

Analiza kakovosti načrtovanja digitalnega radijskega omrežja

Tomi Mlinar¹

¹Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko, Katedra za informacijske in komunikacijske tehnologije, Laboratorij za sevanje in optiko, Tržaška cesta 25, 1000 Ljubljana
tomi.mlinar@fe.uni-lj.si

Analysis of the Digital Radio Network Planning

Abstract. Planning and construction of a radio network is always followed by a process that never ends - optimization. Optimization is a process that eliminates shortcomings of insufficient or wrong input information, the differences between chosen model in planning tools and the actual behavior of the signal on field, not enough detailed digital terrain maps or inaccuracies in them, incorrect decisions of the planner or incorrect installation settings, new elements in capacity or functionality needs during network operation and others.

In this article we analyze planning performance of a digital mobile radio network (DMR) [1, 2, 3, 4] that is operating in the frequency range from 146 to 174 MHz. This technology is used also for the Public Protection and Disaster Relief (PPDR) purposes [5, 6].

For the planning of PPDS network, the TAP tool with the Mapper module [7] was used, and field measurements with the Mototrbo Site Survey tool [8] were performed.

1 Uvod

Načrtovanju in izgradnji radijskega omrežja vedno sledi proces, ki se nikoli ne konča – optimizacija. Z optimizacijo skušamo odpraviti izzive, ki se pojavijo zaradi nezadostnih ali slabih vhodnih informacij ob načrtovanju, razlik med modeli v planerskih orodjih in dejanskim obnašanjem signala, ne dovolj podrobnih digitalnih kart terena ali njihovih netočnosti, napačnih odločitev planerja ali napačnih nastavitvev ob montaži, spremenjenih potrebah po zmogljivosti ali funkcionalnosti med delovanjem omrežja in drugih.

V tem članku analiziramo uspešnost načrtovanja digitalnega mobilnega radijskega omrežja (DMR) [1, 2, 3, 4], ki deluje na frekvenčnem območju od 146 do 174 MHz. To omrežje se uporablja tudi za potrebe javne varnosti, zaščite in reševanja (ang. Public Protection and Disaster Relief - PPDR) [5, 6].

Za potrebe načrtovanja pokrivanja je uporabljeno programsko orodje Terrain Analysis Package (TAP) z modulom Mapper [7], za analizo dejanskega pokrivanja so se izvedle terenske meritve z orodjem Mototrbo Site Survey [8].

2 Načrtovanje

Omrežja PPDR so omrežja varnosti in zaščite, zdravstvene pomoči, nadzora in vzdrževanja elektroenergetskih omrežij, avtocest ali drugih, ki služijo varovanju človeških življenj ter nadzoru in vzdrževanju javne infrastrukture.

Zanesljivost delovanja takšnega omrežja je izjemnega pomena, zato mora biti tudi načrtovano tako, da je njegova razpoložljivost vsaj 99,99 %, imeti mora dovolj veliko zmogljivost in rezervo, pokrivanje s signalom mora biti skoraj popolno, vzpostavljanje komunikacije mora biti hitro in z majhnimi zakasnitvami.

Način izgradnje omrežja PPDR se razlikuje od komercialnega javnega mobilnega omrežja, sploh če je grajeno namensko. Zanj so običajno namenjena javna sredstva, ki jih ni veliko, prav tako ni niti časa niti sredstev za kasnejšo optimizacijo. Zato je zelo pomembno, da so rezultati teoretičnega načrtovanja, izdelanega s programskim orodjem in po katerem gradimo omrežje, čim bližje tistemu, kar bomo dobili v realnosti.

2.1 Izbira modela

Za načrtovanje pokrivanja z radijskim signalom se uporablja veliko modelov, ki upoštevajo parametre, kot so klimatske razmere, vrsta in oblika terena, prevodnost in dielektrična konstanta tal in podobno, od katerih so nekateri zajeti v tabeli 1, pogosteje uporabljeni modeli pa so podrobneje opisani v tabeli 2.

Tabela 1. Modeli za računanje razširjanja signala nad terenom

Model razširjanja	Primeren za frekvenčno območje
Okumura Hata	150 MHz – 1,5 GHz
Longley-Rice	30 MHz – 40 GHz
Za areonavtiko	30 MHz – 30 GHz
Model ravne Zemlje	30 MHz – 10 GHz
Egli,-urbana naselja	30 MHz – 10 GHz
HCM	30 MHz – 2 GHz
ITU 370	30 MHz – 1 GHz
ITU 567	30 MHz – 1 GHz
CEPT	30 MHz – 250 MHz

Tabela 2. Pogosteje uporabljeni modeli razširjanja signala

Model razširjanja	Opi modela
Model Okumura	Pri tem modelu se izračuna mediana jakosti polja, ki se potem popravi zaradi vpliva razgibanosti terena, vrste terena (urbano, podeželje,...), nagiba terena, usmerjenosti ulic in podobno

	Ta model je najbolj uporaben za računanje v urbanih območjih (osnovni model je bil narejen za Tokio), dodane so korekcije za podeželje in odprt teren. Krivulje v tem modelu so primerne za razdalje od 1 do 100 kilometrov.
Model Hata-Davidson	Ta model uporablja modificirane empirične formule, dobljene iz družine krivulj Okomura. Izračuni so odvisni od vrste okolja (urbano, veliko mesto, majhno mesto, primestje, podeželje). Ne vsebuje nobenih posebnih korekcij, odvisnih od poti širjenja signala med oddajnikom in sprejemnikom.
Longley-Riceov model	Poleg osnovnih parametrov, kot so frekvenca, moč oddajnika, podatki o antenskem diagramu iz katerih se izračuna jakost polj v praznem prostoru, se pri tem modelu uporabijo še podatki o klimatskih posebnostih, radijskem horizontu, prevodnosti tal in podobno. To je najpogosteje uporabljen model v frekvenčnem območju od 30 MHz do 30 GHz.
Model Eglja	Ta model je razvil John Egli iz izmerjenih vrednosti na skoraj ravnem terenu (povprečna višina ovir do 20 m) do razdalje 80 kilometrov. Za izračun so potrebni le frekvenca, razdalja ter višina oddajne in sprejemne antene. Model ne upošteva podatkov o razgibanosti terena. Preprost model, primeren za izračunavanje na ravnem terenu.
Bullingtonov model	Pri tem modelu se izračunane vrednosti jakosti polja za prazen prostor popravijo za slabljenje, ki je posledica difrakcije signala na ostri oviri. Ta model se uporablja za izračunavanja linkovskih in drugih mobilnih zvez, predvsem takrat, ko načrtujemo pokrivanje terena iz višinskih točk.

Izberemo tistega, ki je najprimernejši za obliko terena in frekvenco, ki jo uporabljamo. Izkustveno je za naše frekvenčno območje (146 MHz – 174 MHz) in vrsto terena (zunanje pokrivanje) najprimernejši model *Longley-Rice* [9].

Vhodni podatki so: nosilna frekvenca, efektivna izsevana moč (ang. *effective radiated power* - ERP), antenski smerni diagram in višina antene nad terenom.

2.2 Izračun

Pri izračunu s programskim orodjem *Terrain Analysis Package - TAP* se upošteva klimatska karta in lastnosti geografskega območja. Pri načrtovanju pokrivanja smo za podlago uporabili digitalni model terena Slovenije, ki ima ločljivost 30 metrov. Orodje računa po izbranem modelu. Izračuni so narejeni za radialno območje 360°

okoli lokacije v kotnih razmikih po 0,5° in do razdalje 30 kilometrov. Računa se z zahtevnostjo 90/90, kar statistično pomeni pokritost s signalom 90 % časa na 90 % lokacij ali boljše. To je zelo strog kriterij, ki velja za delovanje kritičnih radijskih zvez, kamor spadajo npr. službe zaščite in reševanja.

Pri načrtovanju pokrivanja terena računamo z naslednjimi osnovnimi parametri:

- frekvenco (f),
- valovno dolžino (λ)
- močjo oddajnika (P_o),
- dobitkom antene (G_o),
- močjo na sprejemniku (P_s),
- dobitkom sprejemne antene (G_s).

Po enačbi (1) se izračunava gostota pretoka moči S na razdalji d od oddajnika.

$$S = (P_o \cdot G_o) / (4\pi \cdot d^2) \quad (1)$$

Po enačbi (2) se izračunava sprejeta moč na sprejemniku mobilne postaje.

$$P_s = (P_o \cdot G_o) \cdot (\lambda^2 \cdot G_s) / (4\pi \cdot d)^2 \quad (2)$$

V enačbah (1) in (2) se uporabljajo naslednje enote: frekvenca v Hertzih, valovna dolžina v metrih, moči v vatih in dobitki anten brez enot.

Poenostavljena enačba zveze (3) med oddajnikom in sprejemnikom je

$$P_s = P_o + G_o + G_s - L_o - L_s - L_p \quad (3)$$

Vse enote v enačbi (3) so v decibelih.

Parameter L predstavlja izgube na poti med oddajnikom in sprejemnikom. Člen L_p je odvisen od prostora skozi katerega se širi signal (konfiguracije in sestave terena, vegetacije, umetnih in naravnih ovir ...). Modeli, ki jih uporabljajo računski orodja, se razlikujejo po tem, kako upoštevajo vpliv prej omenjenih elementov na razširjenje signala.

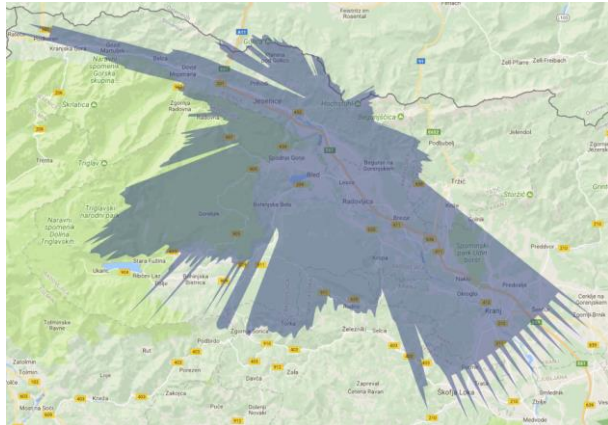
V našem primeru je izhodna moč oddajnika 10 W. Občutljivost bazne in mobilne postaje na priključni sponki sprejemnika je -117 dBm. Pri teh nivojih je pogostnost bitne napake BER (ang. *Bit Error Rate*) manjša ali enaka 5 %. Mejni vrednosti jakosti polja, s katerima še računamo s kakovostnim sprejemom pa sta za mobilno postajo -106 dBm in za bazno postajo -110 dBm.

Na sliki 1 je prikazano pokrivanje terena z lokacije Ravni pod Stolom. Obarvano polje prikazuje jakost signala, ki je boljša od -106 dBm.

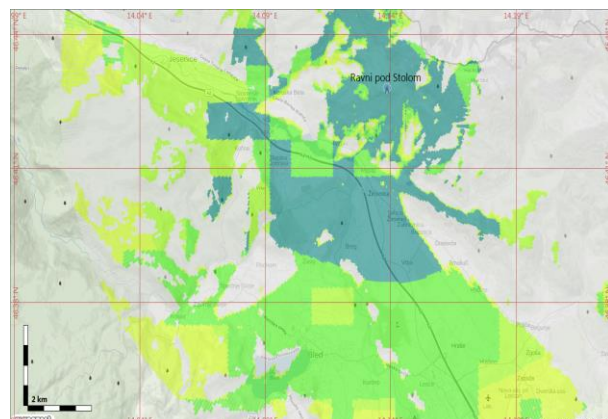
Za izračun smo izbrali model Longley-Rice z naslednjimi parametri: vertikalna polarizacija, efektivna ukrivljenost Zemlje 1.3333, klimatsko področje 5, relativna dielektričnost tal 15, prevodnost tal 0,005 S/m. Izračuni veljajo za 90 % situacij in 90 % časa.

Področje pokrivanja smo računali na radialih dolžine 10 kilometrov od lokacije, ki so si sledili po 0,5 kotne stopinje od azimuta 100 do 290 stopinj. Na vsakem radialu so se izračunavale točke električne poljske jakosti v razmikih po 50 metrov. Tudi po višinah smo nastavili resolucijo na 50 metrov.

Na sliki 2 so prikazane podrobne vrednosti polja, temnejša barva pomeni večjo jakost polja. Za bolj pregleden prikaz je bil izbran korak na grafičnem prikazu 5 dB.



Slika 1. Območje pokrivanja terena z lokacije Ravni pod Stolom s signalom boljšim od -106 dBm



Slika 2. Podrobnejši izračun pokrivanja (dBm)
(siva <-80, rumena = -75 svetlo zelena = -70, zelena = -65, temno zelena > -60)

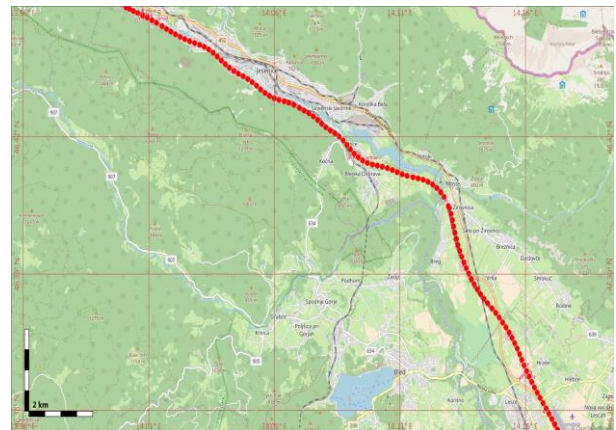
3 Testiranje/meritve

Testiranje omrežja se običajno izvaja na različnih segmentih, odvisno od namena. Če bi nas zanimala kompletna analiza signala, bi s spektralnim analizatorjem ali posebnim DMR-merilnikom merili tudi druge parametre po standardih ETSI [1 - 4], na primer: močnostni profil, frekvenčno napako, simbolno napako, napako modulacije, BER, konstelacijski diagram, kanal, barvno kodo in druge parametre.

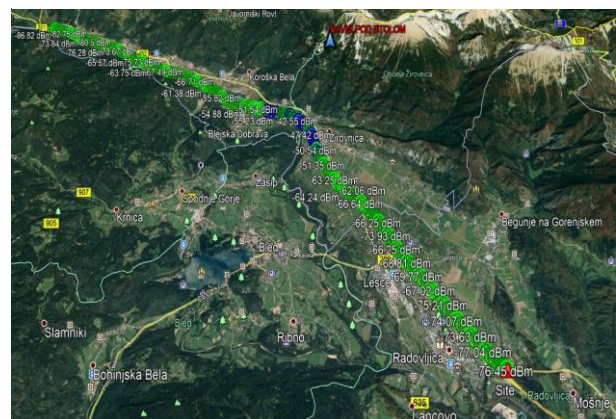
Za potrebe te analize se omejimo le na meritve jakosti sprejetega signala na izbrani trasi, hkrati pa beležimo še geografsko lokacijo s sprejemnikom globalnega sistema za pozicioniranje (ang. Global Positioning System - GPS).

Meritve smo izvajali po trasi gorenjske avtoceste, med Radovljico in Hrušico. V merilno vozilo smo namestili zunanjo sprejemno anteno, anteno GPS in mobilno radijsko postajo, ki je služila kot merilni instrument. Na postajo smo priklopili prenosnik z merilno programsko opremo. Vozilo se je premikalo s hitrostjo 60 km/h, vzorčili smo na vsakih 10 sekund (približna razdalja med posameznima točkama je 166 metrov). Višina antene nad terenom (na strehi vozila) je bila približno dva metra.

Na celotni trasi med Radovljico in Hrušico je bilo opravljenih 134 meritev. Za vsako točko je bil izmerjen podatek o geografski lokaciji in jakosti polja.



Slika 3. Trasa testnih meritev Radovljica-Hrušica (n = 134)



Slika 4. Rezultati testnih meritev (dBm)
(zelena = -105 do -50, modra > -50)

Na sliki 3 je z rdečo prikazana trasa meritev, na sliki 4 pa so podane izmerjene vrednosti jakosti polja na posameznih točkah. Iz slike 4 je razvidno, da je jakost signala na celotni trasi vedno boljša od -80 dBm, blizu oddajnika celo boljša od -50 dBm.

4 Analiza

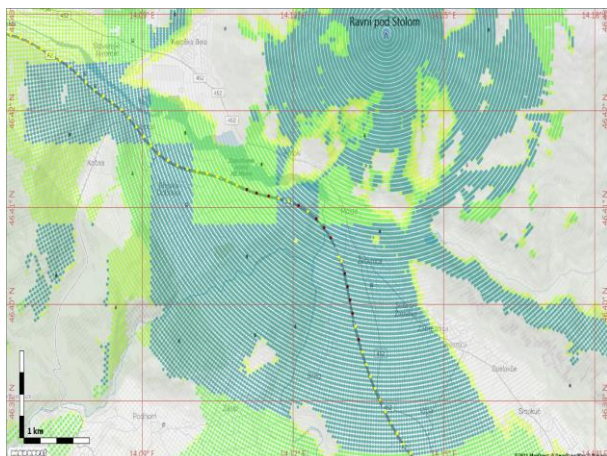
Analizo smo naredili z modulom programskega orodja TAP6. Vsi izračunani in izmerjeni podatki se lahko pretvorijo v format KML in so grafično berljivi v orodju TAP Mapper in aplikaciji Google Zemlja.

Izračun pokrivanja v našem primeru je bil narejen z modelom Longley-Rice, ki je imel nastavljene parametre kot je zapisano v poglavju 2.2.

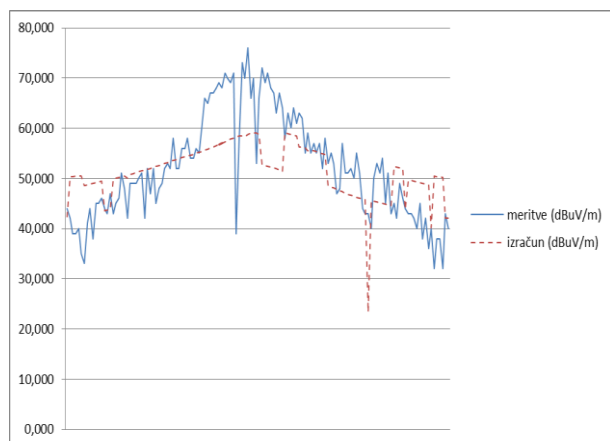
Primerjava izračunanih in izmerjenih vrednosti je prikazana na sliki 5 in v grafu 1.

Korak v grafičnem prikazu izračunane vrednosti polja je 5 dB (slika 2), prav tako je razločljivost topografskih podatkov 50 metrov. Tako grob raster je bil vzet zaradi sprejemljivo dolgega časa računanja. Bolj fina raster (npr. izračun polja za točko 10 x 10 m in razločljivost topografske karte 10 m) bi bistveno podaljšal čas računanja polja.

Primerjava izračunanih in izmerjenih vrednosti v grafu 1 kaže, da smo izbrali pravi model, vendar obstajajo manjša odstopanja, zaradi relativno velikega izbranega koraka v grafičnem prikazu.



Slika 5. Odsek meritev (črtkana krivulja) in izračunov (svetlo in temno zelene konture) za primerjavo



Graf 1. Primerjava izmerjenih (polna črta) in izračunanih (prekinjena črta) vrednosti

5 Sklep

V članku smo analizirali, kako se teoretično načrtovano omrežje obnaša v realnosti. Na izbrani trasi smo s testnim terminalom in ustrezno programsko opremo

izmerili jakost sprejetega signala. Primerjava izračunane in izmerjene vrednosti (graf 1) kaže, da je za izbrani model (Longley-Rice) odstopanje med vrednostmi sprejemljivo. Za našo situacijo smo izbrali primeren model, v drugačnem okolju pa bi bil verjetno bolj primeren drug model (tabela 2). Podobno bi veljalo za drugo frekvenčno območje (tabela 1).

Ko načrtujemo npr. pokrivanje kritičnih odsekov ali področij, kjer smo zaradi geografskih ali umetnih ovir negotovi o kakovosti pokrivanja našega oddajnika, je koristno, da izračunamo poljsko jakost za večje število točk, v grafičnem prikazu pa nastavimo manjši korak (največ 3 dB).

Nadaljevanje te analize predvideva izbiro drugih modelov za izračunavanje razširjanja signala nad terenom in primerjavo med njimi. Slovenija je precej razgibana dežela, ki ima hribovito pokrajino, panonsko nižino, morje in srednje velika urbana naselja, kar pomeni, da so za različna območja primerni različni modeli. Sklepamo lahko, da bodo za druge pokrajine primernejši drugi modeli, podobno pa velja tudi za večja mesta.

Zahvala

Zahvaljujem se gospodu Jožetu Štufleku za nasvete in pomoč pri študiji programskega orodja TAP.

Literatura

- [1] ETSI TS 102 361-1, Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Digital Mobile Radio (DMR) Systems; Part 1: DMR Air Interface (AI) protocol;
- [2] Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Digital Mobile Radio (DMR) Systems; Part 2: DMR voice and generic services and facilities;
- [3] Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Digital Mobile Radio (DMR) Systems; Part 3: DMR data protocol;
- [4] Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Digital Mobile Radio (DMR) Systems; Part 4: DMR trunking protocol;
- [5] ECC REPORT 102, Public protection and disaster relief spectrum requirements, Helsinki, 2007;
- [6] Report ITU-R M.2377-0, Radiocommunication objectives and requirements for Public Protection and Disaster Relief (PPDR), 07/2015;
- [7] TAP 6, Terrain Analysis Package, Softwright LLC, USA, www.softwright.com
- [8] MOTOTRBO Site Survey, ver. 04.03, Motorola Solutions, USA;
- [9] P. L. Rice, A. G. Longley, K. A. Norton, and A. P. Barsis, "Transmission loss predictions for tropospheric communication circuits," U.S. Government Printing Office, Washington, DC, NBS Tech. Note 101, issued May 1965; revised May 1966 and Jan. 1967;