

## **Kvalita služeb datových sítí z hlediska VoIP**

**Ing. Pavel BEZPALEC**

Katedra telekomunikační techniky, ČVUT FEL v Praze  
Technická 2, Praha 6  
bezpalec@fel.cvut.cz

**Abstrakt:** *Příspěvek rozebírá pojem kvalita služeb datových sítí a výkonnost sítě. Seznamuje se základními měřitelnými parametry nutnými pro hodnocení datových sítí pro užití IP telefonie a nastiňuje možné techniky zajištění kvality služeb.*

### **1 Úvod**

IP telefonie (nebo *Voice over IP, VoIP*), tedy mechanismus přenosu hlasového provozu v datových sítích, je výsledkem procesu konvergence. Tento proces znamená technologické, provozní a administrativní sblížení původně nesourodých sítí a služeb, sítí telekomunikačních a datových, do jediného prostředí (datové sítě), které zahrnuje služby pokud možno všechny.

### **2 Kvalita služeb**

V telekomunikačních sítích je primárním parametrem kvalita služby (*QoS*). V datových sítích je však primárním parametrem poskytnutí dané služby. Data jsou zpracovávána podle modelu „*best-effort*“: jednotné zacházení se všemi pakety, přoslání nebo zničení paketu nastává se stejnou pravděpodobností. Důsledkem procesu konvergence a nástupu IP telefonie je potřeba zavedení *QoS* i do datových sítí, tj. nutnost garantovat požadované vlastnosti přenosové služby.

Obecně je *QoS* definováno v doporučení ITU-T I.350, viz [9], a lze jej rozdělit na základní pojmy *kvalita služby a výkonnost sítě*.

- **Kvalita služby** (*Quality of Service, QoS*) se zabývá se popisem vlastností sítě z pohledu uživatele. Kvalita služby je obecně definována jako celkový efekt výkonnosti služby, který určuje stupeň uspokojení uživatele služby. Ke stanovení kvality služeb slouží řada vlastností vztahujících se k výkonnosti podpo-

ry služby, výkonnosti služby, bezpečnosti služby a jiným faktorům vztahujícím se k dané službě.

- **Výkonnost sítě** (*Network Performance, NP*) se zabývá popisem vlastností sítě z pohledu provozovatele sítě. Výkonnost sítě je definována jako schopnost sítě nebo její části poskytovat funkce vztahující se ke komunikaci mezi uživateli. Výkonnost sítě je využita při plánování, vývoji a údržbě sítí. Je považována za technickou část kvality služeb.

kvalita služeb	výkonnost sítě
uživatelsky orientovaná	orientovaná na provozovatele sítě
vlastnost služby	vlastnost prvků spojení
zaměřená na efekty pozorované uživatelem	zaměřená na plánování, vývoj, provoz a údržbu
mezi přístupovými body služby	úsek síťového spojení nebo celé síťové spojení

**Tab. 1: Srovnání kvality služeb a výkonnosti sítě v digitálních sítích**

Rozdíl mezi kvalitou služeb a výkonností sítě je zobrazen v Tab. 1. Uživatelsky orientované parametry kvality služeb poskytují poznatky pro vývoj sítě, ale nejsou nezbytně nutné při specifikaci výkonnostních požadavků na dané spojení. Podobně parametry výkonnosti sítě slouží k popisu kvality služeb, ale nejsou nezbytně nutné k popisu kvality služeb z pohledu uživatele. Oba typy parametrů jsou nutné a jejich hodnoty musí být brány v úvahu pokud má síť pracovat efektivně.

Pro popis kvality služeb a výkonnosti sítě slouží zvolená množina parametrů. Z **primárních** parametrů, tj. na sobě nezávislých, jsou odvozovány parametry **sekundární**.

- **Primární parametr** je parametr, který je určen na základě přímého pozorování referenčních událostí na přístupovém bodu služby nebo prvcích komunikačního rozhraní. Primární parametry se vztahují k časovým intervalům mezi určitými událostmi a jejich opakováním. Tyto parametry popisují kvalitu služeb nebo výkonnost sítě v období, kdy je služba dostupná.
- **Sekundární parametr** je určen na základě pozorovaných hodnot jednoho nebo více primárních parametrů a rozhodovacích úrovní pro daný primár-

ní parametr. Sekundární parametry popisují události, které vznikají, pokud hodnota primárního parametru překročí prahovou hodnotu. Tyto události určují přechod mezi stavy dostupnosti a nedostupnosti služby. Vyhodnocovány jsou parametry vztahující se k časovým intervalům mezi těmito událostmi a jejich opakováním. Sekundární parametry popisují kvalitu služeb a výkonnost sítě pro všechna období, tj. pokud je služba dostupná i nedostupná.

Primární parametry se zapisují do matice rozměru 3\_3, která se svým obsahem liší pro různé druhy komunikačních sítí. Matice je sestavena dle pravidel [10]:

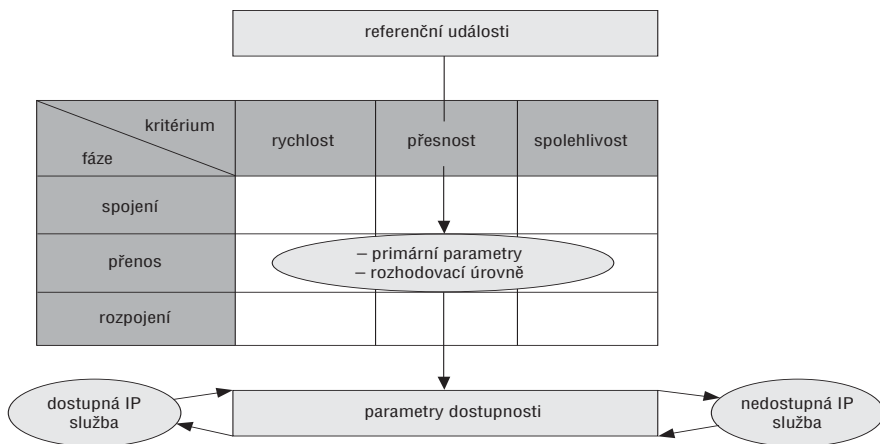
- každý řádek reprezentuje jednu ze tří základních komunikačních funkcí (rychlost, přesnost, spolehlivost),
- každý sloupec reprezentuje jeden ze tří výstupů komunikační funkce (spojení, přenos, rozpojení).

Matice je primárně definovaná pro parametry výkonnosti sítě, ale může být použita i pro související parametry kvality služeb.

Z primárních parametrů uvedených v matici je odvozen nejznámější sekundární parametr **dostupnost**. Dostupnost je vyhodnocována pomocí funkce dostupnosti, která porovnává hodnoty podmnožiny primárních parametrů s jejich odpovídajícími prahovými hodnotami pro výpadek služby. Ze získaných výsledků je pak určena dostupnost nebo nedostupnost služby. Dostupnost pak charakterizuje výsledný proces, který nabývá binární hodnotu 0 pro nedostupnou a 1 pro dostupnou službu. Výpadek služby zahrnuje dobu, kdy není přijímána žádná odpověď na požadavky zasílané síti i kdy je poskytovaná služba nepřijatelná z důvodu nedostatečné kvality, např. malá přenosová rychlost nebo velká chybovost.

### **3 Kvalita služeb IP sítí**

Kvalita služeb IP sítí je definována doporučením ITU-T Y.1540, viz [11]. Doporučení definuje parametry, které mohou být použity pro určení rychlosti, přesnosti a dostupnosti služby poskytující přenos IP paketů (tzv. IP služba). Parametry kvality služeb vychází z kvality služeb digitálních sítí a jsou použity ve výkonnostní matici s dvoustavovým modelem dostupnosti, viz Obr. 1.

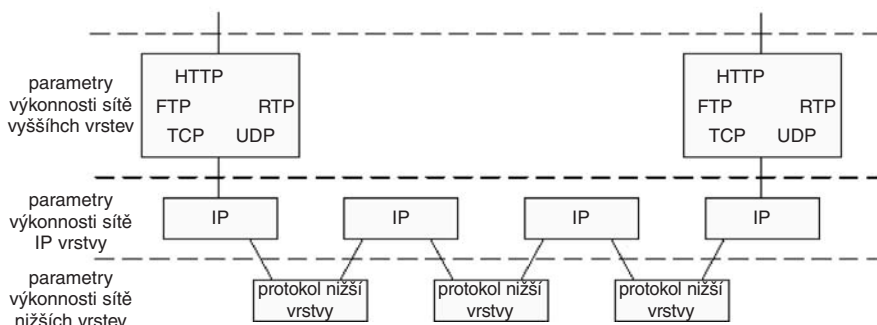


**Obr. 1: Matice parametrů kvality služeb IP sítí s funkcí dostupnosti**

Hodnocení kvality služeb vychází z protokolových referenčních událostí, které jsou měřitelné v definovaných bodech. Referenční události jsou:

- paket přijat koncovou stanicí
- paket vyslán koncovou stanicí
- paket přijat částí sítě
- paket vyslán částí sítě

Pro popis kvality služeb IP sítí byl definován vrstvý model parametrů výkonnosti sítě, viz Obr. 2.



**Obr. 2: Parametry výkonnosti sítě vrstev v IP sítích**

Nevýhodou datových sítí založených na protokolu IP z hlediska použitých komunikačních protokolů je velká nejednotnost. V telekomunikačních sítích je použitou komunikační architekturou definován celý komunikační proces. V datových sítích je jediným společným prvkem síťový protokol IP. Je nezávislý na nižší (přenosové) a vyšší (aplikační) vrstvě.

Nižší vrstvy mohou využívat různých přenosových technologií, např. ATM (*Asynchronous Transport Mode*), Frame Relay, ISDN (*Integrated Services Digital Network*). Vyšší vrstvy se opírají o transportní protokoly definované TCP/IP modelem, tedy o protokoly TCP (*Transmission Control Protocol*) a UDP (*User Datagram Protocol*). Aplikačními protokoly využívajícími služeb protokolů TCP a UDP jsou např. protokoly FTP (*File Transfer Protocol*), RTP (*Real Time Protocol*), SIP (*Session Initiation Protocol*), H.323 ...

Vrstvy nad protokolem IP mohou vylepšovat kvalitu služeb poskytovanou IP vrstvou. Výkonnost sítě poskytovaná uživatelům IP služby, tedy závisí na výkonnosti ostatních vrstev.

Primární parametry definovány pro datovou síť s IP protokolem jsou:

- **Zpoždění přenosu paketů** (*IP Packet Transfer Delay, IPTD*) – je čas, který uplyne od odeslání paketu zdrojovým uzlem po její přijetí na uzlu cílovém; zahrnuje zpoždění na přenosové trase a na zařízeních, které jsou její součástí.
  - **Průměrné zpoždění přenosu paketů** – průměr zpoždění přenosu paketů ze zvolené množiny paketů.
  - **Změna zpoždění přenosu paketů** – rozdíl mezi zpožděním přenosu paketu a referenčním zpožděním přenosu paketů. Referenční zpoždění paketů je průměrné zpoždění přenosu paketů vyhodnocované od přenosu prvního paketu.
- **Poměr chybných paketů** (*IP Packet Error Ratio, IPER*) – poměr počtu chybně přenesených paketů k celkovému počtu přenesených paketů ze zvolené množiny paketů.

$$IPER = \frac{N_{chybně}}{N_{bezchybně} + N_{chybně}}$$

kde:  $N_{chybně}$  – počet chybně přenesených paketů  
 $N_{bezchybně}$  – počet bezchybně přenesených paketů.

- **Poměr ztracených paketů** (*IP Packet Loss Ratio, IPLR*) – poměr počtů ztracených paketů k počtu přenášených paketů ze zvolené množiny paketů.

$$IPLR = \frac{N_{ztracených}}{N_{odeslaných}}$$

kde:  $N_{ztracených}$  – počet paketů, které nedorazí k příjemci  
 $N_{odeslaných}$  – celkový počet odeslaných paketů.

- **Poměr nežádoucích paketů** – poměr počtu nevyžádaných paketů přijatých během daného časového úseku dělený dobou časového úseku.
- **Propustnost paketů** (*IP Packet Throughput, IPPT*) – počet úspěšně přenesených paketů během definovaného časového úseku dělený dobou časového úseku.
- **Propustnost oktetů** (*Octet Based IP Packet Throughput, IPOT*) – počet oktetů v paketech, které byly úspěšně přeneseny během definovaného časového úseku dělený dobou časového úseku.

Minimální počet paketů, které by měly být zahrnuty do vyhodnocování dostupnosti služby, nebyl definován a je stále ve stavu výzkumu. Minimální doba trvání, po kterou je vyhodnocována dostupnost služby byla provizorně zvolena na 5 minut.

Sekundární parametry pro IP službu byly definovány:

- **Procentuální nedostupnost IP služby** (*Percent IP service Unavailability, PIU*) – procentuální zastoupení doby, po kterou je IP služba nedostupná, z celkové doby provozu služby.
- **Procentuální dostupnost IP služby** (*Percent IP Service Availability, PIA*) – procentuální zastoupení doby, po kterou je IP služba dostupná, z celkové doby provozu služby.

## 4 Techniky pro zajištění kvality služeb v IP sítích

Základními technikami pro zajištění kvality služeb jsou:

- předimenzování spoje
- rezervace síťových zdrojů
- prioritní mechanismy

**Předimenzování datového spoje** – je dnes především v LAN prostředí nej-používanější metodou, jak zajistit všem aplikacím dostatečné pásmo. Ve WAN

prostředí jde o neefektivní a dokonce snad i nereálnou záležitost, při stávajícím nárůstu používaných aplikací je každé předimenzování pouze dočasné.

**Rezervace síťových zdrojů** – je založeno na tom, že aplikace, která potřebuje určité přenosové prostředky, provede jejich rezervaci. Síťové prvky si vyčlení část svých prostředků pro dané spojení a tyto prostředky již nelze využívat jinými spojeními. Po ukončení přenosu je opět uvolní. Typickým představitelem je technologie IntServ (*Integrated Services*) podpořena rezervačním protokolem RSVP (*Resource reservation Protocol*). Technologie IntServ definuje nové služby, u kterých jsou již zajištěny určité parametry kvality služeb a musí být podporována jak ze strany koncových stanic, mezi nimiž se rezervace vytváří, tak ze strany uzlů sítě pracujícími na síťové vrstvě RM OSI (směrovače), přes které spojení prochází. Z použitých architektur pro zajištění kvality služeb v IP sítích jsou integrované služby nejnáročnější pro provádění a implementaci.

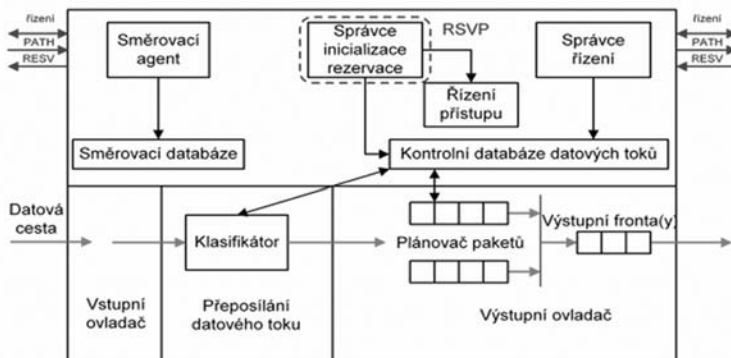
**Prioritní mechanismy** – jsou dnes aplikovány několika metodami na různých úrovních komunikace, jde pouze o způsob definice, na základě jakých kritérií bude priorita provedena. Typickým představitelem metody jsou technologie DiffServ (*Differentiated Services*), MPLS (*Multiprotocol Label Switching*) a SBM (*Subnet Bandwidth Management*).

#### **4.1 IntServ**

Je prvním modelem schopným zaručit QoS. Využívá metodu rezervace síťových prostředků, který aplikuje na jednotlivé datové toky. Na žádost aplikace jsou podle dostupnosti síťových prostředků tyto prostředky (požadovaná šířka pásma a vyrovnávací paměti) buď poskytnuty a zpět je zasláno pozitivní potvrzení nebo negativní odpověď. Tuto funkci zajišťuje blok řízení přístupu (*Admission Control*). Bez jeho přítomnosti by model IntServ zaručoval všechny dostupné zdroje všem třídám paketů a mohl by poskytovat opět jen služby typu „*best-effort*“.

Na rezervaci zdrojů se podílí další přidružené mechanismy, včetně plánovacích charakteristik (*desired scheduling characteristics*), profilů zdroje datového toku, kritérií klasifikace datového toku či rezervačních identifikátorů. Funkci mapování paketů do servisních tříd provádí **třídič paketů** (*packet classifier*). Daná servisní třída tvoří samostatný datový tok a každý paket se stejnou servisní třídou je zpracováván identicky. Třídič paketů je součástí směrovačů i koncových zařízení. **Plánovač paketů** (*packet scheduler*) řídí odesílání paketů podle odpovídající

servisní třídy, tj. datového toku. Přesné umístění zmíněných komponent je uvedeno na blokovém schématu modelu IntServ, viz Obr. 3.



**Obr. 3: Blokové schéma QoS modelu Integrated Services**

Podle druhu aplikace umožňuje model IntServ využít tři třídy služeb

- **zaručená QoS** (*Guaranteed QoS*) – určena pro RTI (*Real-Time Intolerant*) aplikace, které vyžadují minimální zpoždění a kolísání zpoždění (např. videokonference). Garantuje aplikaci šířku pásma a horní hranice zpoždění. Svým charakterem je nejbližší emulaci komutovaných spojení v telefonní síti.
- **služba s řízením zátěže** (*Controlled Load Service*) – určena pro RTT (*Real-Time Tolerant*) aplikace, které se dokáží vyrovnat s občasným zvýšením zpoždění přenosu paketů a občasnými ztrátami paketů (např. video/audio aplikace). Odpovídá službě typu *best-effort* za podmínek nezátížené nebo málo využití sítě. Je garantováno průměrné zpoždění a doručení vysokého procenta vyslaných dat.
- klasická služba „*best-effort*“.

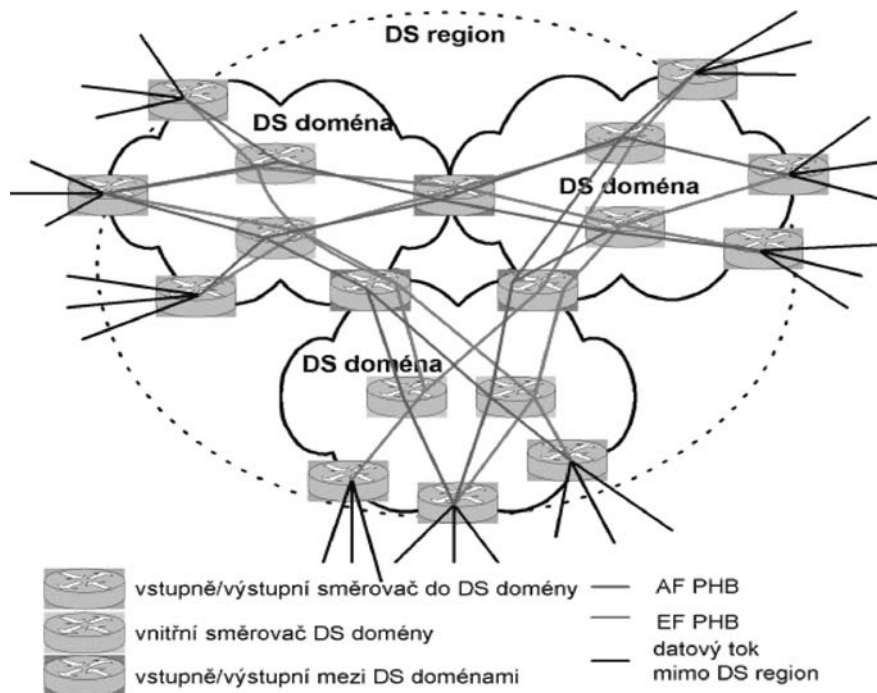
## 4.2 DiffServ

**DiffServ** umožňuje zaručení předvídatelné kvality služeb pomocí poskytování různých tříd přenosu. Každý odesílaný paket je označen značkou, která určuje třídu přenosu. Jakmile přijme síťový prvek takto označovaný paket, určí dle značky metodu jeho zpracování. Síťové prvky si nemusí udržovat informace o parametrech jednotlivých spojení. Udržují se pouze informace o třídách přenosu.

Upravený datový tok je ve vstupním bodě sítě zpracován podle tzv. chování uzlu PHB (*per-hop behavior*) – předem definovaných kritérií síťové politiky související



cích s klasifikací paketu a zpracováním paketu jednotlivými směrovači nezávisle na ostatních směrovačích. Příslušná třída je značena pomocí pole DS v hlavičce IP paketu vhodným kódem DSCP (Differentiated Services Code Point). Takto označené pakety při průchodu sítí spouští v aktivních prvcích sítě vybrané PHB a podle tohoto označení jsou sítě zpracovány. PHB tak identifikuje prioritu zpracování paketu ve směrovači. Na výstupním bodě sítě je označení z paketů odstraněno.



Obr. 4: Schéma sítě DiffServ

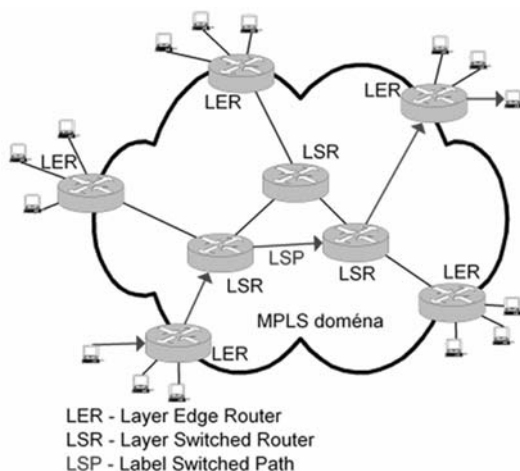
Síťová politika DiffServ je založena na tzv. dohodě o úrovni služby SLA (*Service Level Agreement*) mezi uživatelem a poskytovatelem služby. SLA popisuje, které DS služby provozovatel poskytuje a garantuje jejich parametry a u kterých záruky QoS neposkytuje. SLA upřesňuje TCA (*Traffic Conditioning Agreement*). TCA přesně popisuje parametry pro každou úroveň služby: očekávanou propustnost, pravděpodobnost zahození paketu, zpoždění, DS značení atd. Servisní třídy mohou být definovány poskytovatelem služby, účastníkem nebo dohodou na SLA/TCA mezi oběma stranami.

DiffServ jsou implementovány v koncových stanicích a v uzlech sítě. Architektura DiffServ je díky své jednoduchosti nejvíce prosazována vzhledem k ostatním architektuřám zejména v páteřních sítích.

### 4.3 MPLS

MPLS je hybridní technologii, která nahrazuje směrování na síťové vrstvě přepínáním podle návěští (*label switching*) na spojové vrstvě RM OSI. Tímto způsobem dochází ke zrychlení směrovacího procesu. Přepínání paketů je prováděno pomocí návěští, které je přiřazeno paketům vstupujícím do sítě s touto architekturou. Pomocí návěští jsou dále pakety směrovány k dalšímu směrovači. V části sítě, která pracuje s přepojováním paketů s návěštím, jsou tak vytvářeny virtuální okruhy. MPLS má výhodu nezávislosti na použitém komunikačním protokolu tj. nejen pro IP.

MPLS používá značkování rámců 20bitovou značkou (label). Tato značka je přidávána na vstupním směrovači MPLS sítě a na výstupním směrovači je odebírána. Značka slouží pro rychlejší průchod paketů sítě, neboť pakety jsou značkovány na základě jejich směrování. Kvalita služby je v MPLS zajištěna také prostřednictvím značky, do které jsou promítnuty podmínky na vstupním směrovači a to na základě vztahu MPLS  $\Leftrightarrow$  IntServ nebo MPLS  $\Leftrightarrow$  DiffServ. MPLS není přímo ovládáno aplikací, ale pouze prostřednictvím jiné technologie, zajišťující kvalitu služby ještě před vstupem do MPLS sítě.



**Obr. 5: MPLS doména**

MPLS síť se skládá z MPLS směrovačů, které se označují LSR (*Label Switched Router*). Směrovače na okraji MPLS sítě se označují LER (*Label Edge Router*). Při vstupu IP paketu do MPLS domény analyzuje LER jeho záhlaví. Podle směrovací informace v záhlaví pak paketu přiřadí návěští. LSR směrovače směrují paket na základě tohoto návěští. O distribuci návěští v síti se stará *Label Distribution Protocol* (LDP). Pakety prochází sítí po tzv. *Label Switched Path* (LSP). MPLS doménu znázorňuje Obr. 5.

MPLS je implementováno v uzlech komunikační sítě.

#### **4.4 SBM**

SBM architektura je určena pro lokální síť a je zaměřena na spojovou vrstvu RM OSI. Základem SBM jsou protokoly IEEE 802.1p (prioritizace v sítích Ethernet), IEEE 802.1Q (standard pro VLAN síť) a IEEE 802.1D (standard pro mosty v Ethernet sítích), které definují možnosti klasifikace rámců LAN sítí za účelem rychlého doručení rámců aplikací citlivých na zpoždění. Správce přenosové kapacity (*Subnet Bandwidth Manager*) je signalizačním protokolem SBM technik a jeho úkolem je mapování QoS požadavků vyšších vrstev OSI do vrstev nižších a řízení komunikace a koordinace chování síťových uzlů a přepínačů v SBM podsíti.

SBM přepínače jsou protokolové entity pracující mezi vrstvou 2 a 3 a řídí provoz na L2 segmentu LAN sítě. Na jednom segmentu SBM podsítě může být více SBM přepínačů. V tom případě je jeden vybrán jako "určený" (*Designated SBM, DSBM*). DSBM je při žádosti o přidělení síťových prostředků zodpovědný za řízení přístupu na segment.

SBM je implementována v koncových stanicích i v uzlech komunikační sítě.

## **5 Závěr**

Pro kvalitu služeb IP sítí v současné době neexistuje standardizovaný a ucelený popis, který by zahrnoval všechny aspekty této problematiky. Mezi nejznámější subjekty, které se zabývají kvalitou služeb IP sítí, patří organizace ITU-T (International Telecommunication Union, Telecommunication Section). V doporučeních je řada bodů, které jsou ponechány pro budoucí řešení. Mezi tyto body například spadá volba primárních parametrů pro vyhodnocování funkce dostupnosti nebo volba prahových hodnot pro tyto parametry.

## **Literatura**

- [1] Blake, S. et al. *An Architecture for Differentiated Services*. RFC2475, IETF NWG. Prosinec 1998.
- [2] Braden, R. et al. *Integrated Services in the Internet Architecture: an Overview*. RFC1633, IETF NWG. Červen 1994.
- [3] McDysan, D: *QoS & Traffic Management in IP & ATM Networks*. McGraw Hill, 2000. ISBN 0-07-134959-6.
- [4] Ferguson, P – Huston, G.: *Quality of Service Delivering QoS on the Internet and in Corporate Networks*. John Wiley & Sons, Inc, 1998. ISBN 0-471-24358-2.
- [5] Giroux, G. – Ganti, S.: *Quality of Service in ATM Networks*, Prentice Hall, 1999.
- [6] Rosen, E. *Multiprotocol Label Switching Architecture*. RFC3031, IETF NWG. Leden 2001.
- [7] Yavatkar, R. *SBM (Subnet Bandwidth Manager): A Protocol for RSVP-based Admission Control over IEEE 802-style networks*. RFC2814, IETF NWG. Květen 2000.
- [8] ITU-T E.800: *Terms and Definitions Related to Quality of Service and Network Performance Including Dependability*. ITU-T doporučení, 1994.
- [9] ITU-T I.350: *General aspects of quality of service and network performance in digital networks, including ISDNs*. ITU-T doporučení, 1993.
- [10] ITU-T X.140: *General quality of service parameters for communication via public data network* ITU-T doporučení, 1992.
- [11] ITU-T Y.1540: *Internet protocol data communication service – IP packet transfer and availability performance parameters*. ITU-T doporučení, 1999.
- [12] PEUHKURI, M. *IP Quality of Service*. [online] poslední aktualizace 1999-05-21 [cit. 2006-10-05]. Dostupné z: <<http://keskus.hut.fi/u/puhuri/htyo/Tik-110.551/iwork/iwork.html>>