

UNIVERZA NA PRIMORSKEM

FAKULTETA ZA MATEMATIKO,  
NARAVOSLOVJE IN INFORMACIJSKE  
TEHNOLOGIJE KOPER

Računalništvo in informatika, 2. stopnja

Lucas Benedičič

Optimizacija skupnih referenčnih kanalov v  
omrežju UMTS

Mentor:

doc. dr. Peter Korošec

Koper, september 2009

# Ključna dokumentacijska informacija

**Ime in PRIIMEK:** Lucas BENEDIČIČ

**Naslov magistrske naloge:** Optimizacija skupnih referenčnih kanalov v omrežju UMTS

**Kraj:** Koper, Slovenija

**Leto:** 2009

**Število listov:** 86      **Število slik:** 36      **Število tabel:** 19

**Število prilog:** 0      **Število strani prilog:** 0

**Število referenc:** 48

**Mentor:** doc. dr. Peter Korošec

**UDK:** 621.395.5:004.738.5(043.2)

**Ključne besede:** WCDMA, UMTS, skupni referenčni kanal, CPICH, optimizacija, algoritem voden preko sil.

## Izvleček

Načrtovanje pokrivanja geografskega področja, optimizacija konfiguracije baznih postaj in povečanje zmogljivosti prenosa štejejo med pomembne probleme, s katerimi se morajo operaterji mobilnih komunikacij spopadati. Med analizo teh problemov radijski inženirji upoštevajo različne geografsko-socialne vidike (na primer gostota prebivalstva, relief in tip terena, mestna središča itd.) in več storitvenih kriterijev (na primer govor, video klice, internetni dostop itd.). S stališča mobilnega sistema so omenjeni problemi zelo kompleksni, saj je za njihovo reševanje potrebno nastaviti več parametrov in upoštevati dosežen učinek. Med nastavljanjem parametrov se inženirji pogosto znajdejo pred kompromisno nastavitvijo oddajne moči skupnih referenčnih kanalov (CPICH) celic. Ta je namreč skupni imenovalac več različnih problemov pri optimizaciji omrežja UMTS.

V celičnem sistemu UMTS je CPICH oddajni kanal v povezavah navzdol (angl. downlink). Celica oddaja signal CPICH s konstantno močjo in vnaprej določenim zaporedjem bitov. Oddajna moč je običajno med 5 % in 10 % skupne moči bazne postaje.

Mobilni terminali (t. j. telefoni) uporabljajo CPICH za prvo identifikacijo omrežja. Za nadaljnje prenose mobilni terminal potrebuje t. i. psevdo naključno kodo celice (angl. cell scrambling code), na katero je povezan. Psevdo naključno kodo prebere

mobilni terminal prav tako iz CPICH in je s tem pripravljen na oddajo ter sprejem nadaljnjih povezav s trenutno celico.

Namen CPICH po prvi vzpostavitvi zveze je zagotavljanje ocene kakovosti signala, potrebnega za krmiljenje moči na mobilnem terminalu in bazni postaji. S sistemskega stališča je kapaciteta celice odvisna od razpoložljive moči oddajnika ter motenj pri sprejemu. S krmiljenjem oddajne moči CPICH lahko spreminjamo doseg celice. Včasih je to edini način, da se izognemo prevelikemu prekrivanju tako »povečanih« celic, ki ga ne moremo rešiti z drugačnimi ukrepi (na primer z dodatnimi antenami).

Iz povedanega sledi, da je optimalna nastavitve oddajne moči CPICH zelo zahtevna naloga, ki se dandanes izvaja večinoma ročno in temelji predvsem na strokovnih izkušnjah in ne na standardiziranih postopkih.

Magistrska naloga se bo ukvarjala z optimizacijo oddajne moči skupnih referenčnih kanalov v omrežju UMTS, kar predstavlja velik izziv zaradi večdimenzionalne cenovne funkcije in velikega števila parametrov problema. Formalno definicijo tovrstnih problemov je zelo težko določiti in še težje reševati, zlasti za velika realna omrežja, zato trenutno ni znanega standardnega pristopa k reševanju takega problema.

Osredotočili se bomo na problem izenačenja navzgorjih in navzdolnih področij mehkega izročanja med sosednimi celicami v omrežju UMTS. Problem bomo reševali s pomočjo hevrističnega pristopa, ki bo temeljil na grafih, vodenih preko sil.

Na koncu bomo še pokazali primernost in prilagodljivost našega pristopa za optimizacijo oddajne moči CPICH celic v omrežju UMTS. Področje uporabe predstavljenega pristopa je zelo široko, saj nastavitve oddajne moči CPICH igrajo aktivno vlogo v različnih fazah načrtovanja in optimizacije omrežij UMTS.

## Key words documentation

**Name and SURNAME:** Lucas BENEDIČIČ

**Title:** Optimization of Common Pilot Channels in the UMTS Network

**City:** Koper, Slovenia

**Year:** 2009

**Number of pages:** 86      **Number of figures:** 36      **Number of tables:** 19

**Number of appendices:** 0      **Number of appendix pages:** 0

**Number of references:** 48

**Supervisor:** Assist. Prof. Dr. Peter Korošec

**UDC:** 621.395.5:004.738.5(043.2)

**Key words:** WCDMA, UMTS, Common Pilot Channel, CPICH, Optimization, Force-directed algorithm.

### Summary

Coverage planning, optimization of radio base station configuration and improving network capacity are nowadays important problems with which mobile operators have to deal with. While addressing possible solutions to these problems, radio engineers must also take into account different social (like population density, terrain profile, downtown centers, etc.) and service-related aspects (like speech, video calls, internet traffic, etc.). The complexity of such network planning and optimization problems arises from the wide range of different combinations of configuration parameters and the latter analysis of the achieved corrections. One of the key parameters that are usually subject of adjustment is the transmit power of the common pilot channel (CPICH). The CPICH transmit power is common to many different planning and optimization problems in UMTS networks.

The CPICH is the common pilot channel transmitting in the downlink of a UMTS cell system. Each cell in the system transmits with constant power an already known string of bits. The transmit power is usually between 5 % and 10 % of the total power available at the base station.

Mobile terminals (i.e. mobile phones) use the CPICH signal to identify the network. The transmission of any further data is then encoded using the scrambling code of the cell to which the mobile terminal has connected. The scrambling code of the cell is part of the already known string of bits that the CPICH is constantly transmitting.



One of the main purposes of the CPICH pilot channel is to provide a quality reference of the signal in the ongoing connection. This quality measurement is the main correction factor for the fast power control happening in the mobile terminal. From the network point of view, the capacity of a cell is limited by the amount of available power at the base station and the interference level at the receiver. The coverage area of any cell in the network is controlled by changing its pilot channel transmit power. Sometimes this is the only way of avoiding excessive cell overlap as well as no service areas.

From the discussion in this section it follows that the pilot power assignment is a challenging task in planning and optimization for the WCDMA networks. In most cases pilot power assignment is based on professional experience, because of the lack of standardized approaches for this task.

This master thesis will approach the problem of transmit power optimization of the CPICH in a UMTS network. The problem of pilot power optimization is a multi-objective problem with many parameters. This kind of problem is very difficult to formulate and even harder to solve, especially for large real-life networks. Therefore, today there is no standard approach for solving this problem.

We will focus on balancing the uplink and downlink soft handover areas between neighbour cells in a UMTS network. For solving the problem we have developed a heuristic method based on force directed graphs.

## Kazalo

<b>1</b>	<b>UVOD</b>	<b>1</b>
1.1	ŠIROKOPASOVNA RADIJSKA OMREŽJA . . . . .	2
<b>2</b>	<b>PREGLED OMREŽJA UMTS</b>	<b>4</b>
2.1	MOBILNA OMREŽJA TRETJE GENERACIJE . . . . .	4
2.2	ŠIROKOPASOVNI KODNO PORAZDELJENI SODOSTOP . . . . .	7
2.2.1	Pregled delovanja WCDMA . . . . .	7
2.3	UNIVERZALNI MOBILNI TELEKOMUNIKACIJSKI SISTEM . . . . .	10
2.3.1	Arhitektura omrežja UMTS . . . . .	11
<b>3</b>	<b>NAČRTOVANJE IN OPTIMIZACIJA OMREŽJA UMTS</b>	<b>14</b>
3.1	NAČRTOVANJE RADIJSKEGA OMREŽJA . . . . .	14
3.2	OPTIMIZACIJA RADIJSKEGA OMREŽJA . . . . .	17
<b>4</b>	<b>NASTAVITEV SKUPNEGA REFERENČNEGA KANALA V OMREŽJU UMTS</b>	<b>20</b>
4.1	SKUPNI REFERENČNI KANAL . . . . .	20
4.2	IZZIVI PRI NASTAVLJANJU ODDAJNE MOČI CPICH . . . . .	23
<b>5</b>	<b>PREDSTAVITEV DRUGIH PRISTOPOV</b>	<b>27</b>
<b>6</b>	<b>OPIS SISTEMA</b>	<b>30</b>
6.1	ARHITEKTURA SISTEMA . . . . .	30
<b>7</b>	<b>FORMALNA DEFINICIJA PROBLEMA</b>	<b>33</b>
7.1	IZENAČENJE NAVZGORNJEGA IN NAVZDOLNJEGA PODROČJA ZA MEHKO IZROČANJE . . . . .	33
7.2	FORMULACIJA PROBLEMA . . . . .	35
7.3	UVOD V GRAFE, VODENE PREKO SIL . . . . .	35
7.3.1	Prednosti grafov, vodenih preko sil . . . . .	36
7.4	PRETVORBA PROBLEMA V GRAF, VODENEGA PREKO SIL . . . . .	38
7.5	OPTIMIZACIJSKI ALGORITEM, VODEN PREKO SIL . . . . .	41
7.5.1	Eadesov pristop z vgrajenimi vzmetmi . . . . .	42
7.5.2	Prilagojena oblika Eadesovega pristopa z vgrajenimi vzmetmi . . . . .	43
<b>8</b>	<b>PREIZKUSI</b>	<b>46</b>
8.1	ANALIZA REZULTATOV . . . . .	47
8.1.1	Nastavitve omrežij s strategijo poenotene oddajne moči . . . . .	48
8.1.2	Nastavitve omrežij s strategijo maksimalnega dobitka moči . . . . .	52
8.2	PREIZKUSI NA REALNEM OMREŽJU . . . . .	61

<b>9 ZAKLJUČEK</b>	<b>64</b>
9.1 MOREBITNE IZBOLJŠAVE . . . . .	65
9.1.1 Razširjena arhitektura sistema s pomnilniškim modulom . . . . .	65
9.1.2 Vzporedno izvajanje algoritma . . . . .	67
<b>LITERATURA</b>	<b>68</b>

## Kazalo tabel

1	Potrjeni radijski standardi s stališča Mednarodne telekomunikacijske zveze [19, 20].	5
2	Nekateri kanali celice UMTS [34]. . . . .	21
3	Tipične nastavitve skupnih navzdolnjih kanalov [17]. . . . .	24
4	Ključne lastnosti simuliranih omrežij. . . . .	46
5	Parametri simuliranih storitev v posameznih omrežjih. . . . .	47
6	Nastavitve simuliranih omrežij. . . . .	48
7	Nastavitve s strategijo poenotene oddajne moči. . . . .	48
8	Optimalne nastavitve s sistemom SOON za strategijo poenotene oddajne moči na mestnem območju. . . . .	50
9	Optimalne nastavitve s sistemom SOON za strategijo poenotene oddajne moči na primestnem območju. . . . .	51
10	Optimalne nastavitve s sistemom SOON za strategijo poenotene oddajne moči na podeželskem območju. . . . .	52
11	Nastavitve s strategijo maksimalnega dobitka moči. . . . .	53
12	Optimalne nastavitve s sistemom SOON za strategijo maksimalnega dobitka moči na mestnem območju. . . . .	54
13	Optimalne nastavitve s sistemom SOON za strategijo maksimalnega dobitka moči na primestnem območju. . . . .	55
14	Optimalne nastavitve s sistemom SOON za strategijo maksimalnega dobitka moči na podeželskem območju. . . . .	56
15	Ključne lastnosti realnega omrežja. . . . .	61
16	Parametri vključenih storitev v realnem omrežju. . . . .	61
17	Nastavitve realnega omrežja. . . . .	62
18	Statistike realnega omrežja pred optimizacijo. . . . .	62
19	Statistike realnega omrežja po optimizaciji. . . . .	63

## Kazalo slik

1	Različne sheme radijskega dostopa. . . . .	5
2	Sprejem signala, ki prihaja po več poteh (angl. multipath propagation) [17]. . . . .	8
3	Tri različne zveze na istem frekvenčnem pasu [34]. . . . .	9
4	Pregled procesa razprševanja in kodiranja v WCDMA. . . . .	9
5	Učinki sprejete in oddane moči na nivoju interferenčnega šuma [17]. . . . .	10
6	Arhitektura omrežja UMTS [37]. . . . .	11
7	Mehkejša izročanja [17]. . . . .	15
8	Sistemska krmiljenje moči [17]. . . . .	16
9	Učinek krmiljenja moči v sprejeti moči pri bazni postaji [17]. . . . .	16
10	Mehka kapaciteta med celicami WCDMA [17]. . . . .	17
11	Proces optimizacije omrežja UMTS [17]. . . . .	18
12	Različne meritve med procesom optimizacije omrežja UMTS [17]. . . . .	19
13	Notranja struktura skupnega referenčnega kanala [2]. . . . .	20
14	Mehko izročanje z makro raznolikostjo [17]. . . . .	25
15	Interferenčni šum med mobilnimi terminali (MS), med baznimi postajami (BS) in med MS ter BS [17]. . . . .	25
16	Arhitektura sistema SOON. . . . .	31
17	Potrebno prekrivanje celic za nemoteno mehko izročanje. . . . .	34
18	Neizenačena področja za mehko izročanje navzgorjih in navzdoljih povezav. . . . .	34
19	Eadesov pristop z vgrajenimi vzmetmi [5]. . . . .	36
20	Pretvorba problema v graf, vodenega preko sil. . . . .	38
21	Preračunavanje delta vrednosti oddajne moči CPICH. . . . .	39
22	Dva vplivajoča kriterija za spremembo oddajne moči CPICH: prvi za 1,5 dB, drugi pa za -1,5 dB. . . . .	40
23	Enako vplivajoči sili na sredinsko vozlišče. . . . .	40
24	Primer pretvorbe optimizacijskega problema oddajne moči CPICH v graf. . . . .	41
25	Konvergenca algoritma na mestnem območju. . . . .	49
26	Konvergenca algoritma na primestnem območju. . . . .	50
27	Konvergenca algoritma na podeželskem območju. . . . .	51
28	Konvergenca algoritma na mestnem območju. . . . .	54
29	Konvergenca algoritma na primestnem območju. . . . .	55
30	Konvergenca algoritma na podeželskem območju. . . . .	56
31	Legenda diagramov celičnega pokrivanja. . . . .	57
32	Diagram celičnega pokrivanja na mestnem območju: (a) pred optimizacijo in (b) po optimizaciji. . . . .	58
33	Diagram celičnega pokrivanja na primestnem območju: (a) pred optimizacijo in (b) po optimizaciji. . . . .	59

---

34	Diagram celičnega pokrivanja na podeželskem območju: (a) pred optimizacijo in (b) po optimizaciji. . . . .	60
35	Konvergenca algoritma na realnem omrežju. . . . .	62
36	Arhitektura posodobljenega sistema SOON. . . . .	65

## Seznam kratic

1G	Prva generacija (angl. First Generation)
2G	Druga generacija (angl. Second Generation)
3G	Tretja generacija (angl. Third Generation)
3GPP	Partnerski projekt za tretjo generacijo (angl. 3rd Generation Partnership Project)
AICH	Indikatorski kanal pridobitev (angl. Acquisition Indicator Channel)
AP	Dostopovna točka (angl. Access Point)
ATM	Asinhroni način pretoka (angl. Asynchronous Transfer Mode)
BCCH	Širokopasovni krmilni kanal (angl. Broadband Control Channel)
BS	Bazna postaja (angl. Base Station)
CCPCH	Skupni krmilni fizični kanal (angl. Common Control Physical Channel)
CDMA	Kodno porazdeljeni sodostop (angl. Code Division Multiple Access)
CIR	Razmerje nosilec-interferenca (angl. Carrier-to-Interference Ratio)
CN	Jedrno omrežje (angl. Core Network)
CPICH	Skupni referenčni kanal (angl. Common Pilot Channel)
CS	Tokokrogovna komutacija (angl. Circuit Switched)
DECT	Digitalno izboljšane brezvrvične telekomunikacije (angl. Digital Enhanced Cordless Telecommunications)
DL	Navzdolnja povezava (angl. Downlink)
DPCCH	Namenski fizični krmilni kanal (angl. Dedicated Physical Control Channel)
DPDCH	Namenski fizični podatkovni kanal (angl. Dedicated Physical Data Channel)
$E_c/I_o$	Razmere med povprečno močjo referenčnega kanala in skupno močjo signala
EDGE	GSM za hitrejše podatkovne komunikacije (angl. Enhanced Data rates for GSM Evolution)

ETSI	Evropski inštitut za telekomunikacijske standarde (angl. European telecommunications standards institute)
FACH	Naprejšnji dostopovni kanal (angl. Forward Access Channel)
FDD	Frekvenčni dupleks (angl. Frequency Division Duplex)
FDMA	Frekvenčno porazdeljeni sodostop (angl. Frequency Division Multiple Access)
GPRS	Splošna paketna radijska storitev (angl. General Packet Radio Service)
GPU	Grafična procesna enota (angl. Graphics Processing Unit).
GSM	Globalni sistem mobilne telefonije (angl. Global System for Mobile Communications)
HO	Izročanje (angl. Handover)
HSDPA	Hitri paketni dostop na navzdolnji povezavi (angl. High-Speed Downlink Packet Access)
HSPA	Hitri paketni dostop (angl. High-Speed Packet Access)
HSUPA	Hitri paketni dostop na navzgornji povezavi (angl. High-Speed Uplink Packet Access)
IEEE	Inštitut inženirjev elektrotehnike in elektronike (angl. Institute of Electrical and Electronics Engineers)
IMS	IP multimedijški podsistem (angl. IP Multimedia Subsystem)
IMT	Mednarodne mobilne telekomunikacije (angl. International Mobile Telecommunications)
IP	Internetni protokol (angl. Internet Protocol)
ISDN	Digitalno omrežje z integriranimi storitvami (angl. Integrated Services Digital Network)
ITU	Mednarodna telekomunikacijska unija (angl. International Telecommunication Union)
KPI	Ključni indikator zmogljivosti (angl. Key Performance Indicator)
ME	Mobilni terminal (angl. Mobile Equipment)
MS	Mobilni terminal (angl. Mobile Station)



MSC	Mobilno komutacijski center (angl. Mobile Switching Centre)
MT	Mobilni terminal (angl. Mobile Terminal)
OVSF	Spremenljiv faktor razprševanja z ortogonalno kodo (angl. Orthogonal Variable Spreading Factor)
PCH	Klicni kanal (angl. Paging Channel)
P-CPICH	Primarni skupni referenčni kanal (angl. Primary Common Pilot Channel)
PICH	Klicni indikatorski kanal (angl. Paging Indicator Channel)
PLMN	Javno kopensko mobilno omrežje (angl. Public Land Mobile Network)
PRACH	Paketni kanal za naključni dostop (angl. Packet Random Access Channel)
PSTN	Javno komutirano telefonsko omrežje (angl. Public Switched Telephone Network)
QoS	Kakovost storitve (angl. Quality of Service)
RAN	Radijsko dostopovno omrežje (angl. Radio Access Network)
RBS	Bazna postaja (angl. Radio Base Station)
RNC	Krmilnik radijskega omrežja (angl. Radio Network Controller)
RSCP	Sprejeta moč zveze (angl. Received Signal Code Power)
S-CPICH	Sekundarni skupni referenčni kanal (angl. Secondary Common Pilot Channel)
SCDMA	Sinhrono-kodno porazdeljeni sodostop (angl. Synchronous Code Division Multiple Access)
SCH	Sinhronizacijski kanal (angl. Synchronization Channel)
SGSN	Strežno podporno vozlišče GPRS (angl. Serving GPRS Support Node)
SHO	Mehko izročanje (angl. Soft Handover)
SIR	Razmerje signal-interferenca (angl. Signal-to-Interference Ratio)
SOON	Sistem za samodejno opravljanje optimizacijskih nalog
TDMA	Časovno porazdeljeni sodostop (angl. Time Division Multiple Access)
TDD	Časovni dupleks (angl. Time Division Duplex)

---

TC	Časovna koda (angl. Time Code)
VoIP	Govor preko internetnega protokola (angl. Voice over IP)
UE	Mobilni terminal (angl. User Equipment)
UL	Navzgoranja povezava (angl. Uplink)
UMTS	Univerzalni mobilni telekomunikacijski sistem (angl. Universal Mobile Telecommunications System)
USIM	UMTS modul za identifikacijo naročnika (angl. UMTS Subscriber Identity Module)
UTRA	Prizemni radijski dostop UMTS (angl. Universal Terrestrial Radio Access)
UTRAN	Prizemno radijsko dostopovno omrežje UMTS (angl. UMTS Terrestrial Radio Access Network)
WCDMA	Širokopasovni kodno porazdeljeni sodostop (angl. Wideband Code Division Multiple Access)

## Zahvala

Zahvaljujem se svojemu mentorju doc. dr. Petru Korošču za strokovno vodstvo in neizmerno pomoč pri nastajanju magistrske naloge.

Iskreno se zahvaljujem vsem svojim sodelavcem v sektorju radijskega omrežja za izkazano pomoč in spodbudo med nastajanjem tega dela.

*A mi hermano y a mis padres, por el inmenso apoyo que me brindan en cada nuevo proyecto que emprendo. ¡Gracias por estar, siempre!*

*A B, por el cariño y la paciencia que ha tenido en estos meses.*

# 1 UVOD

Širokopasovna paketno dostopna omrežja so vse bolj prisotna na svetu. Poleg uporabe paric in vlaken je radijski prenos čedalje bolj zanimiv zaradi mobilnosti, ki jo ponuja, ter same hitrosti izgradnje potrebnega omrežja. Z namenom izboljšanja kakovosti storitev in zagotavljanja učinkovite porabe sredstev sta načrtovanje in optimizacija radijskega omrežja postala še bolj pomembna cilja kot v preteklih generacijah mobilnih komunikacij.

Načrtovanje pokrivanja geografskega področja, optimizacija konfiguracije baznih postaj in povečanje zmogljivosti prenosa štejemo med pomembne probleme, s katerimi se morajo operaterji mobilnih komunikacij spopadati. Med analizo teh problemov radijski inženirji upoštevajo različne geografsko-socialne vidike (na primer gostota prebivalstva, relief in tip terena, mestna središča itd.) in več storitvenih kriterijev (govor, video klice, internetni dostop itd.). S stališča sistema so omenjeni problemi zelo kompleksni, saj je za njihovo reševanje potrebno nastaviti več parametrov in upoštevati dosežen učinek sprememb. Med nastavljanjem parametrov se inženirji pogosto znajdejo pred kompromisno nastavitvijo oddajne moči skupnih referenčnih kanalov celic. Ta je namreč skupni imenovalac več različnih problemov v optimizaciji omrežja UMTS (angl. Universal Mobile Telecommunication System). Obstaja veliko dejavnikov, ki neugodno vplivajo na zahtevnost optimizacijskega procesa, kot so:

- podpora za različne storitve, kot so govor, video klici, prenosi podatkov itd.;
- visoka hitrost prenosa podatkov;
- nizka oz. neobstoječa uporaba frekvenc (angl. frequency reuse);
- interferenčni šum;
- negotovost glede nadaljnje rasti prometa;
- poraba virov omrežja.

Optimizacija omrežja UMTS je zelo kompleksna naloga. Operater potrebuje kakovostne podatke o delovanju sistema, da lahko izvede ustrezne spremembe ter oceni njihov vpliv. Ročno nastavljanje je zamudno in zahtevno opravilo, zato se operaterji večinoma osredotočajo na odpravljanje težav, kot so na primer tipične nastavitve celic ob avtocestah ali v zgradbah.

Samodejna računalniška optimizacija bo omogočala analizo velike količine podatkov in krmiljenje najpomembnejših parametrov, kot sta oddajna moč in naklon anten. Le tako bo mogoče nadzorovati in izboljševati omrežje z velikim številom celic, od katerih ima vsaka drugačen profil za pokrivanje in različne uporabnike.

Magistrska naloga se bo ukvarjala z reševanjem problema oddajne moči skupnih referenčnih kanalov v omrežju UMTS s pomočjo samodejne optimizacije.

Delo smo organizirali na sledeč način: v naslednjem poglavju ponujamo pregled širokopasovnih radijskih omrežij. V drugem poglavju sledi splošen opis omrežij UMTS in njihove temeljne tehnologije. V tretjem poglavju bomo razpravljali o načrtovanju in optimizaciji tovrstnih omrežij. Celotno četrto poglavje bomo namenili skupnemu referenčnemu kanalu in izzivom pri nastavljanju oddajne moči celic. V petem poglavju bomo predstavili druge pristope za optimizacijo oddajne moči skupnih referenčnih kanalov. V šestem poglavju bomo opisali arhitekturo implementiranega sistema, medtem ko bomo v sedmem poglavju formalno definirali problem optimizacije skupnih referenčnih kanalov in predstavili predlagan algoritem za reševanje le-tega. V osmem poglavju bodo sledili preizkusi algoritma, primerjava s prej omenjenimi pristopi in razprava o predstavljenih rezultatih. Za zaključek bomo podali smernice za nadaljnje delo in morebitne izboljšave.

## 1.1 ŠIROKOPASOVNA RADIJSKA OMREŽJA

Vsa frekvenčno omejena omrežja, ki so na razpolago velikemu številu uporabnikov, delujejo na načelu celičnih omrežij. Bazna postaja ima eno ali več celic, vsaka celica ima več oddajnikov, sprejemnikov in anten. Sosednje celice predstavljajo motnje, ki se jim moramo izogniti.

Ozkopasovni sistemi, kot je GSM, ločijo celice med seboj tako, da sosednjim celicam dodelijo različne frekvence, s katerimi dosežemo zmanjšanje motenj. Po drugi strani je bistvo delovanja širokopasovnih sistemov s kodnim sodostopom, kot je na primer UMTS WCDMA (angl. Wideband Code Division Multiple Access), združiti signal sosednjih celic<sup>1</sup> in s tem zmanjšati motnje med celicami.

Vsak radijski nosilec UMTS (t. j. celica) oddaja referenčni kanal, ki omogoča mobilnim terminalom, da se sinhronizirajo z omrežjem in izberejo najboljšo celico. Vse zveze na celici si delijo isti oddajnik bazne postaje, med seboj pa se ločijo s kodami.

Prenosno hitrost posamezne zveze omejuje razmerje med signalom in interferenčnim šumom, ki nastane zaradi mešanja različnih signalov. Zveza je praviloma omejena samo z močjo oddajnikov, le v redkih primerih predstavlja omejitev termični šum [35]. Ponavadi so radijske motnje, ki jih povzročajo druge zveze, veliko močnejše od šuma. Kakor bo razvidno iz poglavja 3, je načrtovanje radijskega pokrivanja sorazmerno preprosto. Veliko zahtevnejše je zmanjšati motnje na minimum. Iz tega izhajajo nekatera enostavna pravila za načrtovanje omrežja:

- prekrivanje sosednjih celic mora biti čim manjše, vendar moramo zagotoviti

---

<sup>1</sup>Postopek združenja signala sosednjih celic poznamo kot mehko izročanje (angl. soft handover).

prehod med njimi brez prekinitve;

- oddajna moč referenčnih kanalov mora biti čim manjša, da ne motimo ostalih zvez, zato potrebujemo hitro reguliranje moči,<sup>2</sup> bazne postaje pa morajo biti postavljene čim bližje uporabnikom;
- kanalsko kodiranje mora omogočiti, da z vnaprejšnjim popravljanjem napak (angl. forward error correction) lahko odpravljamo napake, ki nastanejo med prenosom.

Poleg upoštevanja teh pravil morajo operaterji med načrtovanjem omrežja zagotoviti tudi kakovost storitev, potrebnih za širokopasovne podatkovne aplikacije. Uporabniki se namreč ne zadovoljijo več le z govorno storitvijo, temveč zahtevajo enostavne, hitre in prijazne aplikacije na majhnih mobilnih terminalih po dostopnih cenah. Optimizacija delujočega radijskega omrežja je ključ do zagotavljanja in izboljšanja kakovosti storitev ter posledično tudi do zadovoljnih uporabnikov.

---

<sup>2</sup>Pri WCDMA se postopek krmiljenja moči izvaja 1500-krat na sekundo.

## 2 PREGLED OMREŽJA UMTS

V tem poglavju ponujamo pregled nad omrežji UMTS s tehničnega vidika. To poglavje ni popoln opis celotne tehnologije, na kateri temelji sistem UMTS, vendar se bomo osredotočili na teme, za katere smo ocenili, da so potrebne za lažje razumevanje magistrske naloge.

Za globlje razumevanje in širši vpogled nad sistemom UMTS WCDMA si lahko bralec prebere vira [17] in [27].

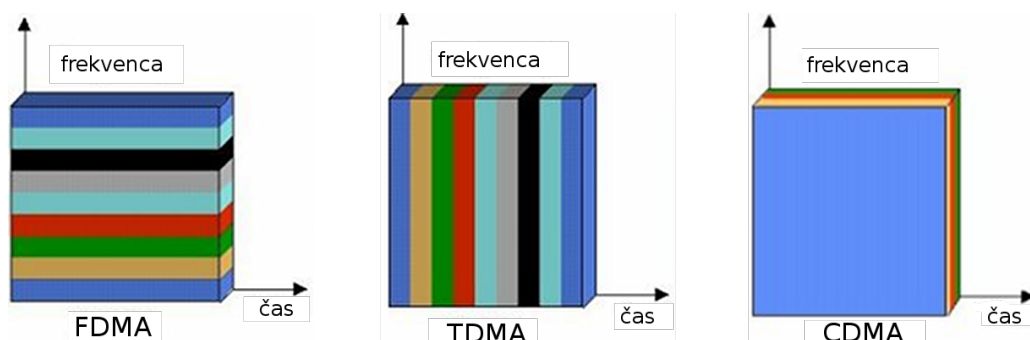
### 2.1 MOBILNA OMREŽJA TRETJE GENERACIJE

Prve ideje o uporabi celic za komuniciranje so se pojavile v Bellovih laboratorijih leta 1947. Prvič je bil takšen sistem uporabljen leta 1979 na Japonskem. Sledile so leta 1983 Združene države Amerike s postavitvijo sistema v mestu Chicago. Prvo generacijo mobilnih komunikacij (1G) poznamo tudi kot analogne komunikacije, saj frekvenčni nosilec moduliramo s frekvenčno modulacijo [45]. Med slabostmi tehnologije 1G lahko omenimo slabo kakovost zvoka, hitro praznjenje baterije, velikost mobilnih terminalov (t. j. telefonov), varnostne pomanjkljivosti, pogoste prekinitve klicev, omejeno kapaciteto in slabo zanesljivost izročanja (angl. handover) med celicami. Vendar je bil 1G kljub vsem slabostim velik uspeh in še danes deluje v nekaterih državah.

Z uvedbo digitalnih tehnologij, kot so na primer digitalni kodirniki, digitalna modulacija in širša uporaba računalniških sistemov, je druga generacija (2G) omrežij ponujala izboljšave v zmogljivosti sistema, varnosti, učinkovitosti in kakovosti zvoka [45]. V primerjavi z omrežji 1G, ki uporabljajo t. i. frekvenčno porazdeljeni sodostop (angl. Frequency Division Multiple Access, FDMA) za podporo več uporabniškim povezavam hkrati, omrežja 2G temeljijo na bolj naprednih tehnologijah večkratnega dostopa, kot sta časovno porazdeljeni sodostop (angl. Time Division Multiple Access, TDMA) in kodno porazdeljeni sodostop (angl. Code Division Multiple Access, CDMA), ki omogočata učinkovitejšo uporabo frekvenčnega spektra. Medtem ko FDMA zagotavlja sodostop z ločevanjem uporabnikov po radijskih frekvencah, TDMA doseže enak učinek z dodelitvijo t. i. časovnih oken (angl. time slots) med uporabniki. To pomeni, da je vsakemu uporabniku na voljo le kratek časovni interval, v katerem sme oddajati oziroma sprejemati. Sodostop je v CDMA implementiran na podlagi sistema kodiranja, ki omogoča več uporabnikom istočasno porabo pasovne širine. Uporabniški promet je med seboj ločen s kodami. Slika 1 prikazuje vse tri opisane sheme radijskega dostopa.

Tabela 1: Potrjeni radijski standardi s stališča Mednarodne telekomunikacijske zveze [19, 20].

Ime	Oznaka	Tehnologija
Direct Spread	IMT-DS	WCDMA
Multi-Carrier	IMT-MC	CDMA2000
Time-Code	IMT-TC	UTRAN TDD, TD-SCDMA
Single-Carrier	IMT-SC	UWC-136/EDGE
Frequency-Time	IMT-FT	DECT



Slika 1: Različne sheme radijskega dostopa.

Globalni sistem mobilne telefonije (angl. Global System Mobile, GSM) je bila prva digitalna brezžična tehnologija in do danes najbolj priljubljena, saj ima več kot dve milijardi naročnikov po vsem svetu [15]. Omrežja GSM temeljijo na tehnologiji TDMA.

Povpraševanje strank po digitalnih storitvah je glavna spodbuda za omrežja tretje generacije (3G). Vendar je bila zaradi ogromnega tehničnega napredka iz 2G na 3G predlagana 2.5G kot vmesna tehnologija, ki bi omogočala nemoten prehod storitev in sistemov iz 2G na 3G. Sistemi, ki temeljijo na 2.5G, uporabljajo izboljšane digitalne radijske vmesnike in učinkovitejši paketni prenos. Glavne prednosti vmesne tehnologije 2.5G so: združljivost s sistemi 2G, zmanjševanje stroškov pri selitvi omrežja v 3G in za uporabnika nemoten prehod iz 2G na 3G. Splošna paketna radijska storitev (angl. General Packet Radio Service, GPRS) in cdmaOne predstavljata primera uporabe tehnologije 2.5G [37]. GSM za hitrejše podatkovne komunikacije (angl. Enhanced Data Rates for GSM Evolution, EDGE) predstavlja naprednejši standard od tistih prisotnih v 2.5G, vendar ne izpolnjuje vseh pogojev sistema 3G, kot je na primer hitrost prenosa do 2 Mbit/s. Kljub temu je EDGE pogosto naveden v literaturi kot sistem 3G.

Mednarodna telekomunikacijska zveza (angl. International Telecommunication Union, ITU) spodbuja uporabo enotnega svetovnega standarda 3G, t. i. mednarodne mobilne telekomunikacije-2000 (angl. International Mobile Telecommunications-2000, IMT-2000) [19, 20]. Koncept enotnega standarda izhaja iz skupine petih brezžičnih standardov 3G, ki so bili potrjeni maja leta 2001. Seznam radijskih standardov skupaj s tehnologijami, na katerih ti temeljijo, je prikazan v tabeli 1.

Od vseh petih standardov, navedenih v tabeli 1, le prvi trije izpolnjujejo vse



zahteve tretje generacije mobilnih komunikacij in jih zato lahko obravnavamo kot popolne sisteme 3G. Kakor je bilo prej omenjeno, sistem EDGE ne pripada k skupini sistemov 3G. Zadnji standard iz tabele 1, IMT-FT, je objavil Evropski inštitut za telekomunikacijske standarde (angl. European telecommunications standards institute, ETSI) pod imenom digitalne izboljšane brezžične telekomunikacije (angl. Digital Enhanced Cordless Telecommunications, DECT). Tehnologija DECT se uporablja za brezžično telefonijo, kakor tudi kot 3G rešitev kratkega dosega na področjih z veliko prometa (angl. hot spot areas). Zato bi ga lahko šteli med standarde 3G, vendar ne podpira popolnega pokrivanja omrežja.

V skladu z ITU in IMT-2000 morajo standardi 3G izpolnjevati naslednje minimalne zahteve [19, 20]:

- visoko hitrost prenosa podatkov:
  - 2 Mbit/s v notranjih okoljih (angl. indoor environments),
  - 384 Kbit/s v mestnih okoljih (angl. urban environments),
  - 144 Kbit/s v večjih mobilnih okoljih (angl. wide area mobile environments);
- povečano kapaciteto v primerjavi z 2G;
- podporo za simetričen in asimetričen prenos podatkov;
- globalno prehajanje (angl. global roaming) med omrežji in združljivost z omrežji 2G;
- izboljšano varnost;
- podporo za aplikacije, kot so na primer VoIP, video klice, interaktivne igre itd.;
- podporo za istočasno uporabo več storitev.

Tehnologije 3G so zelo privlačne za uporabnike mobilnih telekomunikacij zaradi naraščajočega povpraševanja po prometu, saj so bolj napredne in zmogljive v primerjavi s prejšnjimi generacijami. To odpira nove možnosti zagotavljanja dodatnih storitev in funkcionalnosti, ki imajo visoke zahteve glede kakovosti, delno tudi zaradi povečane konkurence iz drugih brezžičnih tehnologij. Vendar za mobilne operaterje, ki so doživeli upočasnjeno rast tega sektorja zaradi visokih cen licenc in vedno večje konkurence, začetek ni bil enostaven. Tako je prvo omrežje 3G, ki je temeljilo na WCDMA, vzpostavilo podjetje NTT DoCoMo oktobra leta 2001 na Japonskem, vendar do leta 2003 ni bilo vzpostavljeno nobeno omrežje 3G v drugih državah. Danes je število naročnikov 3G, vključno z GSM, večje od 3,8 milijarde po celem svetu.<sup>3</sup> Število vseh

---

<sup>3</sup>Podatki marca leta 2009 [15].

prijavljenih naročnikov 3G WCDMA je večje od 3,4 milijarde, vključno z GSM. Število komercialnih omrežij 3G, ki podpirajo WCDMA in HSPA tehnologije, presega 290 v 120 državah, kar predstavlja 73 % tržnega deleža mobilnih komunikacij.<sup>4</sup>

V nadaljevanju se bomo osredotočili na sistem in njegovo podporno tehnologijo, ki omogoča delovanje omrežij 3G. Govorimo o t. i. univerzalnem mobilnem telekomunikacijskem sistemu (angl. Universal Mobile Telecommunication System, UMTS), ki temelji na t. i. širokopasovnem kodno porazdeljenem sodostopu (angl. Wideband Code Division Multiple Access, WCDMA).

## 2.2 ŠIROKOPASOVNI KODNO PORAZDELJENI SODOSTOP

Japonsko podjetje NTT DoCoMo je razvilo širokopasovni kodno porazdeljeni sodostop (širokopasovni CDMA ali WCDMA) kot radijski vmesnik za svoje omrežje 3G. Mednarodna telekomunikacijska zveza je pozneje sprejela WCDMA kot standard tretje generacije mobilnih komunikacij. Širokopasovni CDMA je ena od dveh glavnih tehnologij, na katerih dandanes temelji velika večina omrežij 3G na svetu.

WCDMA lahko deluje na dva načina:

- frekvenčni dupleks (angl. Frequency Division Duplex, FDD) ali
- časovni dupleks (angl. Time Division Duplex, TDD).

WCDMA FDD uporablja dve 5 Mhz ločeni nosilni frekvenci, ki si delita navzgorne in navzdolnje povezave. V načinu TDD je 5 Mhz nosilna frekvenca časovno deljena za navzgorne in navzdolnje povezave. TDD omogoča učinkovitejšo uporabo frekvenčnega spektra za asimetrične storitve, kot je na primer internetni dostop, medtem ko je FDD namenjen simetričnim storitvam.

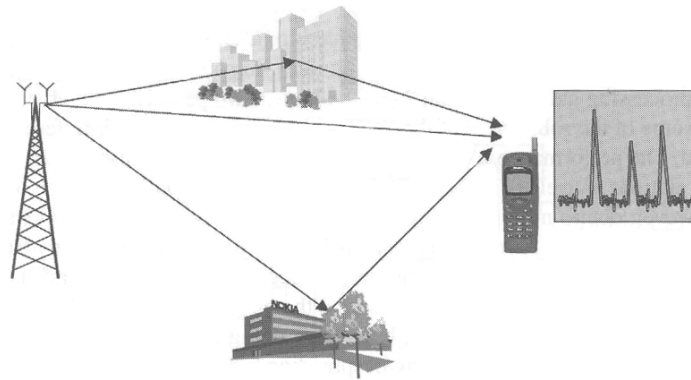
V naslednjem poglavju ponujamo jedrnat pregled nad delovanjem WCDMA. Obširno razlago in več informacij o WCDMA FDD ter TDD lahko najdete v [9, 17, 32].

### 2.2.1 Pregled delovanja WCDMA

V WCDMA imajo uporabniki na razpolago celoten radijski kanal za pošiljanje in sprejemanje signalov. Vsak oddajnik množi podatke z izbrano razprševalno kodo [17], ki je namenjena enemu samemu uporabniku. Tako se signal dekodira zgolj pri zelenem sprejemniku. Razprševalne kode so sestavljene iz skrbno oblikovanih nizov binarnih števil (t. j. enic in ničel), katerih hitrost ustvarjanja je mnogo višja od hitrosti prenosa podatkov. Hitrosti razprševanja rečemo čipna hitrost, medtem ko hitrosti prenosa rečemo bitna hitrost.

---

<sup>4</sup>Podatki avgusta leta 2009 [15].



Slika 2: Sprejem signala, ki prihaja po več poteh (angl. multipath propagation) [17].

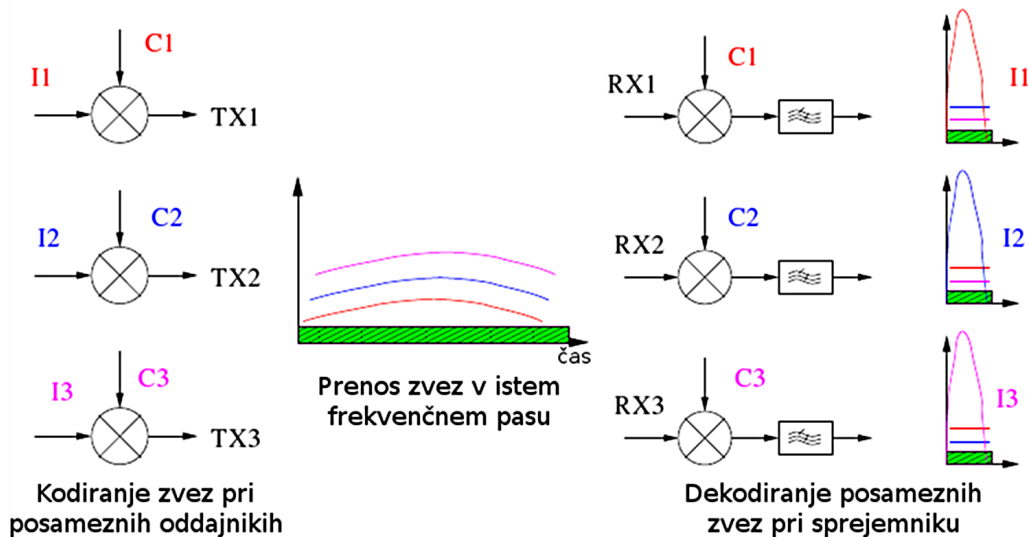
Drugim uporabnikom se ta signal pojavi kot interferenčni šum. Uporabljene kode v sistemu WCDMA so t. i. spremenljivi faktorji razprševanja z ortogonalnimi kodami (angl. Orthogonal Variable Spreading Factor, OVSF), ki morajo obvezno delovati sinhronizirano. Natančne sinhronizacije ni mogoče doseči zaradi sprejema signala, ki lahko prihaja po več poteh (slika 2). Za reševanje tega problema se uporabljajo psevdo naključne kode (angl. scrambling codes), ki enolično identificirajo posamezne signale. Slika 3 prikazuje prenos treh različnih signalov ( $I_1, I_2, I_3$ ), vsak s svojo psevdo naključno kodo ( $C_1, C_2, C_3$ ).

Tako imamo dva postopka: razprševanje in kodiranje. Prvi množi podatke s kodo OVSF in drugi uporablja psevdo naključno kodo za enolično identifikacijo zveze. Pri sprejemniku se prvotni signal dekodira z enakima postopkoma v obratnem vrstnem redu. Sprejemnik sprejema hkrati vse signale. Ko jih pomnoži z izbrano kodo, dobi osnovni signal. Vsi ostali signali pomenijo samo dodatni šum. Celoten postopek kodiranja in razprševanja je prikazan na sliki 4. V kolikor so kode ustrezno izbrane, se vedno dovolj razlikujejo in tako minimizirajo motnje, zato moramo zagotoviti čim boljše ortogonalnost kod. Pri CDMA moramo uravnavati razmerje signal/šum, saj prešibak signal pomeni preveliko napako pri sprejemu, premočan signal pa pomeni odvečne motnje drugim zvezam. Poleg tega je vrednost frekvenčne pouporabe v WCDMA ena, kar pomeni, da si vsi uporabniki razdelijo porabo istega frekvenčnega pasu.

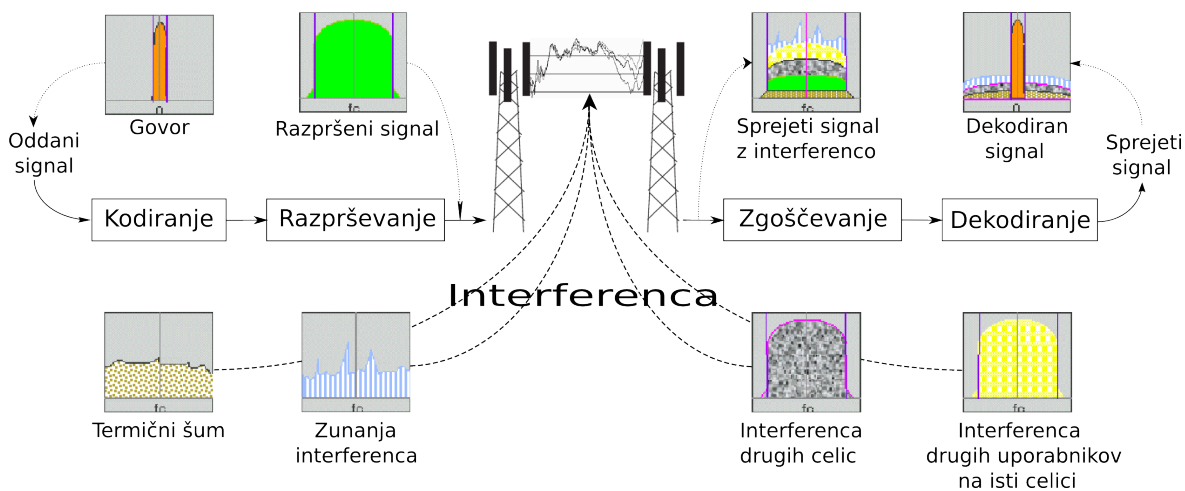
WCDMA je izbrani radijski vmesnik za UMTS. Radijskemu dostopu sistema UMTS rečemo prizemni radijski dostop UMTS (angl. UMTS Terrestrial Radio Access, UTRA). UTRA lahko deluje v dveh načinih.

Prvi način je FDD, ki temelji na WCDMA FDD in je implementiran v omrežjih UMTS. Drugi način je TDD, ki je del omrežij UMTS-TDD in temelji na tehnologiji TD-CDMA (angl. Time Division CDMA). Zato UMTS in UMTS-TDD nista neposredno združljiva sistema.

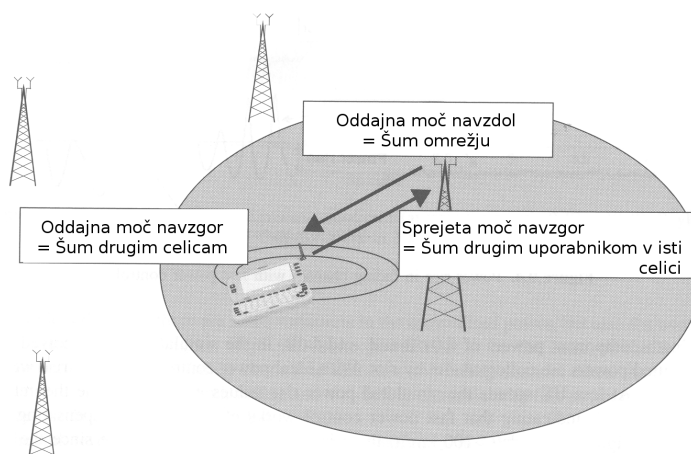
Specifikacija UTRA je bila ustvarjena v Partnerskem projektu za tretjo generacijo (angl. Third Generation Partnership Project, 3GPP), ki sestoji iz standardizacijskih



Slika 3: Tri različne zvez na istem frekvenčnem pasu [34].



Slika 4: Pregled procesa razprševanja in kodiranja v WCDMA.



Slika 5: Učinki sprejete in oddane moči na nivoju interferenčnega šuma [17].

organov iz Evrope, Japonske, Koreje, ZDA in Kitajske. Formalna specifikacija UTRA je bila oblikovana v več izdajah 3GPP. Izdaja 99 (angl. 3GPP Release 99)<sup>5</sup> določi arhitekturo in glavne vidike funkcionalnosti UTRA. Izdaja 2000 (angl. 3GPP Release 2000) je bila razdeljena na izdaji 4<sup>6</sup> in 5.<sup>7</sup> Njun cilj je bil ustvariti omrežje, katerega delovanje je popolnoma zasnovano na internetnem protokolu (angl. Internet Protocol, IP).

V nadaljevanju bomo upoštevali specifikacijo 3GPP, do vključno izdaje 4, vendar pa optimizacijski postopki, predstavljeni v naslednjih poglavjih, veljajo tudi za bolj razvita omrežja WCDMA.

## 2.3 UNIVERZALNI MOBILNI TELEKOMUNIKACIJSKI SISTEM

Sistem UMTS je del tretje generacije mobilnih telekomunikacij in je v Evropi najpogosteje uporabljena implementacija radijskega dostopa do omrežja. Uporabljena tehnologija WCDMA, na kateri temelji UMTS, omogoča v teoriji prenos podatkov k uporabniku (t. j. navzdol) s hitrostmi do 14 Mbit/s. V realnih omrežjih se z nadgradnjo izdaje 99 dosegajo hitrosti do 384 Kbit/s.

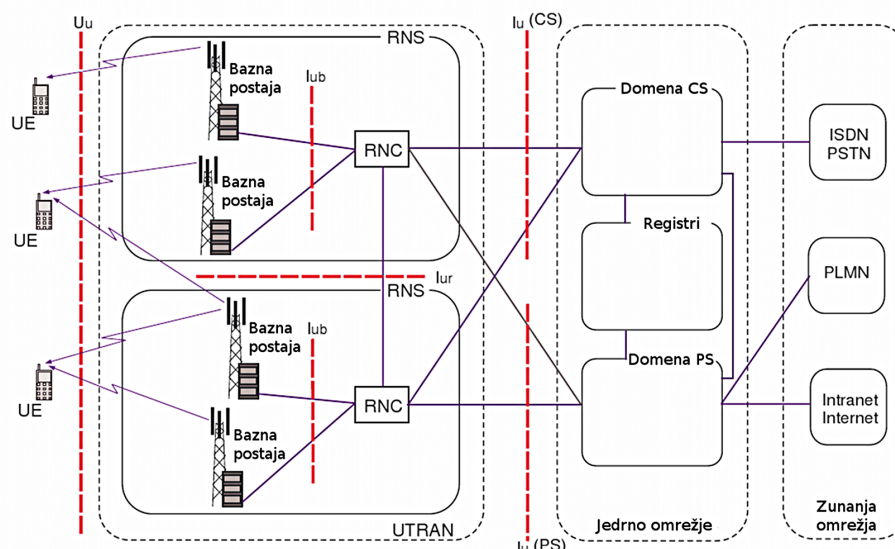
Bistvo sistema UMTS je, da si vsi uporabniki delijo isti širokopasovni kanal širine 5 Mhz. Uporabniki so med seboj ločeni le z različnimi kodami. Kapaciteta omrežja UMTS ni strogo omejena, temveč jo najpogosteje omejuje prag interferenčnega šuma, kakor to prikazuje slika 5. Tudi kakovost storitve ni enaka za vse uporabnike, saj se ta mehko porazdeli med vse uporabnike. Vsak novi uporabnik nekoliko zniža kakovost storitve vsem ostalim na določenem območju.

UMTS preko WCDMA zajema dva frekvenčna pasova. Prvi par prestavljata

<sup>5</sup>Izdana marca leta 2000 pod naslovom »Major RAN release«.

<sup>6</sup>Izdana marca leta 2001 pod naslovom »Minor release«.

<sup>7</sup>Izdana marca leta 2002. Vključuje specifikaciji za HSDPA in IMS.



Slika 6: Arhitektura omrežja UMTS [37].

1920-1980 Mhz in 2110-2170 Mhz pasova za WCDMA FDD, kjer sta sprejemnik in oddajnik na ločenih frekvencah. Drugi par pa 1900-1920 Mhz in 2010-2025 Mhz pasova za WCDMA TDD, kjer sta sprejemnik in oddajnik na istem radijskem kanalu.

### 2.3.1 Arhitektura omrežja UMTS

Kakor je razvidno iz slike 6, je arhitektura omrežja UMTS sestavljena iz treh delov [1]:

- jedrnega omrežja (angl. Core Network, CN);
- prizemno radijsko dostopovnega omrežja UMTS (angl. UMTS Terrestrial Radio Access Network, UTRAN);
- mobilnih terminalov.

Strojna oprema, katera sestavlja CN, zagotavlja podporo za funkcionalnost, ki jo omrežje nudi. Med njimi lahko omenimo nadzor nad omrežnimi elementi in storitvami, prenosne mehanizme za signalizacijo ter shranjevanje informacije o porabljenih storitvah (na primer za obračunavanje porabljenih omrežnih storitev).

CN omogoča komunikacijo med radijskim omrežjem in drugimi omrežji, na primer z javno kopenskim mobilnim omrežjem (Public Land Mobile Networks, PLMN) ali internetom. Zunanja omrežja lahko razdelimo v dve skupini: omrežja s komutiranimi vodi (angl. circuit switched networks) in paketno komutirana omrežja (angl. packet switched network). Integrirano storitveno digitalno omrežje (ISDN) in javno komutirano telefonsko omrežje (PSTN) sta primera omrežij s komutiranimi vodi. Internet je primer paketno komutiranega omrežja.

Mobilni terminal (angl. User Equipment, UE) je sredstvo, s katerim uporabniki dostopajo do storitev UMTS. Vsak mobilni terminal sestoji iz mobilne opreme (angl. Mobile Equipment, ME) in modula za identifikacijo naročnika UMTS (angl. UMTS Subscriber Identity Module, USIM). Mobilno opremo lahko naprej razdelimo na dva modula: prvi, ki opravlja radijski prenos (angl. mobile termination), in drugi, ki vsebuje uporabniške aplikacije (angl. terminal equipment) [37]. Povezava med USIM in ME je električni vmesnik, ki sledi standardnemu formatu pametnih kartic [44].

Predel omrežja, ki se konceptualno nahaja med mobilnimi terminali in jedrnim omrežjem, je t. i. radijsko dostopovno omrežje (angl. Radio Access Network, RAN), ki omogoča določen dostop do radijskega omrežja. V sistemu UMTS je ta del omrežja znan kot prizemno radijsko dostopovno omrežje UMTS (UTRAN), katero implementira radijsko tehnologijo WCDMA, o kateri smo razpravljali v poglavju 2.2.1.

Vmesniki, ki povežejo vse predele sistema med seboj, so sledeči:

**Vmesnik Uu** prestavlja brezžično povezavo med mobilnim terminalom in bazno postajo. Sestavljajo ga trije protokolni sloji. Ti so fizični sloj (angl. physical layer), povezovalno-krmilni sloj (angl. link control layer) in omrežni sloj (angl. network layer).

**Vmesnik Iub** prestavlja povezavo med bazno postajo in krmilnikom radijskega omrežja (angl. Radio Network Controller, RNC). Ta prenaša podatke vmesnika Uu, vso pripadajočo signalizacijo, oceno kakovosti navzgor prenesenih podatkov in podatke, potrebne za sinhronizacijo. Sestavljen je iz fizičnega sloja, sloja asinhronega načina pretoka (angl. Asynchronous Transfer Mode, ATM) in prilagoditvenega sloja ATM (angl. ATM adaptation layer).

**Vmesnik Iu** povezuje radijsko dostopovno omrežje z dvema deloma jedrnega omrežja: mobilnim komutacijskim centrom (angl. Mobile Switching Centre, MSC) in strežnim podpornim vozliščem GPRS (angl. Serving GPRS Support Node, SGSN). MSC predstavlja povezavo z vodovno komutacijo, SGSN pa s paketno komutacijo. Ta vmesnik ima popolnoma enako notranjo strukturo kot vmesnik Iub (t. j. sestoji iz treh enakih slojev).

**Vmesnik Iur** predstavlja povezavo med različnimi radijskimi podsistemi in omogoča neposredno signalizacijo med različnimi krmilniki RNC. Skrbi za mobilnost uporabnikov, ki jo RNC omogoča z dodeljenimi in skupnimi kanali ter upravljanje s kapacitetami vpletenih krmilnikov RNC.

S stališča radijskega omrežja je vsaka bazna postaja sestavljena iz več elementov, imenovanih celice. Celica je najmanjša identificirana enota radijskega omrežja. Njena identifikacijska številka je za mobilne terminale javno dostopna. Vsaka celica ima svojo psevdo naključno kodo. Mobilni terminal prepozna neko celico na podlagi dveh števil.

Ti sta psevdo naključna koda (ob prijavi na celico) in identifikacijska številka celice (za radijsko topologijo omrežja). Ena celica ima lahko eno ali več oddajno sprejemnih enot.<sup>8</sup> Fizični pojav celice oz. pokritost z radijskim signalom imenujemo sektor.

Celična struktura sistema UMTS je hierarhična oz. večslojna in sestoji iz pikocelic, mikrocelic, makrocelic in satelitskih celic. Pikocelice podpirajo visoko hitrost prenosa in večjo gostoto prometa zaradi manjše kompleksnosti, ki je posledica nizke mobilnosti uporabnikov. Zaradi večje mobilnosti uporabnikov makrocelice podpirajo nizko hitrost prenosa in manjšo prometno obremenitev. Ločevanje celičnih slojev znotraj istega območja dosežemo z uporabo različnih nosilnih frekvenc (angl. carrier frequencies).

---

<sup>8</sup>Imenovane tudi TRX ali nosilci.



## 3 NAČRTOVANJE IN OPTIMIZACIJA OMREŽJA UMTS

To poglavje predstavlja glavne izzive pri načrtovanju in optimizaciji omrežja UMTS ter opisuje njune procese kot tudi pomembnejša vprašanja, ki se pojavijo v različnih fazah omenjenih postopkov.

### 3.1 NAČRTOVANJE RADIJSKEGA OMREŽJA

Načrtovanje omrežja UMTS je zahtevnejše od načrtovanja omrežij prejšnjih generacij, saj so tipični načrtovalski parametri (na primer kapaciteta, pokritost, kakovost storitev, prometni profili itd.) med seboj odvisni in za njih ne obstajajo priporočene vrednosti. To pomeni, da načrtovalskih parametrov ni mogoče omejiti na določeno vrednost, v okviru katerih je sistem uporaben. Govorimo torej o mehkih vrednostih oz. mehkih parametrih.

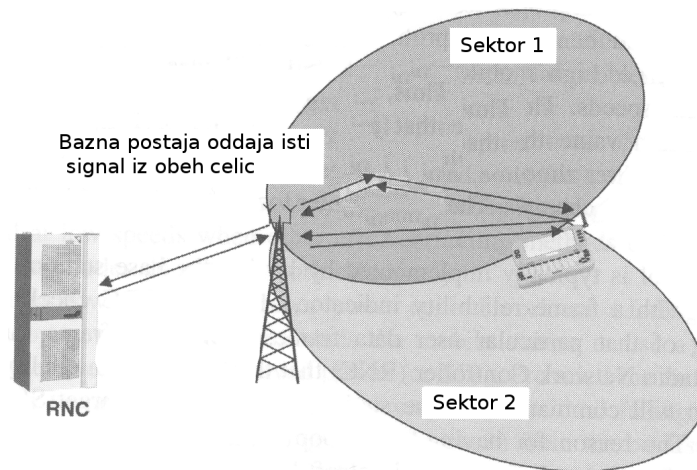
Kapaciteta v omrežju UMTS ni strogo omejena, temveč jo omejuje le prag interferenčnega šuma. Tudi kakovost storitve ni več enaka za vse uporabnike, ker se le-ta mehko porazdeli med vsemi uporabniki tako, da vsak nov uporabnik nekoliko degradira kakovost storitve vsem ostalim uporabnikom na določenem območju.

Vse celice uporabljajo isti širokopasovni kanal širine 5 Mhz, zaradi česar je faktor pouporabe frekvence ena. Torej se celice med seboj interferenčno obremenjujejo, zato govorimo o t. i. dvigu šuma. Da bi sistem nemoteno deloval, mora biti uporabnik, kadar prihaja iz ene celice v drugo za določen čas priključen na dve oz. več celic hkrati. Takrat govorimo o mehkem izročanju (angl. soft handover). Z obremenitvijo celice se področje pokrivanja manjša, manjšajo pa se tudi področja pokrivanja sosednjih celic. Temu rečemo dihanje celice (angl. cell breathing). Načrtovanje radijskega omrežja s tem postane dejansko načrtovanje zadostnega razmerja signal-šum.

Sledeči seznam ključnih lastnosti omrežij UMTS WCDMA je namenjen lažjemu razumevanju glavnih upoštevanih kriterijev pri načrtovanju tovrstnih omrežij [37].

#### **Mehko in mehkejše izročanje**

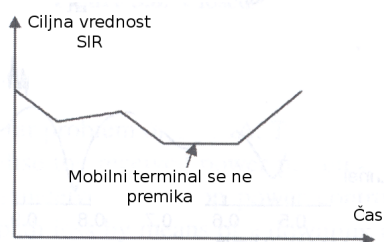
Mehko izročanje je značilna funkcionalnost sistemov CDMA. Mobilni terminali in bazne postaje uporabljajo posebne sprejemnike, ki omogočajo, da je vsak mobilni terminal hkrati povezan z več baznimi postajami. S tem se poveča zmogljivost omrežja. Slika 7 prikazuje mobilni terminal med mehkejšim izročanjem.



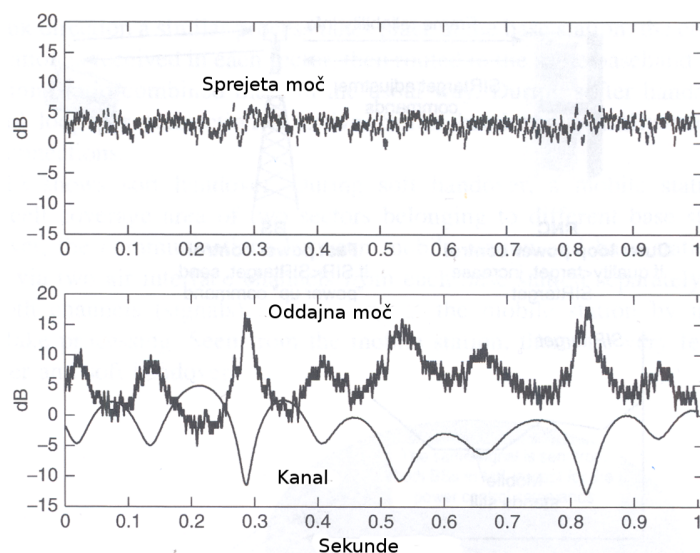
Slika 7: Mehkejše izročanje [17].

### Krmiljenje moči

Vsi oddajni prenosi iz mobilnega terminala morajo biti skrbno nadzorovani tako, da dosežejo bazno postajo s približno enako močjo. Če krmiljenja moči ne bi uporabljali, bi ugotovili, da uporabniki blizu bazne postaje oddajajo s prekomerno močjo in onemogočijo oddaljenim uporabnikom dostop do omrežja zaradi previsokih motenj, ki jih povzročajo. Bazna postaja uporablja sistem za hitro regulacijo moči in tako zahteva od mobilnega terminala povišanje oz. znižanje oddajne moči. Slika 8 prikazuje omenjeno proceduro s stališča sistema, slika 9 pa dosežen učinek pri bazni postaji. Ukazi za znižanje oz. povišanje moči izhajajo iz sprememb v sprejetem signalu zaradi drugačnega razširjanja valov, ki je posledica različnih dejavnikov, kot so teren, vreme, drugi uporabniki itd. Sistem krmiljenja moči deluje nad povezavami navzdol, tako da se zmanjšajo skupne motnje v sistemu in se s tem zagotovi sprejem kakovostnega signala pri mobilnem terminalu.



Slika 8: Sistemska krmiljenje moči [17].

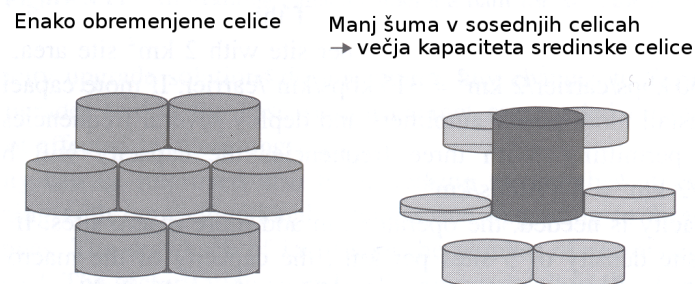


Slika 9: Učinek krmiljenja moči v sprejeti moči pri bazni postaji [17].

## Mehka kapaciteta

Zmogljivost in pokritost sta prepleteni v omrežjih CDMA. Število uporabnikov, skupni promet in nivo motenj v sistemu vplivajo na kakovost storitev ter lahko povzročijo blokado dostopa za nove uporabnike. Z znižanjem dovoljenega praga interferenčnega šuma se pokritost izboljša na račun zmogljivosti, medtem ko se z zvišanjem praga šuma zmogljivost poveča na račun pokritosti. Celice z manj prometa delijo svojo zmogljivost z bolj obremenjenimi sosednimi celicami zaradi omenjene simetrične relacije med pokritostjo in zmogljivostjo (slika 10). Zato je največja zmogljivost omrežja omejena s pragom interferenčnega šuma v radijskem vmesniku (angl. air interface),

ki jo poznamo pod imenom mehka kapaciteta (angl. soft capacity) in je v veliki meri odvisna od prostorske razporeditve uporabnikov znotraj področja pokrivanja celice.



Slika 10: Mehka kapaciteta med celicami WCDMA [17].

### Pouporaba frekvenc

Vsaka bazna postaja v omrežju WCDMA deluje na isti frekvenci danega nosilca. Prav tako vsi mobilni terminali uporabljajo isto frekvenco. V takšnem okolju govorimo o pouporabi frekvenc s faktorjem ena (angl. frequency reuse factor one), zato je frekvenčno načrtovanje nepotrebno. Vendar je zaradi motenj, ki jih vsaka celica in vsak mobilni terminal povzročajo v sistemu, treba posebno pozornost nameniti nadzoru interference. Ta je običajno odvisna od razdalje med baznimi postajami, konfiguracije anten, ravni skupnega prometa in območja pokritosti celic.

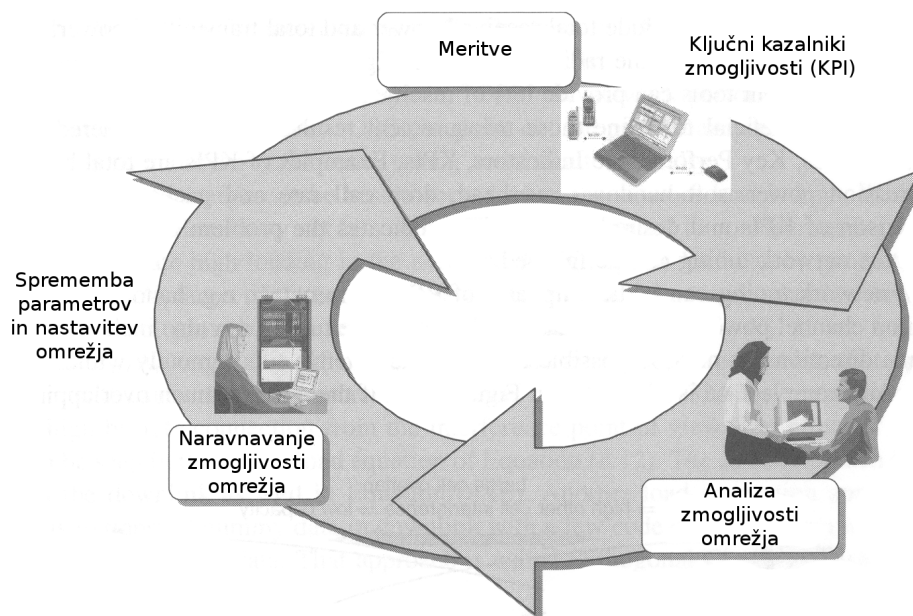
### Dihanje celic

Področje pokrivanja celice v sistemih CDMA se širi in krči glede na število povezanih uporabnikov ter vrsto uporabljenih storitev. Ta pojav poznamo kot dihanje celic. Vzrok je istočasno oddajanje signalov mobilnih terminalov, katere sistem identificira z razporeditvijo edinstvenih kod. Učinek dihanja celic temelji na konceptu prevladujočega področja celice [17], kar je v WCDMA zapleteno zaradi pouporabe frekvenc s faktorjem ena.

## 3.2 OPTIMIZACIJA RADIJSKEGA OMREŽJA

Vsako telekomunikacijsko omrežje je dinamično in se stalno spreminja. Pri radijskih sistemih poleg gibanja uporabnikov in uvajanja novih storitev nastopajo tudi spremembe v okolju (na primer nove ceste in zgradbe) ter v razširjanju radijskih valov (vreme, letni časi, ovire, obremenitev drugih celic itd.).

Pogoste so tudi hitre spremembe, ki nastopijo zaradi dnevnih migracij uporabnikov (dopoldne-zvečer) in izrednih dogodkov (nesreče, množične prireditve, izpadi baznih postaj itd.). Sistemi imajo vgrajene mehanizme, ki omogočajo delno prilagajanje



Slika 11: Proces optimizacije omrežja UMTS [17].

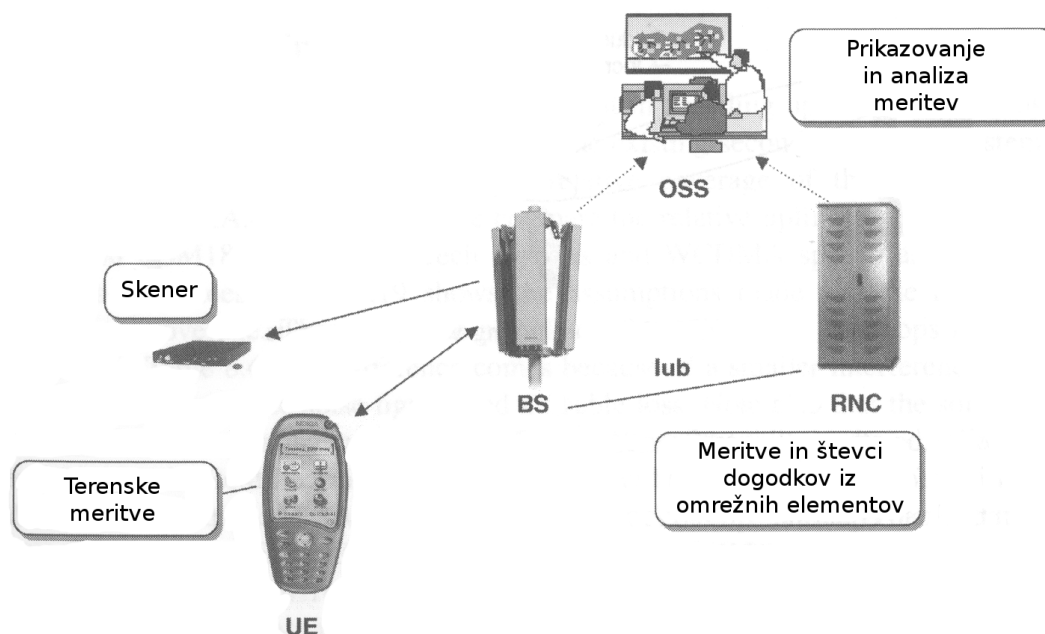
na hitre spremembe (na primer dinamično zmanjševanje celic), tako da omrežje prilagajamo samo počasnim spremembam.

Optimizacija radijskega omrežja je proces izboljšanja kakovosti uporabniških storitev in zagotavljanja učinkovite uporabe omrežnih virov. Proces optimizacije vključuje naslednje korake:

- meritve zmogljivosti omrežja,
- analizo rezultatov meritev,
- spremembe v nastavitvah in parametrih omrežja.

Slika 11 prikazuje proces optimizacije omrežja UMTS.

Da bi z optimizacijo dosegli izboljšanje kakovosti storitev je potrebna zelo jasna slika o dejanskem stanju omrežja. Slika 12 prikazuje tipična merilna orodja, ki pripomorejo k učinkoviti optimizaciji omrežja. Zelo pomembna je definicija ključnih indikatorjev zmogljivosti (angl. key performance indicators, KPI), ker je za omenjena orodja značilno ustvarjanje velike količine podatkov. Obstaja veliko različnih indikatorjev, kot so na primer skupna oddajna moč bazne postaje, režija zaradi mehkega izročanja, delež prekinjenih klicev, zakasnitev prenosa paketnih podatkov itd. Odkrivanje problematičnih področij v omrežju dosežemo s primerjavo med indikatorji in njihovimi pričakovanimi vrednostmi.



Slika 12: Različne meritve med procesom optimizacije omrežja UMTS [17].

Najbolje je opazovati delovanje omrežja pod visoko obremenitvijo, ker nekateri problemi niso vidni, ko je obremenitev nizka. Zato je včasih potrebna simulacija uporabniškega prometa, da bi lahko opazili učinke večje obremenitve.

V nadaljevanju se bomo osredotočili na skupni referenčni kanal celice, ki bo v preizkusnih modelih glavna optimizacijska spremenljivka.

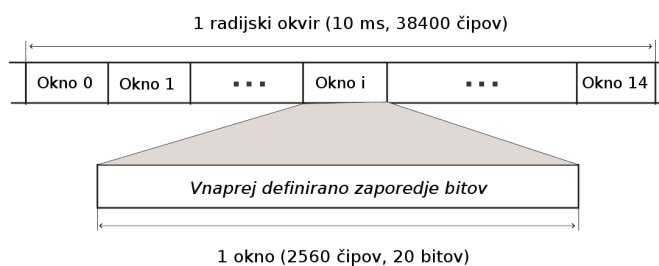
## 4 NASTAVITEV SKUPNEGA REFERENČNEGA KANALA V OMREŽJU UMTS

Zaradi potencialnih omejitev v navzdolnjih povezavah omrežij, ki temeljijo na tehnologiji WCDMA, in uporabe referenčnih kanalov za sinhronizacijo med celicami, je pravilna nastavitev oddajne moči skupnih referenčnih kanalov izjemno pomembna.

### 4.1 SKUPNI REFERENČNI KANAL

Skupni referenčni kanal (angl. common pilot channel, CPICH) navzdol prenaša vnaprej definirano sekvenco podatkov s konstantno hitrostjo 30 Kbit/s [17]. Kanal CPICH ni moduliran, temveč ga identificiramo na podlagi primarne psevdo naključne kode oddajne celice. CPICH je referenčni kanal, iz katerega mobilni terminal preračuna moč sprejetega signala oddajne celice. Na bazni postaji je CPICH tudi referenčni kanal, saj predstavlja osnovo za ostale kanale na celici, katerih vrednosti so podane v decibelih proti CPICH. Tabela 2 prikazuje nekaj najpomembnejših kanalov celice.

Obstajata dva različna referenčna kanala: primarni skupni referenčni kanal P-CPICH in sekundarni skupni referenčni kanal S-CPICH. Oba imata enako notranjo strukturo, kot jo prikazuje slika 13. Razlika med njima je v tem, da je P-CPICH vedno pod primarno psevdo naključno kodo celice in je lahko največ eden na celici, medtem ko je S-CPICH lahko kodiran s sekundarno psevdo naključno kodo.



Slika 13: Notranja struktura skupnega referenčnega kanala [2].

V nadaljevanju našega dela bomo pisali CPICH, kadar mislimo P-CPICH, ker ima sekundarni skupni referenčni kanal drugačne lastnosti [17], ki niso zanimive s stališča optimizacije radijskega omrežja.

Mobilni terminal opravlja dve različni meritvi na CPICH. Prva je t. i. kodna moč sprejetega signala (angl. received signal code power, RSCP), ki se uporablja za odločanje o izročanju, nadzor oddajne moči navzdol in navzgor ter za ocenjevanje t. i. izgube poti (angl. path loss), saj je oddajna moč CPICH na celici znana. Izguba poti je slabljenje signala med širjenjem skozi prostor. Na izgubo poti vplivajo profil terena

Tabela 2: Nekateri kanali celice UMTS [34].

<b>Skupni kanali</b>	
Ime	Opis
P-SCH in S-SCH	Primarni in sekundarni sinhronizacijski kanal (angl. Primary and Secondary Signalling Channels). S pomočjo teh kanalov mobilni terminal najde celico WCDMA in se z njo sinhronizira.
CPICH	Skupni referenčni kanal (angl. Common Pilot Channel) je nemoduliran oddajni kanal in ima vnaprej določen bitni niz ter kodo OVSF. CPICH določa referenco za druge kanale. Z nastavitvijo oddajne moči CPICH določamo moči vseh ostalih krmilih kanalov, kakor tudi doseg celice. Mobilni terminali s spremljanjem CPICH merijo jakost signala svoje in sosednih celic.
P-CCPCH	Primarni skupni krmilni fizični kanal (angl. Primary Common Control Physical Channel) oddaja podatke o omrežju, celici in sosednjih celicah, podobno kot BCCH (angl. Broadcast Control Channel Broadcast Control Channel) v GSM. WCDMA omogoča prenos veliko več sistemskih podatkov kot GSM.
S-CCPCH	Sekundarni skupni krmilni fizični kanal (angl. Secondary Common Control Physical Channel) podpira klicni kanal (angl. Paging Channel, PCH) in vnaprejšnji dostopovni kanal (angl. Forward Access Channel, FACH)
PRACH	S paketnim kanalom za naključni dostop (angl. Physical Random Access Channel) mobilni terminal vzpostavlja zvezo s sistemom.
AICH	Indikatorski kanal pridobitev (angl. Acquisition Indication Channel) je kanal, po katerem sistem odgovori na zahtevo PRACH.
PDSCH	Fizični skupni navzdolnji kanal (angl. Physical Downlink Shared Channel) je primeren za paketne storitve. Pred uporabo tega kanala mora mobilni terminal imeti vzpostavljen svoj DPCCH s sistemom.
<b>Dodeljeni kanali</b>	
Ime	Opis
DPDCH	Namenski fizični podatkovni kanal (angl. Dedicated Physical Data Channel) posreduje podatke o uporabniku in signalizacijo navzgor in navzdol.
DPCCH	Namenski fizični krmilni kanal (angl. Dedicated Physical Control Channel) prenaša informacije o delovanju zveze: podatke CPICH, regulacijo moči in podatke o formatu prenosa. Deluje v obeh smereh, t. j. navzgor in navzdol.



(hribovit ali položen teren), okolje (mesto ali podeželje), razdalja med oddajnikom in sprejemnikom ter višina anten. Druga meritev, ki jo mobilni terminal opravlja, je t. i.  $E_c/I_o$ , ki predstavlja razmerje med povprečno sprejeto močjo iz CPICH in skupno močjo signala. Govorimo o razmerju nosilec-motnja (angl. carrier-to-interference ratio, CIR) kot merilu za izbiro celice oz. nove celice (angl. cell selection/re-selection) kakor tudi za izročanje [3, 4]. CIR je najbolj pomembno merilo na mobilnem terminalu z vidika načrtovanja omrežja WCDMA, saj je zelo natančen indikator pokrivanja [26].

Med iskanjem celice mobilni terminal skuša ugotoviti psevdo naključno kodo celice. Psevdo naključna koda je nujno potrebna za dekodiranje sistemske informacije. Izbira celice je postopek, preko katerega mobilni terminal išče, na katero celico se bo priključil. Ta procedura se izvaja takoj po izbiri primerne omrežja. Izbira temelji na meritvah  $E_c/I_o$ , preračunanih na podlagi signala CPICH.

Iskanje celice se izvaja, ko je mobilni terminal v povezanem stanju (angl. active mode) oz. v nedejavnem stanju (angl. idle mode). V povezanem stanju mobilni terminal išče kandidate za izročanje med celicami. Na podlagi meritev  $E_c/I_o$  mobilni terminal razvrsti celice in izbere najboljšo oz. tisto, ki je za določen časovni interval dosegla kakovostni kriterij. RNC je tisti, ki določa kakovostne kriterije celice.

Izročanje je procedura, ki omogoča mobilnemu terminalu povezavo na več celic hkrati. Meritve  $E_c/I_o$  različnih celic je podlaga za odločitev o izročanju na drugo celico.

Iz napisanega sledi, da imajo meritve skupnega referenčnega kanala odločilno vlogo pri določanju področja pokrivanja celice. To dejstvo je neposredno povezano s kapaciteto celice in posledično tudi z nadzorom nad porabo virov določene celice ter njenih sosed.

Mobilni terminal določa kakovost kanala CPICH na podlagi dveh glavnih meritev, RSCP in  $E_c/I_o$ . Faktorji, ki vplivajo na njiju, so:

- oddajna moč kanala CPICH,
- slabljenje med anteno in mobilnim terminalom,
- interferenca v istem kanalu (t. j. skupna sprejeta moč iz lastne in drugih celic),
- šum in interferenca sosednjih kanalov.

Slabljenje, skupni sprejeti šum in motnje sosednjega kanala so odvisni od okolja in strojne opreme. Slabljenje v povezavah navzdol je odvisno tudi od nastavitve antene in ga lahko zanemarimo pri kratkoročnem načrtovanju omrežja. Uporabniški promet prispeva večji del k skupni sprejeti moči signala kot krmilni kanali. Slabljenje na istem kanalu je večinoma odvisno od prometa, zato gledamo na oddajno moč CPICH kot na učinkovit in relativno neodvisni faktor za nadzorovanje sprejete moči signala CPICH,

zlasti v obremenjenih omrežjih z neprestanim visokim šumom. Zaradi zmanjšanja motenj bi bilo potrebno upoštevati nastavitve anten kot učinkovit dolgoročni vir za izboljšanje kakovosti sprejetih signalov CPICH, čeprav jih naše delo ne obravnava. Skupno optimizacijo nastavitve anten in oddajne moči CPICH so obravnavali Siomina et al. v viru [37]. Upoštevali smo, da je ugotavljanje optimalnih nastavitve oddajne moči CPICH tudi brez upoštevanja antenske konfiguracije zelo zapleteno, saj gre za iskanje kompromisa med porabo energije in področjem pokritosti celice. V naslednjem poglavju predstavljamo izzive, ki izhajajo iz tega iskanja.

## 4.2 IZZIVI PRI NASTAVLJANJU ODDAJNE MOČI CPICH

Nadzor nad oddajno močjo CPICH je ključni problem pri načrtovanju in optimizaciji omrežja UMTS. S prilagajanjem oddajne moči CPICH lahko radijski inženir nadzira velikost področja pokrivanja celice, število povezanih uporabnikov na celici in ravnotežje prometa med sosednimi celicami, kar tudi omogoča sledenje nad skupno obremenitvijo omrežja (angl. network load). Cilj nadzora kanalov CPICH je, da vse bazne postaje uporabljajo ravno dovolj oddajne moči za zagotovitev zahtevane pokritosti in kakovosti storitev (angl. quality of service, QoS) v celotnem omrežju.

Pri optimizaciji oddajne moči CPICH gre za uravnoteženje med porabo moči in pokrivanjem celice. Oddajne moči CPICH v povezavah navzdol so definirane s stališča omrežja, vendar standard 3GPP [2] ne določa nobenih priporočenih vrednosti za njih. Splošno pravilo za nastavljanje oddajne moči CPICH pravi, da mora biti celici dodeljeno od 30 do 33 dBm oziroma od 5 % do 10 % skupne oddajne moči bazne postaje [17, 26]. Poleg kanala CPICH v celici obstajajo tudi drugi skupni in dodeljeni kanali (angl. common and dedicated channels), katerih maksimalna moč je sorazmerna z močjo CPICH (glej tabelo 2).

Krmilni in prometni kanali si delijo skupno oddajno moč navzdol. Očitno je, da čim večja je oddajna moč za krmilno signalizacijo, toliko manj moči preostane za uporabniški promet. V primeru prekomernega nastavljanja oddajne moči lahko hitro pride do pomanjkanja virov na prometnih kanalih, čeprav bi se lahko mobilni terminali vseeno izročili v celico zaradi povečanega pokrivanja. Z uvedbo t. i. hitrega paketnega dostopa navzdol (angl. high-speed downlink packet access, HSDPA) je hitrost prenosa podatkov odvisna od moči, ki je na razpolago v prometnih kanalih. To dejstvo kaže, da je učinkovita razporeditev moči za skupne kanale še posebej pomembna. Poglejmo si podatke iz tabele 3. Čeprav količina energije, dodeljena drugim skupnim kanalom za povezave navzdol, ne presega tiste od CPICH (doseže približno 80 % moči CPICH), predstavlja skupna količina porabljene energije v vseh navzdolnih kanalih, vključno s kanalom CPICH, skoraj 20 % maksimalne moči celice. Zmanjšanje porabe energije

Tabela 3: Tipične nastavitve skupnih navzdolnih kanalov [17].

Skupni navzdoljni kanal	Razmerje proti CPICH	Aktivnost	Povprečna moč <sup>a</sup>
CPICH	0 dB	100%	2,0 W
P-SCH	-3 dB	10%	0,1 W
S-SCH	-3 dB	10%	0,1 W
P-CCPCH	-5 dB	90%	0,9 W
PICH <sup>b</sup>	-8 dB	100% <sup>c</sup>	0,3 W
AICH	-8 dB	100% <sup>d</sup>	0,3 W
S-CCPCH	0 dB <sup>e</sup>	10% <sup>f</sup>	0,2 W
Skupna moč kanalov			3,6 W

<sup>a</sup>Glede na 20 W skupne moči na bazni postaji.

<sup>b</sup>(angl. Paging Indicator Channel, PICH)

<sup>c</sup>V primeru največje obremenitve prenosa.

<sup>d</sup>V primeru maksimalne obremenitve kanala.

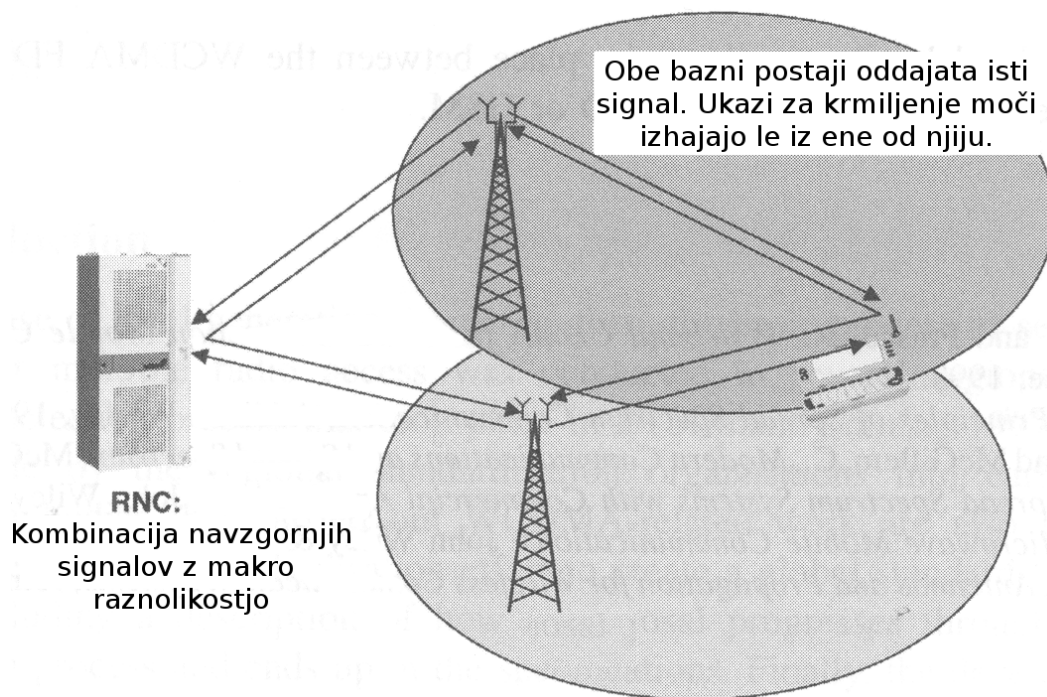
<sup>e</sup>Odvisno od hitrosti FACH. Upoštevamo 32 Kbit/s.

<sup>f</sup>Odvisno od prometa na kanalih PCH in FACH.

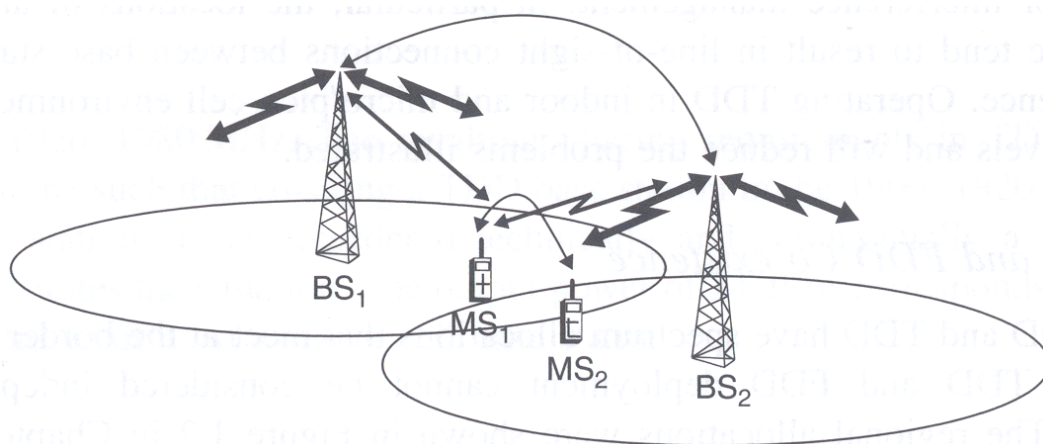
na 15 % celotne moči na celici (kar je izvedljivo glede na [24, 37]) bi ugodno vplivalo na skupno zmogljivost prenosa v omrežju. Z zmanjšanjem moči CPICH prepuščamo več moči na voljo uporabnikom, kar povečuje zmogljivost celic, vendar lahko povzroči težave zaradi slabše pokritosti. Po drugi strani pa povečanje moči kanala CPICH izboljša pokritost, vendar na račun moči, ki je na voljo za preostali promet.

Mehka in mehkejša izročanja (angl. soft and softer handovers) predstavljajo še drug dejavnik, ki ga moramo obravnavati za uravnoteženje med pokritostjo in oddajno močjo CPICH. Ta so odvisna od pokritosti in močno vplivajo na učinkovitost delovanja omrežja. Izročanje z makro raznolikostjo (angl. macro diversity handover) je načelo, ki zmanjša oddajno moč navzdol in navzgor (slika 14). Med izročanjem je mobilni terminal povezan z dvema ali več celicami hkrati, kar poveča prenos prometa. Kljub prednostim mora biti izročanje v razumnih mejah in to tako, da prepreči prekoračitev kapacitete celice. Ta je namreč določena s številom uporabnikov in vrsto ponujenih storitev. Drugače bi lahko pridobitve v kapaciteti omrežja zaradi izročanja z makro raznolikostjo izginile, saj je režija zaradi izročanja zelo visoka in se hitro spremeni v manj zmogljivo omrežje.

Drugi cilj krmiljenja oddajne moči kanala CPICH je nadzor nad motnjami v omrežju. Prekomerna oddajna moč CPICH doprinese k skupni motnji v omrežju na različne načine (slika 15). Po drugi strani pa višja oddajna moč CPICH poveča prekrivanje celic in posledično tudi število uporabnikov v mehkem izročanju. Slednje lahko vodi do večjih motenj, ko je dobitok zaradi mehkega izročanja manjši kot njegova režija. Nenazadnje je prostorska distribucija motenj v povezavah navzdol in navzgor odvisna od področja pokritosti različnih celic, področje pokritosti pa je odvisno od oddajne moči CPICH.



Slika 14: Mehko izročanje z makro raznolikostjo [17].



Slika 15: Interferenčni šum med mobilnimi terminali (MS), med baznimi postajami (BS) in med MS ter BS [17].

CPICH zagotavlja značilne signale za upravljanje radijskih virov, kot sta izročanje in izbiranje nove celice. Zaznavanje več signalov CPICH s približno enako močjo lahko povzroči onesnaževanje referenčnih kanalov (angl. pilot pollution). O onesnaževanju referenčnih kanalov govorimo, ko mobilni terminal nima dovolj virov<sup>9</sup> za obdelavo vseh sprejetih signalov ali pa ni prevladujočega referenčnega signala [27, 28]. S tradicionalnimi metodami načrtovanja radijskega omrežja se onesnaževanju referenčnih kanalov ni mogoče popolnoma izogniti zaradi nehomogenega razširjanja radijskih valov in prekrivanja celic. Vendar ga lahko zmanjšamo z optimizacijo oddajne moči CPICH tako, da rahlo presežemo zahtevane nivoje signala za zaželeno pokritost [46]. Učinek so jasno definirana prevladujoča področja celic. Med orodji za zmanjševanje onesnaževanja referenčnih kanalov najdemo optimizacijo nastavitvev anten [18, 30] in uporabo repetitorjev [7].

S prilagajanjem oddajne moči CPICH na ravni celice lahko prilagodimo ravnotežje prometa med različnimi celicami, kar omogoča tudi nadzor nad področji z veliko prometom in s tem zmogljivostjo omrežja. Zmanjševanje moči CPICH povzroča selitev mobilnih terminalov v druge celice, t. j. izročanje v druge celice. Po drugi strani povečanje moči CPICH poziva več terminalov do izročanja v celico. V omrežjih WCDMA je prometno uravnovešanje vedno povezano s t. i. dihanjem celice, ki nastane, ko se obremenitev celice spremeni. Večja obremenitev pomeni povečano skupno sprejeto moč, kar zmanjšuje vrednost CIR in krči celico. Proces krmiljenja moči (angl. power control) povzroča dinamično celično dihanje, v katerem bazna postaja samodejno prilagaja oddajno moč, ko je celica obremenjena, tako da zagotovi ravnovesje med mejo izročanja navzdol in navzgor [46]. Temu rečemo tudi tehnično dihanje celice (angl. technical cell breathing) [31].

Iz zgornje razprave sledi, da je nastavitvev oddajne moči CPICH zelo zahtevna naloga in s tem tudi sama optimizacija omrežja WCDMA. Problem optimizacije oddajne moči CPICH predstavlja velik izziv zaradi večdimenzionalne cenovne funkcije in velikega števila parametrov. Formalno definicijo tovrstnih problemov je zelo težko določiti in še težje reševati, še posebej za velika realna omrežja. Zato ni znanega standardnega pristopa k reševanju tega problema. Optimizacija oddajne moči CPICH večinoma temelji na kombinaciji strokovnih izkušenj in poenostavljenih optimizacijskih problemov z različnimi cilji. Naslednje poglavje predstavlja pregled nad nekaterimi obstoječimi pristopi za reševanje omenjenega problema.

---

<sup>9</sup>Tehnično ime vira je sprejemnik RAKE (angl. RAKE receiver).

## 5 PREDSTAVITEV DRUGIH PRISTOPOV

Glede na splošno pravilo za nastavljanje oddajne moči CPICH moramo kanalu CPICH dodeliti 5 % do 10 % skupne razpoložljive moči bazne postaje [26]. Ker za omenjeno nastavitev ni standardnega pristopa, bomo v nadaljevanju predstavili nekatere obstoječe pristope za reševanje tega problema. Najučinkovitejši pristopi so tisti, ki temeljijo na optimizaciji omrežja, vendar je njihova implementacija zelo zahtevna.

Laiho et al. [26] obravnavajo različne strategije za nastavljanje oddajne moči CPICH posameznih celic, kot so:

- *Poenotena nastavitev moči CPICH.* S to strategijo vse celice oddajajo CPICH z enako močjo.
- *Ročna nastavitev,* s katero se oddajna moč CPICH ročno nastavi za vsako celico. Nastavitve le-teh so lahko različne.
- *Nastaviti največjo oddajno moč CPICH najmanj obremenjeni celici.* Ta pristop temelji na povečanju oddajne moči celicam z najmanj prometa. S tem povečamo območje pokrivanja celice in posledično število potencialnih uporabnikov. Oddajno moč sosednjih celic je potrebno prilagoditi glede na to celico.

Uporaba poenotene nastavitve je najbolj enostavna in pogosto uporabljena strategija za nastavljanje oddajne moči CPICH. Kljub razširjeni uporabi je poenotena nastavitev učinkovita le v scenarijih z enostavnim razširjanjem valov, v katerih je slabljenje signala predvsem odvisno od razdalje. Če predpostavimo enakomerno porazdeljen promet in enako razporejene bazne postaje, ugotovimo, da je velikost območja pokrivanja posameznih celic približno enaka po celem omrežju. Vendar, ko upoštevamo nehomogena geografska območja (mestna središča in podeželja), poenotena nastavitev oddajne moči ni učinkovita zaradi prekomerne porabe električne energije. Še več, takšna rešitev povzroča visoke nivoje interferenčnega šuma, velika območja prekrivanja celic in visoko raven onesnaženja referenčnih kanalov [30].

Eisenbläter et al. [11, 12] so se ukvarjali z minimiziranjem poenotene nastavitve oddajne moči makro celic. V njihovem delu je optimizacija oddajne moči CPICH le del bolj splošnega optimizacijskega problema omrežja. Njihov cilj je optimizacija lokacij in nastavitve baznih postaj ter nastavitve moči navzgorjih in navzdolnih prometnih kanalov.

Ročno nastavljanje moči CPICH, ki večinoma temelji na praktičnih izkušnjah in strokovnih intuicijah, je običajno učinkovitejše od poenotene nastavitve, čeprav podane rešitve pogosto precej odstopajo od optimalnih. Poleg tega je ročno sestavljanje kakovostnega nabora parametrov za vsako celico posebej zahtevna naloga, zlasti v

velikih omrežjih, zato se mobilni operaterji ponavadi izognejo optimizaciji omrežja in osredotočijo svoja prizadevanja na odpravljanje prijavljenih težav uporabnikov. Potrebno je torej uvesti samodejno optimizacijo in upravljanje konfiguracijskih parametrov, saj je ročni pristop neustrezen. Takšen pristop bi mobilnim operaterjem omogočil prihranek človeških virov in časa. Tako so Love et al. v [28] pokazali, da je njihov algoritem z upoštevanjem pravil (angl. rule-based algorithm) iz stroškovnega vidika občutno boljši kot ročno nastavljenih rešitev.

Nastavljanje največje oddajne moči CPICH najmanj obremenjeni celici predstavlja pristop, namenjen uravnoveženju prometa v omrežju. Utemeljitev tega pristopa najdemo v različnih eksperimentalnih študijah, ki se ukvarjajo z učinki prilagajanja oddajne moči CPICH glede na obremenitev in zmogljivost celice. Yang in Lin sta v [46] pokazala, da lahko razumemo nadzor nad oddajno močjo CPICH kot dodatno sredstvo za uravnoveženje prometa in povečanje zmogljivosti močno obremenjenih celic.

Zhu et al. [48] so s simulacijami preučili uravnoveženje prometa glede na spremembe v oddajni moči CPICH. Predlagali so tudi skupino ključnih kazalcev kakovosti, na podlagi katerih so bile oddajne moči prilagojene.

Drugačen pristop za uravnoveženje prometa najdemo v [39], kjer Siomina in Yuan obravnavata problem maksimiranja zmogljivosti celic, ki predstavljajo ozko grlo omrežja. Pri tem zagotavljata popolno pokritost storitvenega področja (angl. service area). Zmogljivost celice je v njunem delu določena kot razmerje med zahtevano močjo in močjo, ki je celici na voljo.

Valkealahti et al. [42] so predstavili algoritem z gradientnim spustom (angl. gradient-decent algorithm) za minimiziranje cenovne funkcije. Njegove učinke so analizirali v orodju za simulacijo omrežja. Na podlagi nastavljenih vrednosti za pokritost in prometno obremenitev algoritem poskusi minimizirati odstopanje od danih vrednosti s prilagoditvijo oddajne moči CPICH. Rešitev za podoben problem najdemo v [43], kjer Valkealahti et al. predstavlja preprost algoritem z upoštevanjem pravil. V vsaki iteraciji računanja algoritem prilagodi oddajno moč CPICH celice za 0,5 dB glede na to, ali je celica preobremenjena oz. razbremenjena v primerjavi z njenimi sosedi. Prilagajanje moči se je v simulatorju izvajalo enkrat na sekundo. Pri tem je bila nastavitev oddajne moči omejena s 3 % do 15 % skupne razpoložljive moči bazne postaje.

Ying et al. [47] so predlagali algoritem za uravnoveženje prometa med celicami. Njihov algoritem sestoji iz dveh delov: porazdelitve obremenitve (angl. load sharing) in uravnoveženja pokritosti (angl. coverage balancing), ki se izvajata vzporedno. Porazdelitev obremenitve dosežejo s spremembami v oddajni moči CPICH posameznih celic. V vsaki iteraciji se moč CPICH celice spremeni glede na relativni promet navzdol. Vzporedno izvajanje uravnoveženja pokritosti povečuje verjetnost doseganja kakovostnih nastavitev oddajne moči CPICH.

V [14] najdemo drugačen pristop za uravnoveženje prometa, ki temelji na tehniki simuliranega ohlajanja. Namen Garcia-Lozano et al. je iskanje nastavitve oddajne moči CPICH, ki minimizirajo skupno porabljeno moč za prenose navzgor in zagotavljajo zahtevano stopnjo pokritosti.

Kim et al. so v [23] predstavili hevristični algoritem, ki v vsaki iteraciji prilagodi oddajno moč CPICH posamezne celice v omrežju. Struktura problema predstavlja slabost njihovega pristopa zaradi katere je zelo težko najti globalno optimalno nastavitve moči. Optimalno rešitev tega problema je mogoče dobiti le z optimizacijo oddajne moči CPICH vseh celic hkrati [37].

V praksi obstaja veliko pristopov za nastavljanje parametrov radijskega omrežja. Nekateri niso prisotni v literaturi, medtem ko so drugi slabo dokumentirani zaradi komercialnih interesov [41]. Veliko objavljenih pristopov predstavlja preproste algoritme z upoštevanjem pravil. Njihovi preizkusi ponavadi temeljijo na simulacijah poenostavljenih scenarijev radijskih omrežij. Uporaba optimizacijskih pristopov je v praksi bolj redka, čeprav so njihove rešitve boljše. Razlogov za redko uporabo teh pristopov je več, kot so na primer velikost problema, časovna zahtevnost algoritma, zapletena struktura problema itd. Optimizacijske tehnike se prav tako uporabljajo za zmanjševanje velikosti problema [38] in izpeljavo enostavnih struktur, s katerimi opisujemo najpomembnejše lastnosti radijskega omrežja [13, 21]. V praksi prevladuje uporaba hitrih in razmeroma dobrih rešitev brez ocene kakovosti [37].

Cilj našega dela je razvoj primerne sistema za optimizacijo velikega delujočega omrežja. Analiza rezultatov poteka v realnih scenarijih, kar zagotavlja usklajenost s trenutno metodologijo optimizacije omrežja.



## 6 OPIS SISTEMA

Kakor je bilo že rečeno, je optimizacija radijskega omrežja UMTS zelo kompleksna naloga, ki jo morajo mobilni operaterji redno izvajati, večinoma ročno. Po začetni vzpostavitvi radijskega omrežja prične delovati neskončni postopek spremljanja zmogljivosti omrežja in kakovosti storitev. Spremembe trdih in mehkih parametrov so potrebne zaradi nihanja prometa, raznolikosti storitev, mobilnosti uporabnikov itd. Cilj samodejnega prilagajanja nastavitvenih parametrov je optimalno delovanje omrežja brez ročnega dela. Inženir bi bil potreben le za definicijo referenčnih vrednosti, ki določajo zaželeno raven zmogljivosti omrežja in kakovosti storitev.

### 6.1 ARHITEKTURA SISTEMA

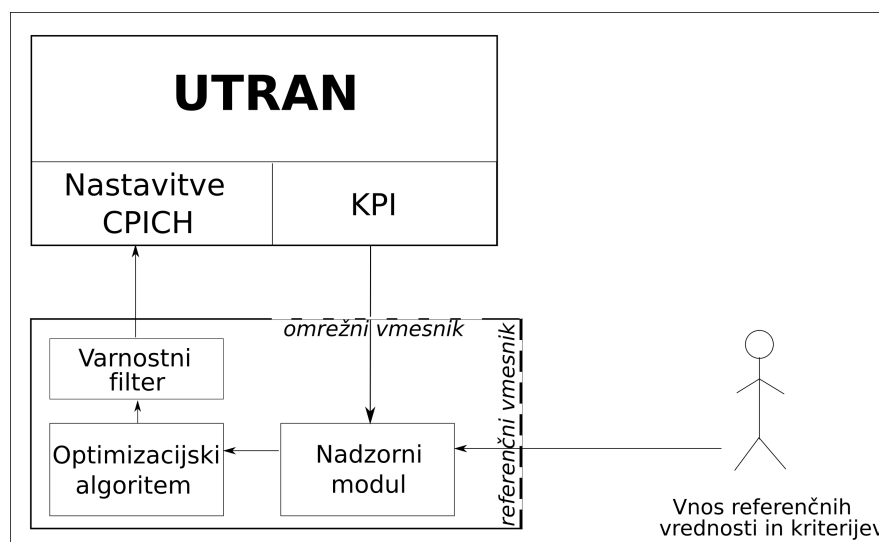
Konceptualni model funkcionalne arhitekture Sistema za opravljanje optimizacijskih nalog (SOON) prikazuje slika 16. Sistem sestoji iz treh modulov:

- optimizacijskega algoritma,
- nadzornega modula,
- varnostnega filtra

ter dveh vmesnikov:

- omrežnega in
- referenčnega.

Omrežni vmesnik zagotavlja dostop do ključnih indikatorjev zmogljivosti. Ti pripomorejo k pravilnemu razumevanju dejanskega stanja omrežja in njegovih storitev. Referenčni vmesnik predstavlja koncepte z različnih vidikov kakovosti storitev in zmogljivosti omrežja, katerih definicija je dolžnost operaterja.



Slika 16: Arhitektura sistema SOON.

Sistem SOON ustvarja povratno zanko med ključnimi indikatorji zmogljivosti omrežja in nastavitvami oddajne moči CPICH. Med spremljanjem delovanja omrežja v realnem času se vrednosti KPI shranijo v nadzorni modul za statistično analizo in primerjajo z vnaprej naloženimi referenčnimi vrednostmi. Rezultat te primerjave je popravek oz. delta vrednost CPICH v decibelih glede na trenutno nastavitev v RNC. Na ta način postane nastavljanje oddajne moči CPICH samodejen proces.

Sledi opis vseh treh sestavnih modulov sistema SOON.

### Nadzorni modul

Njegovo delo je stalno spremljanje množice vhodnih meritev vsake celice omrežja, na podlagi katerih se naknadno izračunajo popravki oz. delta vrednosti moči CPICH. Po primerjavi z referenčnimi podatki, naloženimi preko referenčnega vmesnika, ki izloči odstopajoče vrednosti in s tem zmanjša velikost problema, meritve postanejo vhodni podatki optimizacijskega algoritma.

### Optimizacijski algoritem

Ta modul sprejema podatke iz nadzornega modula in odloča o ukrepih, t. j. o popravkih delta vrednosti CPICH. Lahko bi se zgodilo, da nobena sprememba ni potrebna za nobeno celico. Takšen scenarij je sicer precej optimističen, saj bi to pomenilo, da smo našli optimalno rešitev. Zaradi dinamike velikega števila dejavnikov v omrežju UMTS ena sama optimalna rešitev ne obstaja.

## **Varnostni filter**

Varnostni filter naj bi preprečil nezaželene prekoračitve vrednosti CPICH od tistih, ki so trenutno nastavljene. S tem želimo doseči čim hitrejšo samodejno nastavljanje in najvišjo robustnost sistema SOON.

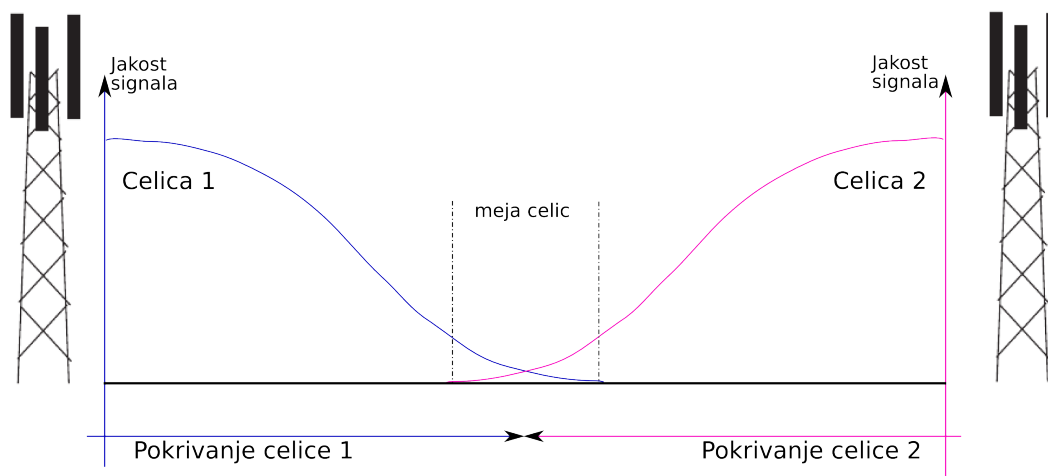
## 7 FORMALNA DEFINICIJA PROBLEMA

### 7.1 IZENAČENJE NAVZGORNJEGA IN NAVZDOLNJEGA PODROČJA ZA MEHKO IZROČANJE

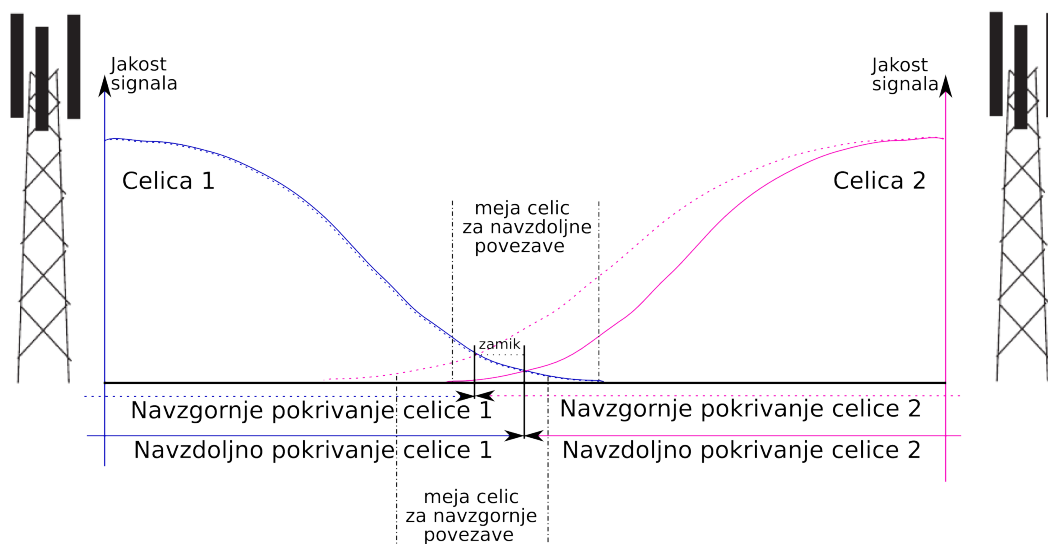
Izročanje je eno izmed bistvenih sredstev za podporo mobilnosti uporabnikov v mobilnih omrežjih. Osnovni koncept je preprost: ko se uporabnik premika iz področja pokrivanja ene celice v drugo celico, sistem vzpostavi povezavo z novo celico in sprosti povezavo s staro celico. Postopek mehkega izročanja je značilen v omrežjih CDMA, ki uporabnikom omogoča dve ali več istočasnih povezav z baznimi postajami, medtem ko se premikajo med celicami. Da bi ta postopek nemoteno deloval, je potrebno zagotoviti določeno prekrivanje celic. Govorimo o nemotenem mehkem izročanju, ki pomeni obstoj prekrivanja celic, tako da se omogoči neprekinjen prehod iz ene celice v drugo s pomočjo mehkega izročanja, t. j. brez prekinitve vzpostavljene zveze.

Med postopkom mehkega izročanja mora mobilni terminal prepoznati signal CPICH celice, na katero bo izročanje potekalo, preden zapusti področje pokrivanja celice, s katero je trenutno povezan. V ta namen se oddajne moči CPICH nastavijo tako, da signal iz ene celice pokrije svoje območje in tudi nekaj sosednjih območij, v katerih prevladujejo sosednje celice (glej sliko 17). To načelo drži tako za navzdolnje kot za navzgorne povezave. Sicer bi lahko pričakovali prekinitve prenosa podatkov zaradi pomanjkanja signala navzgor v trenutku, ko bazna postaja mobilnemu terminalu pošlje ukaz za izročanje v drugo celico, ali zaradi povečanih motenj sosednjih celic. V realnih omrežjih, kjer so bazne postaje sestavljene iz strojne opreme z različnimi lastnostmi, se območja pokrivanja navzgornjih in navzdolnjih povezav ponavadi razlikujejo. Razlog za te razlike najdemo na primer v morebitnih nameščenih ojačevalnikih, ki delujejo le v eno smer (na primer navzgor). Ker povezave v drugo smer (na primer navzdol) niso ojačane, nastane razlika dosega med povezavami v eno in drugo smer. Slika 18 prikazuje primer, v katerem ima le ena od celic nameščen ojačevalnik za navzgorne povezave. Ena morebitna rešitev za odpravljanje zamika med navzgornjim in navzdolnjim področjem pokrivanja celice je nastavitve oddajne moči CPICH, ki zagotavlja izenačenje dosega celic iz obeh področij.

Zamik med navzgornjim in navzdolnjim področjem pokrivanja merimo v decibelih. V primeru, ki ga prikazuje slika 18, bi lahko razliko odpravili s povišanjem oddajne moči celice, ki ustvarja zamik (t. j. Celica 2). Žal takšna rešitev ni univerzalna, saj moramo pri odpravljanju vsakega odkrivanega zamika upoštevati še ostale sosednje celice in kriterije načrtovanja omrežja, kot so območje pokrivanja, kakovost storitev itd., zato govorimo o iskanju kompromisa med vsemi upoštevanimi kriteriji.



Slika 17: Potrebno prekrivanje celic za nemoteno mehko izročanje.



Slika 18: Neizenačena področja za mehko izročanje navzgornjih in navzdolnjih povezav.

## 7.2 FORMULACIJA PROBLEMA

Naj bo radijsko omrežje UMTS podano z množico celic  $C = \{c_1, c_2, \dots, c_n\}$ . Označimo oddajno moč CPICH celice  $c \in C$  s  $CPICH_c$ . Za izražanje vrednosti  $CPICH_c$  uporabljamo enoto  $dBm$  [40]. Pri tem velja  $CPICH_c > 0 dBm \forall c \in C$ , saj bi bila sicer celica izklopljena in je ne bi upoštevali. Za vsako celico  $c \in C$  definiramo množico njenih sosednih celic kot  $S_c = \{s_1, s_2, \dots, s_m\}$ , za katero velja  $|S_c| \geq 1$  in  $S_c \subset C$ . Označimo še funkciji  $SHO_{DL}(c) : C \mapsto \mathbb{R}$  in  $SHO_{UL}(c) : C \mapsto \mathbb{R}$ , katerih definicijsko območje je množica celic  $C$  in zaloga vrednosti  $\mathbb{R}$ . Prva izraža območje mehkega izročanja navzdol, medtem ko druga izraža območje mehkega izročanja navzgor. Naj bosta  $P_c^{min}$  spodnja meja in  $P_c^{max}$  zgornja meja vrednosti  $CPICH_c, \forall c \in C$ .

Problem nastavljanja oddajne moči CPICH v celicah omrežja UMTS definirajmo na sledeč način:

### Cilj

- Poišči vektor  $CPICH = \{CPICH_c, c \in C\}$ , ki hkrati:
  - minimizira skupno porabo oddajne moči CPICH v omrežju, t. j.  $\sum_{c \in C} CPICH_c$ ;
  - minimizira odstopanje med navzdolnjim in navzgoranjim področjem mehkega izročanja, t. j.  $\sum_{c \in C} \sum_{s \in S_c} SHO_{DL}(c) - SHO_{DL}(s)$  ter  $\sum_{c \in C} \sum_{s \in S_c} SHO_{UL}(c) - SHO_{UL}(s)$ .

### Pogoji

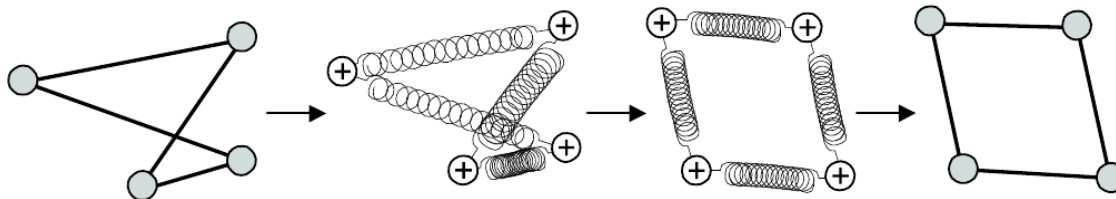
- Oddajna moč CPICH katerekoli celice  $c \in C$  mora biti v danem intervalu, t. j.  $P_c^{min} \leq CPICH_c \leq P_c^{max}$ . Razlika med  $P_c^{min}$  in  $P_c^{max}$  je v našem primeru nastavljena na 4 dB, t. j.  $CPICH_c - 2dB \leq CPICH_c \leq CPICH_c + 2dB$

Opisani problem bomo reševali s pomočjo grafov, vodenih preko sil, katere poznamo predvsem na področju risanja grafov.

## 7.3 UVOD V GRAFE, VODENE PREKO SIL

Risanje grafov s pomočjo metod, vodenih preko sil, pripada skupini algoritmov, ki izkazujejo osnovne analogije s fizikalnimi sistemi. Njihovi skupni lastnosti sta sledeči [5]:

- oblikuje se graf kot fizikalni sistem;
- končna risba grafa je posledica uravnovešenja fizikalnega sistema.



Slika 19: Eadesov pristop z vgrajenimi vzmetmi [5].

Poleg teh dveh lastnosti, ki izhajata iz osnovne definicije grafov, vodenih preko sil, bi lahko dodali še eno: uporaba teh algoritmov ni omejena na strukturalne lastnosti grafa. Zato lahko algoritme uporabljamo na poljubnem tipu grafa.

Obstaja veliko algoritmov, katerih obnašanje ne predstavlja popolne preslikave z metodami, vodenimi preko sil, čeprav vseeno pripadajo omenjeni kategoriji [5].

Večina algoritmov, vodenih preko sil, sestoji iz dveh delov:

- fizičnega modela grafa, ki predstavlja elemente grafa (vozlišča in povezave) ter upoštevane kriterije risanja za pridobivanje preglednih grafov;
- algoritma za iskanje ravnotežja fizikalnega sistema, ki predstavlja sprejemljivo in pregledno risbo grafa.

Poznamo dva načina risanja preglednih grafov. Prvi način modeliranja temelji na fizikalnih zakonih statike. Vozlišča grafa predstavljajo točke, na katere delujejo sile. Cilj algoritma je najti ravnotežje sistema, t. j. določiti položaj vsakega vozlišča tako, da je skupna sila sistema enaka nič. Najbolj znan primer takšnega modela je Eadesov pristop z vgrajenimi vzmetmi (angl. spring embedder) [10], kjer so prisotne privlačne sile v sistemu posledica postavljenih vzmeti med povezanimi vozlišči in odbojne sile med nepovezanimi vozlišči. Slika 19 prikazuje opisano analogijo.

Drugi način modeliranja upošteva energijo namesto sil. V tem primeru je cilj algoritma najti takšno razporeditev vozlišč, ki minimizira skupno energijo sistema. Kamada in Kawai [22] sta predstavila enega prvih primerov algoritma, ki temelji na modelu energije.

### 7.3.1 Prednosti grafov, vodenih preko sil

Modeli, vodenih preko sil, so zelo popularni pri risanju splošnih grafov. To dejstvo je razvidno v ponujeni programski opremi za risanje grafov. Skoraj vsaka implementacija vsebuje vsaj en algoritem za risanje grafov, vodenih preko sil. Med glavnimi razlogi za priljubljenost teh modelov lahko omenimo intuitivnost, enostavnost implementacije, preglednost in prilagodljivost.

## Intuitivnost

Intuitivnost teh modelov izhaja iz fizikalnih lastnosti znanih objektov (v Eadesovem primeru vzmeti), katerih obnašanje je predvidljivo in enostavno za razumevanje. Vsak si lahko predstavlja, kaj bi se zgodilo, če bi raztegnili vzmet in jo nato spustili. Nekateri algoritmi, vodeni preko sil, so mnogo več kot samo simulacija raztegovanja in krčenja vzmeti. Intuitivnost modela predstavlja veliko prednost v primerjavi z drugimi algoritmi (kot na primer celularni avtomati [6]), katerih izvajanje je nedeterministično in so njihovi rezultati nepredvidljivi.

## Enostavnost implementacije

Tako kot je razumevanje obnašanja algoritmov, vodenih preko sil, razmeroma enostavno, je tudi njihova implementacija enostavna. V primerjavi z večino drugih skupin algoritmov, katerih delovanje temelji na strukturah v obliki grafa, je implementacija algoritmov, vodenih preko sil, ponavadi krajša in manj zapletena.

Splošna struktura tipičnega algoritma, vodenega preko sil, je sledeča:

---

**Algoritem 1** Splošna struktura tipičnega algoritma, vodenega preko sil.

---

def AlgoritemVodenPrekoSil (Graf  $G$ ):

1. Določi začetni položaj vseh vozlišč v grafu  $G$
  2. Ponavljaj, dokler sistem, ki ga  $G$  modelira, ni v ravnotežju
    - 2.1. Izberi vozlišče v grafu  $G$
    - 2.2. Premakni vozlišče tako, da se skupna sila v  $G$  zmanjšuje
- 

Čeprav je zgornja psevdo koda zelo poenostavljena, lahko opazimo dve pomembni dejstvi. Prvič, izbrani model določi konfiguracijo fizikalnega sistema, katerega graf modelira, pri tem pa skrbi za interakcijo vplivajočih sil med njegovimi vozlišči. Izbrani model tudi implicitno upošteva kriterije risanja preglednih grafov. Drugič, izbrani model določi začetne položaje oz. koordinate vseh vozlišč v grafu, kakor tudi kriterije odločanja za premikanje vozlišč v vsaki iteraciji. Pri tem prevladuje cilj zmanjševanja sil v celotnem sistemu.

Algoritmi, vodeni preko sil, se razlikujejo med seboj glede na model, na katerem temeljijo, ali glede na uporabljen algoritem, ki ga implementirajo (včasih tudi zaradi obeh).

## Preglednost

Risbe grafov do 50 vozlišč so ponavadi zelo pregledne. Govorimo o rezultatih s stališča preglednosti grafa: poenotene dolžine povezav ter dovolj oddaljena in simetrično razporejena vozlišča [5].



## Prilagodljivost

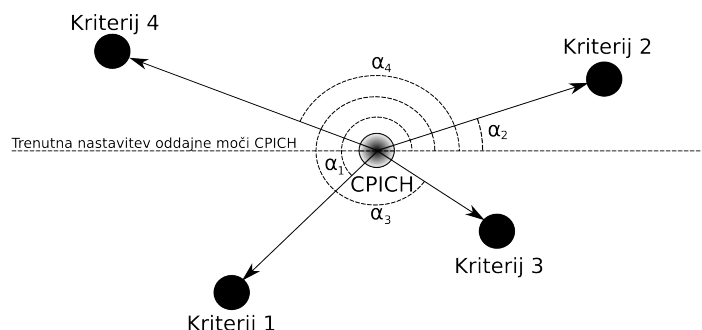
Pomembna značilnost grafov, vodenih preko sil, je njihova prilagodljivost. To se nanaša na dejstvo, da z njihovimi sestavljenimi elementi lahko modeliramo različne kriterije in merila.

To je zelo pomembna lastnost, saj, kadar graf predstavlja model realnega problema, nastanejo lastna merila in semantični kriteriji v narisani reprezentaciji grafa (na primer vozlišča kot mesta in povezave kot ceste med njimi). Algoritmi, voden preko sil, ne omejujejo grafov, na katerih jih lahko uporabljamo. Pogosto zadošča dodajanje oz. odstranjevanje kakšne sile zato, da bi bistveno spremenili pridobljene rezultate [5].

Med primere obstoječih prilagojenih modelov lahko omenimo tridimenzionalne grafe, grafe z gručkami (angl. clusters), grafe s fiksnimi položaji nekaterih vozlišč, usmerjene grafe, grafe z ukrivljenimi povezavami itd.

## 7.4 PRETVORBA PROBLEMA V GRAF, VODENEGA PREKO SIL

Osnovni elementi grafov, vodenih preko sil, so vozlišča, sile in koti, pod katerimi so sile povezane z drugimi vozlišči. V nadaljevanju opisujemo vlogo omenjenih elementov pri preslikavi problema.



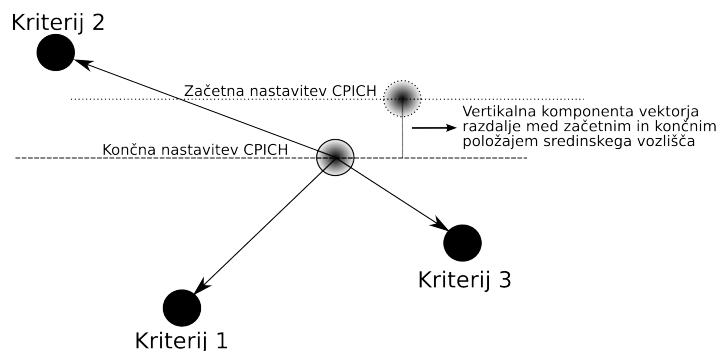
Slika 20: Pretvorba problema v graf, vodenega preko sil.

### Vozlišča

Razporeditev vozlišč v grafu je zvezdna. Zvezdna topologija grafa sestoji iz sredinskega vozlišča, okoliških vozlišč in iz središča usmerjenih povezav (glej sliko 20). Sredinsko vozlišče predstavlja točko, na katero vplivajo vse z njim povezane sile v sistemu. Zato je sredinsko vozlišče edino, ki ga smemo premikati. Položaj vseh okoliških vozlišč je fiksni. Njihov vpliv na položaj sredinskega vozlišča se spremeni glede na silo in kot, pod katerim omenjena sila vpliva na sredinsko vozlišče.

Višinski oz. vertikalni položaj sredinskega vozlišča predstavlja nivo oz. nastavitve oddajne moči CPICH celice. Njegov začetni položaj določimo na podlagi trenutne nastavitve oddajne moči CPICH posamezne celice v omrežju. Končni položaj

sredinskega vozlišča, ki se nahaja nad začetnim, pomeni povečanje oddajne moči, medtem ko končni položaj vozlišča pod začetnim pomeni zmanjšanje oddajne moči CPICH celice. Vertikalna komponenta vektorja razdalje med začetnim in končnim položajem predstavlja vrednost spremembe oz. delto nastavitve oddajne moči CPICH. Slika 21 prikazuje postopek računanja vertikalne komponente razdalje.



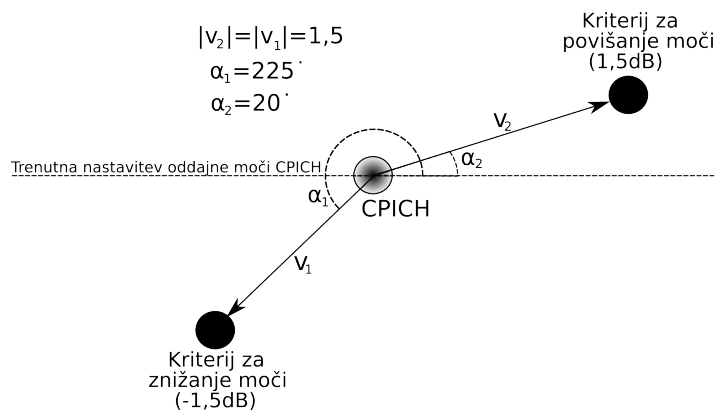
Slika 21: Preračunavanje delta vrednosti oddajne moči CPICH.

Okoliška vozlišča predstavljajo različne zahtevane spremembe oddajne moči CPICH celice glede na upoštewane kriterije, ki so definirani v sistemu. Ta so povezana s sredinskim vozliščem glede na njihovo pomembnost.

## Sile

Dolžine povezav med sredinskim in okoliškimi vozlišči predstavljajo kvantitativne sile, s katerimi okoliška vozlišča vplivajo na sredinsko vozlišče. To pomeni, da daljše povezave predstavljajo močnejše sile. Smer sile je vedno iz središča proti okoliškemu vozlišču (t. j. okoliška vozlišča »vlečejo« sredinsko vozlišče k sebi).

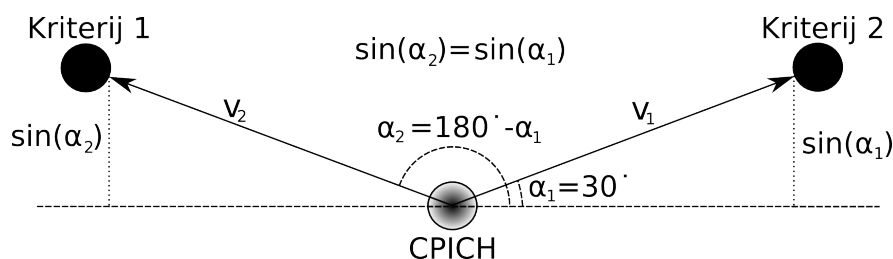
Dolžine povezav preračunamo na podlagi zahtevanih sprememb oddajne moči CPICH celice. Tako povišanje oddajne moči za 1,5 dB določi, da je dolžina povezave med sredinskim in okoliškim vozliščem (t. j. zahtevano spremembo) enaka 1,5. Na enak način preračunamo dolžine povezav upoštevanih kriterijev za znižanje moči. Slika 22 prikazuje opisan primer.



Slika 22: Dva vplivajoča kriterija za spremembo oddajne moči CPICH: prvi za 1,5 dB, drugi pa za -1,5 dB.

### Koti

Vsaka povezava tvori kot z navidezno premico, ki vodoravno preseka sredinsko vozlišče. Premico si lahko predstavljamo kot os  $X$  dvodimenzionalnega grafa na višini  $y = 0$ . Slika 20 prikazuje primer različnih kotov v opisanem sistemu za pretvorbo problema. Pomembno je omeniti, da imajo sile z enakim sinusom kota, katerega tvorijo z vodoravno premico, enakovreden vpliv na sredinsko vozlišče. Tako je razvidno iz slike 23, kjer imata okoliško vozlišče, katero je s sredinskim vozliščem povezano pod 30-stopinjskim kotom in okoliško vozlišče, ki je povezano pod 150-stopinjskim kotom, enakovreden vpliv na sredinsko vozlišče. Seveda to velja le v primeru, ko sta dolžini obeh povezav identični, t. j. obe sili sta enako močni. To dejstvo bomo v nadaljevanju izkoristili za sestavo preglednih reprezentacij grafov in modelov.

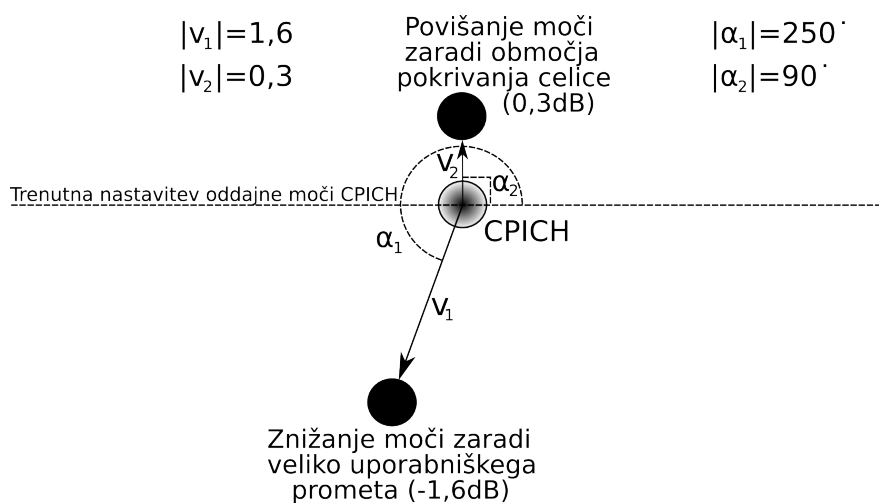


Slika 23: Enako vplivajoči sili na sredinsko vozlišče.

Koti predstavljajo pomembnost in predznak zahtevanih sprememb oddajne moči CPICH celice. Pri tem predstavljajo sile, povezane s sredinskim vozliščem pod kotom od  $0^\circ$  do  $180^\circ$  upoštevane kriterije za povišanje moči. Podobno predstavljajo sile, povezane pod kotom od  $180^\circ$  do  $360^\circ$ , kriterije za znižanje moči. Najbolj pomembni kriteriji za povišanje moči tvorijo od 80 do 100-stopinjski kot z vodoravno premico, na kateri leži sredinsko vozlišče. Na podoben način so najbolj pomembni kriteriji za znižanje moči povezani pod 260 do 280-stopinjskim kotom.

## Primer

Za zaključek poglavja si pogledjmo primer, kjer upoštevan kriterij, ki obravnava skupni uporabnikov promet na celici, zahteva znižanje moči CPICH za 1,6 dB. Zahtevano znižanje moči je posledica velikega uporabniškega prometa na celici. Kakor smo že omenili v poglavju 4.2, znižanje oddajne moči CPICH zmanjša področje pokrivanja celice in posledično zmanjša tudi število uporabnikov na celici. Znižanje oddajne moči CPICH zaradi prekomernega prometa je pomemben kriterij pri optimizaciji CPICH. Zato je kot, pod katerim sila vpliva na sredinsko vozlišče grafa, toliko večji, na primer okrog 250 stopinj. Dolžina povezave je 1,6 in predstavlja kvantitativno znižanje oddajne moči CPICH v decibelih, t. j. 1,6 dB. Če bi bil ta edini upoštevan kriterij za spremembo nastavitve oddajne moči, bi sistem predlagal znižanje točno za 1,6 dB. Da bi predstavili bolj zanimiv primer, dodajmo še en kriterij, ki deluje v obratni smeri (t. j. za povišanje oddajne moči CPICH). Izberimo kriterij, ki obravnava območje pokrivanja celice. Njegov vpliv so eksperti ocenili kot najbolj pomemben, zato ga povežemo pod 90-stopinjskim kotom. Popravek omenjenega kriterija je precej majhen (0,3 dB), kar pomeni, da ga trenutna nastavitvev upošteva skoraj v celoti.



Slika 24: Primer pretvorbe optimizacijskega problema oddajne moči CPICH v graf.

Po izvajanju preizkusa na primeru iz slike 24 bi algoritem preračunal končni položaj sredinskega vozlišča 0,6 enot pod navidezno vodoravno premico, na kateri je vozlišče ležalo pred pričetkom izvajanja algoritma. Takšen rezultat pomeni znižanje oddajne moči CPICH celice za 0,6 dB.

## 7.5 OPTIMIZACIJSKI ALGORITEM, VODEN PREKO SIL

Osnova našega optimizacijskega algoritma je Eadesov pristop z vgrajenimi vzmetmi [10].

### 7.5.1 Eadesov pristop z vgrajenimi vzmetmi

V letu 1984 je Eades [10] objavil svoj algoritem za risanje grafov do velikosti 30 vozlišč. Bistvo delovanja je mehanski model za pripravo preglednih dvodimenzionalnih risanj grafov za zaslone in večje tiskalnike. Povzetek algoritma je sledeč.

Nadomestimo vsa vozlišča v grafu z jeklenimi obroči in zamenjamo vsako povezavo z vzmetjo, da ustvarimo mehanski sistem. Vozlišča postavimo v neko začetno razporeditev in jih nato spustimo, takrat pa sile vzmeti, ki delujejo na obročke, premikajo sistem do stanja z minimalno energijo. Pri tem moramo upoštevati še dve prilagoditvi. Prvič, da je trdnost oz. sila vzmeti logaritmična, t. j. sila vzmeti definirana kot:

$$k_1 \log\left(\frac{d}{k_2}\right),$$

kjer je  $d$  dolžina vzmeti ter  $k_1$  in  $k_2$  konstanti, kateri nastavimo v času izvajanja glede na želeno raven preglednosti risbe grafa. Ob upoštevanju linearne Hookovega zakona [33] izkušnje kažejo, da so vzmeti preveč močne, ko so vozlišča daleč narazen, vendar tu logaritmične sile rešujejo ta problem. Sila vzmeti je nič, ko  $d = k_2$ . Poleg tega se sosedna vozlišča odbijajo med seboj, za kar je primeren inverzni kvadratni zakon,

$$\frac{k_3}{\sqrt{d}},$$

kjer je  $k_3$  konstanta, ki določa moč odbojne sile glede na razdaljo med vozliščema (t. j.  $d$ ). Sledeči algoritem simulira mehanski sistem [10]:

---

**Algoritem 2** Eadesov pristop z vgrajenimi vzmetmi.

---

def VZMET (Graf  $G$ ):

1. Naključno določi začetni položaj vseh vozlišč v  $G$
  2. Ponavljaljaj  $m$ -krat
    - 2.1. Ponavljaljaj za vsako vozlišče  $v \in G$ 
      - 2.1.1.  $\vec{F}_v$  = skupna sila na  $v$
      - 2.1.2. Premakni  $v$  v smeri  $k_4 \cdot \vec{F}_v$
  3. Izriši  $G$  na zaslonu
- 

Skupna sila na  $v$  je definirana kot:

$$\vec{F}_v = \sum_{v_i \in S_v} \vec{F}_{v_i},$$

kjer je  $S_v$  množica vozlišč, ki so sosedi vozlišča  $v$  ter

$$\vec{F}_{v_i} = k_1 \log\left(\frac{d}{k_2}\right) \cdot \vec{p}(v, i),$$

kjer je  $\vec{p}(v, i)$  smerni vektor povezave med vozliščema  $v$  in  $i$ .

Kot je pokazano v [10], so vrednosti  $k_1 = 2$ ,  $k_2 = 1$ ,  $k_3 = 1$ ,  $k_4 = 0,1$  primerne za večino grafov do velikosti 30 vozlišč. Skoraj vsi grafi dosegajo minimalno stanje energije po 100-ih iteracijah simulacije, t. j., ko je  $m = 100$ .

### 7.5.2 Prilagojena oblika Eadesovega pristopa z vgrajenimi vzmetmi

Zaradi naravne enostavnosti in intuitivnosti smo izbrali Eadesov pristop z vgrajenimi vzmetmi kot osnovo za naš algoritem. Prilagojena oblika algoritma bo bolj enostavna, saj bomo zanemarili medsebojno odbijanje vozlišč. Poleg tega pa bodo položaji vseh vozlišč, razen sredinskega, fiksirani. Povzetek našega algoritma je sledeč.

Nadomestimo vsa vozlišča v grafu z jeklenimi obroči in zamenjamo vsako povezavo z vzmetjo, da ustvarimo mehanski sistem. Vozlišča v začetni razporeditvi postavimo glede na upoštevane kriterije sprememb za znižanje oz. povišanje oddajne moči CPICH celice. Fiksiramo položaje vseh vozlišč razen sredinskega, ki predstavlja trenutno nastavitev oddajne moči CPICH celice. Nato sredinsko vozlišče spustimo, tako da sile vzmeti premaknejo sistem do stanja trenutne minimalne energije. Pri tem upoštevamo še trdnost vzmeti glede dolžine in jo definiramo kot:

$$k_1 d,$$

kjer je  $d$  dolžina vzmeti in  $k_1$  konstanta. Sledeči algoritem simulira mehanski sistem do stanja uravnoveženosti.

---

**Algoritem 3** Optimizacijski algoritem sistema SOON.

---

def SOON (Graf  $G$ ):

1. Določi začetni položaj vseh vozlišč v  $G$  glede na upoštevane kriterije
  2.  $F_{\text{opt}}$  = maksimalna možna sila na  $G$
  3. Ponavljaj, dokler je razlika med zadnjima vrednostnima  $|\vec{F}_G| > k_4$ 
    - 3.1.  $\vec{F}_G = [0, 0]$
    - 3.2. Za vsako sredinsko vozlišče  $v \in G$ 
      - 3.2.1.  $\vec{F}_v$  = skupna sila na  $v$
      - 3.2.2. Premakni  $v$  v smeri  $k_2 \cdot \vec{F}_v$
      - 3.2.3.  $\vec{F}_G = \vec{F}_G + \vec{F}_v$
    - 3.3.  $k_2 = \max(k_2 - k_5, k_3)$
    - 3.4.  $F_{\text{opt}} = \min(F_{\text{opt}}, |\vec{F}_G|)$
  4. Vrni  $F_{\text{opt}}$
- 

Skupna sila na  $v$  je definirana kot:

$$\vec{F}_v = \sum_{v_i \in S_v} \vec{F}_{v_i},$$

kjer je  $S_v$  množica vozlišč, ki so sosedi vozlišča  $v$  ter

$$\vec{F}_{v_i} = k_1 d \cdot [\cos(\alpha), \sin(\alpha)],$$

kjer je  $\alpha$  kot, katerega tvori povezava  $\vec{p}(v, i)$  z navidezno vodoravno premico, na kateri leži sredinsko vozlišče  $v$ . Vektor  $\vec{p}(v, i)$  je smerni vektor povezave med vozliščema  $v$  in  $i$ , katerega dolžina je  $d$ .

Z korakom 3.3 posnemamo učinek ohlajanja pri algoritmu simulirano ohlajanje (angl. simulated annealing) [25]. S tem dosežemo razširitev iskanja na celoten iskalni prostor in se izognemo bližjim lokalnim optimumom. Konstanta  $k_1$  določa kolikšen del dolžine povezave upoštevamo kot silo vzmeti. Spremenljivka  $k_2$  nam poda velikost premika v vsaki iteraciji optimizacije. Sprememba velikosti premika, ki je določena s konstanto  $k_5$ , je potrebna zato, ker začetna razporeditev vozlišč pogosto ne zagotovi zadovoljive ravni skupne energije v sistemu. To se zgodi, ko so vozlišča med seboj preblizu in posamezne vzmeti ne tvorijo dovolj velike sile med povezanima vozliščema. Z ustvarjanjem zadostne začetne energije se izognemo prehitri konvergenči proti lokalnim optimumom. Vrednost spremenljivke  $k_2$  se zmanjšuje vse do nastavljene vrednosti konstante  $k_3$ , ki nam poda minimalno velikost premika po »ohlajanju« v vsaki iteraciji optimizacije. Konstanta  $k_4$  predstavlja razliko skupne energije v sistemu med zadnjima iteracijama optimizacije. Ko je razlika manjša od konstante  $k_4$ , se izvajanje algoritma ustavi.

## Nastavitve algoritma

Po nekaj preizkusih smo prišli do naslednjih nastavitvev parametrov algoritma:

- $k_1 = 1$ ,
- $k_2 = 0,3$ ,
- $k_3 = 0,1$ ,
- $k_4 = 10^{-6}$ ,
- $k_5 = 0,002$ ,

ki so bile primerne pri iskanju kakovostnih rešitev za izbrane preizkuse v sprejemljivem času.



## 8 PREIZKUSI

Po obširnem pregledu drugih pristopov za reševanje tega problema smo ugotovili, da simulacije njihovih nalog ni mogoče ponavljati z orodji, ki jih imamo na razpolago. Iz tega razloga uporabljamo za ovrednotenje algoritma in rezultatov enak pristop kot Siomina in Yuan [39].

Za primerjavo med preizkusi upoštevamo dve različni strategiji za nastavljanje oddajne moči CPICH, ki ne upoštevata obremenitve celic zaradi prometa. Prva strategija, imenovana poenotena oddajna moč, nastavi vsem celicam v omrežju enako raven oddajne moči CPICH. Pri tem pa upoštevamo, da je pokrivanje območja popolno. Pri drugi strategiji je oddajna moč CPICH vsake celice nastavljena tako, da se zagotovi pokrivanje celotnega območja, pri katerem je dobitok moči (angl. power gain) celice maksimalen. Dobitek moči je razmerje med porabo moči iz naslova uporabniškega prometa in razpoložljivo močjo na bazni postaji [16]. Za podrobno razlago teh dveh strategij si lahko bralec prebere vir [39].

Sistem SOON smo v celoti implementirali v programskem jeziku Python. Za implementacijo prikazovalnika smo uporabili knjižnico Tcl/Tk. Preizkuse smo izvajali na računalniku z naslednjimi lastnostmi:

- procesor Intel Centrino Duo 2.17 Ghz,
- pomnilnik 1 Gb RAM,
- operacijski sistem GNU Linux, jedro 2.6.30-1-686 SMP.

V nadaljevanju predstavljamo rezultate preizkusov, pridobljenih za tri različna omrežja:

- mestno območje,
- primestno območje in
- podeželsko območje.

Promet na vseh območjih smo simulirali z ustrezno programsko opremo, ki je ne smemo navesti zaradi tajnosti podatkov. Tabela 4 povzema nekatere ključne lastnosti omenjenih omrežij.

Tabela 4: Ključne lastnosti simuliranih omrežij.

Omrežje	Št. baznih postaj	Št. celic	Gostota prebivalstva na km <sup>2</sup>	Velikost območja
Mesto	38	150	687	17.400 x 11.200 m <sup>2</sup>
Predmestje	19	75	505	11.500 x 8.200 m <sup>2</sup>
Podeželje	8	27	120	22.800 x 17.600 m <sup>2</sup>

Iz podatkov navedenih v tabeli 4 se da razbrati kar nekaj posebnosti posameznih simuliranih omrežij. Poglejmo najprej razmerje med številom celic in velikostjo območja. Gostota celic je na mestnem območju večja zaradi večjega števila uporabnikov, ki jim mora omrežje omogočiti storitve.

Omrežje na primestnem območju kaže nekakšno povprečje med gostoto lokacij in številom »pokritih« uporabnikov. Na omrežju na podeželju smo določili največje območje, ker je tam gostota lokacij najnižja in smo potrebovali minimalno število lokacij za smiselno izvajanje preizkusov.

## 8.1 ANALIZA REZULTATOV

Med izvajanjem preizkusov smo pridobili različne rezultate, katerih analizo predstavljamo v nadaljevanju.

Tabela 5 prikazuje parametre različnih simuliranih storitev na posameznih območjih.

Tabela 5: Parametri simuliranih storitev v posameznih omrežjih.

Storitev	Bitna hitrost (Kbit/s)	% v mestu	% v predmestju	% na podeželju
Govorni klic	12,2	34	46	57
Video klic	64	6	4	3
Brskanje po spletu	384	60	50	40

Gostota prometa za vsako storitev iz tabele 5 je podana glede na povprečno število uporabnikov na posameznem območju v določenem trenutku. Če pozorno analiziramo omenjene podatke, opazimo, da na podeželskem območju prevladuje uporaba govornih klicev. Z gostoto prebivalstva sorazmerno raste uporaba prenosa podatkov (t. j. brskanja po spletu), medtem ko pada uporaba govornih klicev. Glede na to, da uporaba video klicev v nobenem primeru ne presega 10-odstotni delež, lahko rečemo, da bo ne glede na rezultate optimizacije, kakovost te storitve najmanj spremenjena.

Tabela 6 prikazuje uporabljene nastavitve v simuliranih omrežjih med preizkusi.

Tabela 6: Nastavitve simuliranih omrežij.

Nastavitev	Vrednost
Čipna hitrost	3,84 Mčip/s
Vrednost CIR	0,01
Skupna moč bazne postaje	30 W za vse
Meja oddajne moči CPICH	$\pm 2$ dB od trenutne nastavitve
Termični šum	$1,55 \times 10^{-14}$
Izguba poti v mestu	0,327
Izguba poti v predmestju	0,633
Izguba poti na podeželju	0,938

Podatki iz tabele 6 nam povedo, da smo uporabljali standardne nastavitve za omrežja WCDMA [17] za čipno hitrost, vrednost CIR in termični šum. Skupno razpoložljivo moč vseh baznih postaj v simuliranih omrežjih smo poenotili na 30 W. Varnostni filter sistema SOON smo nastavili na  $\pm 2$  dB od trenutne nastavitve oddajne moči CPICH posamezne celice. Faktorji za izračun izgube poti so znane vrednosti, ki so vgrajene v programski opremi za simulacijo omrežij, saj je njihova uporaba že dalj časa uveljavljena v podobnih analizah [36, 37, 39].

### 8.1.1 Nastavitve omrežij s strategijo poenotene oddajne moči

Nastavitve celic simuliranih omrežij v tem poglavju sledijo strategiji poenotene oddajne moči CPICH, pri kateri vse celice v omrežju oddajajo CPICH z enako močjo. Tabela 7 prikazuje analizo stanja posameznih omrežij pred izvajanjem optimizacije.

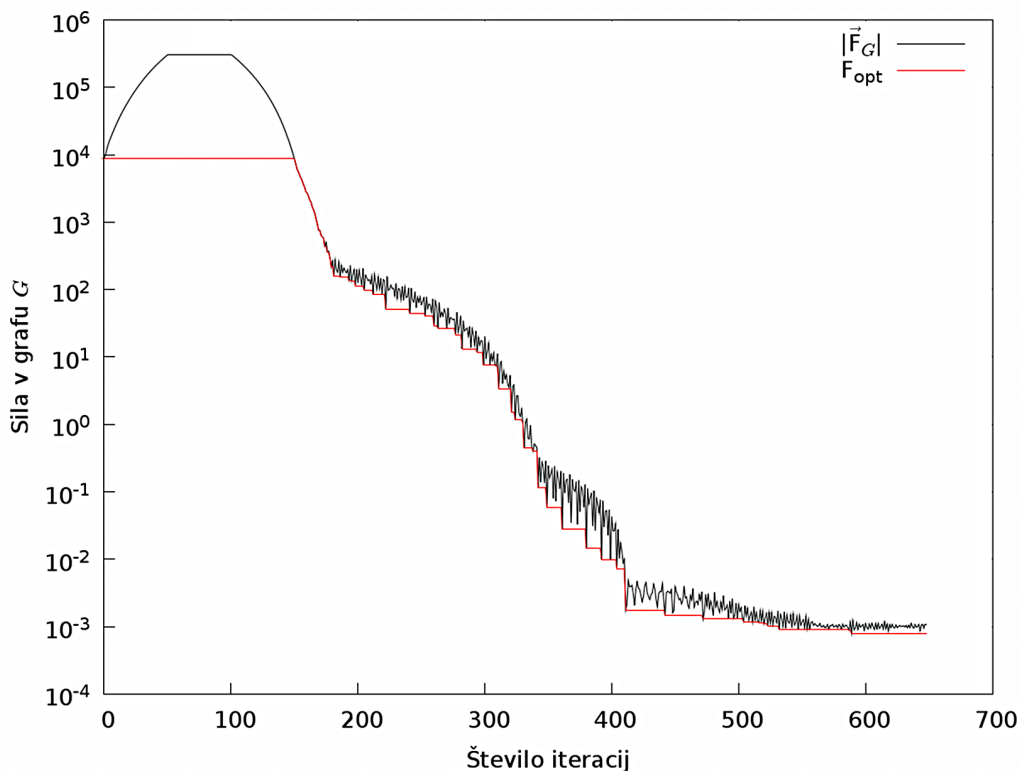
Tabela 7: Nastavitve s strategijo poenotene oddajne moči.

Omrežje	Št. področij z zamikom	Zamik (dB)			Oddajna moč CPICH (dBm)			
		Min	Max	Std. dev.	Min	Max	Std. dev.	Povprečje
Mesto	2401	0	1,00	0,24	29,40	29,40	0	29,40
Predmestje	1185	0	0,69	0,17	29,40	29,40	0	29,40
Podeželje	72	0	0,24	0,10	29,40	29,40	0	29,40

Prvi podatek iz tabele 7 je število področij za mehko izročanje, ki prikazujejo zamik med navzgorjim in navzdolnjim pokrivanjem. Statistike o obdelanih zamikih predstavljajo podatke o največji vrednosti posameznega zamika v decibelih (stolpec pod naslovom Max), najmanjši vrednosti zamika (stolpec pod naslovom Min) in standardni deviaciji omenjenih vrednosti (stolpec pod naslovom Std. dev.). Z uporabo strategije poenotene oddajne moči imajo vse celice v omrežju enako nastavitve oddajne moči CPICH, zato predstavljeni podatki niso preveč zanimivi. Vsekakor pa ustvarjajo odlično osnovo za prvi preizkus optimizacijskega sistema SOON, pri katerem bomo

jasno videli doseženi učinek rezultatov, zaradi enakovrednih nastavitvev celic v vseh treh omrežjih.

Po izvajanju optimizacije s sistemom SOON na omrežjih, nastavljenih s strategijo poenotene oddajne moči, smo dobili podatke, ki jih prikazujejo tabele 8, 9 in 10.



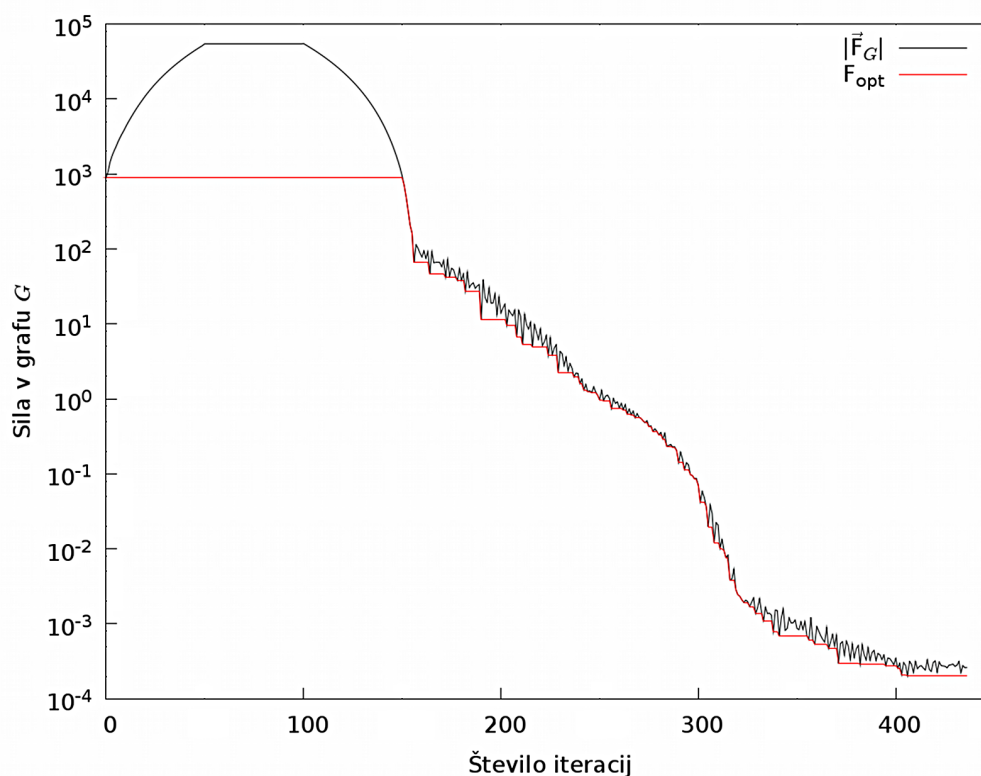
Slika 25: Konvergenca algoritma na mestnem območju.

Najprej si pogledjmo, kako je sistem izračunal pridobljene rezultate. Slika 25 prikazuje graf skupne sile v grafu  $G$  v odvisnosti od iteracije izvajanja optimizacije. Iz tega grafa lahko vidimo, kako sistem konvergira proti končni rešitvi oz. kako se skupna energija v sistemu, označena kot  $|\vec{F}_G|$ , postopoma niža. Optimalna rešitev ob vsaki iteraciji je označena kot  $F_{opt}$ . Po prvih iteracijah se energija v sistemu ne zmanjšuje, temveč raste in to razmeroma hitro, medtem ko optimalna rešitev ostane nespremenjena. Ta učinek je posledica postopka, ki se s pomočjo posnemanja »ohlajanja« pri simuliranem ohlajanju izvaja na začetku iskanja rešitev. Postopek je namenjen začetni rasti energije v sistemu in ustvari dodatno energijo tako, da »vleče« vsa sredinska vozlišča v določeno smer in s tem raztegne povezave oz. vzmeti.

Tabela 8: Optimalne nastavitve s sistemom SOON za strategijo poenotene oddajne moči na mestnem območju.

Št. področij z zamikom	Zamik (dB)			Oddajna moč CPICH (dBm)				Učinkovitost	
	Min	Max	Std. dev.	Min	Max	Std. dev.	Povprečje	Št. iteracij	Čas (sek.)
2252	0	0,84	0,18	27,40	31,40	1,30	29,40	649	86,0

Podatki prikazani v tabeli 8 predstavljajo optimalno rešitev sistema SOON za problem izenačenja navzgornjih in navzdolnjih področij mehkega izročanja omrežja na mestnem območju. Prvi podatek je zagotovo spodbuden, saj nam pove, da je rešitev za 149 (okrog 6 %) zamikov manjša od skupnega števila zamikov pred optimizacijo. Največja vrednost posameznega zamika se je prav tako zmanjšala za 0,16 dB, medtem ko je povprečna oddajna moč CPICH posamezne celice v omrežju ostala nespremenjena. Pri minimalni oddajni moči CPICH opazimo znižanje, medtem ko je maksimalna oddajna moč CPICH večja. To pomeni, da je sistem SOON s prerazporeditvijo podanih nastavitvev oddajne moči CPICH v nekaj primerih odpravil zamike in občutno zmanjšal ostale zamike med navzgornjim in navzdolnjim področjem mehkega izročanja sosednjih celic. Glede na skupno število celic in sosednjih relacij med njimi v simuliranem omrežju, je bila učinkovitost algoritma s strani ekspertov ocenjena kot zelo dobra.



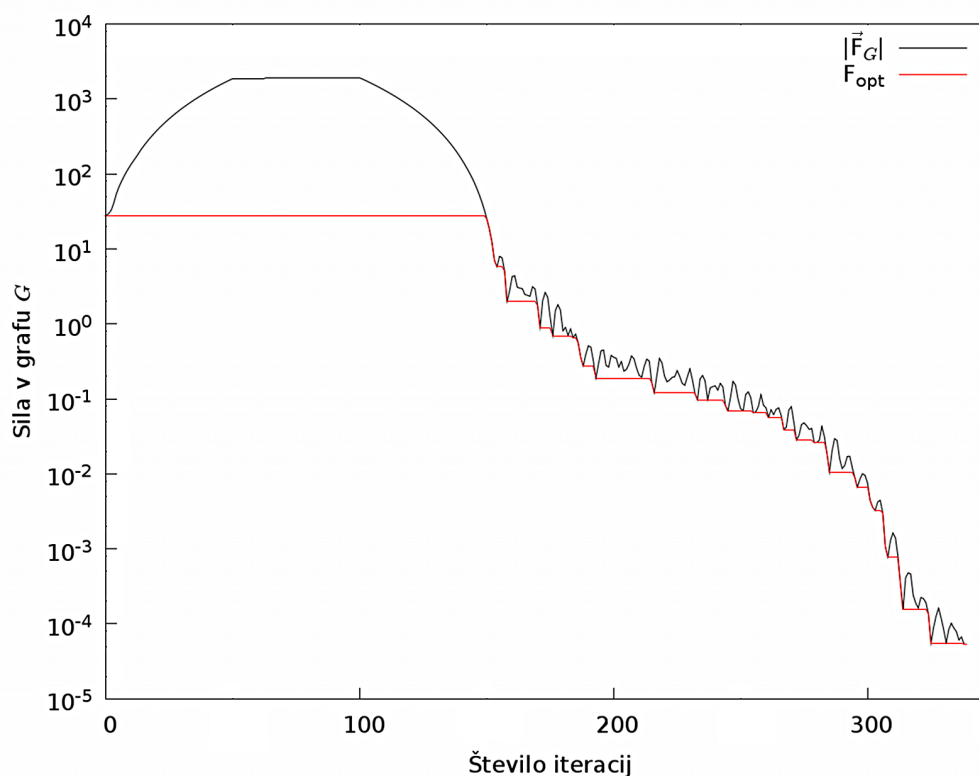
Slika 26: Konvergenca algoritma na primestnem območju.

Sledi izračun optimalne rešitve simuliranega omrežja na primestnem območju. Iz grafa, ki ga prikazuje slika 26 lahko vidimo, kako je sistem konvergirал proti končni rešitvi. Podobno kot v prejšnjem preizkusu vidimo, kako skupna energija v sistemu najprej raste zaradi učinka »ohlajanja«, nato pa hitro pada.

Tabela 9: Optimalne nastavitve s sistemom SOON za strategijo poenotene oddajne moči na primestnem območju.

Št. področij z zamikom	Zamik (dB)			Oddajna moč CPICH (dBm)				Učinkovitost	
	Min	Max	Std. dev.	Min	Max	Std. dev.	Povprečje	Št. iteracij	Čas (sek.)
986	0	0,48	0,16	27,40	31,40	0,82	29,35	437	16,2

Prikazani rezultati v tabeli 9 so prav tako spodbudni, saj je optimalna rešitev sistema SOON tudi v omrežju na primestnem območju zmanjšala skupno število zamikov za 199 (okrog 17 %). Največja vrednost posameznega zamika se je zmanjšala za 0,21 dB, medtem ko je povprečna oddajna moč CPICH posamezne celice v omrežju malenkost manjša v primerjavi z začetnimi nastavitvami. To pomeni, da bi bilo ob upoštevanju optimalne rešitve sistema SOON začetno stanje zamikov med navzgorjim in navzdolnjim področjem mehkega izročanja izboljšano, skupna oddajna moč CPICH v omrežju pa znižana za 3,75 dBm.



Slika 27: Konvergenca algoritma na podeželskem območju.

Zadnji preizkus strategije poenotene oddajne moči je izveden na simuliranem omrežju podeželskega območja. Slika 27 prikazuje graf konvergence sistema proti končni rešitvi. Zanimivo je videti, kako različne so najvišje vrednosti maksimalne skupne energije v sistemu med vsemi tremi omrežji. Razlog za opaženo razliko najdemo v številu vozlišč v grafu  $G$  (t. j. številu celic v omrežju). Manj je vozlišč, manj je vzmeti, ki ustvarijo manj energije. To dejstvo je tudi razvidno iz grafov konvergence algoritma, pri katerih se maksimalne vrednosti skupne sile v grafu  $G$  gibljejo okrog  $10^6$  na mestnem območju, okrog  $10^5$  na primestnem območju in okrog  $10^3$  na podeželskem območju.

Tabela 10: Optimalne nastavitve s sistemom SOON za strategijo poenotene oddajne moči na podeželskem območju.

Št. področij z zamikom	Zamik (dB)			Oddajna moč CPICH (dBm)				Učinkovitost	
	Min	Max	Std. dev.	Min	Max	Std. dev.	Povprečje	Št. iteracij	Čas (sek.)
42	0	0,08	0,04	27,40	31,40	1,00	29,27	340	3,4

Tabela 10 prikazuje, da na podeželskem območju dosežemo največje odpravljanje skupnega števila zamikov med vsemi preizkusi, t. j. 30 (okrog 42 %). Maksimalna vrednost posameznega zamika je za 0,16 dB nižja od vrednosti pred optimizacijo, s čimer smo dosegli najnižjo vrednost med vsemi preizkusi. Povprečna oddajna moč CPICH posamezne celice v omrežju je manjša v primerjavi z začetnimi nastavitvami, kar predstavlja skupno zmanjšanje oddajne moči za 3,51 dBm. Raznolikost optimalnih nastavitvev med različnimi celicami je največja med vsemi omrežji, saj je vrednost standardne deviacije 1,00. Čas izvajanja algoritma je po pričakovanjih najkrajši, saj je v omrežju na podeželskem območju najmanjše število celic.

### 8.1.2 Nastavitve omrežij s strategijo maksimalnega dobitka moči

Celice simuliranih omrežij so v tem poglavju nastavljen po strategiji maksimalnega dobitka moči CPICH, pri kateri oddajna moč CPICH posamezne celice sledi maksimalni vrednosti razmerja med porabo moči uporabniškega prometa in razpoložljivo močjo na bazni postaji. Tabela 11 prikazuje analizo stanja posameznih omrežij pred izvajanjem optimizacije.

Tabela 11: Nastavitve s strategijo maksimalnega dobitka moči.

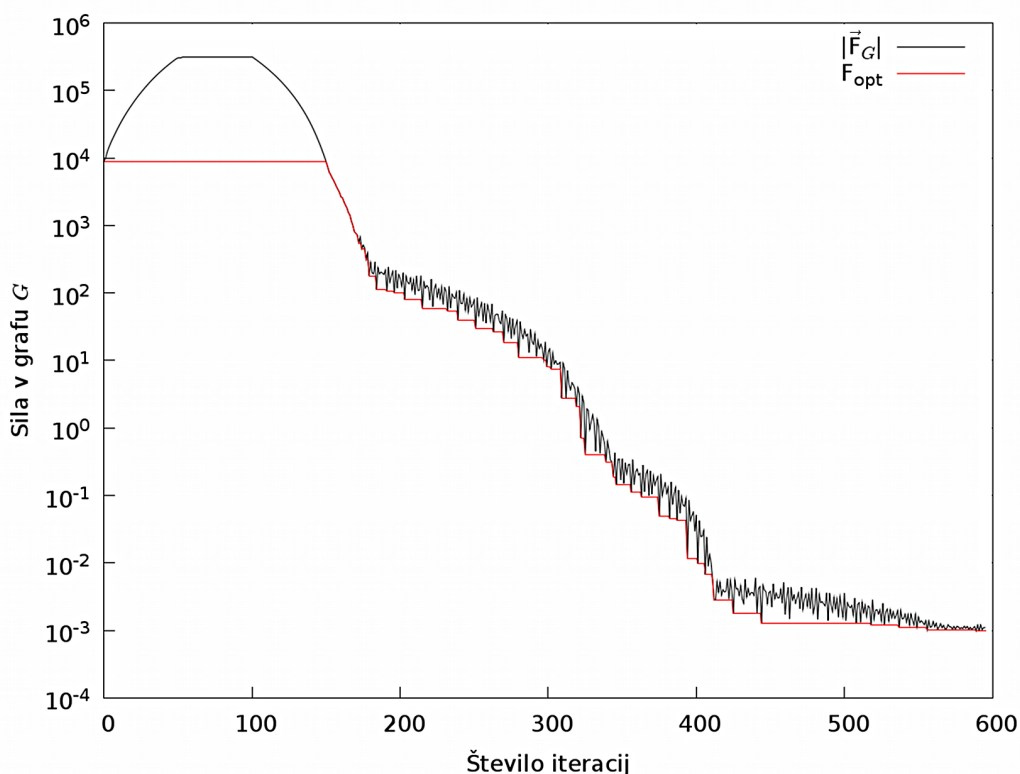
Omrežje	Št. področij z zamikom	Zamik (dB)			Oddajna moč CPICH (dBm)			
		Min	Max	Std. dev.	Min	Max	Std. dev.	Povprečje
Mesto	2733	0	1,00	0,21	22,60	32,20	1,45	29,82
Predmestje	1469	0	0,52	0,13	27,80	32,10	1,13	30,20
Podeželje	74	0	0,19	0,08	29,30	30,70	0,55	30,10

Podobno kot pri nastavitvah omrežij za prejšnjo strategijo je prvi podatek v tabeli 11 število področij za mehko izročanje, ki prikazujejo zamik med navzgorjim in navzdolnim pokrivanjem. Sledijo statistike o zamikih v decibelih. Strategija maksimalnega dobitka moči predstavlja zanimive podatke oddajne moči CPICH celic. Minimalna oddajna moč CPICH na podeželju je največja od vseh, saj mora na tem območju signal celic segati čim dlje. Opazimo tudi, da je minimalna oddajna moč CPICH na mestnem območju najmanjša. Na mestnem območju so nastavljene oddajne moči CPICH takšne zato, ker je tu gostota celic največja. Kljub večji gostoti baznih postaj najdemo maksimalno oddajno moč CPICH prav na tem območju, kakor tudi največjo standardno deviacijo. Na podlagi teh podatkov lahko trdimo, da so nastavitve oddajne moči CPICH na mestnih območjih najbolj raznolike, saj na njih vplivajo najrazličnejši faktorji, kot so izguba poti, večja uporaba prenosa podatkov, konfiguracije pikocelic itd. Maksimalna oddajna moč CPICH posamezne celice je praktično enaka na vseh območjih, saj smo predpostavili enako maksimalno skupno moč na bazni postaji (t. j. 30 W) za vsa simulirana omrežja.

Po ekspertnih ocenah strategija maksimalnega dobitka moči ponuja nastavitve oddajne moči CPICH, ki so zelo podobne realnim. Zato bodo ti preizkusi ponujali primerno oceno o morebitni optimizaciji realnega omrežja.

Optimalne nastavitve sistema SOON za omrežja nastavljena s strategijo maksimalnega dobitka moči prikazujejo tabele 12, 13 in 14.





Slika 28: Konvergenca algoritma na mestnem območju.

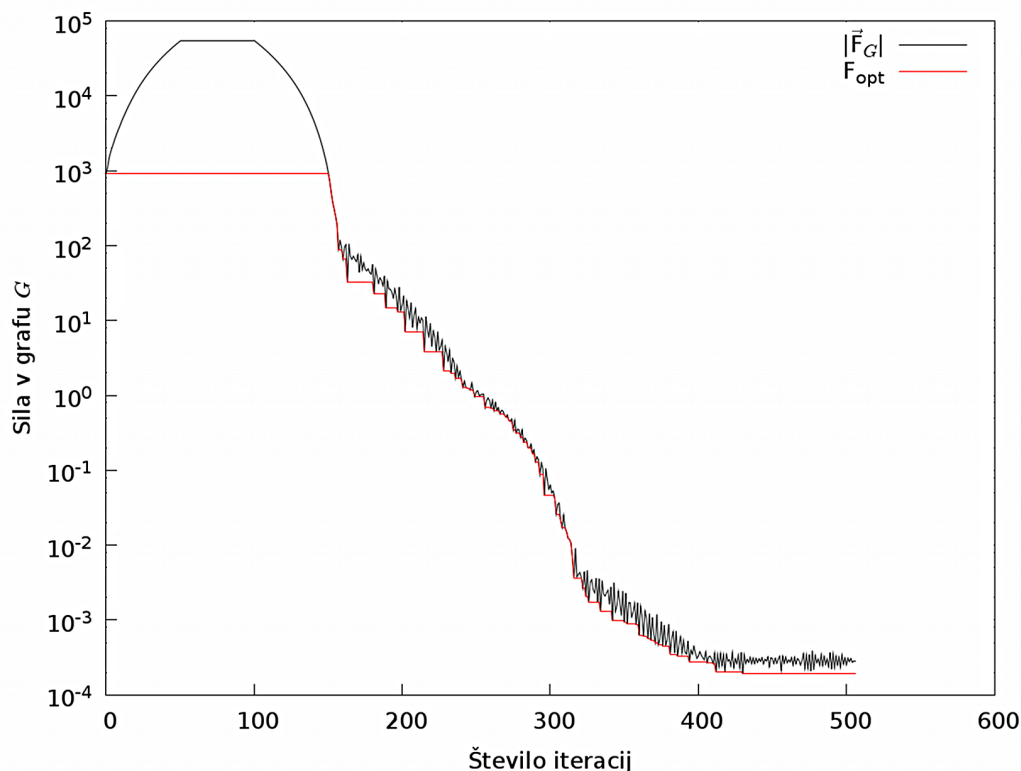
Za prikazovanje izračuna optimalne rešitve smo uporabljali enako vrsto grafa kot za strategijo poenotene oddajne moči. Slika 28 prikazuje silo v grafu  $G$  v odvisnosti od iteracije izvajanja optimizacije. Iz tega grafa je razvidno, kako se skupna energija hitro niža in s tem rešitev izboljšuje.

Tabela 12: Optimalne nastavitve s sistemom SOON za strategijo maksimalnega dobitka moči na mestnem območju.

Št. področij z zamikom	Zamik (dB)			Oddajna moč CPICH (dBm)				Učinkovitost	
	Min	Max	Std. dev.	Min	Max	Std. dev.	Povprečje	Št. iteracij	Čas (sek.)
2560	0	0,82	0,19	22,80	34,20	1,39	29,79	596	79,3

Podatki prikazani v tabeli 12 predstavljajo optimalno rešitev sistema SOON za problem izenačenja navzgornjih in navzdolnjih področij mehkega izročanja simuliranega omrežja na mestnem območju. Na podoben način kot so preizkusi za strategijo poenotene oddajne moči pokazali spodbudne rezultate, smo s popolnoma različnimi nastavitvami oddajne moči CPICH za celice tega omrežja prav tako dobili dobre rezultate. Prvi podatek pokaže zmanjšanje skupnega števila zamikov za 173 (okrog 6 %). Največja vrednost posameznega zamika se je prav tako zmanjšala za 0,18 dB. Pri minimalni in maksimalni oddajni moči CPICH opazimo razlike, čeprav je

sistem SOON s prerazporeditvijo podanih nastavitvev zmanjšal povprečno oddajno moč CPICH posamezne celice v omrežju za 0,03 dB. Ta vrednost predstavlja skupno znižanje oddajne moči CPICH na mestnem območju za 4,5 dBm. Učinkovitost algoritma so eksperti ocenili kot zelo dobro glede na skupno število celic in sosednjih relacij med njimi v simuliranem omrežju.



Slika 29: Konvergenca algoritma na primestnem območju.

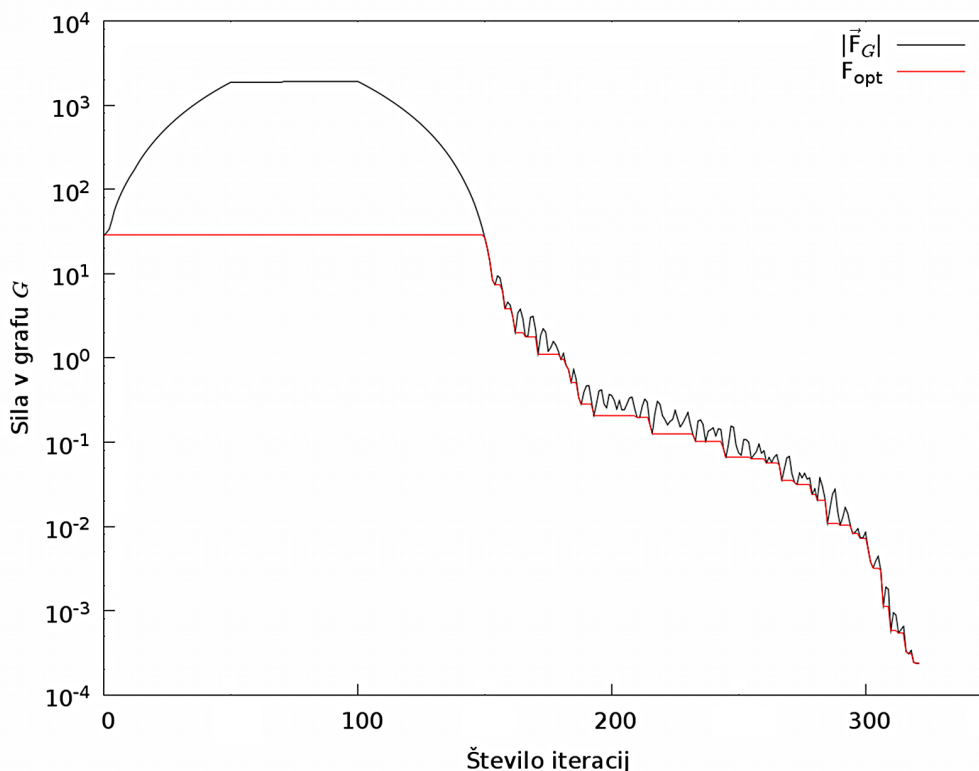
Konvergenca algoritma, ki je razvidna iz slike 29, prikazuje izračun optimalne rešitve simuliranega omrežja na primestnem območju.

Tabela 13: Optimalne nastavitve s sistemom SOON za strategijo maksimalnega dobitka moči na primestnem območju.

Št. področij z zamikom	Zamik (dB)			Oddajna moč CPICH (dBm)				Učinkovitost	
	Min	Max	Std. dev.	Min	Max	Std. dev.	Povprečje	Št. iteracij	Čas (sek.)
1351	0	0,38	0,13	26,20	32,90	1,27	30,13	507	17,4

Rezultati prikazani v tabeli 13 prikazujejo zanimive izboljšave glede zamikov med navzgoranjim in navzdolnjim področjem mehkega izročanja. Rešitev sistema SOON je za 118 (okrog 8 %) področij zmanjšala skupno število zamikov pred optimizacijo. Najboljši rezultat smo dosegli pri maksimalni vrednosti posameznega zamika, ki se je zmanjšala za 0,14 dB, medtem ko je standardna deviacija vrednosti zamikov ostala

nespremenjena. V zvezi z oddajno močjo CPICH posamezne celice v omrežju opazimo razlike le pri minimalni oddajni moči, medtem ko je povprečna oddajna moč CPICH posamezne celice v omrežju malenkost manjša v primerjavi z začetnimi nastavitvami. To pomeni, da je z optimalno rešitvijo sistema SOON začetno stanje vrednosti zamikov izboljšano, skupna oddajna moč CPICH v celotnem omrežju pa znižana za 5,25 dBm.



Slika 30: Konvergenca algoritma na podeželskem območju.

Zadnji preizkus z nastavitvami maksimalnega dobitka moči smo izvedli na simuliranem omrežju podeželskega območja. Na sliki 30 vidimo, da podobno kot pri ostalih grafih konvergence se po začetni rasti skupna energija hitro niža, medtem ko se sistem premika proti končni rešitvi.

Tabela 14: Optimalne nastavitve s sistemom SOON za strategijo maksimalnega dobitka moči na podeželskem območju.

Št. področij z zamikom	Zamik (dB)			Oddajna moč CPICH (dBm)				Učinkovitost	
	Min	Max	Std. dev.	Min	Max	Std. dev.	Povprečje	Št. iteracij	Čas (sek.)
75	0	0,16	0,06	27,30	32,70	1,29	29,90	322	3,3

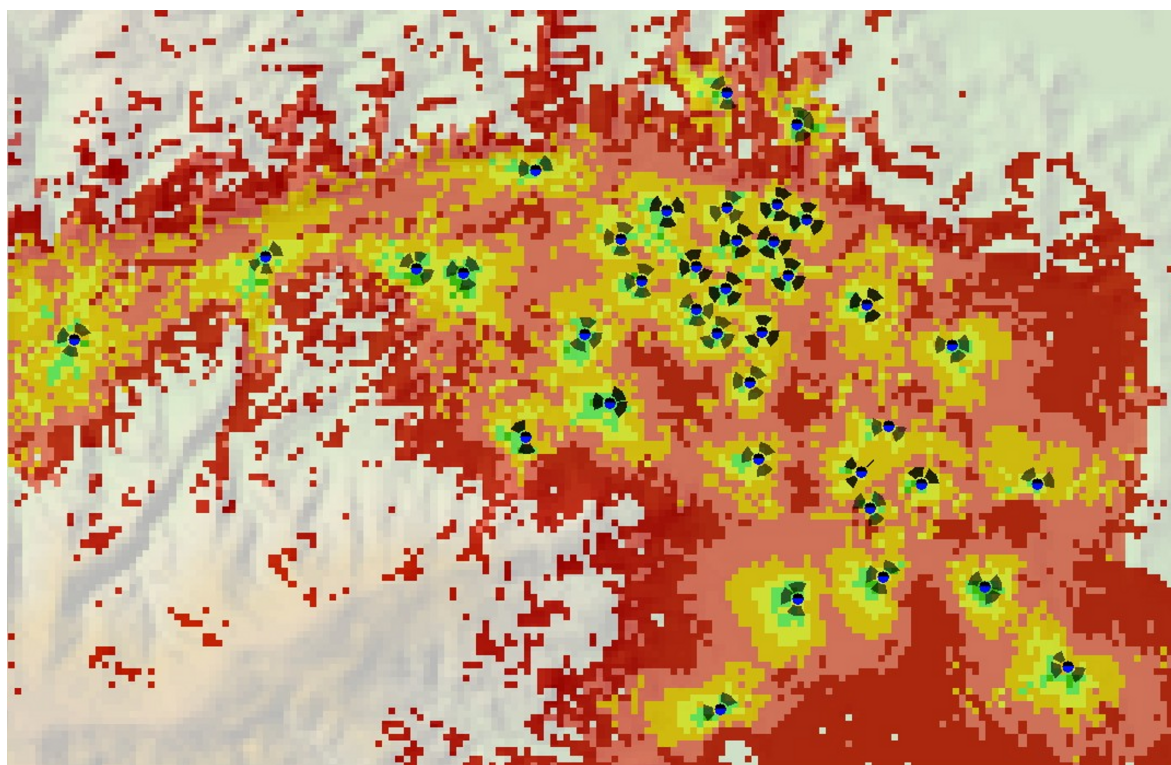
Rezultati, ki jih prikazuje tabela 14, so drugačni kot tisti, ki smo jih dobili pri izvajanju prejšnjih preizkusov. V tem primeru ne opazimo zmanjšanja števila področij z zamikom (75) v primerjavi z začetnim stanjem (74). Znižala se je maksimalna vrednost

zamika za 0,03 dB, prav tako se je zmanjšala standardna deviacija teh vrednosti za 0,02 (okrog 25 %). Zanimive razlike so v vrednostih oddajne moči CPICH posamezne celice. Povprečna oddajna moč se je znižala za 0,2 dB, kar predstavlja skupno znižanje v celotnem omrežju za 5,4 dBm. Raznolikost optimalnih nastavitvev med različnimi celicami je največja med vsemi omrežji, saj je vrednost standardne deviacije 1,29. Čas izvajanja algoritma je po pričakovanju najkrajši, saj je v omrežju na podeželskem območju najmanjše število celic.

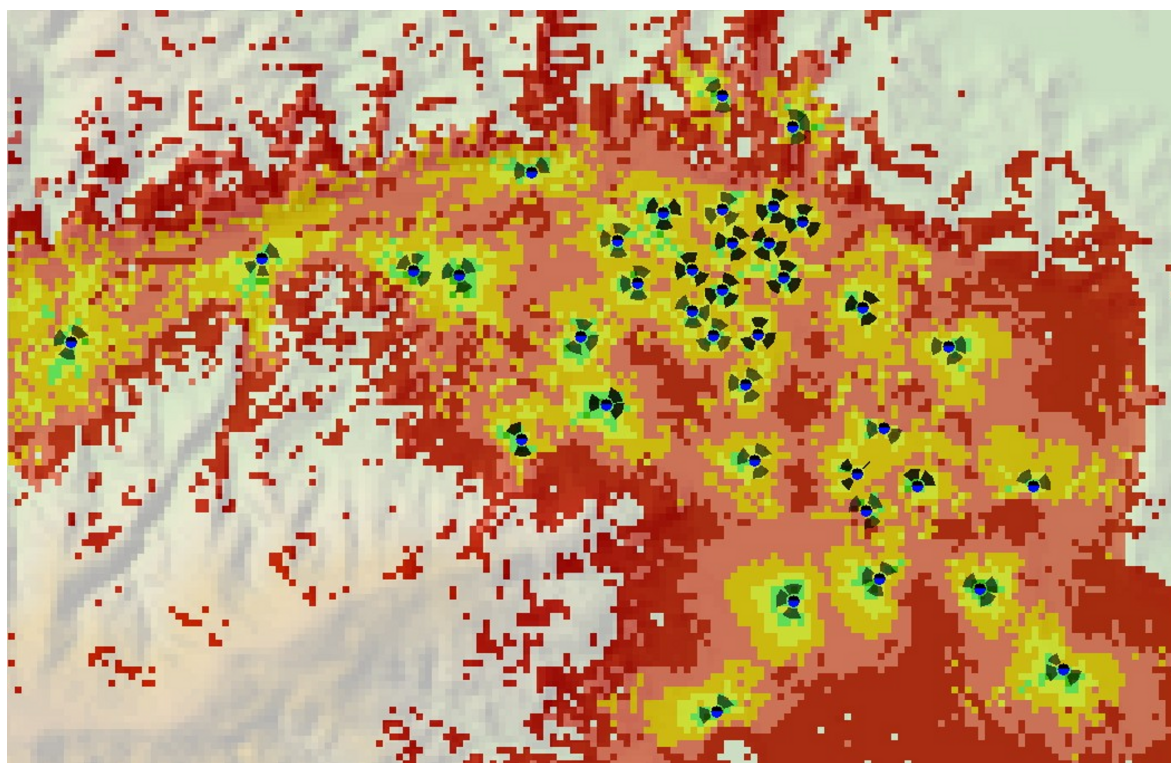
Da bi lahko primerjali vpliv optimalnih nastavitvev na druge vidike omrežij, smo s pomočjo programske opreme za načrtovanje radijskih omrežij ustvarili diagrame pokrivanja za simulirana omrežja, ki sledijo strategiji maksimalnega dobitka moči. Diagrami z različnimi barvami označujejo jakost signala oz. kakovost pokrivanja, katere legendo prikazuje slika 31. Slike 32, 33 in 34 prikazujejo diagrame celičnega pokrivanja na posameznih območjih pred optimizacijo ter po optimizaciji, t. j. z upoštevanjem optimalnih nastavitvev sistema SOON. Usmerjenost celice je označena z nepravilnim trapezom okoli kroga, ki označuje lokacijo bazne postaje. Večina baznih postaj ima tri celice, izjemoma pa lahko tudi manj celic.



Slika 31: Legenda diagramov celičnega pokrivanja.



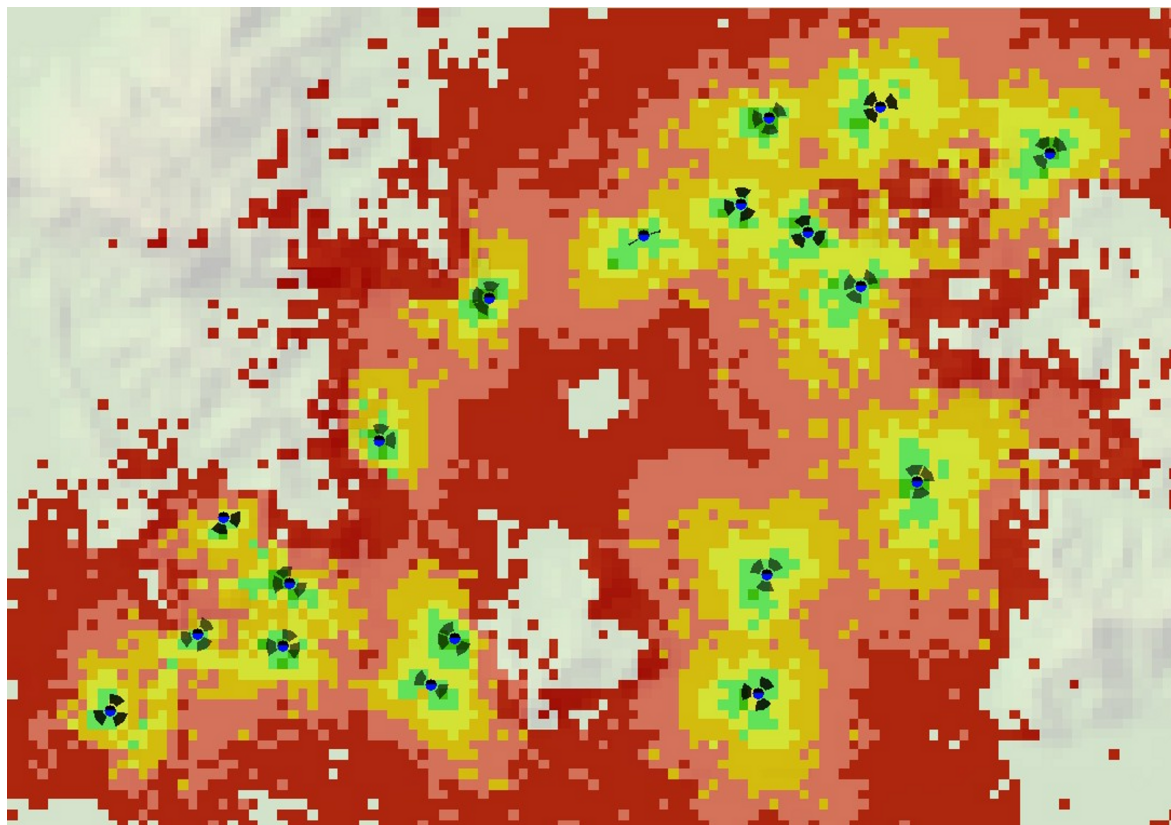
(a)



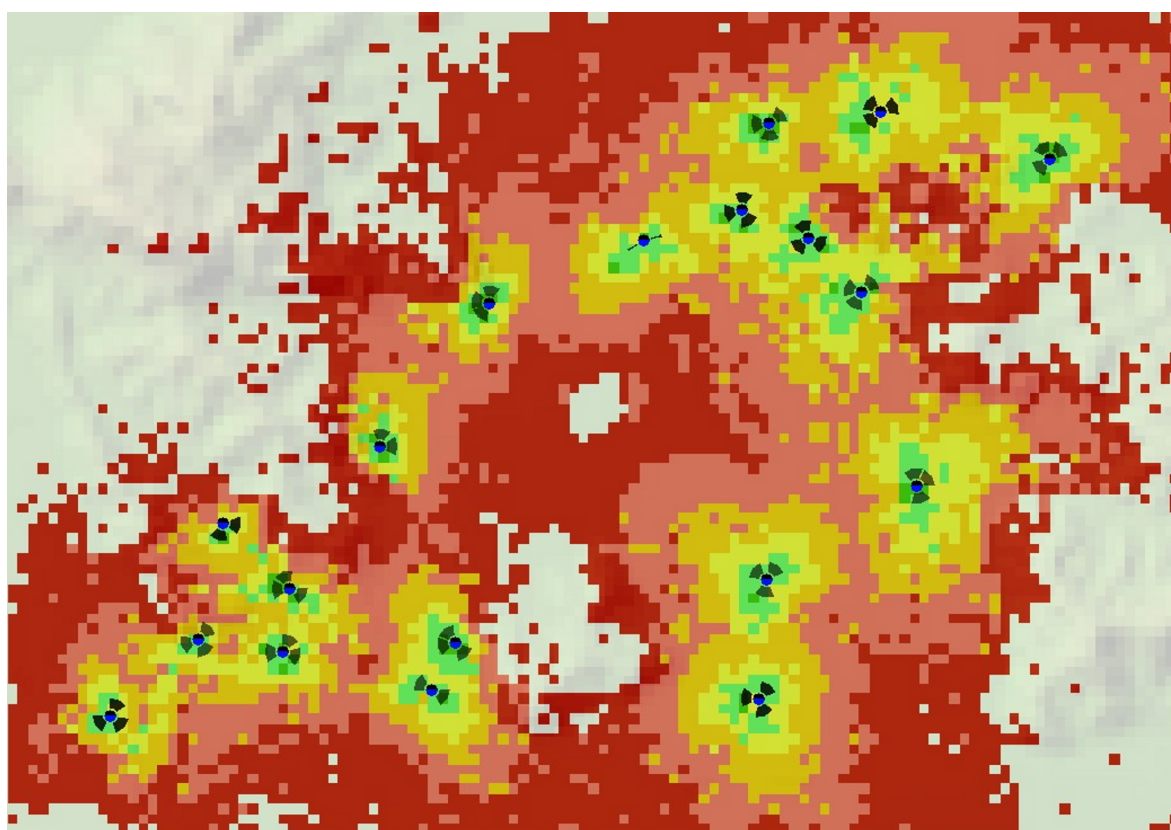
(b)

Slika 32: Diagram celičnega pokrivanja na mestnem območju: (a) pred optimizacijo in (b) po optimizaciji.



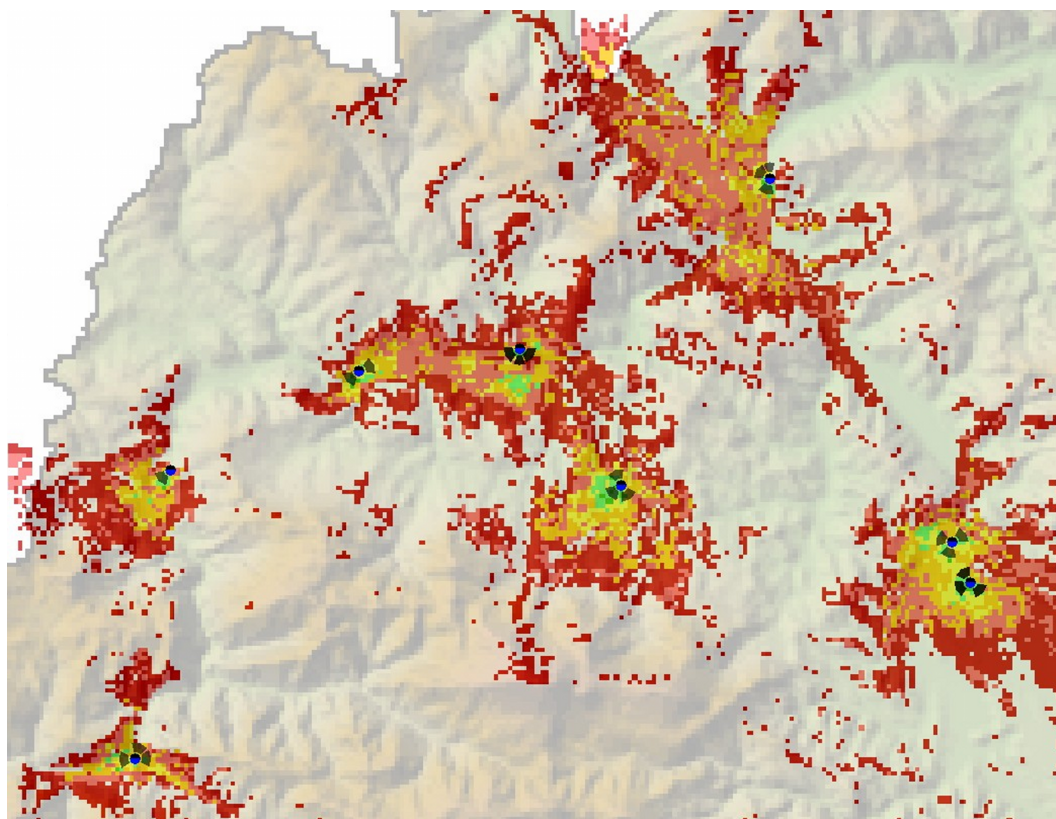


(a)

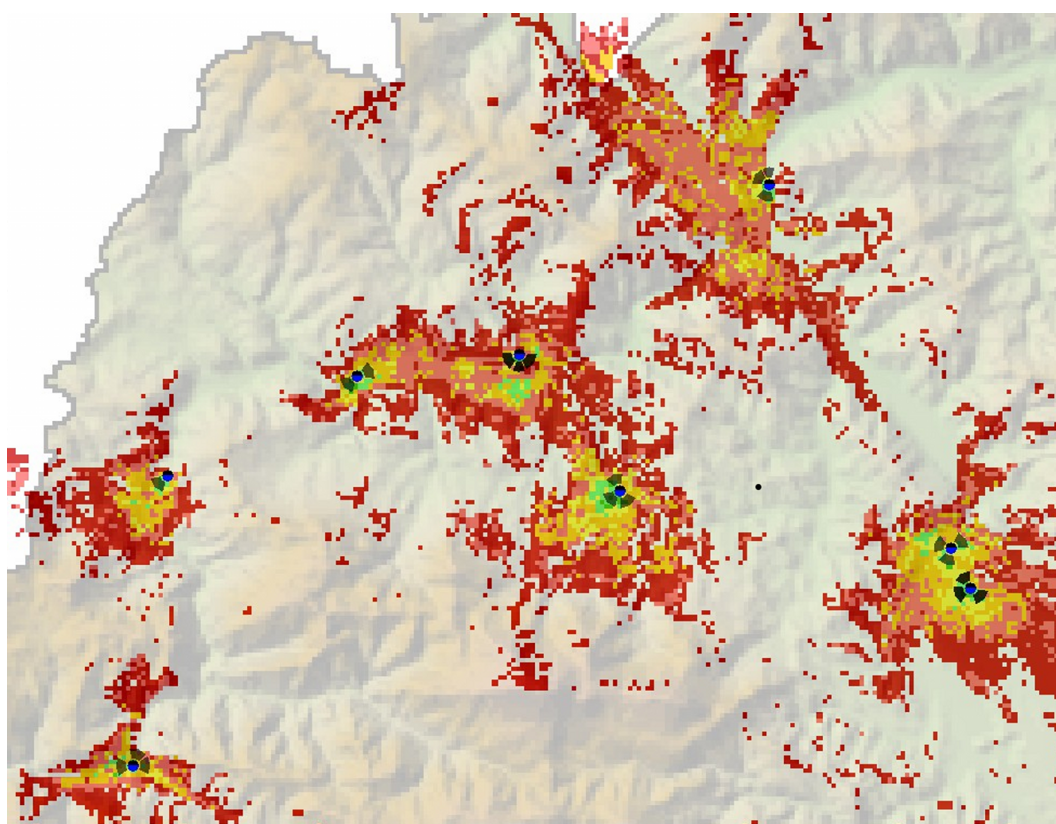


(b)

Slika 33: Diagram celičnega pokrivanja na primestnem območju: (a) pred optimizacijo in (b) po optimizaciji.



(a)



(b)

Slika 34: Diagram celičnega pokrivanja na podeželskem območju: (a) pred optimizacijo in (b) po optimizaciji.



Iz slik lahko opazimo, da je pokrivanje glede na vrsto območja skoraj nespremenjeno, saj so območja praktično pod enakim pokrivanjem radijskega omrežja kot pred izvajanjem optimizacije. To pomeni, da optimizacija oddajne moči CPICH za izenačenje področij mehkega izročanja ni slabo vplivala na področje celičnega pokrivanja, kljub dejstvu, da tega kriterija nismo neposredno upoštevali.

Zgornji rezultati predstavljajo dodatno potrditev, da je bila pretvorba problema v graf, vodenega preko sil, pravilna odločitev za preslikavo problema z večdimenzionalno cenovno funkcijo. Kljub velikemu številu posameznih kriterijev, kateri istočasno vplivajo na posamezne celice v omrežju, smo uspešno optimizirali podane nastavitve in našli rešitev, ki zadosti sistemu v celoti. Z drugimi besedami, izboljšali smo določen kontekst delovanja radijskega omrežja, ne da bi pri tem povzročali težave drugim sklopom omrežja.

## 8.2 PREIZKUSI NA REALNEM OMREŽJU

Naš sistem smo dodatno preizkusili na realnem omrežju. Rezultate preizkusov so ocenili eksperti in ugotovitve predstavljamo v nadaljevanju. Pridobljeni rezultati pripadajo delu delujočega omrežja na primestnem območju. Uporabniški promet smo povzeli iz povratne informacije sistema v obliki ključnih indikatorjev zmogljivosti. Tabela 15 prikazuje nekatere ključne lastnosti omenjenega omrežja.

Tabela 15: Ključne lastnosti realnega omrežja.

Št. baznih postaj	Št. celic	Gostota prebivalstva na km <sup>2</sup>	Velikost območja
12	33	386	8.900 x 6.600 m <sup>2</sup>

Delež vklopljenih storitev smo prav tako preračunali na podlagi ključnih indikatorjev zmogljivosti. Tabela 16 prikazuje izračunan delež prometa glede na dnevno povprečje in parametre vključenih storitev med postopkom optimizacije.

Tabela 16: Parametri vključenih storitev v realnem omrežju.

Skupina	Storitev	Bitna hitrost (Kbit/s)	Delež (%)
Govorne	Govorni klic	12,2	50
	Video klic	64	9
Interaktivne	Brskanje po spletu	384	41

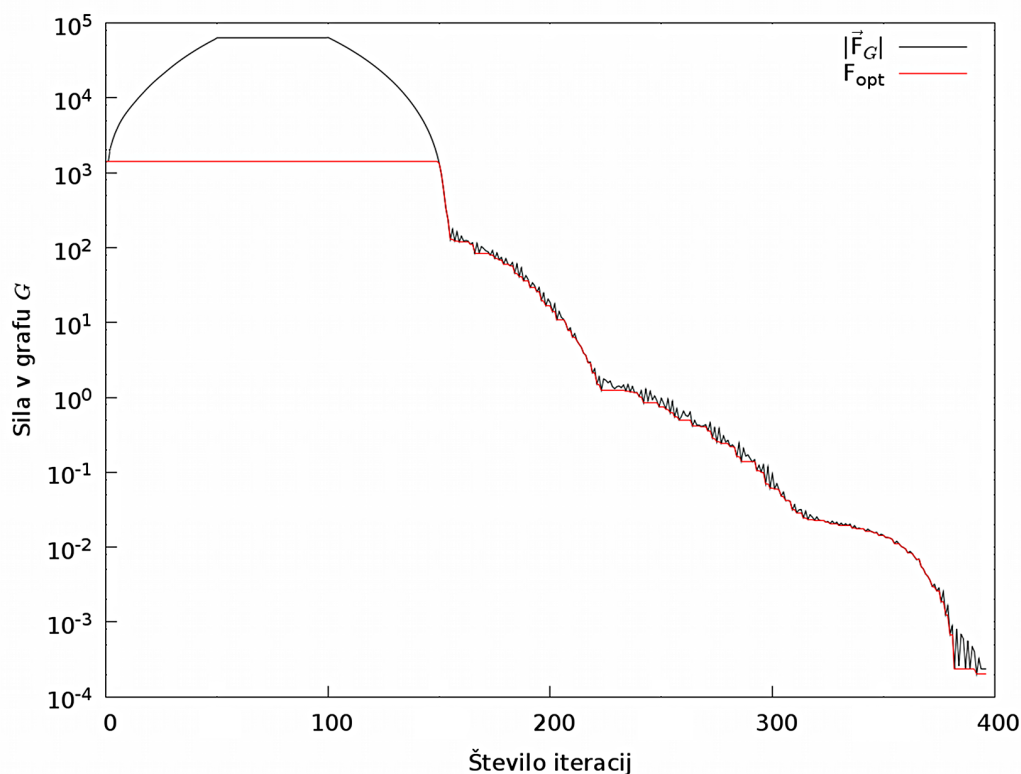
Tabela 17 prikazuje uporabljene nastavitve na optimiziranem delu omrežja.



Tabela 17: Nastavitve realnega omrežja.

Nastavitev	Vrednost
Čipna hitrost	3,84 Mčip/s
Skupna moč bazne postaje	30 W za vse
Meja oddajne moči CPICH	$\pm 2$ dB od trenutne nastavitve

V tem primeru ni podatkov glede termičnega šuma, izgube poti in vrednosti CIR, saj uporabniškega prometa ne simuliramo, temveč ga analiziramo iz povratne informacije UTRAN.



Slika 35: Konvergenca algoritma na realnem omrežju.

Podobno kot pri preizkusih za simulirana omrežja lahko na sliki 35 vidimo graf konvergence algoritma, ki je nastal na podlagi zabeleženih vrednosti pri vsaki iteraciji izvajanja. Tudi tukaj opazimo rast in nato padec skupne energije, medtem ko sistem postopoma izboljšuje rešitev. V tem delu realnega omrežja je algoritem dosegal optimalno rešitev po 397 iteracijah.

Tabela 18: Statistike realnega omrežja pred optimizacijo.

Št. področij z zamikom	Zamik (dB)			Oddajna moč CPICH (dBm)			
	Min	Max	Std. dev.	Min	Max	Std. dev.	Povprečje
799	0	0,45	0,19	28,70	32,50	1,10	30,20

Tabela 19: Statistike realnega omrežja po optimizaciji.

Št. področij z zamikom	Zamik (dB)			Oddajna moč CPICH (dBm)				Učinkovitost	
	Min	Max	Std. dev.	Min	Max	Std. dev.	Povprečje	Št. iteracij	Čas (sek.)
770	0	0,43	0,19	26,70	31,30	1,22	29,65	397	7,4

Tabela 18 prikazuje statistike vnaprej podanih nastavitvev, na podlagi katerih je bila rešitev izračunana. Statistike optimalne rešitve sistema SOON so prikazane v tabeli 19. Prvi podatek kaže, da je število zamikov med navzgorjnimi in navzdoljnimi področji mehkega izročanja manjše za 29 (okrog 4 %). Največja vrednost posameznega zamika se je prav tako zmanjšala za 0,02 dB. Občutne razlike opazimo v vrednostih oddajne moči CPICH posamezne celice, pri katerih je minimalna oddajna moč manjša za 2 dB, maksimalna pa za 1,2 dB. Povprečna oddajna moč CPICH se je prav tako znižala in sicer za 0,55 dB, kar predstavlja skupno znižanje moči v celotnem delu omrežja za 18,15 dBm. To pomeni, da je sistem SOON s prerazporeditvijo podanih nastavitvev oddajne moči CPICH v nekaj primerih odpravil zamike in občutno zmanjšal porabljeno moč v tem delu omrežja. Glede na skupno število celic in sosednjih relacij med njimi je bila učinkovitost algoritma ocenjena s strani ekspertov kot nadpovprečna.

Eksperti so ugotovili, da so predlagane nastavitve sistema SOON primerne za zmanjšanje števila zamikov, ne da bi pri tem slabo vplivale na pokrivanje celic optimiziranega dela omrežja. Potencialno težavo bi lahko predstavljalo prekomerno znižanje oddajne moči CPICH, zaradi katerega bi lahko nekateri uporabniki imeli težave pri vzpostavljanju povezave z omrežjem znotraj zgradb. Dejanski učinek nastavitvev optimalne rešitve v zvezi z notranjim pokrivanjem<sup>10</sup> (angl. indoor coverage) bi morali preučiti z drugimi vrednostmi ključnih indikatorjev zmogljivosti. Po drugi strani so eksperti predlagali, da bi lahko upoštevali notranje pokrivanje ključnih celic kot dodaten kriterij v nadaljnjih optimizacijah.

<sup>10</sup>Notranje pokrivanje se ukvarja z dosegom signala celic znotraj zgradb (pisarn, stanovanj, nakupovalnih središč, hiš itd.)

## 9 ZAKLJUČEK

Načrtovanje pokrivanja geografskega področja, optimizacija konfiguracije baznih postaj in povečanje zmogljivosti prenosa štejemo med pomembne probleme, s katerimi se morajo operaterji mobilnih komunikacij spopadati. Med analizo teh problemov radijski inženirji upoštevajo različne geografsko-socialne vidike (na primer gostota prebivalstva, relief in tip terena, mestna središča itd.) in več storitvenih kriterijev (na primer govor, video klice, internetni dostop itd.). Med nastavljanjem parametrov se inženirji pogosto znajdejo pred kompromisno nastavitvijo oddajne moči skupnih referenčnih kanalov celic. Ta je namreč skupni imenovalac več različnih problemov pri optimizaciji omrežja UMTS.

Optimalna nastavev oddajne moči skupnih referenčnih kanalov je zelo zahtevna naloga, ki se dandanes izvaja večinoma ročno in temelji predvsem na strokovnih izkušnjah in ne na standardiziranih postopkih.

Magistrska naloga se je ukvarjala z optimizacijo oddajne moči skupnih referenčnih kanalov v omrežju UMTS, kar predstavlja velik izziv zaradi večdimenzionalne cenovne funkcije in velikega števila parametrov problema. Formalno definicijo tovrstnih problemov je zelo težko določiti in še težje reševati, zlasti za velika realna omrežja, zato trenutno ni znanega standardnega pristopa k reševanju tega problema.

Osredotočili smo se na problem izenačenja navzgorjih in navzdolnjih področij mehkega izročanja med sosednimi celicami v omrežju UMTS. Problem smo reševali s pomočjo hevrističnega pristopa, ki temelji na grafih, vodenih preko sil.

Pokazali smo, da je naš pristop primeren za optimizacijo oddajne moči CPICH celic v omrežju UMTS in, da je tudi zelo prilagodljiv, saj preko nastavev algoritma in sistema lahko njegovo obnašanje spremenimo po potrebi. Prilagodljivost pristopa je zelo pomembna zaradi dinamike radijskih omrežij, ki temeljijo na tehnologiji WCDMA.

Prepričani smo, da je v mobilnih sistemih področje uporabe predstavljenega pristopa zelo široko, saj nastavitve oddajne moči CPICH igrajo aktivno vlogo v različnih fazah načrtovanja in optimizacije omrežij UMTS.

Na podlagi izvajanih preizkusov smo pokazali učinkovitost izbrane pretvorbe problema v graf, vodenega preko sil, v katerem smo enostavno lahko modelirali večdimenzionalno cenovno funkcijo, ki je bila sestavljena iz več različnih kriterijev.

Rezultati preizkusov kažejo, da z izboljšanjem določenega konteksta delovanja radijskega omrežja nismo poslabšali kakovosti delovanja preostalega dela omrežja. Uspeh na tej ravni je brez dvoma največji dosežek našega dela.

## 9.1 MOREBITNE IZBOLJŠAVE

V tem poglavju bomo predstavili arhitekturo sistema SOON razširjeno z dodatnim modulom in smernice za morebitno vzporedno izvajanje algoritma.

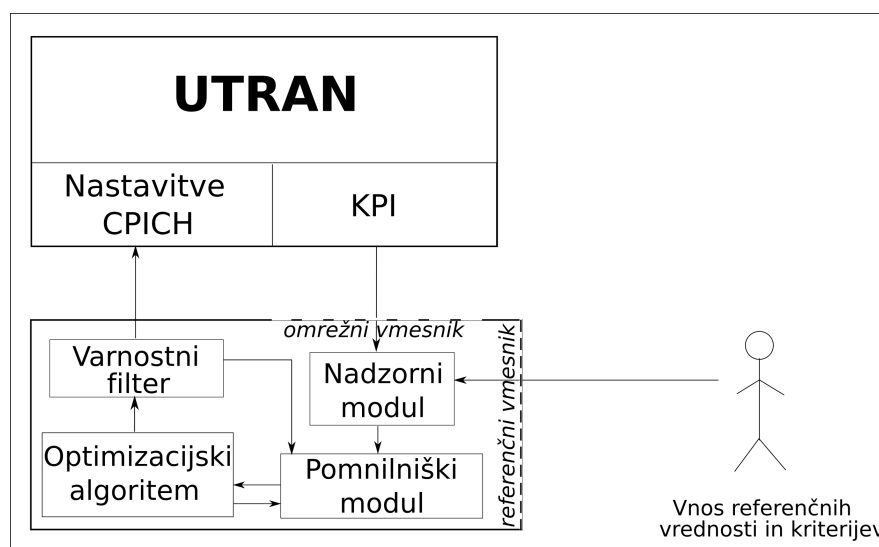
### 9.1.1 Razširjena arhitektura sistema s pomnilniškim modulom

Zanimiv dodatek k arhitekturi sistema SOON bi bil pomnilniški modul. Slika 36 prikazuje konceptualni model posodobljenega sistema, ki sestoji iz štirih modulov:

- nadzornega modula,
- pomnilniškega modula,
- optimizacijskega algoritma,
- varnostnega filtra

ter dveh vmesnikov:

- omrežnega in
- referenčnega.



Slika 36: Arhitektura posodobljenega sistema SOON.

Posodobljeno delovanje sistema SOON bi ustvarjalo povratno zanko med ključnimi indikatorji zmogljivosti omrežja in nastavitvami moči CPICH. Med spremljanjem delovanja omrežja v realnem času bi se vrednosti KPI shranile v pomnilniški modul za statistično analizo in primerjale z vnaprej določenimi referenčnimi vrednostmi. Na enak način kot v prej opisanem sistemu (glej poglavje 6.1) bi bil rezultat primerjave

popravek oz. delta vrednost CPICH v decibelih glede na trenutno nastavljeno vrednost v RNC.

Opis vseh štirih sestavnih modulov posodobljenega sistema SOON z upoštevanjem dodatnega pomnilniškega modula je sledeča.

### **Nadzorni modul**

Sistem naj bi stalno spremljal množico vhodnih meritev za vsako celico. Meritve bi bile osnova za kasnejše računanje popravkov oz. delta vrednosti oddajne moči CPICH. Po primerjavi z referenčnimi podatki, vnesenimi preko vmesnika, kar bi izločilo odstopajoče vrednosti in zmanjšalo velikost problema, bi se meritve shranile v pomnilniškem modulu. Te bi predstavljale trenutno stanje omrežja, kar je vhodni podatek za optimizacijski algoritem.

### **Pomnilniški modul**

Ta modul bi si lahko predstavljali kot bazo podatkov, ki bi hranil statistične podatke o uspešnosti oz. neuspešnosti preteklih sprememb. Prav tako bi bil odgovoren za shranjevanje in iskanje kontekstov omrežja, v katerih so bile spremembe uveljavljene.

### **Optimizacijski algoritem**

Tretji modul sistema bi spremljal podatke iz pomnilniškega modula in odločal o spremembah oddajne moči CPICH. Algoritem naj bi upošteval informacijo o preteklih optimizacijah, shranjenih v pomnilniškem modulu. Na podlagi teh »izkušenj« bi se lahko algoritem drugače odločil o smeri iskanja ali predlaganih spremembah, če bi bile pretekle predlagane rešitve nižje kakovosti. Eksperti bi imeli tudi možnosti ocenjevanja rešitev. Ekspertne ocene bi se prav tako morale hraniti v pomnilniškem modulu in bi igrale pomembnejšo vlogo kot druge spremenljivke v oceni predlagane rešitve.

### **Varnostni filter**

Ta modul naj bi opravil enako vlogo kot v poglavju 6.1. Razlika bi bila le v shranjevanju informacije o sproženju varnostnega filtra v pomnilniškem modulu. Zabeležen dogodek bi postal del ocene kakovosti predlagane rešitve. Tako bi rešitve, ki so prekoračile dovoljene meje in sprožile varnostni filter, imele bistveno slabšo oceno kakovosti. To bi pripomoglo k hitrejšemu izboljšanju predlaganih rešitev.

### 9.1.2 Vzoredno izvajanje algoritma

Implementacija sistema SOON je zasnovana za izkoriščanje prednosti arhitektur za vzoredno izvajanje. Tako lahko uporabnik na podlagi nastavitvenih datotek določa posamezne podgrafe grafa, ki predstavlja optimizacijski problem za vzoredno izvajanje na več procesorjih oz. računalnikih. Zanimiva nadaljnja izboljšava bi bila prilagoditev trenutne implementacije sistema za vzoredno izvajanje na arhitekturi nVidia CUDA [8] ali arhitekturah, ki podpirajo standard OpenCL [29], kateri med drugim izkoriščajo dodatno računalniško moč grafične procesne enote (angl. Graphics Processing Unit, GPU).

## LITERATURA

- [1] 3GPP. General UMTS architecture, v4.0.0. April 2001.
- [2] 3GPP. Physical channels and mapping of transport channels, v8.4.0. Marec 2009.
- [3] 3GPP. Requirements for support of radio resource management (FDD), v4.17.0. Maj 2009.
- [4] 3GPP. User Equipment (UE) procedures in idle mode and procedures for cell reselection in connected mode, v4.8.0. Junij 2009.
- [5] A. Aiello and R. I. Silveira. *Trazado de grafos mediante métodos dirigidos por fuerzas: revisión del estado del arte y presentación de algoritmos para grafos donde los vértices son regiones geográficas*. Departamento de Computación, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, Argentina, December 2004.
- [6] L. Benedičič. Code Assignment with Cellular Automata. *Univerza na Primorskem, Fakulteta za matematiko, naravoslovje in informacijsko tehnologijo Koper*, 2008.
- [7] J. Borkowski, J. Niemelä, and J. Lempiäinen. Applicability of repeaters for hotspots in UMTS. *14th IST Mobile Summit*, 2005.
- [8] I. Buck. GPU computing with nVidia CUDA. In *International Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques*. ACM New York, NY, USA, 2007.
- [9] P. Chitrapu and A. Briancon. *Wideband TDD: WCDMA for the Unpaired Spectrum*. John Wiley & Sons, Inc. New York, NY, USA, Maj 2004.
- [10] P. Eades. A heuristic for graph drawing. In *Congressus Numerantium*, (42):149-160, 1984.
- [11] A. Eisenblätter, T. Koch, A. Martin, T. Achterberg, A. Fugenschuh, A. Koster, O. Wegel, and R. Wessaly. Modelling feasible network configurations for UMTS. *Telecommunications Network Design and Management*. Kluwer, 2002.
- [12] A. Eisenblätter, A. Füngenschuch, H. F. Geerdes, D. Junglas, T. Koch, and A. Martin. Optimization methods for UMTS radio network planning. In *Intl. Conference on Operations Research*, pages 31–38. Springer, September 2003.
- [13] A. Eisenblätter, H. F. Geerdes, and N. Rochau. Analytical approximate load control in WCDMA radio networks. In *2005 IEEE 62nd Vehicular Technology Conference, 2005. Proceedings. VTC 2005-Fall*, pages 1534–1538, September 2005.

- [14] M. Garcia-Lozano, S. Ruiz, and J. Olmos. CPICH power optimisation by means of simulated annealing in an UTRA-FDD environment. *Electronics Letters*, 39(23):1676–7, 2003.
- [15] GSA. Global mobile Suppliers Association (GSA). Dostop avgusta 2009.
- [16] F. Gunnarsson and F. Gustafsson. Control theory aspects of power control in UMTS. *Control Engineering Practice*, 11(10):1113–1125, 2003.
- [17] H. Holma and A. Toskala. *WCDMA for UMTS: Radio access for third generation mobile communications, Third Edition*. John Wiley & Sons, Inc. New York, NY, USA, 2005.
- [18] T. Isotalo, J. Niemelä, J. Borkowski, and J. Lempiäinen. Impact of pilot pollution on SHO performance. In *8th IEEE International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications (WPMC'05)*. IEEE, September 2005.
- [19] ITU. IMT-2000 Radio Interface Specifications Approved in ITU Meeting in Helsinki. November 1999.
- [20] ITU. International Telecommunication Union. 2009.
- [21] SB Jamaa, H. Dubreil, Z. Altman, and A. Ortega. Quality indicator matrices and their contribution to WCDMA network design. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 54(3):1114–1121, Maj 2005.
- [22] T. Kamada and S. Kawai. An algorithm for drawing general undirected graphs. In *Information processing letters*, volume 31, pages 7–15. Elsevier North-Holland, Inc. Amsterdam, The Netherlands, The Netherlands, 1989.
- [23] D. Kim, Y. Chang, and J.W. Lee. Pilot power control and service coverage support in CDMA mobile systems. In *1999 IEEE 49th Vehicular Technology Conference*, volume 2, 1999.
- [24] B. Knutsson. *Simulation of Radio Resource Management for UMTS*. Department of Science and Technology, Linköping University, Sweden, 2004.
- [25] P.J.M. Laarhoven and E.H.L. Aarts. *Simulated annealing: theory and applications*. Springer, 1987.
- [26] J. Laiho, A. Wacker, and T. Novosad. *Radio Network Planning and Optimisation for UMTS*. John Wiley & Sons, Inc. New York, NY, USA, 2002.
- [27] J. Lempiäinen and M. Manninen. *UMTS Radio Network Planning, Optimization and QoS Management for Practical Engineering Tasks*. Kluwer Academic Publishers Norwell, MA, USA, 2004.



- [28] R. T. Love, K. A. Beshir, D. Schaeffer, and R. S. Nikides. A pilot optimization technique for CDMA cellular systems. In *50th IEEE Vehicular Technology Conference (VTC1999 - Fall)*, volume 4, pages 2238–2242. IEEE, September 1999.
- [29] A. Munshi. OpenCL Parallel Computing on the GPU and CPU. *SIGGRAPH'08: ACM SIGGRAPH 2008 classes*, 2008.
- [30] J. Niemelä and J. Lempiäinen. Mitigation of pilot pollution through base station antenna configuration in WCDMA. In *60th IEEE Vehicular Technology Conference (VTC2004 - Fall)*, volume 6, pages 4270–4274. IEEE, September 2004.
- [31] N. Papaoulakis, F. Casadevall, F. Adelantado, and E. Gkroutsiotis. Practical radio resource management techniques for UMTS. In *Mobile Venue 2004*, 2004.
- [32] Esmailzadeh R. and Nakagawa M. *TDD-CDMA for Wireless Communications*. Artech House Publishers, 2002.
- [33] J. Rychlewski. On Hooke's law. *J. Appl. Math. Mech*, 48(3):303–314, 1984.
- [34] I. Saje. Uvod v UMTS. *Mobitel, d.d.*, 2009.
- [35] I. Saje and Z. Vehovar. Optimizacija UTRAN omrežja. *Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko, Laboratorij za telekomunikacije*, 2008.
- [36] I. Siomina. Pilot power management in WCDMA networks: coverage control with respect to traffic distribution. In *Proceedings of the 7th ACM international symposium on Modeling, analysis and simulation of wireless and mobile systems*, pages 276–282. ACM New York, NY, USA, 2004.
- [37] I. Siomina. *Radio Network Planning and Resource Optimization: Mathematical Models and Algorithms for UMTS, WLANs and Ad Hoc Networks*. Department of Science and Technology, Linköping University, Sweden, 2007.
- [38] I. Siomina, P. Värbrand, and D. Yuan. An effective optimization algorithm for configuring radio base station antennas in UMTS networks. In *2006 IEEE 64th Vehicular Technology Conference, 2006. Proceedings. VTC 2006-Fall*, pages 1–5, September 2006.
- [39] I. Siomina and D. Yuan. Optimization of pilot power for load balancing in WCDMA networks. In *IEEE Global Telecommunications Conference, 2004. GLOBECOM'04*, volume 6, November 2004.
- [40] B. N. Taylor. *Guide for the Use of the International System of Units (SI)*. DIANE Publishing, 1995.

- [41] Agilent Technologies. *The Agilent Technologies E6474A Network Optimization Platform*. Agilent Technologies, inc.
- [42] K. Valkealahti, A. Höglund, J. Parkkinen, A. Flanagan, N.R. Center, and F. Espoo. WCDMA common pilot power control with cost function minimization. In *2002 IEEE 56th Vehicular Technology Conference, 2002. Proceedings. VTC 2002-Fall*, volume 4, 2002.
- [43] K. Valkealahti, A. Höglund, J. Parkkinen, and A. Hämäläinen. WCDMA common pilot power control for load and coverage balancing. In *Personal, Indoor and Mobile Radio Communications*, volume 3, pages 1412–1416. Citeseer, 2002.
- [44] M. Walker, V. AirTouch, and R. Holloway. On the security of 3GPP networks. *Lecture Notes in Computer Science*, pages 102–103, 2000.
- [45] K. Wesolowski. *Mobile communication systems*. Wiley, 2002.
- [46] J. Yang and J. Lin. Optimization of power management in a CDMA radio network. In *52nd IEEE Vehicular Technology Conference (VTC2000 - Fall)*, pages 2642–2647. IEEE, September 2000.
- [47] S. Ying, F. Gunnarsson, K. Hiltunen, E. Res, and C. Beijing. CPICH power settings in irregular WCDMA macro cellular networks. *14th IEEE Proceedings on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, 2003. PIMRC 2003*, 2, 2003.
- [48] H. Zhu, T. Buot, R. Nagaike, and S. Harmen. Load balancing in WCDMA systems by adjusting pilot power. In *Wireless Personal Multimedia Communications, 2002. The 5th International Symposium on*, volume 3. IEEE, September 2002.