# SADRŽAJ


**PREDGOVOR XVII**

**1 UVOD 1**

1.1 UPOTREBA RAČUNARSKIH MREŽA 3
- 1.1.1 Poslovne mreže 3
- 1.1.2 Kućne mreže 6
- 1.1.3 Pokretni korisnici 10
- 1.1.4 Društveni aspekti 14

1.2 MREŽNI HARDVER 17
- 1.2.1 Lične mreže 18
- 1.2.2 Lokalne mreže 19
- 1.2.3 Gradske mreže 23
- 1.2.4 Regionalne mreže 23
- 1.2.5 Kombinovane mreže 27

1.3 MREŽNI SOFTVER 29
- 1.3.1 Hijerarhije protokola 29
- 1.3.2 Problematika projektovanja slojeva 33
- 1.3.3 Usluge sa uspostavljanjem direktne veze i bez nje 35
- 1.3.4 Osnovne operacije za definisanje usluge 37
- 1.3.5 Odnos između usluga i protokola 39

1.4 REFERENTNI MODELI 40
- 1.4.1 Referentni model OSI 40
- 1.4.2 Referentni model TCP/IP 44
- 1.4.3 Model korišćen u knjizi 46
- 1.4.4 Poređenje referentnih modela OSI i TCP/IP 47
- 1.4.5 Kritika modela OSI i njegovih protokola 49
- 1.4.6 Kritika referentnog modela TCP/IP 51

1.5 PRIMERI MREŽA 52
1.5.1 Internet 52
1.5.2 Mreže mobilne telefonije treće generacije 62
1.5.3 Bežični LAN: 802.11 67
1.5.4 RFID i senzorske mreže 70

1.6 STANDARDIZOVANJE MREŽA 73
1.6.1 Ko je ko u svetu telekomunikacija 74
1.6.2 Ko je ko u svetu međunarodnih standarda 75
1.6.3 Ko je ko u svetu standarda za internet 77

1.7 METRIČKE JEDINICE 79

1.8 PREGLED OSTATKA KNJIGE 80

1.9 SAŽETAK 81

**2 FIZIČKI SLOJ 87**

2.1 TEORIJSKE OSNOVE PRENOSA PODATAKA 88
2.1.1 Furijeova analiza 88
2.1.2 Signali ograničeni propusnim opsegom 89
2.1.3 Najveća brzina prenosa kroz kanal 91

2.2 FIZIČKI MEDIJUMI ZA PRENOS PODATAKA 93
2.2.1 Magnetni medijumi 93
2.2.2 Upredene parice 94
2.2.3 Koaksijalni kabl 95
2.2.4 Elektroenergetski vodovi 96
2.2.5 Optičko vlakno 97

2.3 BEŽIČNI PRENOS PODATAKA 102
2.3.1 Elektromagnetni spektar 103
2.3.2 Prenos podataka radio-talasima 106
2.3.3 Prenos podataka mikrotalasima 107
2.3.4 Infracrveni prenos 111
2.3.5 Prenos podataka vidljivom svetlošću 111

2.4 KOMUNIKACIONI SATELITI 113
2.4.1 Sateliti s geostacionarnom orbitom 114
2.4.2 Zemljini sateliti srednje orbite 118
2.4.3 Zemljini sateliti niske orbite 118
2.4.4 Poređenje satelitskih i optičkih veza 120

2.5 DIGITALNA MODULACIJA I MULTIPLEKSIRANJE 122
2.5.1 Prenos u osnovnom opsegu 122
2.5.2 Prenos u transponovanom području 127
2.5.3 Multipleksiranje podelom frekvencije 129
2.5.4 Multipleksiranje podelom vremena 131
2.5.5 Multipleksiranje podelom koda (CDMA – kodirani višestruki pristup) 132

2.6 JAVNA KOMUTIRANA TELEFONSKA MREŽA 135
2.6.1 Struktura telefonskog sistema 136
2.6.2 Politika telefonije 138
2.6.3 Lokalne linije: modemi, ADSL i optički kablovi 140
2.6.4 Vodovi i multipleksiranje 148
2.6.5 Komutiranje 156

2.7 SISTEM MOBILNE TELEFONIJE 160
2.7.1 Mobilna telefonija prve generacije (1G): analogni prenos glasa 161
2.7.2 Mobilna telefonija druge generacije (2G): digitalni prenos glasa 165
2.7.3 Mobilna telefonija treće generacije: digitalni prenos glasa i podataka 169

2.8 KABLOVSKA TELEVIZIJA 174
2.8.1 TV sa zajedničkom antenom 174
2.8.2 Kablovski Internet 175
2.8.3 Dodeljivanje frekvencija 176
2.8.4 Kablovski modemi 177
2.8.5 Poređenje ADSL linije i kablovske mreže 180

2.9 SAŽETAK 181

**3 SLOJ VEZE PODATAKA 187**

3.1 PROJEKTOVANJE SLOJA VEZE PODATAKA 188
3.1.1 Usluge koje se obezbeđuju za mrežni sloj 188
3.1.2 Uokvirivanje 190
3.1.3 Kontrola grešaka 194
3.1.4 Upravljanje tokom podataka 195

3.2 OTKRIVANJE I ISPRAVLJANJE GREŠAKA 196
3.2.1 Kodovi za ispravljanje grešaka 198
3.2.2 Kodovi za otkrivanje grešaka 203

3.3 OSNOVNI PROTOKOLI SLOJA VEZE PODATAKA 209
3.3.1 Utopijski protokol za jednosmeran prenos podataka 213
3.3.2 Jednosmerni protokol „stani i čekaj“ za kanal bez grešaka 215
3.3.3 Protokol „stani i čekaj“ za jednosmerno slanje podataka bučnim kanalom 216

3.4 PROTOKOLI KLIZNIH PROZORA 219
3.4.1 Jednobitni protokol kliznih prozora 222
3.4.2 Protokol tipa „vrati se N“ 224
3.4.3 Protokol sa selektivnim ponavljanjem 231

3.5 PRIMERI PROTOKOLA SLOJA VEZE 237
3.5.1 Prenos paketa pomoću SONET-a 237
3.5.2 Asimetrične digitalne pretplatničke linije (ADSL) 241

3.6 SAŽETAK 243

**4 PODSLOJ ZA UPRAVLJANJE PRISTUPOM MEDIJUMIMA 249**

4.1 PROBLEM DODELJIVANJA KANALA 250
4.1.1 Statičko dodeljivanje kanala 250
4.1.2 Pretpostavke za dinamičko dodeljivanje kanala 252

4.2 PROTOKOLI ZA VIŠEKORISNIČKI PRISTUP 253
4.2.1 ALOHA 254
4.2.2 Protokoli za višekorisnički pristup uz osluškivanje saobraćaja na nosiocu podataka 258
4.2.3 Protokoli u kojima se izbegava sukobljavanje 261
4.2.4 Protokoli sa ograničenom konkurencijom 265
4.2.5 Protokoli za bežične lokalne mreže 269

4.3 ETHERNET 272
4.3.1 Fizički sloj klasičnog Etherneta 272
4.3.2 Protokol MAC podsloja klasičnog Etherneta 274
4.3.3 Performanse Etherneta 277
4.3.4 Komutirani Ethernet 279
4.3.5 Brzi Ethernet 282
4.3.6 Gigabitni Ethernet 284
4.3.7 10-gigabitni Ethernet 288
4.3.8 Retrospektiva Etherneta 289

4.4 BEŽIČNE LOKALNE MREŽE 290
- 4.4.1 Arhitektura i skup protokola mreže 802.11 290
- 4.4.2 Fizički sloj mreže 802.11 292
- 4.4.3 Protokol MAC podsloja mreže 802.11 294
- 4.4.4 Struktura okvira u mreži 802.11 301
- 4.4.5 Usluge 302

4.5 ŠIROKOPOJASNI BEŽIČNI PRENOS 304
- 4.5.1 Poređenje mreža 802.16 sa 802.11 i 3G 305
- 4.5.2 Arhitektura i skup protokola mreže 802.16 306
- 4.5.3 Fizički sloj mreže 802.16 307
- 4.5.4 Protokol MAC podsloja mreže 802.16 309
- 4.5.5 Struktura okvira u mreži 802.16 310

4.6 BLUETOOTH 311
- 4.6.1 Arhitektura Bluetootha 312
- 4.6.2 Bluetooth aplikacije 313
- 4.6.3 Skup Bluetooth protokola 314
- 4.6.4 Radio-sloj sistema Bluetooth 315
- 4.6.5 Slojevi Bluetooth veze 315
- 4.6.6 Struktura Bluetooth okvira 317

4.7 RFID 318
- 4.7.1 Arhitektura EPC Gen 2 319
- 4.7.2 Fizički sloj EPC Gen 2 320
- 4.7.3 Sloj za identifikaciju čipa u EPC Gen 2 320
- 4.7.4 Formati poruka za identifikaciju čipova 322

4.8 KOMUTIRANJE U SLOJU VEZE 323
- 4.8.1 Upotreba mostova 323
- 4.8.2 Mostovi koji uče 325
- 4.8.3 Mostovi u razgranatom stablu 328
- 4.8.4 Repetitori, razvodnici, mostovi, skretnice, usmerivači, mrežni prolazi 331
- 4.8.5 Virtuelne lokalne mreže 333

4.9 SAŽETAK 339

# 5 MREŽNI SLOJ 345

5.1 PROJEKTOVANJE MREŽNOG SLOJA 345
5.1.1 Komutiranje paketa tehnikom „sačuvaj i prosledi“ 346
5.1.2 Usluge koje se pružaju transportnom sloju 346
5.1.3 Realizovanje usluge bez uspostavljanja direktne veze 348
5.1.4 Realizovanje usluge sa uspostavljanjem direktne veze 349
5.1.5 Poređenje mreža s virtuelnim kolima i datagramskih mreža 350

5.2 ALGORITMI ZA USMERAVANJE 352
5.2.1 Princip optimalnosti 354
5.2.2 Usmeravanje najkraćom putanjom 355
5.2.3 Plavljenje 357
5.2.4 Usmeravanje zasnovano na vektoru razdaljine 359
5.2.5 Usmeravanje zasnovano na tekućem stanju linija 363
5.2.6 Hijerarhijsko usmeravanje 368
5.2.7 Neciljano usmeravanje 369
5.2.8 Višeciljno usmeravanje 372
5.2.9 Blizinsko usmeravanje 375
5.2.10 Usmeravanje za pokretne računare 375
5.2.11 Usmeravanje u ad hoc mrežama 378

5.3 ALGORITMI ZA UPRAVLJANJE ZAGUŠENJEM 382
5.3.1 Rešenja za upravljanje zagušenjem 384
5.3.2 Usmeravanje na osnovu saobraćaja 385
5.3.3 Kontrola pristupa mreži 386
5.3.4 Prigušivanje saobraćaja 388
5.3.5 Odbacivanje opterećenja 392

5.4 KVALITET USLUGA 393
5.4.1 Zahtevi aplikacija 394
5.4.2 Ujednačavanje saobraćaja 396
5.4.3 Vremensko raspoređivanje paketa 401
5.4.4 Kontrola pristupa mreži 404
5.4.5 Integrisane usluge 408
5.4.6 Diferencirane usluge 410

5.5 POVEZIVANJE RAZLIČITIH MREŽA 414
5.5.1 Razlike između mreža 415
5.5.2 Načini međusobnog povezivanja mreža 416
5.5.3 Tunelovanje 419
5.5.4 Usmeravanje u kombinovanoj mreži 420
5.5.5 Fragmentiranje paketa 421

5.6 MREŽNI SLOJ NA INTERNETU 425
5.6.1 Protokol IP, verzija 4 427
5.6.2 IP adrese 431
5.6.3 Protokol IP, verzija 6 444
5.6.4 Upravljački Internet protokoli 453
5.6.5 Komutiranje paketa na osnovu oznaka i MPLS 458
5.6.6 OSPF – unutrašnji protokol za prolaženje 462
5.6.7 BGP – spoljni protokol za prolaženje granica 467
5.6.8 Višesmerno emitovanje na Internetu 472
5.6.9 IP komuniciranje s pokretnim računarima 473

5.7 SAŽETAK 476

## 6 TRANSPORTNI SLOJ 483

6.1 TRANSPORTNE USLUGE 483
6.1.1 Usluge koje se pružaju višim slojevima 484
6.1.2 Osnovne operacije transportnih usluga 485
6.1.3 Berkli utičnice 488
6.1.4 Primer programiranja utičnica: server za datoteke na Internetu 491

6.2 ELEMENTI TRANSPORTNIH PROTOKOLA 495
6.2.1 Adresiranje 496
6.2.2 Uspostavljanje veze 498
6.2.3 Raskidanje veze 504
6.2.4 Kontrola grešaka i upravljanje tokom podataka 508
6.2.5 Multipleksiranje 513
6.2.6 Oporavljanje posle pada sistema 514

6.3 UPRAVLJANJE ZAGUŠENJEM 516
6.3.1 Poželjna raspodela propusnog opsega 517
6.3.2 Regulisanje brzine slanja 521
6.3.3 Problemi u bežičnim mrežama 525

6.4 TRANSPORTNI PROTOKOLI ZA INTERNET: UDP 527
6.4.1 Uvod u protokol UDP 527
6.4.2 Daljinsko pozivanje procedura 529
6.4.3 Transportni protokoli za prenošenje podataka u realnom vremenu 532

6.5 TRANSPORTNI PROTOKOLI ZA INTERNET: TCP 538
6.5.1 Uvod u protokol TCP 538
6.5.2 TCP-ov model usluga 539
6.5.3 Protokol TCP 542
6.5.4 Zaglavlje TCP segmenta 543

6.5.5 Uspostavljanje TCP veze 546
6.5.6 Raskidanje TCP veze 548
6.5.7 Model upravljanja TCP vezom 548
6.5.8 TCP-ov klizni prozor 551
6.5.9 Upravljanje tajmerima u protokolu TCP 554
6.5.10 TCP upravljanje zagušenjem 557
6.5.11 Budućnost TCP-a 567

6.6 PERFORMANSE 568
6.6.1 Problemi performansi u računarskim mrežama 569
6.6.2 Merenje performansi mreže 570
6.6.3 Projektovanje računara za brze mreže 572
6.6.4 Brza obrada segmenata 575
6.6.5 Komprimovanje zaglavlja 579
6.6.6 Protokoli za duge debele mreže 580

6.7 MREŽE OTPORNE NA KAŠNJENJE 585
6.7.1 DTN arhitektura 586
6.7.2 Protokol Bundle 588

6.8 SAŽETAK 591

**7 SLOJ APLIKACIJA 597**

7.1 DNS – SISTEM IMENOVANJA DOMENA 597
7.1.1 DNS-ov imenski prostor 598
7.1.2 Zapisi resursa domena 602
7.1.3 Serveri za imena 605

7.2 ELEKTRONSKA POŠTA 609
7.2.1 Arhitektura i usluge 610
7.2.2 Korisnički agent 611
7.2.3 Formati poruka 616
7.2.4 Prenošenje poruka 623
7.2.5 Konačna isporuka 628

7.3 VEB – GLOBALNA RAČUNARSKA MREŽA 631
7.3.1 Pregled arhitekture veba 632
7.3.2 Statičke veb stranice 647
7.3.3 Dinamičke veb stranice i veb aplikacije 657
7.3.4 HTTP – protokol za prenošenje hiperteksta 668
7.3.5 Veb za mobilne uređaje 677
7.3.6 Pretraživanje veba 679

7.4 AUDIO I VIDEO SADRŽAJ U OBLIKU TOKOVA 681
7.4.1 Uvod u digitalni audio 683
7.4.2 Digitalni video 688
7.4.3 Reprodukovanje snimljenog multimedijskog sadržaja u realnom vremenu 696
7.4.4 Reprodukovanje multimedijskog sadržaja koji se emituje neprekidno 705
7.4.5 Video-konferencije u realnom vremenu 709

7.5 ISPORUKA SADRŽAJA 719
7.5.1 Sadržaj i saobraćaj na Internetu 720
7.5.2 Farme servera i veb posrednici 723
7.5.3 Mreže za isporuku sadržaja 727
7.5.4 Mreže ravnopravnih članova (P2P) 732

7.6 SAŽETAK 742

**8 BEZBEDNOST U MREŽI 747**

8.1 KRIPTOGRAFIJA 750
8.1.1 Uvod u kriptografiju 751
8.1.2 Supstitucione šifre 753
8.1.3 Transpozicione šifre 754
8.1.4 Jednokratni zapisi 756
8.1.5 Dva fundamentalna principa kriptografije 760

8.2 ALGORITMI ZA ŠIFROVANJE SIMETRIČNIM KLJUČEM 762
8.2.1 DES – standard za šifrovanje podataka 764
8.2.2 AES – napredni standard za šifrovanje 767
8.2.3 Režimi šifrovanja 770
8.2.4 Ostali algoritmi za šifrovanje 775
8.2.5 Kriptoanaliza 775

8.3 ALGORITMI ZA ŠIFROVANJE JAVNIM KLJUČEM 776
8.3.1 RSA 777
8.3.2 Ostali algoritmi za šifrovanje javnim ključem 779

8.4 DIGITALNI POTPISI 780
8.4.1 Potpisivanje simetričnim ključem 780
8.4.2 Potpisivanje javnim ključem 781
8.4.3 Sažeci poruka 783
8.4.4 Rođendanski napad 786

8.5 UPRAVLJANJE JAVNIM KLJUČEVIMA 789
8.5.1 Sertifikati 789
8.5.2 X.509 791
8.5.3 Infrastrukture za sertifikovanje javnih ključeva 792

8.6 BEZBEDNO KOMUNICIRANJE 796
8.6.1 IPsec 796
8.6.2 Zaštitne barijere 800
8.6.3 Virtuelne privatne mreže 803
8.6.4 Bezbednost u bežičnim mrežama 805

8.7 PROTOKOLI ZA PROVERU IDENTITETA 810
8.7.1 Provera identiteta pomoću deljenog tajnog ključa 811
8.7.2 Uspostavljanje deljenog ključa: Difi-Helmanova razmena ključa 815
8.7.3 Provera identiteta pomoću centra za distribuiranje ključeva 817
8.7.4 Provera identiteta pomoću Kerberosa 820
8.7.5 Provera identiteta pomoću javnih ključeva 822

8.8 ZAŠTITA E-POŠTE 823
8.8.1 PGP – prilično dobra privatnost 823
8.8.2 S/MIME 827

8.9 BEZBEDNOST NA VEBU 828
8.9.1 Bezbednosne pretnje na vebu 828
8.9.2 Bezbedno imenovanje 829
8.9.3 SSL – sloj bezbednih utičnica 834
8.9.4 Bezbednost pokretnog koda 837

8.10 DRUŠTVENI ASPEKTI 841
8.10.1 Privatnost 841
8.10.2 Sloboda izražavanja 844
8.10.3 Autorska prava 847

8.11 SAŽETAK 850

**9 DODATNA LITERATURA I BIBLIOGRAFIJA 857**

9.1 PREDLOZI ZA DALJE ČITANJE 857
9.1.1 Uvod i opšte teme 858
9.1.2 Fizički sloj 859
9.1.3 Sloj veze podataka 860
9.1.4 Podsloj za upravljanje pristupom medijumu 860
9.1.5 Mrežni sloj 860
9.1.6 Transportni sloj 862
9.1.7 Sloj aplikacija 862
9.1.8 Bezbednost u mreži 863

9.2 BIBLIOGRAFIJA 864

SPISAK TERMINA KORIŠĆENIH U KNJIZI 883

INDEKS 893