

protokol, redistribúcia smerovacích tabuliek, smerovanie na základe pravidiel), základné QoS (značovanie, manažment šírky pásma). Ďalej zadanie témy vyžaduje kapitolu o MPLS, a najmä nadstavba Traffic Engineering ako jej kompletná podkapitola.

# 1. MPLS – MULTIPROTOCOL LABEL SWITCHING

## 1.1. MPLS ako nasledovník vo WAN prostredí

WAN siete majú v rámci svojho vývinu za sebou už niekoľko generácií technológií. Ako posledný míľnik bol komplex mechanizmov Asynchronou Transfer Mode (ATM). Veľké očakávania od (na danú dobu) pokrokovej technológie ATM pre nasadzovanie do moderných prenosových sietí sa žiaľ nenaplnili [1], i preto priemyselný trh začal hľadať alternatívne riešenia, poučený z ťažkopádneho úspechu ATM.

MPLS vzniklo postupným vývojom pokúsiť sa preklenúť obmedzenia doterajších prepínacích WAN mechanizmov, a to sú problematická škálovateľnosť a komplikovaná spravovateľnosť vo väčších sieťach, prípadne i Multicastové vysielanie. Táto technológia prepínania vo WAN prostredí sa stala štandardom IETF. Jej predchodcom bol proprietárny mechanizmus *tag switching* [2] firmy Cisco Systems, Inc. z ktorej MPLS priamo vychádza. Oba sa dajú označiť ako prepínanie mechanizmy v dátovej sieti pracujúce medzi druhou a tretou vrstvou referenčného modelu ISO OSI podľa pozície, kam sa MPLS hlavička umiestni.

MPLS stalo štandardom IETF začiatkom roku 2001 [3]. Od tohto dátumu prešla technológia markantným vývojom a bola rozšírená o mnohé nadstavby, ako Virtual Private Network (VPN), Quality of Service (QoS), Traffic Engineering (TE), označované ako MPLS VPN, MPLS QoS, resp. MPLS-TE.

### 1.1.1. PREDNOSTNÉ VLASTNOSTI MPLS

Technológia Multiprotocol Label Switching má v porovnaní s tradičnými technológiami WAN sietí množstvo výhod. Pod pojmom „tradičné technológie WAN sietí“ sa myslia tieto paketové siete prechádzajúce MPLS, a síce:

- X.25
- Frame Relay
- ATM

Tak isto bude porovnávaná s IP sieťou.

#### Dostupnosť

MPLS ponúka virtuálnu plnú priamu dostupnosť<sup>1</sup> medzi všetkými koncovými sieťami zákazníka. Obmedzením pri tradičných technológiách bola nutnosť si prenajímať privátne virtuálne okruhy (PVC), ich množstvo je dané Reedovým zákonom [4]:

$$\text{okruhov} = \frac{N(N-1)}{2} \quad (1)$$

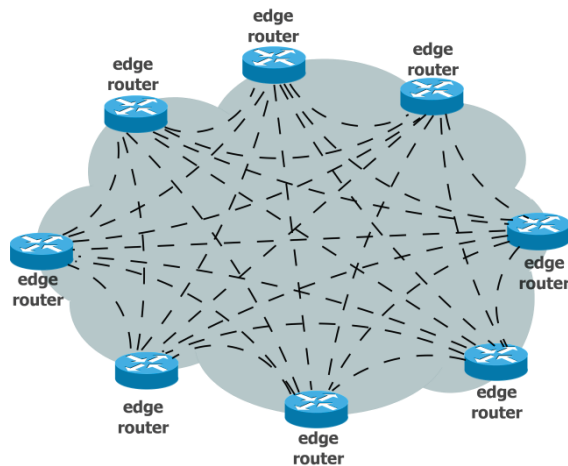
kde N je počet koncových sietí. Pre zabezpečovanie plnej priamej dostupnosti použitím tradičných technológií WAN sietí je nutné vytvárať Full-Mesh topológie z PVC. To však naráža na nasledujúci krok.

#### Škálovateľnosť

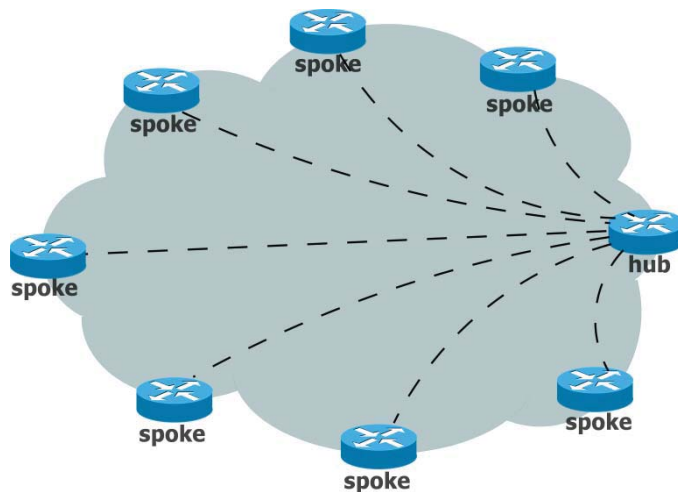
Jedným z hlavných obmedzení je škálovateľnosť – koncový zákazník bol nútený prenajímať si množstvo PVC za účelom dosiahnutia Full-Mesh topológie, a teda aj plnej priamej dostupnosti znázornené na Obr. 1: Full-Mesh topológia. S počtom potrebných PVC rástla úmerne aj cena, čo pri vyššom počte koncových sietí sa Full-Mesh prevedenie javilo ako nevhodné. Pre tieto prípady sa zavádzali iné topológie použitia, ako sú Partial-Mesh, či najekonomickejšia varianta Hub-and-Spoke (Obr. 2: Hub-and-Spoke topológia). Ich nasadenie má však isté úskalia z toho vyplývajúce, a síce nadbytočné preskoky pre premávku a od toho sa aj odvíjajúce rastúce oneskorenie dátového prenosu s nutným počtom preskokov.

---

<sup>1</sup> plná priama dostupnosť – dostupnosť, pri ktorej môžu komunikovať akékoľvek dve stanoviská skrz dátovú WAN sieť priamo, bez nutnosti použitia ďalších stanovísk ako medzi-preskokov na ceste dát; prepojenie „každý s každým“



Obr. 1: Full-Mesh topológia



Obr. 2: Hub-and-Spoke topológia

Taktiež škálovateľnosť pri dodržaní „každý-s-každým“ sťažuje počet vzťahov (adjacency) v smerovaní ako vnútri transportnej siete, tak i mimo nej<sup>2</sup>.

Sieť MPLS sa škáluje jednoducho ako akákoľvek bežná IP sieť. Z toho vyplýva jednoduchosť rastu a rozvoja, ktorá mnohokrát bola obmedzujúca pri starších WAN technológiách. S tým priamo súvisí aj nasledujúca vlastnosť.

### Jednoduchá spravovateľnosť

Jedná sa predovšetkým o náročnosť udržiavateľnosti a správy domény dátovej siete. Rozširovanie siete zákazníka o jednu ďalšiu koncovú sieť z hľadiska smerovania

<sup>2</sup> mimo nej - myslí sa tým smerovanie v rámci koncových sietí zákazníka

znamenal v praxi pridávať  $N-1^3$  nových záznamov pre VC do infraštruktúry transportnej siete (kde N je počet pobočiek).

### **Multiprotokolovosť**

MPLS bolo navrhnuté ako unifikujúca vrstva prenosu pre multi-protokolové nasadenie, preto nie je obmedzené len na prenos IP vrstvy, čo vyplýva aj z označenia „Multiprotocol“ v názve, no i schopné prenášať iné smerové protokoly sieťovej vrstvy, ako sú IPX, AppleTalk. Do úvahy pripadajú aj riešenia transportu protokolov nižšej - dátovej vrstvy „nad MPLS“, ako napríklad Ethernet, Frame Relay.

Rovnako MPLS technológia dokáže byť nasadená na rôzne už používané prenosové technológie nižších vrstiev, napríklad ATM obzvlášť [5], či Frame-Relay, čo uľahčuje nasaditeľnosť už do zabehnutého prostredia a umožňuje zjednocovanie sietí rôznych technológií, tak isto aj netradičné technológie, ako je rozvíjajúci sa Ethernet pre WAN nasadenia.

### **Privátnosť**

Popri výhode škálovateľnosti IP siete dokáže MPLS sieť navyše zabezpečiť privátnosť pomocou VPN virtuálnych spojení vo vnútri domény, ktoré sú pre koncového zákazníka transparentné, čím sa značne líši od zdieľanej povahy IP siete a jej verejného prostredia.

### **Zaistenie kvality služieb**

Metódy QoS sú dnes neoddeliteľnou súčasťou moderných konvergovaných sietí. Sieť MPLS je schopná brať ohľad na prioritizovanú premávku rôzneho druhu a narábať s ňou adekvátnym spôsobom [6], čo sa vo verejnej IP sieti ťažko realizuje bez rozumnej klasifikácie jej pôvodu a typu, a to je pri „spoločných“ dátach na sieti problematické.

### **Riadenie premávky**

Smerovanie premávky cez MPLS doménu môže závisieť na viacerých faktoroch, a to nielen na cieľovej IP adrese (ako je tomu v tradičných IP sieťach), ale napríklad aj na základe zdrojovej IP adresy, zohľadnenie premávky s ohľadom na QoS, prípadne iných parametroch. MPLS s rozšírením o ďalšie protokoly umožňuje aj nasadzovanie riadenia premávky - Traffic Engineering. Sú to metódy zabezpečujúce rozloženie záťaže za účelom lepšej dostupnosti služieb, schopné ošetriť havárie liniek použitím záložných ciest, možnosť explicitne nakonfigurovať trasu dátových tokov cez sieť, čo je obzvlášť vhodné pri údržbe a plánovaných odstávkach siete.

---

<sup>3</sup> kde N je počet pobočiek, a teda koncových sietí zákazníka

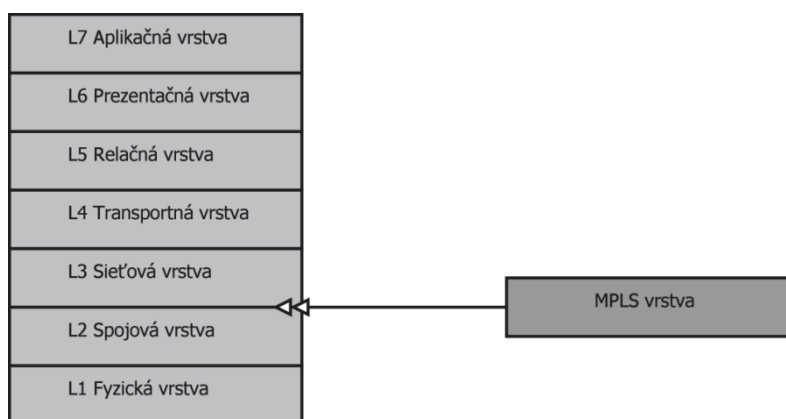
## 1.2. DOMÉNA A JEJ PRVKY

MPLS sieť (často nazývaná aj MPLS doména) obsahuje skupinu smerovačov pod správou jednej organizácie pracujúcej s technológiou Multiprotocol Label Switching. Ide o prepínací mechanizmus založený na prepínaní na základe značky (label) v záhlaví MPLS.

### 1.2.1. ZÁHLAVIE MPLS

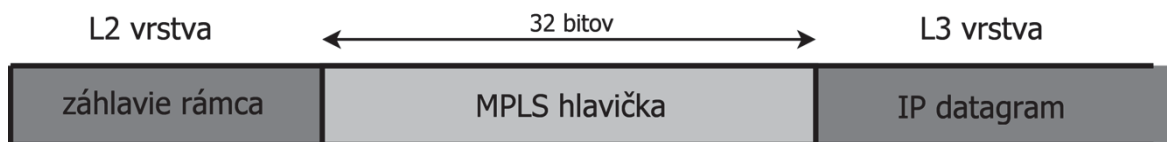
Paket (bežne IP datagram) vstupujúci do MPLS domény je na vstupnom smerovači vyšetrený, a pokiaľ vrstva riadenia rozhodne, že paket bude smerovaný skrz MPLS doménu, priradí sa mu MPLS záhlavie. Týmto záhlavím je paket označený počas celej doby svojho putovania až spravidla k okrajovému smerovaču domény, kde ju paket opúšťa a toto záhlavie je mu odobrané. Obsah MPLS záhlavia sa počas cesty doménou môže meniť.

Záhlavie je hierarchicky umiestnené medzi druhú a tretiu vrstvu referenčného modelu ISO OSI, čo sa niekedy v hovorovom slangu označuje ako dva-a-poltá vrstva. Tento fakt, pri ktorom MPLS zapúzdruje dáta tretej a vyššej vrstvy, určuje samotnú povahu multiprotokolovosti MPLS a umožňuje prenášať prakticky čokoľvek pomocou transportnej siete tohoto typu [5] [7]. Praktické využitie znázorňuje prístup AToM (Any Transport over MPLS).



Obr. 3: Referenčný model ISO OSI a zaradenie MPLS vrstvy

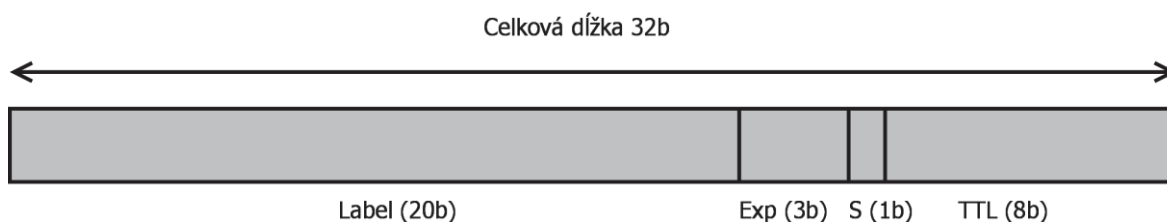
Štruktúra samotného MPLS záhlavia je veľmi jednoduchá, čo predurčuje mechanizmus k rýchlemu spracovávaniu a samotnému prepínaní. Má konštantnú dĺžku 32bitov (4bajty), čo je relatívne málo oproti záhlaviu napr. Ethernetového rámca DOPLNIT, či záhlaviu IPv4, alebo IPv6 datagramu [8]. Pre svoju nevel'kosť a vkladanie medzi druhú a tretiu vrstvu sa niekedy slangovo označuje ako tzv. Shim-header.



Obr. 4: Umiestnenie MPLS hlavičky v rámci

Obsahuje štyri polia:

- Značka (label)
- Experimentálne pole (exp)
- Príznak „dna zásobníka“ (Bottom-of-the-stack)
- Time to live



Obr. 5: Záhlavie MPLS

### Label (20b)

Prvých 20 bitov MPLS záhlavia plní funkciu smerovej značky, ktorá sa používa pri prepínaní paketu medzi LSR smerovačmi počas cesty MPLS doménou. Spravidla sa mení každým preskokom v závislosti od požadovanej destinácie.

Samotná priradovaná label v hlavičke MPLS môže korešpondovať s cieľovým prefixom adresy, jednoznačne identifikovať VPN koncového zákazníka, označovať QoS triedu s patričným zachádzaním a pod.

### Experimental (3b)

Trojbitové pole bolo pôvodne rezervované na experimentálne účely, dnes sa však našlo uplatnenie v praxi pre nasadenie mechanizmu zaistenia kvality služieb QoS v technológiách MPLS.

### Bottom-of-the-Stack (1b)

MPLS architektúra umožňuje zo svojej špecifikácie transportujúcemu paketu priradiť a nieť viac než jedno záhlavie. Záhlavia MPLS sú pred paket vkladané princípom zásobník, to znamená, že sa pridávajú a odoberajú spôsobom Last-in-First-out (LIFO). Z teoretického hľadiska môže paket nieť v doméne neobmedzené množstvo záhlaví, a teda ľubovoľnú úroveň zanorenia, no z praktického je táto možnosť obmedzená

vlastnosťou Maximal Transfer Unit (MTU), ktorá sa priamo viaže k používaným technológiám nižších vrstiev. Nakoľko sa úroveň zanorenia vôbec nečísluje, je potrebné aspoň minimálne odlišiť prvú úroveň od ostatných. K tomuto účelu je práve vyhradený jednobitový príznak „dna zásobníka“ (Bottom-of-the-Stack) v záhlaví MPLS. Jeho hodnota je nastavená na úroveň logickej 1 vtedy, keď sa jedná o záhlavie prvej úrovne, tzn. bezprostredne za záhlavím sa nachádzajú dáta prenášanej tretej vrstvy referenčného modelu. Logickú hodnotu 0 nadobúdajú záhlavia druhej a vyšších úrovní.

Hierarchická schopnosť značkovania má univerzálne použitie a rozširuje možnosti MPLS. Táto metóda môže byť použitá ako nástroj, ktorý umožňuje vysokú flexibilitu a škálovateľnosť v zjednocovaní menších MPLS domén do väčších celkov. Taktiež sa používa pre potreby VPN v MPLS, či iné.

### **Time-to-Live (8b)**

Podobne ako v záhlaví IP paketu, tak aj v MPLS záhlaví slúži toto osembitové pole ako bezpečnostný mechanizmus proti smerovacím/prepínacím slučkám v rámci MPLS domény. Na začiatku domény sa po dekrementovaní políčka TTL v IP záhlaví (nakoľko sa jedná o bežnú súčasť IP smerovania) nakopíruje jeho hodnota do ôsmich bitov MPLS záhlaví, a ďalej je táto hodnota počas prepínania na každom preskoku dekrementovaná o jedno. Pri výstupe sa podľa ďalšieho nastavenia siete buď nakopíruje finálna hodnota TTL z MPLS do TTL IP hlavičky, alebo sa hodnota IP hlavičky (po dekrementovaní na prvom smerovači) nezmení [7]. Tento princíp použitý pri druhej variante umožňuje transportnej sieti tváriť sa z pohľadu koncového zákazníka ako jeden preskok, a tak poskytujú ochranu nemožnosťou trasovať MPLS sieť dátového poskytovateľa, a teda zistiť jej topológiu.

#### *1.2.2. TYPY LSR SMEROVAČOV*

Smerovač ako entita používajúca MPLS prepínací mechanizmus, z ktorých sa doména skladá, je taktiež označovaný *Label Switch Router* (LSR). Ten sa ďalej rozlišuje podľa toho, v akej pozícii sa v MPLS doméne nachádza.

### **Hraničný smerovač (edge)**

Niekedy nazývaný aj *Label Edge Router* (LER). Smerovač sa stáva hraničným smerovačom, pokiaľ má aspoň jedného suseda nespádajúceho do MPLS domény, a smerujúceho na báze (spravidla) IP protokolu (v prípade IP siete), typicky sa nachádzajúci na okraji domény.



## **Smerovač jadra (core)**

Smerovače jadra sa nachádzajú vnútri domény na ceste medzi hraničnými smerovačmi. Pracujú výhradne s označenými paketmi<sup>4</sup>, ktoré na základe hodnoty label v záhlaví prepínajú skrz MPLS doménu k výstupnému okrajovému smerovaču.

Hraničné smerovače LER v topológií s ohľadom na smer dátového prúdenia sa rozdeľujú na:

- vstupný smerovač (ingress)
- výstupný smerovač (egress)

## **Vstupný hraničný smerovač**

Úlohou vstupného smerovača je zistiť, či prichodzí paket bude prenesený MPLS sieťou a teda vstúpi do domény, alebo nie. Ak áno, tak mu priradí podľa potreby minimálne jedno MPLS záhlavie s patričnou hodnotou značky a odošle sa výstupným rozhraním k nasledujúcemu preskoku v ceste.

## **Výstupný hraničný smerovač**

Hraničný smerovač na výstupe z domény odstráni zostávajúce záhlavia a vyšle výstupným rozhraním už bežný IP datagram smerom k nasledujúcemu preskoku v IP sieti.

## **1.3. SMEROVANIE V MPLS SIETI**

### *1.3.1. PRECHOD PAKETU SIEŤOU*

Prechod paketu MPLS sieťou sa líši od tradičného smerovania v sieti IP. Smerovanie v IP sieti prebieha na každom skoku, teda smerujúcim zariadením (tretej L3) sieťovej vrstvy. Paket je skok čo skok vyšetřovaný o cieľovú IP adresu, ktorá sa však bežne zostáva do cieľa nezmenená, a typicky pomocou zhody najdlhšieho prefixu medzi záznamami v smerovacej tabuľke a cieľovej IP adresy z IP záhlavia paketu je určené ďalšie smerovanie. Každý smerovač o smerovaní paketu rozhoduje nezávisle na základe svojej smerovacej tabuľky, čo môže pri nekonzistentnom nastavení smerovania na trase viesť k stavom, keď cieľová sieť bude nedosiahnuteľná, k smerovacím slučkám, či mylným informáciám ohľadom smerovania a adresovania sietí.

---

<sup>4</sup> označené pakety – v kontexte MPLS sa tým myslia pakety vyššej vrstvy nesúce aspoň jedno MPLS záhlavie

Pri transporte paketu cez MPLS doménu sa rozhodovanie ohľadom trasy učiní len raz. Keď vstupný LER uváži, že prichodzí paket sa preniesie cez MPLS sieť, ingress LER paket prešetrí, zaradí si ho do vhodnej *Forward Equivalent Class* (FEC), na jeho základe mu prideli (akcia PUSH) MPLS záhlavie (v špeciálnych prípadoch viac než jedno) s hodnotou značky odpovedajúcej pre danú FEC. Takto zaopatrený paket pošle výstupným rozhraním smerom k ďalšiemu LSR smerovaču v ceste (typicky je to typ core). Ten ho spracováva na základe hodnoty značky v MPLS hlavičke prichádzieho paketu, typicky vymení (akcia SWAP) záhlavie s inou značkou a pošle výstupným rozhraním paket ďalšiemu LSR v ceste, kde sa proces z pohľadu ďalšieho smerovača zopakuje.

Počas putovania sieťou môže byť label ponechaná, vymenená, pridaná ďalšia úroveň hlavičky, či aj odobraná (akcia POP). V prípade ďalšej úrovne značky sa ďalšia hlavička MPLS s vlastným políčkom label umiestni „nad“ hlavičku predchádzajúcej úrovne zásobníkovým spôsobom.

Až paket nakoniec dorazí na egress LER, odstránia sa (akcia POP) všetky MPLS záhlavia (ak zostali nejaké), ďalej je paket smerovaný už tradične podľa IP adresy. Sú prípady, kedy sa táto činnosť odstraňovania vykonáva už jeden skok pred výstupným LER. Výhodou je rozloženie záťaže na dva smerovače, kde predposledný odstraňuje záhlavia a posledný uskutočňuje IP smerovanie, ktoré inak obe bežne vykonáva sám egress LER. Táto metóda sa nazýva *Penultimate Hop-Popping* [7].

Počas prechodu doménou žiaden zo smerovačov jadra nesiahajú za MPLS záhlavie do polí vyšších vrstiev za akýmkoľvek účelom, nebolo potrebné opakovane zisťovať cieľovú adresu počas priebehu prepínania. Z tohoto taktiež vypýva, že pokiaľ sa má na paket označený MPLS záhlavím uplatňovať zachádzanie podľa QoS, musí byť tento fakt, a teda príznak dostupný, čiže uvedený už v záhlaví MPLS.

### **Forward Equivalent Class**

V jednej triede FEC sa nachádzajú všetky pakety, ktoré požadujú rovnaký spôsob zaobchádzania počas prepínania v doméne a spájajú ich spoločné vlastnosti i nároky.

V základnom poňatí môžeme pre názornosť nasledujúceho príkladu do rovnakej FEC považovať a radiť pakety s rovnakým cieľovým prefixom IP adresy, trebárs 10.1.2.0/24 . Keď sa paket má dostať do tohoto cieľa, ingress LER použije patričnú hodnotu značky v pridávanom MPLS záhlaví, následne odosielajúc paket patričným smerom výstupným rozhraním (čím dodržiava danú FEC). Na základe hodnoty značky v záhlaví je paket prepínaný po vopred vytvorenej *Label Switched Path* (LSP). Samotná LSP sa dá považovať ako ekvivalent virtuálneho okruhu VC v ATM sieti.

Keď sa na rovnaký ingress LER dostaví paket smerujúci do iného prefixu, a teda vyžadujúci inú FEC - čiže iné zachádzanie, ingress LER ho zaopatrí inou hodnotou značky v pridanom MPLS záhlaví a odošle iným, eventuelne aj rovnakým smerom, avšak pre danú značku (vzhľadom k odlišnej FEC) bude následne uplatňovaný iný prístup počas prepínania, i keď eventuelne aj rovnaká LSP.

Pakety zdieľajú rovnakú FEC v prípade, keď sú prieposielané:

- do rovnakého cieľa
- tou istou cestou
- s rovnakými požiadavkami a prístupom, s ohľadom na QoS počas prepínania

Hoci je v praxi FEC často typicky spájaná s cieľovou adresou, je všeobecnejšia než len adresa príjemcu spadajúca do rovnakého cieľového prefixu. Môže byť podmienená taktiež zdrojom paketov, alebo hodnotou poľa DSCP, ktoré môžu spôsobiť vytvorenie odlišnej FEC, a teda aj následne zaobchádzania.

Čo sa týka analógie FEC s IP sieťou, tam sa taktiež koná proces ohľadom FEC, a síce prešetruje sa na každom preskoku cieľová IP adresa zo záhlavia IP datagramu. Na základe tejto informácie (prípadne aj ďalších možných faktorov, ako je DSCP pole zo záhlavia, či iné) sa prehľadá smerovacia tabuľka a z nej sa istia informácie o ďalšom prepínaní paketu. V tomto okamihu už pozná smerovač FEC pre daný paket – vie IP adresu ďalšieho preskoku, vie výstupné rozhranie, vie ako s ním zachádzať v zaradovaní do fronty. Pakety, ktoré zdieľajú tieto tri informácie, sa považujú za rovnakú FEC.

Zásadný rozdiel medzi IP sieťou a MPLS sieťou vzhľadom na FEC je, že FEC sa v IP sieti zisťuje na každom preskoku, v MPLS sieti len raz – a to na začiatku LSP.

### *1.3.2. INFORMAČNÉ BÁZY SMEROVAČA V IP SIETI*

Aby paket mohol byť korektne smerovaný a prepínaný IP sieťou, je k tejto činnosti potrebné urobiť rozhodnutie o voľbe toho správneho smeru. Pod pojmom „voľba správneho smeru“ sa v IP sieti rozumie voľba takej trasy z pohľadu rozhodujúceho sa smerovača, ktorá sa relatívne k rozhodujúcemu sa smerovaču javí ako najvhodnejšia, čo v IP sieti znamená cesta najlacnejšia, s najnižšou cenou do cieľa (cost). Aby sa smerovač pracujúci so smerovým protokolom IP vedel rozhodnúť pre správny smer, ktorý sa bude pre jeho subjektívny pohľad javiť ako najvýhodnejší, musí mať znalosti o okolitej topológii a jej adresovaní v jeho tzv. „širšom okolí“.

Pod pojmom „širšie okolie“ sa rozumejú siete, do ktorých smerovač nie je priamo pripojený svojimi rozhraniami, ale eventuálne sa do nich vie dostať cez ďalší

preskok (typicky cez ďalší smerovač, či reťazec smerovačov). Siete, ktoré sú priamo pripojené, sú považované za „bližšie okolie“ a smerovač vie o nich automaticky, pretože má v nich zapojené svoje rozhrania, pokiaľ majú správne nastavenú fyzickú, linkovú a sieťovú vrstvu.

Informácie o všetkých cieľových sieťach a smeroch smerovač získava jednak z vlastných rozhraní pre priamo pripojené siete v „blízkom okolí“, tak aj pomocou smerovania pre „širšie okolie“, ku ktorému smerovač nemá priamy prístup. Toto smerovanie môže byť statické a teda z jednotlivých smerovacích záznamov zadaných manuálne administrátorom, alebo dynamické - z výmeny informácií smerovacími protokolmi, ako sú napr. RIP, OSPF, IS-IS, BGP. Všetky tieto informácie o nadobudnutých smeroch vrátane preskokov k nim, si smerovač ukladá do svojej *Router Information Base* (RIB).

### ***Routing Information Base (RIB)***

RIB je dátová štruktúra, do ktorej smerovač zhromažďuje zo všetkých nadobudnutých smerovacích informácií spôsobom vyššie uvedeným, tie s najlepšou cenou do daných prefixov pre jednotlivé smerovacie protokoly či ostatné spôsoby (statický záznam, resp. priamo pripojená sieť). Obsahuje dôležité údaje ako sú prefix cieľovej siete, cena (cost) cesty, nasledujúci preskok (IP adresa smerovača alebo výstupné rozhranie), a spôsob, odkiaľ bola táto informácia získaná (napr. konkrétny smerovací protokol, či statický záznam). Týmto pričinením obsahuje RIB to najlepšie (teda najvýhodnejšie cesty s najnižšou cost) napr. z RIPu, z OSPF, zo statického smerovania pre dané prefixy cieľových sietí. Z týchto informácií smerovač zostaví smerovaciu tabuľku s ohľadom na čo najnižšiu administratívnu vzdialenosť, ktorá reprezentuje „dôveryhodnosť“ smerovacieho protokolu. Smerovacia tabuľka je menšia a kompaktnjšia, a používa sa na smerovanie IP datagramov s dôrazom na čo s najdlhšiu zhodu v prefixe voči cieľovej IP adrese zo záhlavia paketu.

Smerovanie podľa smerovacej tabuľky máva však aj svoje rýchlostné úskalia. Tými je napríklad dvojitý prechod záznamami v smerovacej tabuľke, kde sa pri prvom prechode hľadá IP adresa nasledujúceho preskoku, a v druhom prechode hľadá sa výstupné rozhranie do priamo pripojenej siete, ktorá tento preskok obsahuje. Taktiež na rýchlosti nepridáva opakované prehládávanie ARP tabuľky s cieľom zistiť fyzickú adresu ďalšieho preskoku, pokiaľ sa nachádza na zdieľanom médiu, ako je ethernet a je potrebné pripojené zariadenia na druhej vrstve odlišovať a náležite adresovať. Firma Cisco Systems, Inc. s cieľom znížiť dobu potrebnú na smerovanie paketu a zvýšiť smerovací výkon vyvinula technológiu *Cisco Express Forwarding* (CEF) [5]. Táto technológia používa k smerovaniu svoju vlastnú dátovú štruktúru zvanú *Forwarding Information Base* (FIB).

### **Forwarding Information Base (FIB)**

Táto informačná báza obsahuje koncentrované informácie z tabuliek RIB a ARP. Jej výhodou je jej kompaktnosť a úplnosť s ohľadom na smerovacie informácie potrebné k prepínaniu paketu. Obsahuje konkrétny prefix cieľovej adresy, identifikátor výstupného rozhrania a informácie ohľadom ďalšieho preskoku v ceste (ako sú napríklad jeho IP a fyzická adresa). Týmto pričinením je smerovač schopný jediným prehladaním tabuľky FIB získať všetky potrebné informácie, ktoré použije pri konštrukcii spracovávaného paketu a jeho odoslania.

#### **1.3.3. INFORMAČNÉ BÁZY MECHANIZMU MPLS**

Pri rozšírení smerovacích schopností smerovača o mechanizmus MPLS, smerovač získava dve nové dátové štruktúry, ktoré sa slúžia na prácu s paketmi nesúcimi MPLS záhlavie.

### **Label Information Base (LIB)**

Tabuľka, ktorá má prehľad o všetkých známych prefixoch<sup>5</sup> a väzbách k značkám, ktoré ponúkli príslušné LSR, tak ako aj samotný smerovač sa nazýva *Label Information Base* (LIB). Jej úlohou je zhromažďovať a udržiavať informácie párovania prefixu voči značke, ktoré boli oznámené protokolom distribúcie značiek od príslušných smerovačov MPLS, tak vlastnú značku k danému prefixu, ktorú smerovač oznamuje príslušným LSR. Ako bolo uvedené, táto dátová štruktúra obsahuje všetky zozbierané informácie ohľadom párovania prefix – značka, a podieľa sa na tvorbe tabuľky Label Forwarding Information Base (LFIB),

### **Label Forwarding Information Base (LFIB)**

Jedná sa o tabuľku, ktorá v podstate je ekvivalentná voči FIB. Táto tabuľka je optimalizovaná pre prepínanie paketov nesúcich MPLS záhlavie na základe hodnoty značky v záhlaví prichádzajúceho MPLS paketu. Obsahuje informácie ako je značka z prichádzajúceho paketu, uskutočňovaná akcia, výstupné rozhranie a informácia o nasledujúcom preskoku LSR. Túto tabuľku využívajú všetky smerovače MPLS domény.

Pre úplnosť je nutné uviesť, že po nasadení MPLS prepínania na smerovač sa rozšíri jeho štruktúra RIB o ďalší atribút, a sice príznak pre MPLS, kde sa uvedie spravidla akcia PUSH a značka, s ktorou bude paket označený pri samotnom odosielaní. V prípade, že sa tento prípad naskytne (je uvedená akcia PUSH s hodnotou

---

<sup>5</sup> Slová „prefix“ či „cieľová podsieť“ označujú vo voľnejšom ponímaní „FEC“, a sú tomto rozsahu kontextu voľne navzájom zameniteľné, pokiaľ sa jedná o párovanie značka=FEC

značky) pri zázname daného prefixu, jedná sa tu o MPLS prepínanie, kde sa tento smerovač stáva v tomto okamihu ingress LER a paket vstupuje do domény. Ide o začiatok tzv. *Label Switched Path* (LSP).

#### 1.3.4. POUŽITIE INFORMAČNÝCH BÁZ PRI PREPÍNANÍ PAKETU

V prípade MPLS sa prepína na základe zhody Label značky a nehľadá sa na každom preskoku čo najdlhší prefix ako pri smerovaní v IP sieti. Úvodná značka v hlavičke MPLS sa vyberie už na začiatku v Ingress LER. Značka sa volí s ohľadom na FEC. Štandardne je to na základe cieľovej adresy, ktorá sa získa z IP hlavičky, avšak ako bolo uvedené – nemusí byť FEC obmedzená len na cieľovú adresu.

Pre prípad, že značka sa bude priradovať na základe cieľovej adresy, vstupný hraničný smerovač prehľadá svoju databázu FIB, nájde v nej záznam so zhodou pre čo najdlhší prefix. Na základe informácií uvedených v tomto zázname uskutoční akciu PUSH, čím priradí paketu MPLS hlavičku s danou hodnotou značky. Takto označený paket enkapsuluje s ohľadom na spojovú vrstvu, kam uvedie prípadne fyzickú adresu zo záznamu FIB nasledujúceho preskoku, a následne vyexpeduje rámec výstupným rozhraním taktiež uvedenom v zázname v tabuľke FIB.

Paket prichádza na smerovač jadra. Nakoľko core LSR pracujú výhradne s paketmi obsahujúcimi MPLS záhlavie, na ich prepínanie sa použije databáza LFIB. Prichodzí paket smerovač vyšetrí a zistí hodnotu značky (label) zo záhlavia. Na základe tejto hodnoty vyhladá záznam so zhodou v tabuľke LFIB pre atribút „lokálna značka“. Je to povaha značky, ktorú vytvoril tento konkrétny smerovač jadra pre daný cieľový prefix a oznámil ostatným prilahlým smerovačom. Z tohoto záznamu vyčíta dôležité parametre ako sú vykonaná akcia a výstupná hodnota značky. V roli smerovača jadra je typickou akciou SWAP, ktorá zamieňa záhlavie MPLS s pôvodnou hodnotou značky za záhlavie s hodnotou pre výstup. Následne použije ostatné dáta zo záznamu pre vyexpedovanie paketu tak ako predchádzajúci LSR, čím predáva paket ďalšiemu smerovaču v ceste, kde sa proces spracovania opakuje.

Až takýmto spôsobom dorazí paket na výstupný smerovač domény, uskutoční sa rovnaký začiatok procedúry, až po vyhladávanie v tabuľke LFIB. Tam nájde egress LER v zázname položku s akciou POP. To znamená, že smerovač odstráni MPLS záhlavie. Pokiaľ je to záhlavie prvej úrovne, čo smerovač zistí pri odstraňovaní podľa príznaku S bitu v záhlavi nastaveného na 1, paket v tomto mieste cestu v doméne končí. Smerovač po odstránení MPLS záhlavia preskúma IP hlavičku a podľa cieľovej IP adresy určí, kadiaľ sa bude paket smerovať. To konkrétne zistí prehľadaním svojej FIB tabuľky a paket vyexpeduje.

Sumárne sa dá zhrnúť, že na prepínanie transportovaných paketov používajú okrajové smerovače FIB databázu, zatiaľ čo LFIB tabuľku všetky. Paket na začiatku

dostane záhlavie, je prepínaný sústavou smerovačov na základe meniacej sa značky, čím kopíruje LSP medzi okrajovými LER spojenú smerovačmi jadra.

#### *1.3.5. TVORBA LABEL SWITCHED PATH*

Keď sa hraničný smerovač MPLS domény získa informáciu (spravidla zo smerovacieho protokolu) o novom smerovateľnom prefixe, prideli mu (vytvorí pár) tzv. lokálnu značku (lebo bola vytvorená lokálne) a rozošle protokolom distribúcie značiek tento fakt príľahlým LSR smerovačom oznamujúc prefix a hodnotu značky. Príľahlý smerovač túto správu protokolu distribúcie značiek akceptuje a uloží si do svojej LIB, eventuálne i LFIB informáciu o prefixe, vzdialenej značke a rozhraní, na ktorom túto správu prijal – použije ho ako výstupné rozhranie. Sám smerovač novooznámenému prefixu vytvorí vlastnú značku lokálnej povahy, ktorú použije k nemu ako pár a pomocou protokolu distribúcie značiek túto skutočnosť oznámi svojim susedom. Šírenie týchto značiek je smerom Downstream -> Upstream, kde Downstream je smerovač ten bližšie k cieľovému prefixu, od ktorého sa správa o cieľovom prefixe typicky šíri.

Na distribúciu značiek sa používajú *Label Distribution Protocol* (LDP), alebo *Tag Distribution Protocol* (TDP). Šírenie značiek od výstupného smerovača k vstupnému pomocou LDP, resp. TDP a náväznosť značiek v sieti vytvára spojitú LSP.



## 2. MPLS QoS

### 2.1. QoS VŠEOBECNE

Z pohľadu moderných konvergovaných sietí, keď je snahou integrovať všetky služby sietí do jednej zjednotenej siete, je mechanizmus QoS nevyhnutnou súčasťou moderných konvergovaných sietí.

Rastúce požiadavky na moderné konvergované dátové siete, ktoré na rozdiel od legacy dátových sietí prenášajú okrem typických dát aj ostatné typy premávky reprezentované službami, ako je hlas, či videostream v reálnom čase. Tradičná dátová sieť bola určená výhradne pre prenos dát, kde určujúcim parametrom siete bola jej šírka pásma. Tento prístup však pri nasadzovaní nových služieb do siete ako sú hlas, video a iné interaktívne služby citlivé na odozvu a bezchybový prenos nebol dostatočný. Preto bolo potrebné zabezpečiť daným službám adekvátnu kvalitu počas doručovania. Na to, aby s nimi bolo možné odlišne zachádzať, bolo nutné jednotlivé typy premávky dát rozlišovať. V QoS sa na to používajú mechanizmy inšpekcie a klasifikácie paketov.

### 2.2. KLASIFIKÁCIA PREMÁVKY

Prakticky sa to rieši, že najskôr sa príchodnému paketu preskúmajú vyššie vrstvy hlĺbkovou inšpekciou a na základe ich obsahu sa paketu v IP záhlaví nastaví do príslušného poľa príznak [7]. Takto označený paket sa stáva klasifikovaným. To znamená, že pri prechode sieťou bude naň pri smerovaní braný ohľad podľa prednastavených pravidiel.

### 2.3. TRIEDY PREMÁVKY A ICH POŽIADAVKY

#### **Hlas**

Jeho charakteristikou nepatrný dátový tok v závislosti od použitého audio kodeku. Na druhú stranu jeho najvyššia citlivosť pre oneskorenie (delay) a kolísanie oneskorenia (jitter). Tieto parametre spojenia majú priamy dopad na kvalitu telefonického hovoru pre telefonujúceho. Tento typ dátovej premávky by mal byť na smerovači expedovaný prioritne [8].

#### **Video**

Video-streaming je ďalšou real-time službou, ktorá spolieha na nízke oneskorenie. Avšak vzhľadom k bufferovaniu nie je natoľko citlivá na menej významné kolísanie jitter-u. Dátový tok sa líši najmä od použitého video-kodeku a prenášanej kvality videa.