

---

---

# S A D R Ź A J

---

---



<b>PREDGOVOR</b> .....	<b>1</b>
<b>1. U V O D</b> .....	<b>3</b>
<b>2. FUNKCIJE, PRINCIPI I CILJEVI INŽENJERINGA IP SAOBRAĆAJA</b> .....	<b>9</b>
2.1 ITU-T model inženjeringa telekomunikacionog saobraćaja .....	9
2.2 Principi i ciljevi inženjeringa IP saobraćaja .....	10
2.3 Konteksti inženjeringa IP saobraćaja .....	13
2.3.1 Kontekst mreže.....	13
2.3.2 Kontekst problema .....	15
2.3.3 Kontekst rešenja .....	15
2.3.3.1 Analiza i kontrola rutiranja.....	16
2.3.3.2 Upravljanje zagušenjem.....	17
2.3.3.3 Održivost mreže.....	18
2.3.4 Kontekst implementacije i operativnog rada mreže .....	19
2.4 Faze procesa TE u operativnom kontekstu.....	20
2.5 Klasifikacija sistema inženjeringa IP saobraćaja.....	21
2.5.1 TE sistemi zavisni od vremena, stanja i događaja .....	21
2.5.2 Off-line i on-line TE sistemi .....	22
2.5.3 Centralizovani i distribuirani TE sistemi.....	22
2.5.4 TE sistemi sa lokalnim i globalnim informacijama .....	23
2.5.5 Regulatorni i deskriptivni TE sistemi.....	23
2.5.6 TE sistemi sa otvorenom i zatvorenom petljom .....	23
2.5.7 Taktički i strateški TE sistemi .....	23
2.6 Inženjering saobraćaja u višedomenskoj IP mreži .....	24
<b>3. ARHITEKTURE I MEHANIZMI IMPLEMENTACIJE</b>	
<b>IP KVALITETA SERVISA</b> .....	<b>25</b>
3.1 Definicije kvaliteta servisa u IP mrežama .....	25

---

---

3.1.1	Opšti model kvaliteta servisa .....	26
3.1.2	ITU-T/ETSI pristup .....	26
3.1.3	IETF pristup .....	27
3.1.4	Parametri kvaliteta servisa i mere performansi .....	28
3.1.5	Klasa servisa i nivo servisa .....	29
3.2	IETF arhitekture kvaliteta servisa u IP mrežama .....	29
3.2.1	Arhitektura integriranih servisa .....	30
3.2.2	Arhitektura diferenciranih servisa .....	31
3.2.3	Hibridne QoS arhitekture .....	36
3.2.4	MPLS tehnologija i IP QoS arhitekture .....	37
3.3	Mehanizmi implementacije QoS .....	39
3.3.1	Mehanizmi u korisničkoj ravni .....	40
3.3.1.1	Klasifikacija paketa i kondicioniranje saobraćaja .....	40
3.3.1.2	Opsluživanje paketa .....	43
3.3.1.3	Upravljanje redovima .....	45
3.3.2	Mehanizmi u kontrolnoj ravni .....	47
3.3.2.1	Kontrola pristupa .....	47
3.3.2.2	QoS rutiranje .....	48
3.3.2.3	Dodeljivanje resursa i QoS signalizacija .....	51
3.3.3	Mehanizmi u upravljačkoj ravni .....	51
3.3.3.1	Ugovaranje QoS .....	51
3.3.3.2	Politika upravljanja .....	52
3.3.3.3	Merenje IP saobraćaja .....	54
3.3.3.4	Restauracija IP saobraćaja .....	55
3.4	Uloga inženjeringa IP saobraćaja u obezbeđivanju QoS .....	56
<b>4.</b>	<b>PRISTUP DINAMIČKOM UPRAVLJANJU</b>	
	<b>MULTISERVISNOM IP MREŽOM .....</b>	<b>59</b>
4.1	Pregled aktuelnih problema istraživanja u oblasti automatizacije sistema za nadzor i upravljanje .....	59
4.2	Klasifikacija servisa i formalne specifikacije nivoa servisa .....	61
4.2.1	Predlog klasifikacije servisa u multiservisnoj IP mreži .....	62
4.2.2	Predlog opšte strukture i formata SLS .....	66
4.3	Funkcionalni modeli upravljanja IP domenom i višedomenskom mrežom .....	69
4.3.1	Hijerarhijski model upravljanja IP QoS i veza sa TMN arhitekturom .....	69
4.3.2	Upravljanje DiffServ domenom .....	70
4.3.3	Distribuirano upravljanje višedomenskom mrežom .....	72
4.3.4	Centralizovano upravljanje višedomenskom mrežom .....	72
4.4	Ugovaranje QoS između domena .....	73
4.4.1	QoS signalizacioni protokoli .....	74

4.4.1.1	Razvoj i standardizacija QoS signalizacionih protokola	74
4.4.1.2	Generički model QoS signalizacionog protokola	75
4.4.2	Uporedna analiza performansi distribuiranog i centralizovanog modela	77
4.4.2.1	Intenzitet signalizacionog saobraćaja	78
4.4.2.2	Vreme odziva na zahtev za uspostavljanje SLA	82
4.4.2.3	Skalabilnost	85
4.5	Sprega inženjeringa IP saobraćaja i entiteta upravljanja kvalitetom servisa	87
4.5.1	Inženjering IP saobraćaja u domenu	87
4.5.2	Inženjering IP saobraćaja u višedomenskoj mreži	88
4.5.3	Kontrola rutiranja IP saobraćaja	90
4.6	Zahtevi za interoperabilnost domena	91
4.7	Rezime uporedne analize performansi modela upravljanja višedomenskom mrežom	92
<b>5.</b>	<b>MEHANIZMI ZA UPRAVLJANJE REDOVIMA U DiffServ MREŽI:</b>	
	<b>izbor i konfigurisanje parametara</b>	<b>95</b>
5.1	Algoritmi RED i WRED	95
5.2	Problem konfigurisanja parametara WRED i RIO	97
5.3	Izbor i konfigurisanje mehanizama za upravljanje redovima u DiffServ mreži	98
5.3.1	Ciljna hijerarhija nivoa QoS	98
5.3.2	Predlog metoda konfigurisanja parametara	99
5.4	Simulacija i rezultati	102
5.4.1	Simulacioni model	102
5.4.2	Simulacioni eksperimenti i rezultati simulacije	104
<b>6.</b>	<b>KONTROLA RUTIRANJA U PROCESU INŽENJERINGA IP SAOBRAĆAJA</b>	<b>115</b>
6.1	Inženjering IP saobraćaja u domenu sa OSPF protokolom	115
6.1.1	Adaptacija težinskih faktora linkova	115
6.1.2	Ekstenzija OSPF za potrebe inženjeringa IP saobraćaja u domenu	117
6.2	Kontrola rutiranja u domenu u MPLS i GMPLS mrežama	117
6.2.1	Generalizovano QoS rutiranje i inženjering saobraćaja u MPLS mreži	117
6.2.2	Hibridno višeslojno QoS rutiranje saobraćaja u GMPLS mreži	119
6.3	Inženjering IP saobraćaja između domena sa BGP protokolom i ekstenzijama BGP	120
6.3.1	Inženjering IP saobraćaja između domena sa BGP protokolom	122
6.3.1.1	Kontrola odlaznog saobraćaja	122
6.3.1.2	Kontrola dolaznog saobraćaja	123

6.3.2	BGP protokol sa rezervacijom resursa – BGRP i BGRP+ .....	123
6.3.3	Heuristički algoritam za selekciju izlaznog rutera sa garantovanim propusnim opsegom – BGERS .....	124
6.3.4	Mogućnosti primene MPLS TE tunela za kontrolu odlaznog i dolaznog saobraćaja.....	126
<b>7.</b>	<b>SKALABILNI HEURISTIČKI METODI INŽENJERINGA IP SAOBRAĆAJA U DiffServ OKRUŽENJU ZASNOVANI NA ADAPTACIJI CENA LINKOVA.....</b>	<b>129</b>
7.1	Osnovni DV algoritam .....	129
7.2	Predlog metoda TE i modifikacija DV algoritma u DiffServ okruženju .....	131
7.2.1	TEnE – diferencijacija cene sa n nivoa po svim linkovima.....	134
7.2.2	TE2E – diferencijacija cene sa 2 nivoa po svim linkovima.....	134
7.2.3	TEnC – diferencijacija cene sa n nivoa po kritičnim linkovima..	135
7.2.4	TE2C – diferencijacija cene sa 2 nivoa po kritičnim linkovima..	137
7.2.5	Zahtevi za implementaciju modifikovanih DV protokola .....	137
7.3	Određivanje cene linka u funkciji mere performanse.....	139
7.3.1	Cena linka u funkciji generalizovane mere performanse .....	140
7.3.1.1	Predlog generičke funkcije cene .....	140
7.3.1.2	Predlog aproksimacije generičke funkcije cene.....	140
7.3.2	Preslikavanje konkretnih u generalizovanu meru performanse... 143	
7.3.2.1	Normalizovano iskorišćenje linka .....	143
7.3.2.2	Normalizovano kašnjenje i džiter .....	144
7.3.2.3	Normalizovana verovatnoća gubitka paketa .....	144
7.3.2.4	Normalizovana kombinovana mera performanse .....	145
7.4	Simulacija i rezultati.....	146
7.4.1	Simulacioni model.....	146
7.4.2	Usporedna analiza metoda TE u uslovima preopterećenja kritičnih linkova .....	147
7.4.3	Skalabilnost metoda TE.....	153
7.4.4	Efikasnost metoda TE2C i TEnC u zavisnosti od procenta kritičnih linkova.....	158
7.5	Elementi administrativne politike TE.....	160
<b>8.</b>	<b>TARIFIRANJE U FUNKCIJI INŽENJERINGA IP SAOBRAĆAJA.....</b>	<b>165</b>
8.1	Funkcije upravljanja tarifiranjem .....	165
8.2	Okvirni rad IETF za upravljanje tarifiranjem i pridruženi protokoli.....	167
8.3	Funkcija tarifnih mehanizama u kontroli zagušenja mreže .....	168
8.3.1	Statički tarifni mehanizmi .....	169
8.3.2	Dinamički tarifni mehanizmi.....	170
8.3.3	Hibridni tarifni mehanizmi.....	172

8.4	Automatizovano tarifiranje na osnovu politike upravljanja .....	173
8.5	Programabilno upravljanje tarifiranjem .....	174
8.6	Upravljanje tarifiranjem u kontekstu entiteta upravljanja kvalitetom servisa (QM).....	176
<b>9.</b>	<b>ZAHTEVI ZA MEHANIZME QoS I INŽENJERING SAOBRAĆAJA U AIPN .....</b>	<b>179</b>
9.1	Ključni aspekti AIPN .....	179
9.1.1	Konvergencija fiksne i mobilne mreže.....	180
9.1.2	Fiksne IP QoS mreže za pristup .....	181
9.1.3	Zahtevi za tarifiranje servisa .....	182
9.2	Specifikacija generičkog servisa u AIPN .....	183
9.3	NSIS – skup QoS signalizacionih protokola za AIPN .....	184
9.4	Zahtevi za inženjering saobraćaja u AIPN .....	186
<b>10.</b>	<b>ASPEKTI ZAŠTITE INFRASTRUKTURE MULTISERVISNIH IP MREŽA.....</b>	<b>189</b>
10.1	Problemi zaštite infrastrukture multiservisnih IP mreža .....	189
10.2	Sistematizacija napada na infrastrukturu IP QoS mreža i analiza mehanizama zaštite .....	191
10.2.1	Zlonamerna modifikacija tabela rutiranja .....	191
10.2.2	Modifikacija, falsifikovanje i replikacija IP paketa.....	194
10.2.3	Napadi na QoS signalizacione protokole.....	196
10.2.4	Odbijanje servisa – DoS.....	197
10.3	Klasifikacija servisa u uslovima implementacije IPSec.....	198
10.4	Zaštita protokola rutiranja modifikovanih za TE .....	199
10.4.1	Generalizovano QoS rutiranje .....	199
10.4.2	Zaštita od zlonamerne modifikacije tabela rutiranja .....	200
10.5	Dinamičko upravljanje zaštitom u IP QoS mreži .....	201
10.5.1	Modifikacija SLA i SLS u uslovima implementacije servisa zaštite .....	201
10.5.2	Upravljanje zaštitom u kontekstu entiteta upravljanja kvalitetom servisa (QM) .....	202
<b>11.</b>	<b>ZAKLJUČNA RAZMATRANJA .....</b>	<b>205</b>
11.1	Arhitektura upravljanja multiservisnom IP mrežom .....	206
11.2	Performanse modela dinamičkog upravljanja višedomenskom IP mrežom .....	206
11.3	Izbor i konfigurisanje mehanizama za upravljanje redovima.....	207
11.4	Novi pristup kontroli QoS rutiranja u procesu TE .....	208
11.5	Dinamičko upravljanje tarifiranjem .....	209
11.6	Aspekti zaštite infrastrukture multiservisne IP mreže u kontekstu predloženih modela i metoda TE .....	210
11.7	Mogući pravci daljeg istraživanja .....	210

---

<b>L I T E R A T U R A .....</b>	<b>211</b>
<b>PRILOG I: Modelovanje IP saobraćaja .....</b>	<b>225</b>
<b>PRILOG II: Simulatori IP mreža .....</b>	<b>231</b>
II.1 OPNET Modeler, SSFNet i J-SIM.....	231
II.2 NS2 i pridruženi alati .....	232
II.3 Usporedna analiza NS2 i drugih simulatora IP mreža .....	235
<b>SPISAK SLIKA .....</b>	<b>237</b>
<b>SPISAK TABELA .....</b>	<b>241</b>
<b>SPISAK SKRAĆENICA .....</b>	<b>243</b>
I Stručni termini.....	243
II Nazivi međunarodnih organizacija, projekata i standarda .....	247
<b>REČNIK TERMINA .....</b>	<b>249</b>
<b>BELEŠKA O AUTORIMA.....</b>	<b>259</b>