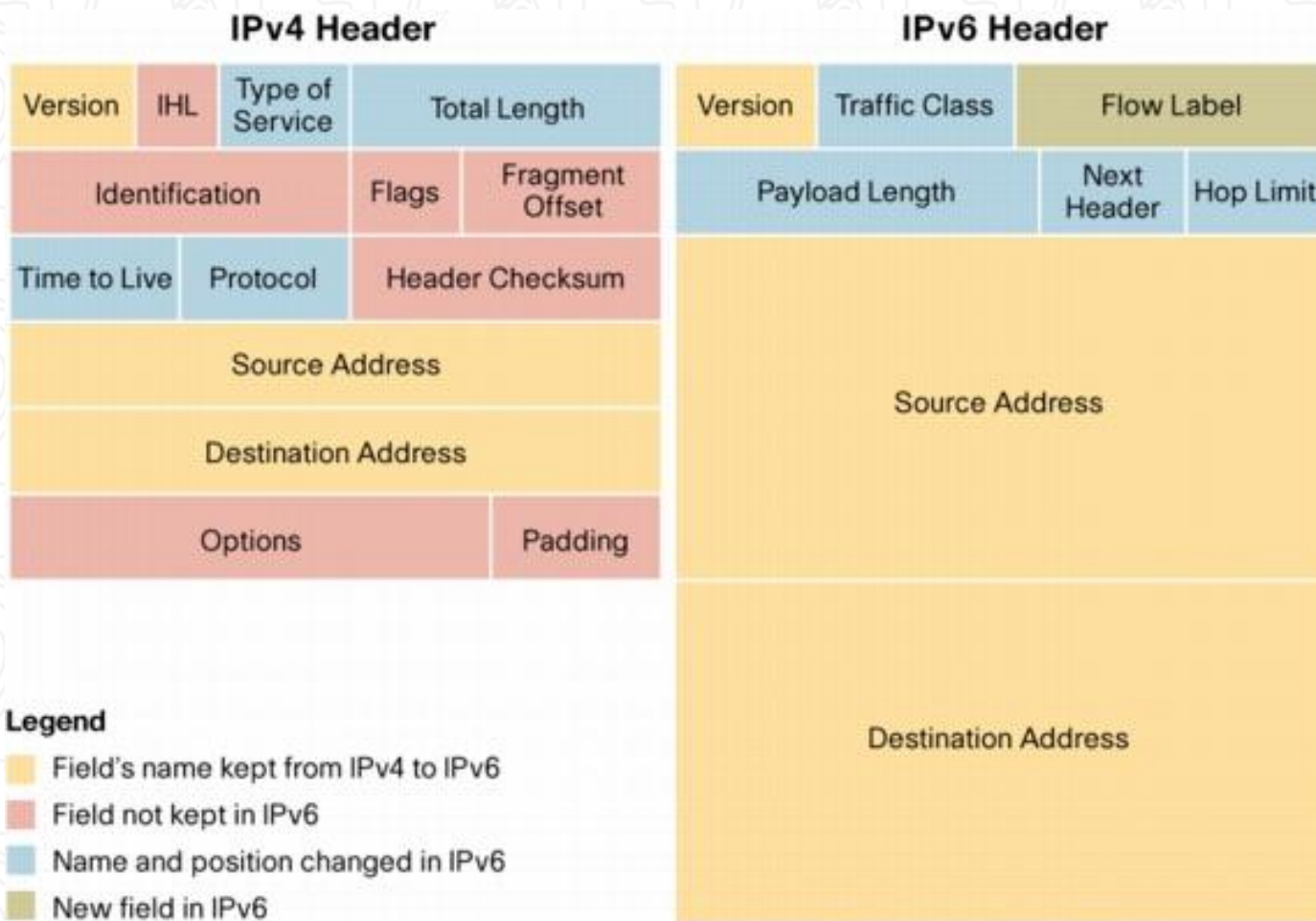
IPv4 Header

0	4	8	12	16	20	24	28	31
Version	IHL	Type of Service	Total Length					
Identification				Flags	Fragment Offset			
Time to Live		Protocol		Header Checksum				
Source Address								
Destination Address								

IPv6 Header

0	4	8	12	16	20	24	28	32	36	40	44	48	52	56	60	63
Version	Traffic Class	Flow Label						Payload Length				Next Header		Hop Limit		
Source Address																
Destination Address																

zdroj: Cisco



zdroj: Cisco

BI-PSI, Síťová vrstva II





- Version (4b) – hodnota 6
- Source & destination address (128b)
  - 4x delší adresa
  - $2^{96}$ x větší adresní prostor
- Payload length (16b) – délka dat
  - obdoba Total length v IPv4
  - počítá se od konce základní hlavičky
  - zahrnuje i rozšiřující hlavičky
- Next header (8b)
  - typ následující hlavičky nebo dat (~ protokol)



- Hop limit (8b) – max. počet „skoků“
  - obdoba TTL v IPv4
  - ochrana proti zacyklení
  - každý router sníží hodnotu o 1
  - po vynulování se paket zlikviduje a odešle se ICMP zpráva
- Traffic class (8b) – třída provozu
  - obdoba ToS v IPv4
  - využití není definováno



Některé informace z IPv4 nejsou v hlavičce IPv6:

- fragmentace, volby (options)
  - nahrazeno rozšiřujícími hlavičkami
- délka hlavičky
  - vždy stejná
- kontrolní součet
  - odpadá neustálé přepočítávání ve směrovačích

Nová položka

- Flow label (20b) – identifikace datového toku
  - usnadní směrování (switch router)
  - není zatím specifikováni



Za základní hlavičkou můžou následovat rozšiřující hlavičky

- pořadí je pevné

## Typy rozšiřujících hlaviček

- 0 volba pro všechny (hop-by-hop options)
- 43 směrování
- 44 fragmentace
- 50 šifrování (ESP)
- 51 autentizace (AH)
- 60 volby pro cíl (destination options)
- 135 mobilita
- a další ...



## Typ dat (payload)

- uveden v poslední hlavičce v položce Next header
- 6 TCP
- 8 EGP
- 9 IGP
- 17 UDP
- 46 RSVP
- 47 GRE
- 58 ICMP for IPv6

Max. délka paketu je 65535 ( $2^{16} - 1$ )

IPv6 povoluje větší paket – jumbogram – až 4 GB

- má smysl pro MTU > 64 kB
- „Payload length“ nastaven na 0
- délka (32b) uvedena v rozšiřující hlavičce typu „volba pro všechny“



Minimální MTU pro IPv6 je 1280 bytů

- algoritmus hledání MTU (Path MTU Discovery)

Fragmentaci neprovádí router ale odesílatel

Pokud je paket moc dlouhý

- směrovač jej zahodí
- odešle odesílateli ICMP zprávu s informací o MTU
- snaha o vyloučení fragmentace
- nastavení velikosti datagramů na MTU



8 skupin po 4 hexadecimálních číslicích

- oddělovač „:“
- nulovou skupinu/skupiny lze nahradit znaky „::“
- poslední 4 byty lze zapsat dekadicky, oddělovač „.“
  - kompatibilita s IPv4
  - implementace není povinná

Příklad (zápis téže adresy)

- 2001:0db8:0000:0000:0000:0000:1428:57ab
- 2001:0db8:0000:0000:0000::1428:57ab
- 2001:0db8:0:0:0:0:1428:57ab
- 2001:0db8::1428:57ab
- 2001:0db8::20.40.87.171





- individuální (unicast)
- skupinové (multicast)
- výběrové (anycast)



- `::1/128` smyčka (loopback)
  - obdoba 127.0.0.1 v IPv4
- `fc00::/7` individuální lokální adresy
  - obdoba privátních adres v IPv4
- `fe80::/10` lokální linkové adresy
  - obdoba 169.254.0.0/16
- `ff00::/8` skupinové adresy (multicast)
- `2001:db8::/32` využití v příkladech a dokumentaci dokumentaci



Individuální adresy definuje RFC3587

- zatím specifikován prefix 2000::/3 (001 binárně)

Struktura:

001	globální prefix 45b	subnet 16b	interface ID 64b
-----	------------------------	---------------	---------------------

Identifikátor rozhraní specifikuje IEEE EUI-64

Příklad:

- MAC: 00:40:D0:7D:6A:86
- interface ID: 0240:D0FF:FE7D:6A86



Síťové rozhraní má více adres IPv6:

- lokální linková
- loopback
- individuální a výběrové
- skupinová pro všechny uzly
- skupinová pro skupiny jejichž je členem
- skupinová pro vyzývaný uzel (objevování sousedů)

Směrovač má navíc adresy:

- skupinová pro všechny směrovače
- výběrová pro směrovače v podsíti
- všechny přidělené výběrové adresy



## NDP (Neighbor Discovery Protocol)

- rozšířená náhrada ARP
- využívá se ICMPv6
  - výzva směrovači, ohlášení směrovače, výzva sousedovi, ohlášení souseda, přesměrování

## Umožňuje

- zjišťování linkových adres v lokální síti
- rychlou aktualizaci změn a neplatných položek
- hledání směrovačů
- přesměrování
- detekci duplikovaných adres
- ověřování dosažitelnosti sousedů
- zjišťování údajů pro automatickou konfiguraci

## Literatura ke dalšímu studiu IPv6:

Pavel SATRAPA: IPv6 (3. vydání)

[http://knihy.nic.cz/files/nic/edice/pavel\\_satrapa\\_ipv6\\_2012.pdf](http://knihy.nic.cz/files/nic/edice/pavel_satrapa_ipv6_2012.pdf)

(i ve verzi MOBI a EPUB)

## Asynchronous Transfer Mode

### Základní idea:

- integrovat různé datové služby
  - přenos dat, obrazu a zvuku
  - včetně telefonní sítě !
- umožnit vznik společné infrastruktury  
pro všechny typy datových přenosů



## Koncová zařízení

- adaptér – síťová karta
- router, LAN switch
- tel. ústředna, videokonferenční zařízení

## ATM switch (přepínač)

- spojení „každý s každým“
- implementace v hardware

## ATM adresy - 20 byte

- univerzální číslovací plán
- obsahuje i 6 byte MAC adresy





## Virtuální okruhy

- nejdříve se sestaví cesta
  - informace o cestě uložena ve směrovačích
- všechna data jednoho spojení přenášena okruhem
- cestu (virtuální okruh) se pak zruší
  - vymazání informace z tabulek ve směrovačích
- hlavička paketu obsahuje číslo virtuálního okruhu
  - číslo virtuálního okruhu má málo bitů
    - platí jen mezi dvěma síťovými prvky, nikoliv globálně
- směrovací tabulka:
  - řádka tabulky:  $\{ (link\_in, vic\_in), (link\_out, vic\_out) \}$



5 byte záhlaví

48 byte data

CELL - základní jednotka přenosu

- pevná délka 53 bytů
- v záhlaví označení virtuální cesty VC – Virtual Connection
  - VPI (Virtual Path Identifier) – 8 nebo 12 bitů
  - VCI (Virtual Channel Identifier) – 16 bitů
- 48 bytů „payload“



- CBR – Constant Bit Rate
  - vyhrazené pásmo, konstantní zpoždění
  - emulace okruhů
- VBR – Variable Bit Rate
  - specifikováno max. pásmo
  - pro komprimované přenosy (video)
- UBR – Unspecified Bit Rate
  - služba „best effort“, možná ztráta buněk
  - datové přenosy (např. IP)
- ABR – Available Bit Rate
  - přidělí zbylé pásmo, malé ztráty
  - řízení toku dat



Velké ambice: jednotný síťový standard

- implementuje fyzickou, spojovou a síťovou vrstvu
- odstraní konflikt mezi přepínáním okruhů a paketů
  - řešení: malé buňky konstantní velikosti

Podpora telekomunikačních operátorů

Projekty EU

- projekty TEN-34 (od 1995) a TEN-155 (od 1998)
- národní akademická síť CESNET
  - 34 Mb/s (předtím 2 Mb/s)
  - později zvýšeno na 155 Mb/s
  - vše fungovalo, ale nešlo dále rozvíjet k vyšším rychlostem



## Současný stav

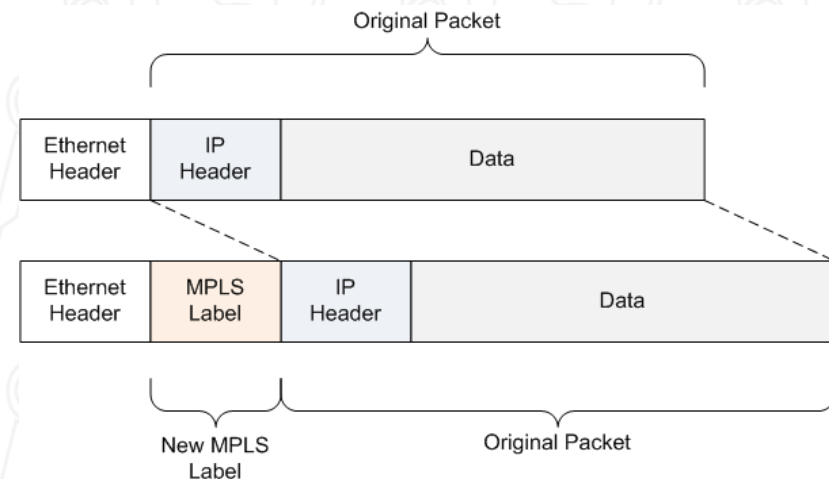
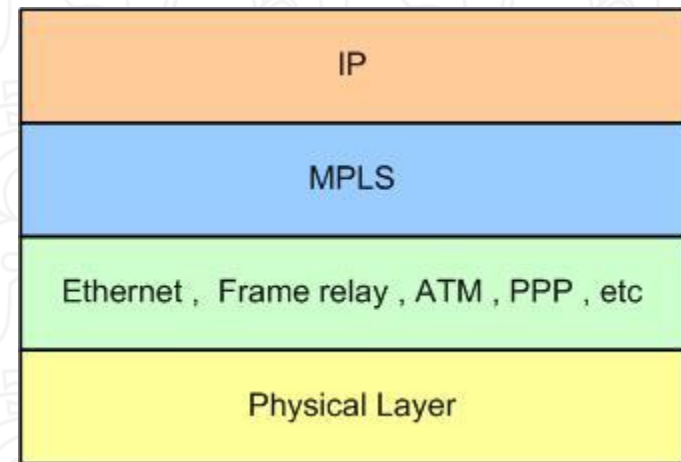
- telekomunikace
- ADSL

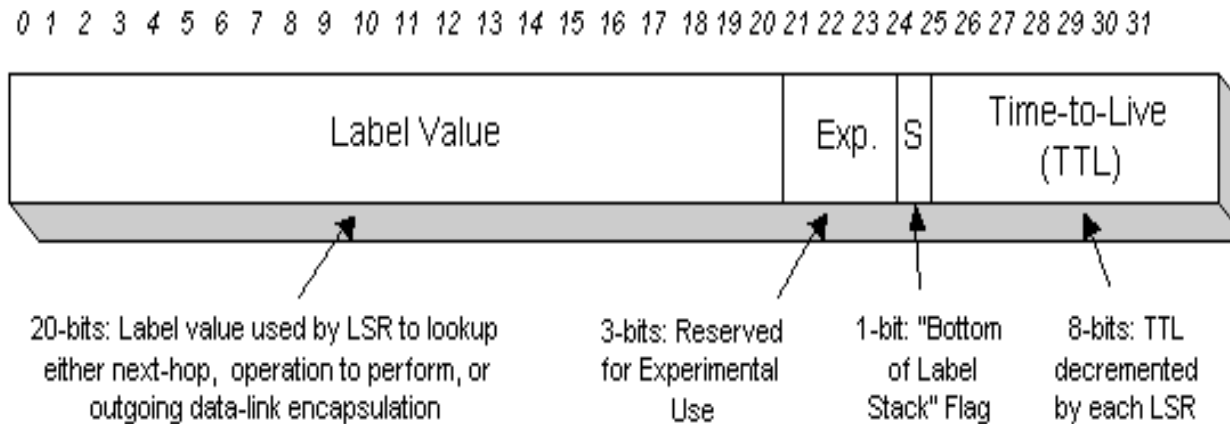
## Proč se více nevyužito pro Internet?

- pokročilé služby se neujaly (většina provozu jen v UBR)
  - velmi drahé pro větší rychlosti
    - ATM 622 Mb/s nemohlo cenově konkurovat 1 GbE
  - výhoda malých buněk zanikla po rozvoji 1 GbE
  - síťová vrstva IP je flexiilnější
  - Ethernet je levnější a vhodný i pro dálkové spoje
    - chystá se 400 – 1000 GbE
- dobré myšlenky ATM využity v MPLS

## Multiprotocol Label Switching

- v OSI modelu mezi L2 a L3
  - „Layer 2.5 protocol“
- k paketům (L3) přidává „label“
  - pakety jsou přepínány jen podle labelu
- implementuje end-to-end spojení nezávisle na linkové vrstvě

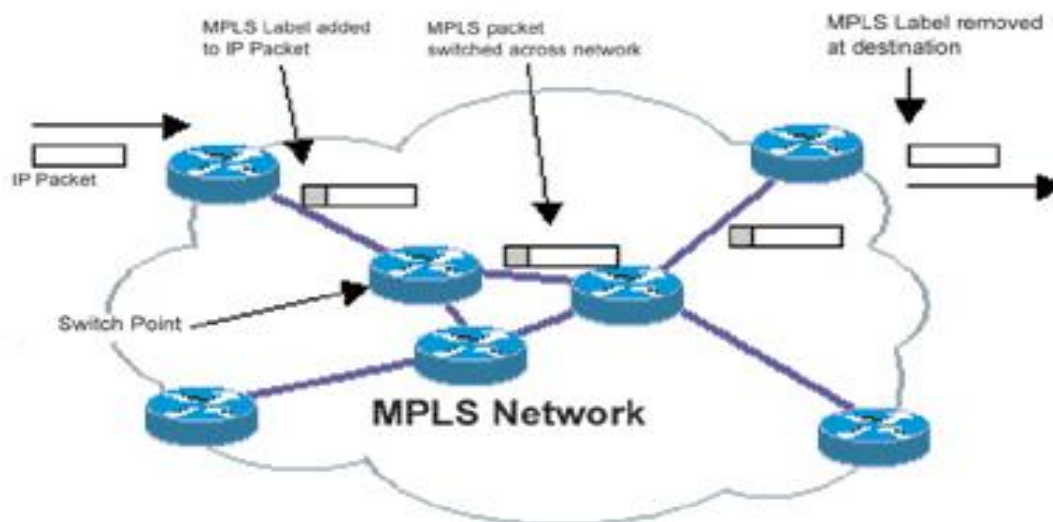




## Hlavička MPLS - 32 bitů

- label – 20 bitů
- traffic class – 3 bity (experimental)
- bottom-of-stack – 1 bit
- TTL – 8 bitů

- Hraniční router (Label Edge Router - LER) přidělí label při vstupu do MPLS
- Uvnitř MPLS sítě se pakety forwardují podle labelu (Label Switch Router - LSR)
- Při výstupu z MPLS hraniční router odstraní label







Děkuji za pozornost