

Moduli za izračun pokritosti z radijskim signalom v programskem paketu GRASS

Priročnik za uporabo

Verzija 1.0

Avtorji:

Igor Ozimek, Andrej Vilhar

Andrej Hrovat, Tine Celcer

Tomaž Javornik

Institut »Jožef Stefan«

Odsek za komunikacijske sisteme

Jamova 39,

1290 Ljubljana

Slovenija

Ljubljana, november 2010

Kazalo

| | |
|---|----|
| Kazalo | 1 |
| Kazalo slik | 3 |
| Kazalo tabel | 4 |
| 1 Uvod | 5 |
| 2 Napotki za delo v okolju GRASS | 6 |
| 2.1 Instalacija okolja GRASS | 6 |
| 2.2 Uvoz podatkov | 7 |
| 2.3 Razvoj modulov | 7 |
| 3 Struktura projekta | 8 |
| 4 Modeli za izračun izgube poti za izotropno anteno | 10 |
| 4.1 Modul <i>r.fspl</i> | 10 |
| 4.1.1 Zagon modula v terminalskega načinu | 10 |
| 4.2 Modul <i>r.hata</i> | 11 |
| 4.2.1 Zagon modula v terminalskega načinu | 12 |
| 4.3 Modul <i>r.ericsson</i> | 13 |
| 4.3.1 Zagon modula v terminalskega načinu | 14 |
| 4.4 Modul <i>r.cost231</i> | 15 |
| 4.4.1 Zagon modula v terminalskega načinu | 16 |
| 4.5 Modul <i>r.waik</i> | 17 |
| 4.5.1 Zagon modula v terminalskega načinu | 18 |
| 5 Izračun dodajanje vpliva smernega diagrama antene | 20 |
| 5.1 Modul <i>r.sector</i> | 20 |
| 5.1.1 Zagon modula v terminalskega načinu | 20 |
| 6 Razvrstitev celic po jakosti signala in zapis v bazo podatkov | 22 |
| 6.1 Modul <i>db.GenerateTable</i> | 22 |
| 6.1.1 Zagon modula v terminalskega načinu | 22 |
| 6.2 Modul <i>r.MaxPower</i> | 23 |
| 6.2.1 Zagon modula v terminalskega načinu | 24 |
| 7 Python skripta | 25 |
| 7.1 Vhodna tabelarična datoteka | 25 |
| 7.1.1 Posebnosti formata CSV | 27 |
| 7.1.2 Uporaba znaka # | 27 |
| 7.2 Zagon modula v terminalskega načinu | 27 |

| | | |
|---------|--|----|
| 7.3 | Pomembnejši podatki o izvajanju in notranji zgradbi skripta..... | 29 |
| 7.3.1 | Obdelava klicnih parametrov..... | 29 |
| 7.3.2 | Včitanje in obdelava antenske preslikovalne tabele | 29 |
| 7.3.2.1 | Opis antenske preslikovalne datoteke | 30 |
| 7.3.3 | Včitanje in obdelava sektorske tabele | 30 |
| 7.3.3.1 | Opis cellTableDescrib | 30 |
| 7.3.4 | Določitev geografskega področja izračuna..... | 31 |
| 7.3.5 | Izračun modelov in sektorjev | 33 |
| 7.3.5.1 | Klic za izračun modela | 33 |
| 7.3.5.2 | Klic za izračun sektorja | 33 |
| 7.3.5.3 | Vzporedno izvajanje..... | 34 |
| 7.3.6 | Brisanje nepotrebnih modelov in sektorjev | 34 |
| 7.3.7 | Izračun celotnega pokritja | 34 |
| 7.4 | Pomožni skripti | 35 |
| 7.4.1 | Skripta m.msi2antmap | 35 |
| 7.4.2 | Skripta m.checkantmap | 36 |
| 8 | Dodatni moduli | 37 |
| 8.1 | Modul <i>r.clutconvert</i> | 37 |
| 8.1.1 | Zagon modula v terminalskem načinu..... | 38 |
| 8.2 | Modul <i>r.compare</i> | 38 |
| 8.2.1 | Zagon modula v terminalskem načinu..... | 39 |
| 8.3 | Modul <i>db.CompareResults</i> | 39 |
| 8.3.1 | Zagon modula v terminalskem načinu..... | 40 |
| 8.4 | Modul <i>r.CompareMobitel</i> | 41 |
| 8.4.1 | Zagon modula v terminalskem načinu..... | 41 |
| 9 | Namestitev programskega modulov za izračun pokritosti z radijskim signalom | 43 |
| 10 | Primerjava rezultatov izračunov in meritev moči radijskega signala | 45 |
| 11 | Zaključek | 46 |
| 12 | Literatura | 47 |
| 13 | Dodatek A Primerjava izmerjenih in izračunanih vrednosti | 48 |

Kazalo slik

| | |
|---|----|
| Slika 1: Struktura projekta s pripadajočimi izrisi vmesnih rezultatov..... | 8 |
| Slika 2: Izračun pokritja Ljubljanske kotline z radijskim signalom pri 2.4 GHz z modulom $r.fspl.$ in $r.los$ | 10 |
| Slika 3: Izračun pokritja Ljubljanske kotline z radijskim signalom pri 400 MHz z modulom $r.hata$ | 12 |
| Slika 4: Osnovni koncept modela 9999 | 13 |
| Slika 5: Izračun pokritja območja Ljutomera z radijskim signalom pri 2040 MHz z modulom $r.ericsson$ | 14 |
| Slika 6: Izračun pokritja območja Ljubljane z radijskim signalom pri 2040 MHz z modulom $r.cost231$ | 16 |
| Slika 7: Izračun pokritja Ljubljanske kotline z radijskim signalom pri 2040 MHz z modulom $r.waik$ in upoštevanjem slabljenja rabe tal..... | 18 |
| Slika 8: Primer smernih diagramov anten | 20 |
| Slika 9: Primer vhodnega in izhodnega rastra modula $r.sector$ | 20 |
| Slika 10: Izračun pokritja območja Ljutomera z radijskim signalom pri 2040 MHz z modelom Ericsson. | 24 |
| Slika 11: Grafičen prikaz pretvorjene datoteke rabe tal za področje Ljutomera - izhod modula $r.clutconvert$ | 38 |
| Slika 12: Primerjav simulacij GRASS in simulacij TEMS za področje Ljutomera | 39 |

Kazalo tabel

| | |
|--|----|
| Tabela 1: Shema organizacije podatkovne baze..... | 22 |
| Tabela 2: Zapis izračunanih vrednosti s pripadajočimi podatki v podatkovno bazo..... | 23 |
| Tabela 3: Različni tipi terena z ustreznimi številskimi oznakami v »clutter« datoteki in pripadajoče vrednosti slabljenja za 2040 MHz..... | 37 |
| Tabela 4: Atributi v izhodni tekstovni datoteki modula <i>db.CompareResults</i> | 40 |

1 Uvod

Za izračun pokritosti področja z radijskim signalom se uporablja vrsta matematičnih modelov širjenja radijskih signalov [1], [2], [3], [4]. Te modele lahko razvrstimo v tri skupine: (i) statistični modeli, (ii) deterministični (ponekod imenovani tudi teoretični) modeli in (iii) kombinacija determinističnih in statističnih modelov.

Osnova statističnega modela je matematični zapis odvisnosti slabljenja radijskega signala od razdalje in množice parametrov modela. Parametri in matematični zapis statističnih modelov so dobljeni s pomočjo meritev radijskega signala v določenih okoljih. Zanesljivost modelov je odvisna od natančnosti meritev in podobnosti okolja v katerem so se izvajale meritve in okolja v katerem želimo uporabiti model. Zaradi enostavnosti zapisa statistični modeli omogočajo hiter izračun pokritja z radijskim signalom. Uporabljajo se predvsem pri izračunu pokritja makro celic.

Deterministični modeli temeljijo na osnovnih mehanizmih razširjanja radijskih valov kot so: razširjanje radijskega žarka v praznem prostoru, uklon, sisanje, odboj, absorpcija in lom radijskega žarka. Uporabimo jih lahko v različnih okoljih, vendar pa zahtevajo baze podatkov, ki opisujejo geometrične in elektromagnetne lastnosti okolja, v katerem želimo določiti način razširjanja radijskega signala. Zaradi velikega obsega vhodnih podatkov in raznolikosti širjenja radijskega signala so teoretični modeli kompleksni in računsko zahtevni, in zato uporabni za izračun moči radijskega signala le na omejenem, manjšem področju, na primer za razširjanje signala znotraj stavb in v mikro celicah.

V kombiniranih modelih razširjanja signala so uporabljene dobre lastnosti determinističnih in statističnih modelov, to je hiter izračun pokritja in delno upoštevanje lastnosti terena. Tako se v mnogih komercialnih orodjih pogosto uporablja kombinacija statističnih modelov s principi senčenja, uklona in sisanja radijskega žarka.

Za izračun pokritosti z radijskim signalom je na voljo vrsta komercialnih programskih orodij različnih proizvajalcev. Prva orodja so bila namenjena predvsem operaterjem mobilnih radijskih omrežij in nacionalnim regulatorjem na področju telekomunikacij, na primer Planet [7], decibel Planner [7], Vulcano [6] ter CS telecom nG [10]. Temu primerna je bila seveda tudi cena in posledično razširjenost oziroma dostopnost teh orodij. V zadnjem času pa je na trgu dostopnih kar nekaj orodij z nekoliko okrnjeno funkcionalnostjo in precej nižjo ceno, na primer WinProp [5], RPS [11] in TAP [9]. Večina teh orodij ne vsebuje modula za optimizacijo radijskih omrežij, namenjena pa so predvsem izračunu pokritja na manjših področjih, na primer znotraj stavb, ter za planiranje WLAN omrežij, radio-relejnih povezav, itd. Večina zgoraj omenjenih orodij uporabniku ne omogoča dodajanja novih oziroma prilagoditve znanih modelov širjenja radijskih signalov za nove mobilne tehnologije. Zato je njihova uporaba precej omejena.

To omejitev lahko odpravimo z uporabo odprto-kodne platforme, katero lahko dogradimo z želenim modelom širjenja radijskega signala. Ker razgibanost terena močno vpliva na širjenje radijskega signala, in ker za prikaz rezultatov tudi potrebujemo kot podlago zemljevid področja, je smiselna uporaba odprto-kodnih geografskih informacijskih sistemov (GIS), ki jih nadgradimo z ustreznimi moduli za širjenje radijskega signala. Eden najbolj razširjenih GIS odprto-kodnih sistemov z dolgoletno tradicijo je programsko okolje GRASS, ki vključuje bogato bazo že izvedenih modulov in je uporaben na številnih področjih, ki operirajo z geografsko odvisnimi parametri.

Na področju radijskih komunikacij je GRASS z obstoječimi moduli in z dodanimi moduli, ki vsebujejo modele razširjanja radijskega signala, uporaben za analizo območij pokritij z

radijskih signalom. Pri tem je potrebno merjene oziroma modelirane podatke uvoziti v primerni obliki.

Ker je GRASS odprto-kodni sistem, je modeliranje radijskega pokritja izvedljivo v samem programskem okolju. S tem se izognemo nepotrebnim nevšečnostim pri izvažanju in uvažanju podatkov ter morebitnim napakam pri konverziji, medtem ko se prednosti modularnega pristopa ohranijo, saj za analizo podatkov uporabimo druge module kot za izračun pokritja.

2 Napotki za delo v okolju GRASS

Cilj tega poglavja je doseči enostavno ponovljivost v dokumentu opisanega dela. V ta namen opišemo nekaj praktičnih napotkov in nasvetov, ki jim je potrebno slediti, če želimo razvijati lastne module v okolju GRASS. Opis zajema vse korake, ki so za to potrebni, od instalacije sistema naprej.

2.1 Instalacija okolja GRASS

GRASS smo namestili na dva sistema. Na Linux Fedora 8 je bilo moč instalacijo opraviti direktno iz binarnih datotek. Postopek je hiter in ne zahteva posebnih posredovanj uporabnika.

Za Red Hat Enterprise Linux 5 (RHEL 5) že prevedeni binarni paketi niso dostopni, zato je bilo potrebno izvesti prevajanje izvorne kode. Sledili smo postopku, opisanem na GRASS-ovih spletnih straneh [12], [13]. Pri tem je potrebno posebej paziti na vrstni red nameščanja. **Za svoje delovanje GRASS na primer potrebuje knjižnice PROJ4 in GDAL/OGR, ki morajo biti nameščene pred instalacijo okolja GRASS.** Če želi, lahko uporabnik namesti tudi knjižnice kot so: GEOS, PostgreSQL, MySQL, unixODBC, SQLite. Med postopkom se lahko pojavijo tudi zahteve po dodatnih instalacijah, ki v navodilih [12], [13] niso posebej omenjene. Na RHEL 5 smo tako namestili tudi paketa FFTW in TCL/TK.

Pred prevajanjem paketa GRASS tega najprej v prepišemo iz stisnjene zapakirane oblike na izbrano mesto, to je lahko tudi kjerkoli v uporabnikovi drevesni strukturi imenikov, za naš primer pa smo izbrali */usr/local/src/grass64/*. Po prepisu se celotna vsebina nahaja v podimeniku *grass-6.4.0RC3*, tam tudi izvedemo prevajanje. To poteka v treh korakih.

V prvem koraku z ukazom *configure* določimo želeno konfiguracijo prevedenega paketa, kar dosežemo z ustreznimi parametri ukaza *configure*. Vse možne parametre lahko izpišemo z ukazom *configure --help*. V tem koraku npr. izberemo podporo za uporabo dodatnih podatkovnih baz, kot sta MySQL in PostgreSQL (te morajo niti že nameščene) ter njihovo lokacijo na disku. V našem primeru smo uporabili naslednji ukaz, ki je vključil podporo za MySQL, PostgreSQL in SQLite ter kot končno lokacijo prevedenega paketa določil */usr/local*:

```
./configure --with-mysql      --with-mysql-includes=/usr/include/mysql      --with-mysql-  
libs=/usr/lib/mysql --with-postgres --with-postgres-libs=/usr/local/pgsql/lib --with-postgres-  
includes=/usr/local/pgsql/include --with-sqlite --prefix=/usr/local
```

V drugem koraku paket prevedemo z ukazom *make*. Prevedeni paket ne nastane na končni lokaciji ampak v imeniku, kjer izvajamo prevajanje, v našem primeru je to */usr/local/src/grass64/grass-6.4.0RC3*. Prevedeni paket je v imeniku *dist.i686-pc-linux-gnu*, v imeniku *bin.i686-pc-linux-gnu* pa je ukaz *grass64* za zagon aplikacije. Paket na tej lokaciji je polno uporaben.

Na končno mesto prepišemo paket z ukazom *make install*. V našem primeru se ukazna skripta *grass64* prepiše v imenik */usr/local/bin*, cel paket pa v */usr/local/grass-6.4.0RC3*. Prej

prevedeni paket ostane na svojem mestu (`/usr/local/src/grass64/grass-6.4.0RC3`) in ga lahko uporabljamo npr. za razvoj in prevajanje lastnih dodatnih modulov (`/usr/local/src/grass64/grass-6.4.0RC3/doc`), kar je podrobneje na drugem mestu v tem dokumentu.

2.2 Uvoz podatkov

Pred samim uvažanjem geografskih podatkov je potrebno ustvariti novo lokacijo. Za »GIS Data Directory« smo izbrali pot »`/home/grass/grassdata`«.

Rastrske DEM (digital elevation model) podatke, ki jih je zagotovil Mobitel, smo uvažali z uporabo modula `r.in.gdal`. Za pravilni grafični prikaz je bilo potrebno pognati še modul `r.colors` in izbrati set barv za prikazovanje višin (zavihek »Colors«, vrstica »Type of color table«, vrednost »elevation«). Za uvoz državne meje v vektorskem zapisu smo uporabili modul `v.in.ogr`.

Pri uvažanju kartografskega tipa podatkov, ki jih zagotavlja GURS (Geodetska uprava Republike Slovenije), dobimo kot rezultat tri mape, rdečo, modro in zeleno. Združimo jih z uporabo modula `r.composite`. Pri uvozu GURS-ovega DEM modela je številne datoteke najprej potrebno združiti v eno datoteko, naprimer v ASCII (xyz) datoteko. Uvoz se nato izvede z modulom `r.in.xyz`. Pri tem je potrebno paziti tudi, da je ob postopku uvažanja resolucija nastavljena pravilno (100x100), sicer je grafičen prikaz napačen. V ta namen uporabimo modul `g.region`.

Za uvoz rezultatov simulacij, ki so narejene z simulacijskim orodjem TEMS, je potrebno uporabiti modul `r.in.arc`. ASCII datoteka ima namreč končnico »`.asc`« (ASCII raster datoteka) in pripada GIS programom podjetja ESRI (ArcGIS).

V primeru, da je bil uvoz neuspešen oziroma pri kasnejši obdelavi rezultatov, se za odstranitev posamezne mape uporabi modul `g.remove`.

2.3 Razvoj modulov

GRASS vključuje več kot 350 že izvedenih modulov za procesiranje, analizo in vizualizacijo geografskih podatkov. Knjižnice in jedrni moduli so napisani v programskem jeziku C. Izvorne kode vgrajenih rastrskih modelov najdemo na lokaciji »`grass-6.4.0RC3/raster`«, kjer je »`grass-6.4.0RC3`« glavni direktorijski izvorne kode. Kodo lahko brez omejitev pregledujemo ali modificiramo. Vsak modul vsebuje eno ali več datotek s končnico »`.c`«, ki vsebujejo izvorno kodo in datoteko »`Makefile`«, v kateri med drugim definiramo ime razvitega modula. Modul prevedemo z ukazom `make`, ki ga zaženemo v mapi želenega modula. Ukaz omogoča, da ni potrebno ob vsaki posodobitvi modula prevajati celotne izvorne kode okolja, pač pa le modul sam.

Pri začetku razvoja lastnih modulov nam je bil v pomoč primer modula `r.example`, ki ga najdemo na lokaciji »`grass-6.4.0RC3/doc/raster`«. Modul je enostaven, saj opravlja le funkcijo prepisovanja vhodnega rastra v izhodnega, vendar je dobro komentiran in predstavlja osnovo tipičnega rastrskega modula. Za učinkovit nadaljnji razvoj so na voljo dobro dokumentirane knjižnice z več sto vgrajenimi C funkcijami (API – Application Programming Interface). Dokumentacija je ažurirana sproti in je dostopna na spletu [14].

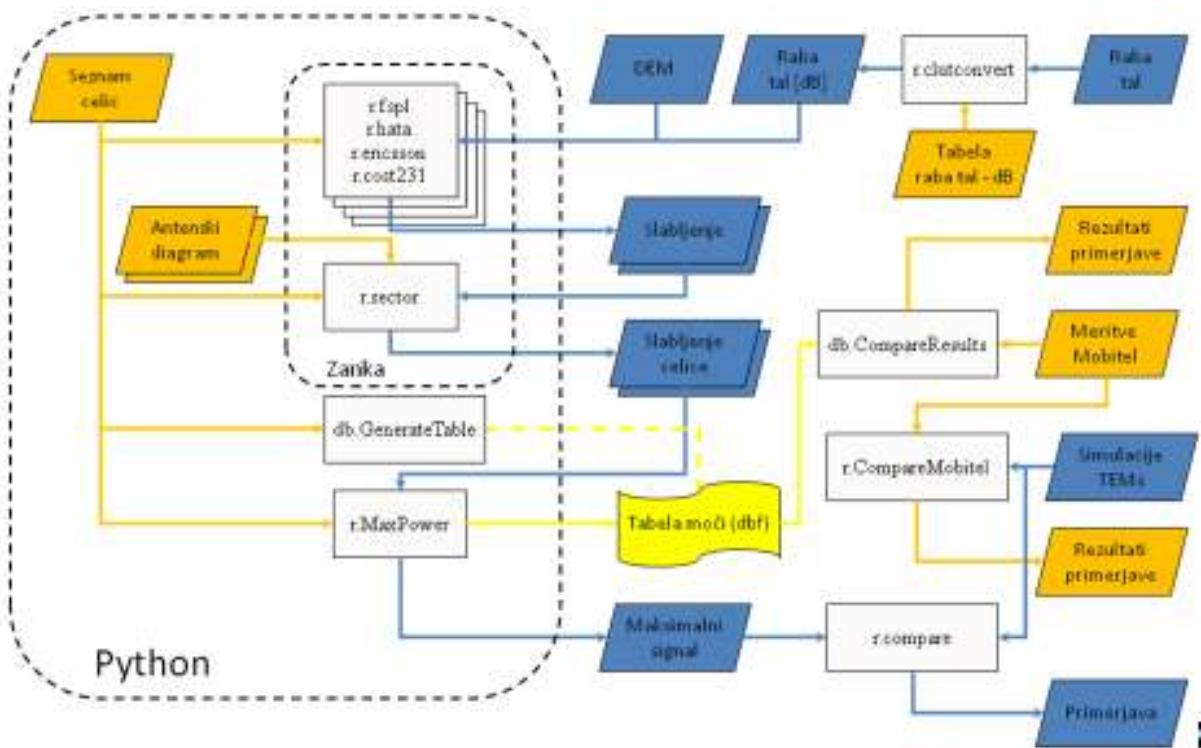
3 Struktura projekta

Bločni diagram projekta prikazuje Slika 1. Sestavlja dva sklopa modulov:

- sklop modulov GRASS za izračun pokritosti z radijskim signalom, ki ga povezuje skripta napisana v jeziku Python
- sklop dopolnilnih modulov, ki služijo za primerjavo rezultatov in prilagajanje vhodnih podatkov podatkovni struktur GRASS.

Poleg modulov Grass, ki so na Sliki 1 označeni kot beli kvadrati, so na sliki 1 prikazani še vhodni izhodni podatki, ki jih označujejo paralelogrami različnih barv in sicer:

- tekstovne vhodno izhodne datoteke so označene z oranžno barvo,
- rasterske datoteke GRASS z modro barvo in
- baze podatkov z rumeno barvo.



Slika 1: Struktura projekta s pripadajočimi izrisi vmesnih rezultatov

Jedro, programskega paketa je izračun pokritja z radijskim signalom na Sliki 1 obkrožen s črtkasto črto. Izračun radijskega pokritja celotnega celičnega omrežja je razdeljen na tri osnovne segmente:

- izračun slabljenja za izotropno anteno (*r.fspl*, *r.hata*, *r.ericsson*, *r.cost231*),
- izračun vpliva smernega diagrama antene (*r.sector*),
- razvrstitev anten po jakosti signala na izračunanem območju (*db.GenerateTable*, *r.MaxPower*).

Vsak segment je realiziran s svojim modulom v programskem okolju GRASS, za pravilno zaporedje izvajanja pa je poskrbljeno s skripto, napisano v programskem jeziku Python. Posamezni moduli torej predstavljajo le izvedbo radijskih izračunov, medtem ko za

upravljanje z vhodnimi in izhodnimi podatki skrbi skripta. Na ta način je dosežena modularnost, ki zagotavlja več prednosti:

- enostavna nadgradnja oziroma zamenjava obstoječih matematičnih modelov z novimi modeli,
- neodvisnost izvedenih modulov od specifičnega omrežja,
- enostavna in hitra izvedba ponovnih izračunov za posamezen segment oziroma za izbrana geografska območja,
- možnost paralelizacije izračunov.

Znotraj vsakega segmenta je možna realizacija več modulov, ki opravljajo enako oziroma podobno nalogu. Izbor ustreznega modula je izведен v skripti in je odvisen od namena uporabe. To še posebej velja za prvi segment, kjer lahko pridejo v poštev različni matematični modeli razširjanja radijskega signala. V prvem segmentu smo realizirali štiri module, *r.fspl*, *r.hata*, *r.ericsson* in *r.cost231*. Drugi segment trenutno vsebuje en modul, *r.sector*, medtem, ko sta v tretjem segmentu dva modula in sicer *db.GenerateTable*, ki poskrbi za tvorjenje tabele za zapis rezultatov in modul *r.MaxPower*, ki sortira podatke, in jih izpiše v izhodno datoteko. V nadaljevanju podajamo opis vseh naštetih modulov in opis delovanja Python skripta, ter na koncu še opis dodatnih modulov za primerjavo rezultatov in pripravo vhodnih podatkov.

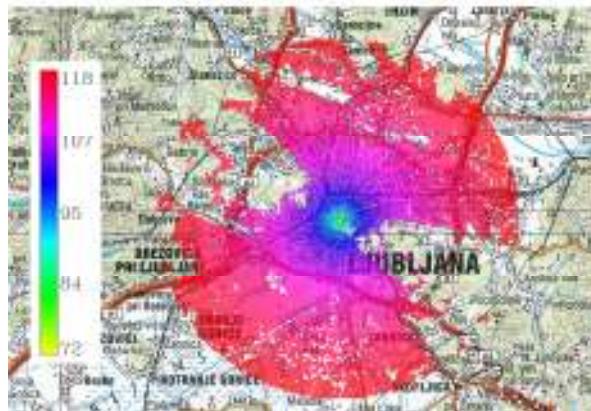
4 Modeli za izračun izgube poti za izotropno anteno

4.1 Modul *r.fspl*

Z modulom *r.fspl* izračunamo slabljenje radijskega signala pri širjenju v praznem prostoru (FSPL – Free Space Path Loss). Izračun je v enotah dB in je podan z enačbo (1)[2]. Pri tem R predstavlja razdaljo med oddajnikom in sprejemnikom, f pa nosilno frekvenco v MHz. Gre za izvedbo najosnovnejšega principa širjenja radijskega signala, ki ga lahko uporabljamo za referenco.

$$FSPL = 32.4 + 20 \log R [km] + 20 \log f [MHz] \quad (1)$$

Pri višjih nosilnih frekvencah in v okoljih, kjer ni številnih odbojev radijskih žarkov, modul *r.fspl* lahko služi kot prvi približek predvidenega radijskega pokritja za geografske točke, ki so v vidnem polju oddajnika (LOS – Line of Sight). V tem primeru izračun izvedemo v dveh korakih. V prvem koraku za izračun vidnega polja uporabimo že vgrajen modul *r.los*. V drugem koraku z uporabo modula *r.fspl* v vidnih točkah izračunamo slabljenje v odprttem prostoru. Grafični prikaz primera izračuna po tem postopku je podan na sliki 2.



Slika 2: Izračun pokritja Ljubljanske kotline z radijskim signalom pri 2.4 GHz z modulom *r.fspl* in *r.los*

4.1.1 Zagon modula v terminalskem načinu

Struktura ukaza, pripadajoče zastavice in parametri so podani spodaj. Poleg parametrov so v oklepajih izpisani komentarji.

- **Ukaz:**

```
r.fspl [-q] input=name output=name [LOS_map=name] coordinate=x,y [ant_height=value]
frequency=value [default_DEM_height=value] [default_LOS_raster_value=value] [--overwrite] [--verbose] [--quiet]
```

- **Zastavice:**

| | |
|------------|--|
| -q | Quiet |
| --o | Allow output files to overwrite existing files |
| --v | Verbose module output |
| --q | Quiet module output |

- **Parametri:**

| | | |
|----------------|---------------------------------|---|
| Input | Name of input raster map | <i>ime vhodnega rastra</i> |
| Output | Name for output raster map | <i>ime izhodnega rastra</i> |
| LOS_map | LOS raster map to use as a mask | <i>ime LOS rastra, ki določa, kje naj se izračun izvede</i> |

| | | |
|--------------------|---------------------------------------|--|
| Coordinate | Base station coordinates | koordinate oddajnika – v obliki x,y) |
| ant_height | default: 10 Height of the antennas | višina oddajnika, podana v metrih, |
| frequency | Frequency (MHz) | privzeta vrednost je 10 m nosilna frekvenca, v MHz |
| default_DEM_height | Default terrain height | višina terena na mestih nedefinirane vhodne DEM raster datoteke |
| default_LOS_raster | Default LOS raster value | vrednost LOS rastra na mestih nedefiniranega vhodnega LOS rastra |

- Primer klica:

```
r.fspl input=dem_ljubljana_25@PERMANENT output=fspl_ljubljana_25
LOS_map=los_ljubljana_25m_30visina coordinate=462439,102821 ant_height=10
frequency=2040 default_DEM_height=100 default_LOS_raster_value=30 --overwrite
```

4.2 Modul *r.hata*

Modul *r.hata* predstavlja izvedbo modela Okumura-Hata [1]. Gre za enega najbolj razširjenih modelov za predvidevanje radijskega pokritja, ki temelji na zakonitostih, ki so bile ugotovljene iz empiričnih podatkov. Obsega tri različice, za mestno (*angl. urban*), za primestno (*angl. suburban*) in za redko poseljeno okolje (*angl. open*). Izračun za vse tri tipe v enotah dB je podan po vrsti z enačbami (2), (3) in (4). Pri tem je f nosilna frekvenca, R razdalja med oddajnikom in sprejemnikom, parameter h predstavlja višinsko razliko med oddajnikom in sprejemnikom, h_M pa višino sprejemnika nad tlemi. C_H je korekcijski faktor višine antene za majhna in srednje velika mesta, podan z enačbo (5). Izbor ustreznega tipa terena je podan kot vhodni parameter modula (*area_type*), izračun pa se izvede do določene razdalje od oddajnika (*radius*).

$$L_U = 69.55 + 26.16 \log f[\text{MHz}] - 13.82 \log h[m] - C_H + (44.9 - 6.55 \log h[m]) \log R[\text{km}] \quad (2)$$

$$L_{SU} = L_U - 2 \left(\log \frac{f[\text{MHz}]}{28} \right)^2 - 5.4 \quad (3)$$

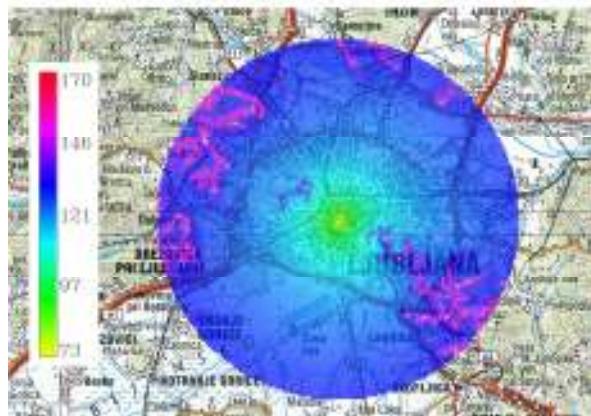
$$L_O = L_U - 4.78 (\log f[\text{MHz}])^2 + 18.33 \log f[\text{MHz}] - 40.94 \quad (4)$$

$$C_H = 0.8 + (1.1 \log f[\text{MHz}] - 0.7) h_M[m] - 1.56 \log f[\text{MHz}] \quad (5)$$

Uporabljeni model ne upošteva konfiguracije terena niti vrste okolice v kateri se nahaja mobilni terminal. Upadanje radijskega signala z razdaljo je odvisno od višine antene. Če se le ta nahaja dovolj visoko, se slabljenje približuje slabljenju radijskega signala v odprttem prostoru, to je 20 dB/dekado. Če pa sta bazna postaja in mobilna postaja na približno enaki višini, se model približa modelu širjenja signala ob površini zemlje [2].

Ena glavnih pomanjkljivosti osnovnega modela Okumura-Hata je neupoštevanje konfiguracije terena. To ima za posledico, da v primeru večjih geografskih ovir kot so gore, hribi in globoke doline, model tudi za ovirami predvidi signal, kot da ovir ne bi bilo. Zato so že v prvih programskih orodjih za izračun pokritosti model nadgradili z moduli za uklon na eni ali več ovirah. Pri večjih velikostih celice je potrebno upoštevati tudi ukrivljenost zemlje.

Osnovni model Okumura-Hata torej lahko uporabimo za izračun moči sprejetega radijskega signala na področjih, kjer med oddajnikom in sprejemnikom ni večjih ovir. Grafični prikaz primera izračuna je podan na sliki 33.



Slika 3: Izračun pokritja Ljubljanske kotline z radijskim signalom pri 400 MHz z modulom *r.hata*.

4.2.1 Zagon modula v terminalskem načinu

Struktura ukaza, pripadajoče zastavice in parametri so podani spodaj. Poleg parametrov so v oklepajih izpisani komentarji.

- Ukaz:

```
r.hata [-q] input=name output=name coordinate=x,y [ant_height=value] [radius=value]
[area_type=string] frequency=value [default_DEM_height=value] [--overwrite] [--verbose] [--quiet]
```

- Zastavice:

| | |
|-----|--|
| -q | Quiet |
| --o | Allow output files to overwrite existing files |
| --v | Verbose module output |
| --q | Quiet module output |

- Parametri:

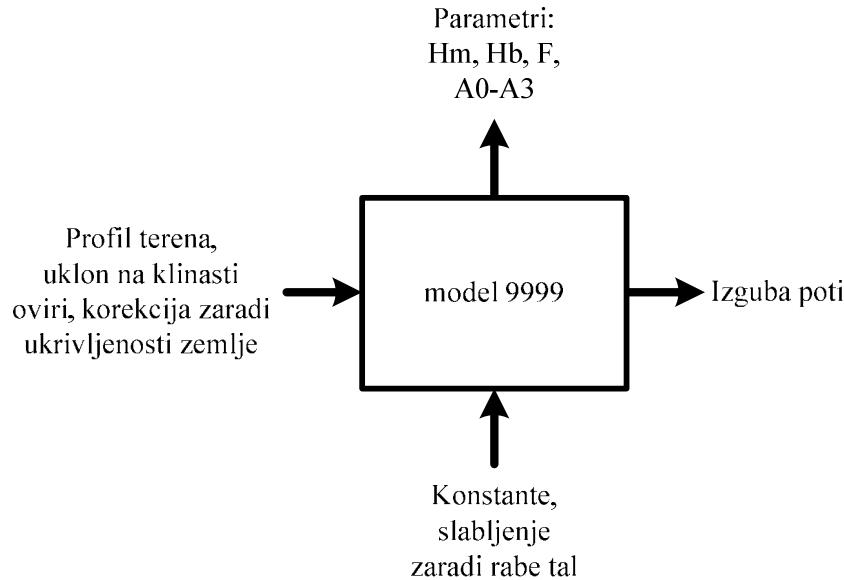
| | | |
|--------------------|--|--|
| input | Name of input raster map | ime vhodnega rastra |
| output | Name for output raster map | ime izhodnega rastra |
| coordinate | Base station coordinates | koordinate oddajnika - v obliki x,y) |
| ant_height | Height of the antennas (m) default: 10 | višina oddajnika, podana v metrih privzeta vrednost je 10 m (največja razdalja od oddajnika, v kilometrih, privzeta vrednost je 10 km |
| radius | Radius of calculation (km) default: 10 | tip terena, možnosti: mestno, primestno, redko poseljeno privzeta vrednost: mestno nosilna frekvenca, v MHz |
| area_type | Type of area options: urban, suburban, open default: urban | višina terena na mestih nedefinirane vhodne DEM raster datoteke |
| frequency | Frequency (MHz) | |
| default_DEM_height | Default terrain height | |

- Primer klica:

```
r.hata input=dem_ljutomer_25@PERMANENT output=hata_ljutomer_25m
coordinate=590020,159380 ant_height=10 radius=10 area_type=urban frequency=2040
default_DEM_height=100 --overwrite
```

4.3 Modul *r.ericsson*

V modulu *r.ericsson* je implementiran modificirani model Okumura-Hata, ki je poznan kot model Ericsson oziroma model 9999. V modelu je izguba poti med oddajnikom in sprejemnikom odvisna od frekvence, razdalje med oddajnikom in sprejemnikom, višine oddajne in sprejemne antene. Poleg tega upošteva tudi profil terena, slabljenje zaradi rabe tal in vpliv ukrivljenosti zemlje. Osnovni koncept modela 9999 je predstavljen na spodnji sliki.



Slika 4: Osnovni koncept modela 9999

Splošna formula izgube poti modela Ericsson je

$$L[dB] = HOA[dB] + mk[mobile] + \sqrt{(\alpha KDFR)^2 + (JDFR)^2}, \quad (6)$$

kjer HOA predstavlja enačbo modela Okumura-Hata za širjenje radijskih valov v odprtih območjih, $mk[mobile]$ slabljenje rabe tal na mestu sprejemnika v decibelih, $KDFR$ prispevek uklona na klinasti oviri v decibelih, α parameter povezan z uklonom na klinasti oviri in $JDFR$ izguba uklona zaradi ukrivljenosti zemlje v decibelih.

Izguba poti modela Okumura-Hata uporabljen v enačbi modela Ericsson (enačba 6) je podana kot

$$\begin{aligned} HOA[dB] = & A0 + A1 \cdot \log d[km] + A2 \cdot \log Heff[m] + A3 \cdot \log d[km] \cdot \log Heff[m] \\ & - 3.2[\log(11.75 \cdot Hm[m])]^2 + 44.49 \cdot \log f[MHz] - 4.78 \cdot (\log f[MHz])^2, \end{aligned} \quad (7)$$

kjer so $A0-A3$ nastavljivi parametri modela, d je horizontalna razdalja med oddajnikom in sprejemnikom, f je nosilna frekvence, $Heff$ je višinska razlika med oddajnikom in sprejemnikom, Hm pa je višina sprejemnika.

Model je primeren za izračun izgube poti v frekvenčnem področju med 150 MHz in 2GHz ter za razdalje med oddajnikom in sprejemnikom od 200 m do 100 km. Poleg tega mora biti višina antena bazne postaje med 20 in 200 metri nad tlemi, antena mobilne postaje pa se mora nahajati na višina med 1 in 5 metri.

Pri izračunu slabljenja na klinasti oviri smo uporabili postopek za izračun slabljenja uklona na eni klinasti oviri. Enačba slabljenje za uklon na klinasti oviri je podana z

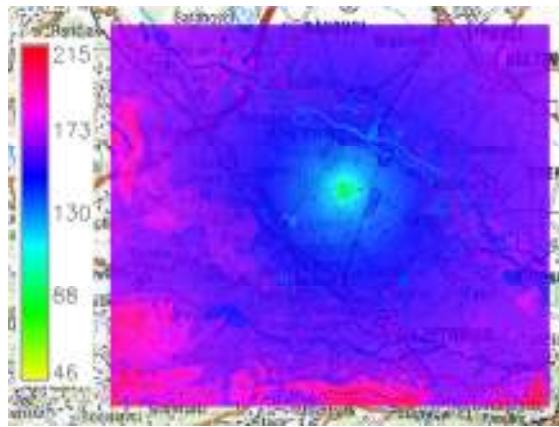
$$L_{ke} [dB] = -20 \cdot \log \frac{1}{\pi \cdot v \cdot \sqrt{2}} \quad (8)$$

Parameter v v predhodnem izrazu je podan z enačbo

$$v = h \cdot \sqrt{\frac{2(d_1 + d_2)}{\lambda \cdot d_1 \cdot d_2}} \quad (9)$$

kjer je h višina ovire nad neposredno linijo med oddajnikom in sprejemnikom, d_1 in d_2 pa sta razdalji mobilne oziroma bazne postaje do klinaste ovire.

V implementaciji modela Ericsson smo zanemarili slabljenje zaradi ukrivljenosti zemlje, saj pri uporabljenih velikostih celic (do 35 km) ne vpliva na končni rezultat. Poleg tega smo faktor α , ki je povezan z uklonom na klinasti oviri, nastavili na 1. Za upoštevanje ustreznega slabljenja rabe tal, smo morali prejeto raster datoteko, ki vsebuje informacije o rabi tal, pretvoriti tako, da smo vanjo vpisali ustrezna slabljenja za posamezne tipe terena. Grafičen prikaz izračuna izgube poti z modulom *r.ericsson* za področje Ljutomera je podan na sliki 5.



Slika 5: Izračun pokritja območja Ljutomera z radijskim signalom pri 2040 MHz z modulom *r.ericsson*.

4.3.1 Zagon modula v terminalskemu načinu

Struktura ukaza, pripadajoče zastavice in parametri so podani spodaj. Poleg parametrov so v oklepajih izpisani komentarji.

- Ukaz:

```
r.ericsson [-q] input=name clutter=name output=name A0=value A1=value A2=value
A3=value coordinate=x,y [ant_height=value] [radius=value] frequency=value
[default_DEM_height=value] [default_CLUT_value=value] [--overwrite] [--quiet]
```

- Zastavice:

| | |
|-----|--|
| -q | Quiet |
| --o | Allow output files to overwrite existing files |
| --q | Quiet module output |

- Parametri:

| | | |
|-------------|--|------------------------------------|
| input | Name of input raster map | ime vhodnega rastra |
| clutter_map | Clutter raster map with path loss coefficients | ime vhodne clutter datoteke rastra |

| | | |
|--------------------|---|---|
| output | Name for output raster map | ime izhodnega rastra |
| A0 | Parameter A0 | korekcijski faktor |
| A1 | Parameter A1 | korekcijski faktor |
| A2 | Parameter A2 | korekcijski faktor |
| A3 | Parameter A3 | korekcijski faktor |
| coordinate | Base station coordinates | koordinate oddajnika - v obliku x,y |
| ant_height | Height of the antennas (m) default: 10 | višina oddajnika, podana v metrih, |
| radius | Radius of calculation (km) default: 10 | privzeta vrednost je 10 m največja razdalja od, oddajnika, v kilometrih, |
| frequency | Frequency (MHz) | privzeta vrednost je 10 km nosilna frekvenca, podana v MHz |
| default_DEM_height | Default terrain height | višina terena na mestih nedefinirane vhodne DEM raster datoteke |
| default_CLUT_value | Default clutter value | vrednost slabljenja terena na mestih, kjer vhodna datoteka rabe tal ni definirana |

- Primer klica:

```
r.ericsson input=dem_ljubljana_25@PERMANENT
clutter_map=clut_ljubljana25Converted@PERMANENT output=err_ljubljana_25m A0=42
A1=42 A2=-12 A3=0.1 coordinate=460810,104000 ant_height=10 radius=10 frequency=2040
default_DEM_height=100 default_CLUT_value=5 --overwrite
```

4.4 Modul *r.cost231*

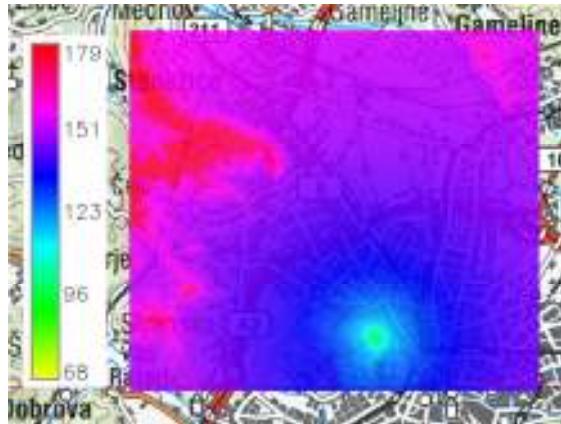
Modul *r.cost231* predstavlja implementacijo modela COST231. Model je v bistvu razširitev modela Okumura-Hata za višja frekvenčna področja. Model je uporaben za frekvenčno območje 1500 MHz – 2000 MHz, višino oddajnika med 30 in 200 m, sprejemne postaje med 1 m in 20 m in oddaljenost oddajnika od sprejemnika med 1 km in 20 km [15]. Osnova je model Hata za primestno okolje

$$L[dB] = 46.33 + 33.9 \log f[MHz] - 13.82 \log h[m] - a(h_r) + (44.9 - 6.55 \log h[m]) \log d[km] + C, \quad (10)$$

kjer je $C=0$ za srednja mesta in primestna okolja in $C=3$ za centre velikih mest. V enačbi (10) je f nosilna frekvenca, d razdalja med oddajnikom in sprejemnikom, parameter h predstavlja višinsko razliko med oddajnikom in sprejemnikom, h_r pa višino sprejemnika nad tlemi. $a(h_r)$ je korekcijski faktor višine podan z enačbo

$$a(h_r) = (1.1 \log f[MHz] - 0.7) h_r[m] - (1.56 \log f[MHz] - 0.8). \quad (11)$$

Model je prilagojen za uporabo pri višjih frekvenkah. Primeren je predvsem za srednja in velika mesta ob predpostavki, da je antena bazne postaje postavljena nad okoliške stavbe. Model le delno upošteva konfiguracije terena (efektivna višina h v enačbi (10)). Posledic tega je, da model tudi za večjimi geografskimi ovirami predvidi signal, kot da ovir nebi bilo. Primer izračuna za področje Ljubljane je prikazan na sliki 6.



Slika 6: Izračun pokritja območja Ljubljane z radijskim signalom pri 2040 MHz z modulom *r.cost231*.

4.4.1 Zagon modula v terminalskem načinu

Struktura ukaza, pripadajoče zastavice in parametri so podani spodaj. Poleg parametrov so v oklepajih izpisani komentarji.

- Ukaz:

```
r.cost231 [-q] input=name output=name coordinate=x,y [ant_height=value]
[radius=value] [area_type=string] frequency=value [default_DEM_height=value] [--overwrite] [--quiet]
```

- Zastavice:

| | |
|-----|--|
| -q | Quiet |
| --o | Allow output files to overwrite existing files |
| --q | Quiet module output |

- Parametri:

| | | |
|--------------------|--|---|
| input | Name of input raster map | ime vhodnega rastra |
| output | Name for output raster map | ime izhodnega rastra |
| coordinate | Base station coordinates | koordinate oddajnika - v obliki x,y) |
| ant_height | Height of the antennas (m) default: 10 | višina oddajnika, podana v metrih, privzeta vrednost je 10 m (največja razdalja od oddajnika, v kilometrih, |
| radius | Radius of calculation (km) default: 10 | privzeta vrednost je 10 km tip terena, |
| area_type | Type of area options:medium_cities,metropolitan default: medium_cities | možnosti: srednja mesta, velika mesta privzeta vrednost: srednja mesta nosilna frekvence, podana v MHz |
| frequency | Frequency (MHz) | |
| default_DEM_height | Default terrain height | višina terena na mestih nedefinirane vhodne DEM raster datoteke |

- Primer klica:

```
r.cost231 input=dem_ljutomer_25@PERMANENT output=cost231_ljutomer_25
coordinate=594497,163319 ant_height=10 radius=10 area_type=medium_cities
frequency=2040 default_DEM_height=10 --overwrite
```

4.5 Modul *r.waik*

Modul *r.waik* predstavlja izvedbo modela Walfisch-Ikegami [15]. Model je bil razvit v okviru COST231. Je semi-determinističen model, ki se uporablja za izračunavanje izgube poti v mikro celicah. Temelji na modelih Walfisch-Bertoni [16] in Ikegami [17]. Model predvideva dva osnovna načina izračunavanja izgub poti:

- med oddajnikom in sprejemnikom obstaja vidljivost (LOS) in
- med oddajnikom in sprejemnikom ni vidljivosti (NLOS).

Model velja za razdalje d med 0,02 km in 5 km ter v frekvenčnem področju med 800 MHz in 2 GHz.

V primeru LOS je izguba poti v uličnem kanjonu enaka

$$L[dB] = 42.64 + 26 \log d_{[km]} + 20 \log f_{[MHz]}, \quad d_{[km]} \geq 0,02. \quad (12)$$

Prva konstanta v enačbi je določena tako, da je izguba poti L pri 20 m enaka slabljenju v praznem neomejenem prostoru. Model predvideva, da je višina antene oddajnika večja od 30 m, in da v prvi Fresnelovi coni ni ovir. Moč signala pada s potenco 2,6 z razdaljo.

V primeru ko ni vidljivosti med oddajnikom in sprejemnikom, pa model upošteva naslednje parametre:

- višina oddajnika: h_t (od 4 m do 50 m),
- višina sprejemnika: h_r (od 1 m do 3 m),
- višina stavb: h_{roof} (3 m × število nadstropij plus 3 m za dvokapnice in 0 m za ravne strehe),
- višina antene oddajnika nad višino strehe: $\Delta h_t = h_t - h_{roof}$,
- višina antene sprejemnika pod višino strehe: $\Delta h_r = h_{roof} - h_r$,
- razmik med stavbami: b (če ni podatkov je priporočljiva vrednost med 20 m in 50 m),
- širina ulice: w ,
- kot vpada radijskih žarkov: ϕ (če ni podatka, je priporočena vrednost je 90°).

Izguba poti je sestavljena iz treh členov:

- izguba v praznem in neomejenem prostoru

$$L_0 = 32.4 + 20 \log(d) + 20 \log(f), \quad (13)$$

- izguba zaradi uklona in sisanja L_{rts} in
- izguba zaradi večkratnega prikrivanja L_{msd}

$$L[dB] = \begin{cases} L_0 + L_{rts} + L_{msd}, & L_{rts} + L_{msd} \geq 0 \\ L_0, & L_{rts} + L_{msd} < 0 \end{cases} \quad (14)$$

Izguba zaradi uklona in sisanja je

$$L_{rts} = -16.9 - 10 \log(w) + 10 \log(f) + 20 \log(\Delta h_r) + L_{11}, \quad (15)$$

kjer je

$$L_{11} = \begin{cases} -10 + 0.354(\phi), & 0 \leq \phi < 35^\circ \\ 2.5 + 0.075(\phi - 35^\circ), & 35^\circ \leq \phi \leq 55^\circ \\ 4.5 - 0.11(\phi - 55^\circ), & 55^\circ \leq \phi \leq 90^\circ \end{cases} \quad (16)$$

izguba zaradi orientacije.

Izguba zaradi večkratnega prikrivanja je definirana kot

$$L_{msd} = L_{21} + k_a + k_d \log(d) + k_f \log(f) - 9 \log(b), \quad (17)$$

kjer je

$$L_{21} = \begin{cases} -18 \log(1 + \Delta h_t) & h_t > h_{roof} \\ 0 & h_t \leq h_{roof} \end{cases} \quad (18)$$

dobitek senčenja. Parametra k_a in k_d sta odvisna od dolžine poti d in višine oddajnika nad nivojem streh ter sta podana z

$$k_a = \begin{cases} 54, & h_t \geq h_{roof} \\ 54 - 0.8(h_t - h_{roof}), & h_t < h_{roof} \wedge d \geq 0.5 \text{ m}, \\ 54 - 0.4d(h_t - h_{roof}), & h_t < h_{roof} \wedge d < 0.5 \text{ m} \end{cases} \quad (19)$$

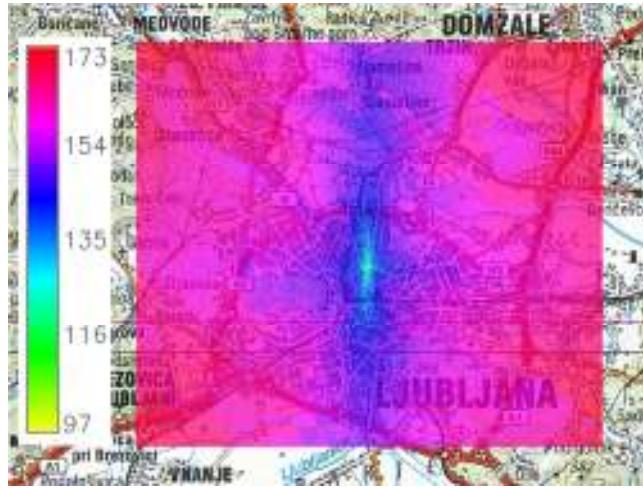
$$k_d = \begin{cases} 18, & h_t \geq h_{roof} \\ 18 - \frac{15(h_t - h_{roof})}{h_{roof}}, & h_t < h_{roof} \end{cases}. \quad (20)$$

Parameter k_a predstavlja povečanje izgube poti, kadar je oddajnik postavljen pod nivo strehe, parametra k_d pa izgubo poti zaradi oddaljenosti in frekvence. Slednji je podan z enačbo

$$k_f = -4 + k_{f1} \left(\frac{f}{925} - 1 \right). \quad (21)$$

Parameter k_{f1} ima vrednost 1,5 za centre mest in 0,7 drugače.

Model COST231-Walfish-Ikegami dobro predvideva izgubo poti, kadar se antene oddajnika nahajajo nad nivojem strehe. Rezultati predikcije pa so slabi, če se antena oddajnika nahaja pri tleh, saj model ne upošteva efekta valovoda v uličnih kanjonih velikih mest. Grafični prikaz primera izračuna po tem postopku je podan na sliki 777.



Slika 7: Izračun pokritja Ljubljanske kotline z radijskim signalom pri 2040 MHz z modulom *r.waik* in upoštevanjem slabljenja rabe tal

4.5.1 Zagon modula v terminalskem načinu

Struktura ukaza, pripadajoče zastavice in parametri so podani v nadaljevanju. Poleg parametrov so v oklepajih izpisani komentarji.

- Ukaz:

```
r.waik [-q] input=name clutter_map=name output=name w=value b=value Hroof=value
PHI_Street=value area_type=string coordinate=x,y [ant_height=value] frequency=value
[radius=value] [default_DEM_height=value] [default_CLUT_value=value] [--overwrite]
[--verbose] [--quite]
```

- Zastavice:

| | |
|-----|--|
| -q | Quiet |
| --o | Allow output files to overwrite existing files |
| --v | Verbose module output |
| --q | Quiet module output |

- Parametri:

| | | |
|--------------------|--|--|
| input | Name of input raster map | ime vhodnega rastra |
| clutter_map | Clutter raster map with path loss coefficients | ime vhodne clutter datoteke rastra |
| output | Name for output raster map | ime izhodnega rastra |
| w | Widths of roads | širina ulic |
| b | Building separation | razmik med stavbami |
| Hroof | Heights of buildings | višina stavb |
| PHI_Street | Street orientation angle | orientacija ulice v stopinjah, privzeta vrednost je 90° |
| area_type | Type of area options: medium_sized_cities, metropilitan default: medium_sized_cities | tip terena, možnosti: srednje velika mesta, centri velikih mest srednje velika mesta |
| coordinate | Base station coordinates | koordinate oddajnika - v obliku x,y |
| ant_height | Height of the antennas (m) default: 10 | višina oddajnika, podana v metrih, privzeta vrednost je 10 m |
| frequency | Frequency (MHz) | nosilna frekvenca, podana v MHz |
| radius | Radius of calculation (km) default: 10 | največja razdalja od, oddajnika, v kilometrih, privzeta vrednost je 10 km |
| default_DEM_height | Default terrain height | višina terena na mestih nedefinirane vhodne DEM raster datoteke |
| default_CLUT_value | Default clutter value | vrednost slabljenja terena na mestih, kjer vhodna datoteka rabe tal ni definirana |

- Primer klica:

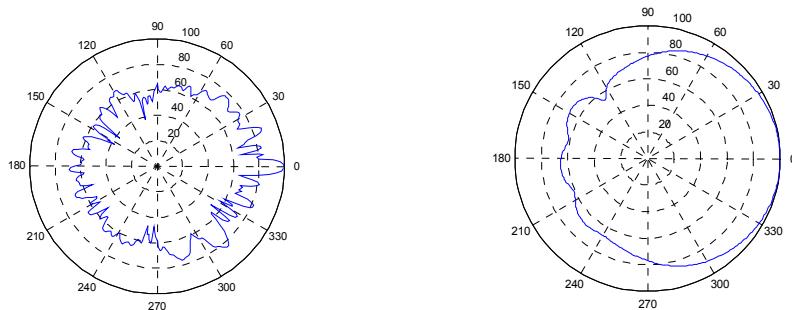
```
r.waik input=dem_ljubljana2@PERMANENT clutter_map=clut_ljubljana2@PERMANENT
output=waik_ljubljana_2m w=12 b=30 Hroof=15 PHI_Street=90 area_type=medium_cities
coordinate=462439,102821 ant_height=10 frequency=2040 radius=10
default_DEM_height=100 default_CLUT_value=5 --overwrite
```

5 Izračun dodajanje vpliva smernega diagrama antene

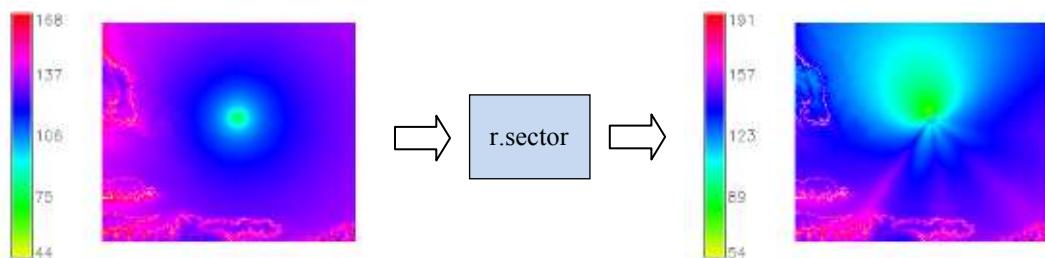
5.1 Modul *r.sector*

Z modulom *r.sector* se določi vpliv smernega diagrama antene na model slabljenja za pripadajočo izotropno anteno. Poleg rastra, ki podaja slabljenje za izotropno anteno (*pathloss_raster*), modul na vhodu prebere podatke o zamiku antene v horizontalni smeri (*beam_direction*), zamiku v vertikalni smeri (*mech_tilt*) in o višini antene (*height_agl*). Preostali vhodni parametri služijo določanju pozicije antene (*DEM_raster*, *east*, *north*). Podana je tudi pot do datoteke in ime datoteke, ki vsebuje smerni diagram uporabljene antene (*ant_data_file*). Poleg smernega diagrama vsaka datoteka vsebuje tudi podatek o dobitku antene glede na dipolno anteno, izražen v dBd. Da bi dobili dobitek v enotah dBi, tej vrednosti prištejemo še 2,15 dB.

Modul za vsako točko v vhodnem rastru izračuna horizontalni in vertikalni kot med glavnim snopom antene in daljico, ki povezuje oddajnik in sprejemnik. Nato iz smernega diagrama odčita dodatno slabljenje, ki ustreza obema kotoma. Če kot, izražen v kotnih stopinjah, ni celo število, se izvede interpolacija. Od originalnega slabljenja izotropne antene se nato obe vrednosti, za horizontalno in vertikalno smer, odštejeta, prišteje pa vrednost dobitka, izraženega v dBi. Primer izračuna je grafično prikazan na sliki 9.



Slika 8: Primer smernih diagramov anten



Slika 9: Primer vhodnega in izhodnega rastra modula *r.sector*

5.1.1 Zagon modula v terminalskemu načinu

Struktura ukaza, pripadajoče zastavice in parametri so podani spodaj. Poleg parametrov so v oklepajih izpisani komentarji.

- **Ukaz:**

```
r.sector [-q] pathloss_raster=name DEM_raster=name output=name ant_data_file=path
beam_direction=value mech_tilt=value height_agl=value east=value north=value
[default_DEM_height=value] [radius=value] [--overwrite] [--verbose] [--quiet]
```

- **Zastavice:**

| |
|---|
| <pre>-q Quiet --o Allow output files to overwrite existing files --v Verbose module output --q Quiet module output</pre> |
|---|

- **Parametri:**

| | |
|--------------------|---|
| pathloss_raster | Omni antenna pathloss raster |
| DEM_raster | Elevation model - required for transmitter height determination |
| output | Name for output raster map |
| ant_data_file | Path to antenna diagram file |
| beam_direction | Beam direction |
| mech_tilt | Mechanical antenna tilt |
| height_agl | Above ground level height |
| antenna_type | Type of antenna (6 number code) |
| east | Easting coordinate |
| north | Northing coordinate |
| default_DEM_height | Default terrain height |
| radius | Radius of calculation (km) default: 10 |

*ime vhodnega rastra, ki podaja slabljenje izotropne antene
ime vhodnega rastra, ki podaja elevacijski model
ime izhodnega rastra
pot do datoteke, ki vsebuje diagram izbrane antene
smer glavnega snopa, podana v °
mehanični tilt, podan v °
višina antene nad tlemi
6-mestna koda tipa antene
koordinata antene, smer vzhod
koordinata antene, smer sever
višina terena na mestih
nedefinirane vhodne DEM
raster datoteke
največja razdalja od,
oddajnika, v kilometrih,
privzeta vrednost je 10 km*

- **Primer klica:**

```
r.sector pathloss_raster=err_ljutomer_10feb DEM_raster=dem_ljutomer_25@PERMANENT
output=sector_new ant_data_file=/usr/local/src/grass62/grass-6.2.3/dist.i686-pc-
linux-gnu/etc/radio_coverage/antenna_diagrams/742212_2140_X_CO_M45_01T.MSI
beam_direction=50 mech_tilt=2 height_agl=34 east=594497 north=163319
default_DEM_height=100 radius=10 -overwrite
```

6 Razvrstitev celic po jakosti signala in zapis v bazo podatkov

6.1 Modul *db.GenerateTable*

Modul *db.GenerateTable* generira tabelo, v katero se kasneje vpisuje rezultate opravljenih simulacij (v modulu *r.MaxPower*). Upravljanje podatkovne baze je možno z naslednjimi gonilniki:

- DBF (privzeti) (terminalski ukaz: dbf)
- MySQL (terminalski ukaz: mysql)
- PostgreSQL (terminalski ukaz: pg)

Vhodni podatki v modul so ime tabele, ki jo želimo tvoriti, ime gonilnika in pripadajoče podatkovne baze ter število celic (N), za katere želimo shraniti vrednost moči sprejetega signala (vrednosti so urejene od najvišje proti najnižji).

Organizacija atributov podatkovne baze je predstavljena v spodnji tabeli.

| atributi | x | y | resolution | cell1 | Pr1 | model1 | ... | cell/N | PrN | modelN | E/N ₀ |
|------------------|-------|-------|------------|--------|-------|--------|-----|--------|-------|--------|------------------|
| format zаписа | INT 6 | INT 6 | INT 4 | STR 10 | INT 6 | STR 35 | ... | STR 10 | INT 6 | STR 35 | INT 6 |

Tabela 1: Shema organizacije podatkovne baze

Razlaga atributov:

1. **x**: x koordinata geografske lokacije, v Gauss-Krugerjevem koordinatnem zapisu (6 mestno celo št.).
2. **y**: y koordinata geografske lokacije, v Gauss-Krugerjevem koordinatnem zapisu (6 mestno celo št.).
3. **resolution**: resolucija izbranega DEM rastra, zapisana v m.
4. **cell1**: ime celice, za katero vpisujemo izračunano vrednost.
5. **Pr1**: izračunana vrednost moči sprejetega signala, zapisana kot celo število.
6. **model1**: Model kanala, ki je bil uporabljen pri izračunu vrednosti za dano celico.
7. **E/N₀**: razmerje med močjo najmočnejšega signala ter vsoto moči vseh sprejetih signalov.

Atributi 4,5 in 6 se ponovijo N -krat.

Privzeti gonilnik je DBF. V tem primeru je tabela shranjena kot datoteka '*ime_tabele'.dbf*', nahaja pa se na lokaciji \$GISDBASE/\$LOCATION/\$MAPSET/dbf (prični trije naslovi predstavljajo delovno okolje (lokacija, nabor map), v katerem je trenutni uporabnik).

6.1.1 Zagon modula v terminalskega načinu

Struktura ukaza za zagon modula v terminalskega načinu je naslednja (oglati oklepaj pomeni, da je ukaz opcijski):

- Ukaz:

```
db.GenerateTable [-o] table=name driver=name database=name cell_num=value
[--quiet].
```

- Zastavice:

```
--o          allow table overwrite
--quiet     quiet module output
```

Če tabela z izbranim imenom že obstaja, jo bo modul prepisal z novo, prazno tabelo. Če zastavice ne označimo, se bo, v primeru že obstoječe tabele z enakim imenom, izvajanje modula prekinilo.

- Parametri:

| | | |
|----------|-----------------|----------------------|
| table | table name | ime tabele |
| driver | driver name | ime gonilnika |
| database | database name | ime podatkovne baze |
| cell_num | number of cells | število celic v bazi |

- Primer klica:

```
db.GenerateTable -o table=test driver=dbf database=$GISDBASE/$LOCATION/$MAPSET/dbf
cell_num=5.
```

6.2 Modul *r.MaxPower*

V modulu *r.MaxPower* se izračuna moči sprejetih signalov za celice, zajete v simulaciji, in se jih uredi od najvišje proti najnižji. N najvišjih vrednosti se zapise v tabelo, ki smo jo generirali z modulom *db.GenerateTable*. Gonilnik za upravljanje z bazo podatkov mora biti enak kot tisti, izbran v modulu *db.GenerateTable*.

Za vsako točko v vhodnem rastru modul najprej za vsako celico (na podlagi slabljenja (izračunanega z modulom *r.sector*) in oddajne moči celice) izračuna sprejeto moč ter vrednosti uredi po velikosti od najvišje proti najnižji. Nato tvori primeren SQL ukaz za vpis podatkov v predhodno pripravljeno tabelo. Vpiše le prvih N vrednosti, oziroma vse vrednosti, kadar je število celic, zajetih v simulaciji, nižje od N . Število N je določeno v modulu *db.GenerateTable*. V tabelo vpiše tudi vrednost parametra E_c/N_0 v dB za najmočnejši signal v posamezni točki. Parameter E_c/N_0 določa razmerje med močjo izbranega signala ter vsoto moči vseh sprejetih signalov na določeni lokaciji.

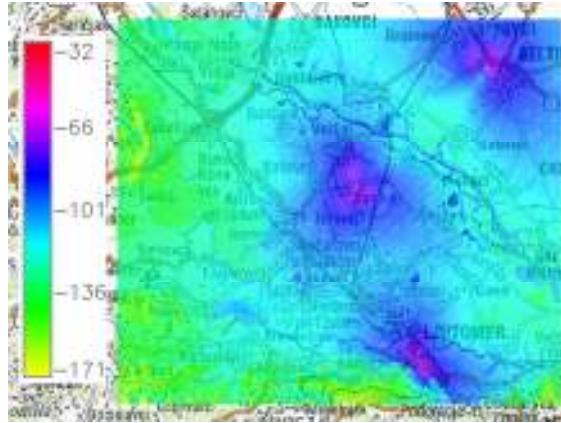
Primer zapisa v podatkovno bazo je podan v spodnji tabeli.

| attribute | x | y | resolution | cell1 | Pr1 | model1 | ... | cellN | PrN | modelN | E_c/N_0 |
|-----------|--------|--------|------------|---------|-------|---------------|-----|---------|--------|---------------|-----------|
| format | INT | INT | INT | STR | INT | STR | | STR | INT | STR | INT |
| example | 590000 | 163000 | 25 | SLJUTKA | -8025 | Hata_suburban | ... | SBANOVB | -10536 | Hata_suburban | -506 |

Tabela 2: Zapis izračunanih vrednosti s pripadajočimi podatki v podatkovno bazo

Opomba: Vrednosti izračunanih moči ter vrednost parametra E_c/N_0 so zaradi manjše porabe spomina pomnožene s faktorjem 100 in v tabelo zapisane kot celo število, kar pomeni, da vrednost sprejete moči -8025 predstavlja dejansko izračunano vrednost -80.25 dBm.

Modul tvori tudi izhodni raster, v katerem je podana najvišja sprejeta moč za posamezno točko (slika 10).



Slika 10: Izračun pokritja območja Ljutomera z radijskim signalom pri 2040 MHz z modelom Ericsson.

Če v ukazu za zagon modula za ime gonilnika izberemo *driver=none*, bo modul preskočil pisanje rezultatov v bazo podatkov ter tvoril le raster najvišjih vrednosti sprejetih moči. S tem se občutno zmanjša čas, potreben za izvajanje modula. Parameter *database* je v tem primeru brezpredmeten.

6.2.1 Zagon modula v terminalskejem načinu

Struktura ukaza za zagon modula v terminalskejem načinu je naslednja (oglati oklepaj pomeni, da je ukaz opcijski).

- Ukaz:

```
r.MaxPower cell_input=file_name output=name table=name driver=name database=name  
[--overwrite] [--quiet].
```

- Zastavice:

| | |
|-------------|--|
| --overwrite | dovoljuje prepis obstoječe datoteke z izhodnim rastrom |
| --quiet | quiet module output. |

- Parametri:

| | | |
|------------|--------------------|--|
| cell_input | list of cells | datoteka s seznamom celic, ki so zajete v simulacijo in s pripadajočimi podatki. |
| output | output raster file | ime izhodne rastrske datoteke |
| table | output table name | ime tabele (enak imenu tabele v modulu db.GenerateTable). |
| driver | driver name | ime gonilnika |
| database | database name | ime podatkovne baze |

Vhodna datoteka (parameter *cell_input*) vsebuje podatke o številu simuliranih celic, imenu posamezne celice, imenu vhodnih rastrov (iz modula *r.sector*), oddajni moči celic in modelu kanala, ki je bil uporabljen za posamezno celico.

- Primer klica:

```
r.MaxPower cell_input=/home/grass/source/grass-  
6.4.0RC3/doc/raster/r.MaxPower/cell_data_file.dat output=MaxPower_Ljutomer  
table=test driver=dbf database=$GISDBASE/$LOCATION/$MAPSET/dbf --overwrite.
```

7 Python skripta

Skripta *r.radcov* (»RADio COVerage«) poskrbi za celotno izvedbo izračuna pokritja z radijskim signalom oddajnikov v izbranem geografskem področju. V ta namen prebere vhodno tabelarično datoteko s seznamom in podatki o oddajnikih ter kliče module za:

- izračun modela za posamezno lokacijo oz. sektor (*r.hata*, *r.cost231*, *r.ericsson*)
- izračun sektorja – upoštevanje smernega diagrama antene (*r.sector*)
- izračun celotnega pokritja (*db.GenerateTable* in *r.MaxPower*)

To opravilo se zdi relativno enostavno, vendar so stvari bistveno bolj zapletene zaradi dejstva, da skripta opravlja nalogu uporabniškega vmesnika za celotno izračunavanje, ki mora poskrbeti za kontrolo ustreznosti oz. pravilnosti vhodnih podatkov in parametrov ter javljanje napak.

Skripta *r.radcov* je pisana v jeziku Python verzija 2.4 (oz. kasnejša 2.x). Za svoje delovanje potrebuje okolje GRASS, zato teče samo v tem okolju (preskušeno z verzijo 6.2 in 6.4 za Linux).

Poleg skripte *r.radcov* obstajata še dve pomožni skripti za pripravo in preverjanje antenske preslikovalne datoteke, *m.msi2antmap* in *m.checkantmap*, ki sta opisani v zadnjem podpoglavlju tega poglavja.

7.1 Vhodna tabelarična datoteka

Vhodna tabelarična datoteka, imenujmo jo »sektorska tabela«, vsebuje podatke o vseh oddajnih sektorjih, ki jih želimo upoštevati pri izračunu pokritja. Posamezen sektor pomeni pokrivanje geografskega področja s posamezno oddajno radijsko anteno, na posamezni lokaciji (bazni postaji) pa je običajno več sektorjev.

Skripta *r.radcov* zahteva, da je sektorska tabela zapisana v formatu CSV (»Comma-Separated Values«, [18]). Tabelo lahko pripravimo z različnimi orodji, ki omogočajo zapis v ta format, recimo MS Excel (za MS Windows) ali OpenOffice spreadsheet (za Linux, MS Windows). Primer tabele za tri bazne postaje na področju Ljutomera je naslednji:

| userLabel | beamDirection | electricalTiltAngle | mechanicalAntennaTilt | heightAGL | antennaType | positionEast | positionNorth | power | radius | model | P1 | P2 | P3 | P4 |
|-----------|---------------|---------------------|-----------------------|-----------|-------------|--------------|---------------|-------|--------|----------|------|------|-------|-----|
| SBANOVA | 110 | 0 | 2 | 31,7 | 742213 | 590020 | 159380 | 25,3 | 10 | ericsson | 42,0 | 42,0 | -12,0 | 0,1 |
| SBANOVB | 240 | 0 | 2 | 33,7 | 742213 | 590020 | 159380 | 25,3 | 10 | ericsson | 42,0 | 42,0 | -12,0 | 0,1 |
| SBANOVC | 330 | 0 | 2 | 33,7 | 742213 | 590020 | 159380 | 25,3 | 10 | ericsson | 42,0 | 42,0 | -12,0 | 0,1 |
| SBELTIA | 50 | 0 | 2 | 34 | 742213 | 594497 | 163319 | 27,4 | 10 | ericsson | 42,0 | 42,0 | -12,0 | 0,1 |
| SBELTIB | 130 | 0 | 1 | 34 | 742213 | 594497 | 163319 | 27,4 | 10 | ericsson | 42,0 | 42,0 | -12,0 | 0,1 |
| SBELTIC | 325 | 0 | 1 | 34 | 742213 | 594497 | 163319 | 26,4 | 10 | ericsson | 42,0 | 42,0 | -12,0 | 0,1 |
| SLJUTKA | 120 | 1 | 0 | 22 | 742265 | 592182 | 153422 | 27,5 | 10 | ericsson | 42,0 | 42,0 | -12,0 | 0,1 |
| SLJUTKB | 310 | 1 | 0 | 22 | 742265 | 592182 | 153422 | 27,5 | 10 | ericsson | 42,0 | 42,0 | -12,0 | 0,1 |

Ustrezen zapis v formatu CSV bi bil naslednji:

```
"userLabel","beamDirection","electricalTiltAngle","mechanicalAntennaTilt","heightAGL",
"antennaType","positionEast","positionNorth","power","radius","model","P1","P2",
"P3","P4","P5"
"SBANOVA",110,0,2,"31,7",742213,590020,159380,"25,3",10,"ericsson",42,42,-12,"0,1",
"SBANOVB",240,0,2,"33,7",742213,590020,159380,"25,3",10,"ericsson",42,42,-12,"0,1",
"SBANOVC",330,0,2,"33,7",742213,590020,159380,"25,3",10,"ericsson",42,42,-12,"0,1",
"SBELTIA",50,0,2,34,742213,594497,163319,"27,4",10,"ericsson",42,42,-12,"0,1",
"SBELTIB",130,0,1,34,742213,594497,163319,"27,4",10,"ericsson",42,42,-12,"0,1",
"SBELTIC",325,0,1,34,742213,594497,163319,"26,4",10,"ericsson",42,42,-12,"0,1",
"SLJUTKA",120,1,0,22,742265,592182,153422,"27,5",10,"ericsson",42,42,-12,"0,1",
"SLJUTKB",310,1,0,22,742265,592182,153422,"27,5",10,"ericsson",42,42,-12,"0,1",
```

Skripta *r.radcov* samodejno prepozna in sprejme tudi prilagojeno različico CSV, ki jo uporablja program MS Excel v državah, ki uporabljajo decimalno vejico in ne pike (večina Evrope), v tem primeru se uporablja za ločilo med polji podpičje namesto vejice. Spodnja dva primera prikazujeta standarden in prilagojen (»evropski«) zapis vrstice iz programa MS Excel:

```
SBANOVA,110,0,2,31,7,742213,590020,159380,25,3,10,ericsson,42,42,-12,0,1
SBANOVA;110;0;2;31;7;742213;590020;159380;25,3;10;ericsson;42;42;-12;0,1
```

Prva vrstica z imeni stolpcev je obvezna, imena se morajo ujemati. Vsebina stolpcev v naslednjih vrsticah mora biti v skladu s pričakovanim tipom podatka - celoštevilčno/decimalno število s spodnjo in zgornjo mejno vrednostjo ali določen znakovni niz. Vsebina v določenem stolpcu lahko vpliva na vsebino v nadaljnjih desnih stolpcih, kar velja za stolpec za izbiro modela. Ta pravila so določena na prilagodljiv način na začetku skripte, kar je podrobno opisano kasneje v posebnem podpoglavlju.

Stolpci, ki jih vsebuje sektorska tabela, so podrobnejše predstavljeni v naslednji tabeli:

| Ime | Tip | Dovoljena vrednost | Opis |
|------------------------------------|-----|-----------------------------------|--|
| userLabel | ul | (glej opis) | Ime sektorja (črke 'A'..'Z', 'a'..'z', številke, '_', '-') |
| beamDirection | i | 0..360 | Horizontalna usmeritev antene |
| electricalTiltAngle | i | 0..10 | Električna vertikalna usmeritev antene |
| mechanicalAntennaTilt | i | -90..+90 | Mehanska vertikalna usmeritev antene |
| heightAGL | f | 0,0..300,0 | Višina antene nad terenom |
| antennaType | i | 742200..742399 | Tip antene |
| positionEast | i | 400000..600000 | Pozicija antene – zemljepisna dolžina |
| positionNorth | i | 100000..200000 | Pozicija antene – zemljepisna širina |
| power | f | 0,0..50,0 | Oddajna moč v dBm (1mW..100W) |
| radius | f | 0,0..100,0 | Največja upoštevana oddaljenost od antene v km |
| model | s | 'hata' 'cost231' 'ericsson' | Model širjenja radijskega signala |
| Parametri P1..P4 za model Hata | | | |
| P1 | s | 'urban' 'suburban' 'open' | Tip okolja za model Hata |
| P2 | - | (ni uporabljeno) | |
| P3 | - | (ni uporabljeno) | |
| P4 | - | (ni uporabljeno) | |
| Parametri P1..P4 za model Cost231 | | | |
| P1 | s | 'metropolitan' 'medium_cities' | Tip okolja za model Cost231 |
| P2 | - | (ni uporabljeno) | |
| P3 | - | (ni uporabljeno) | |
| P4 | - | (ni uporabljeno) | |
| Parametri P1..P4 za model Ericsson | | | |
| P1 | f | brez omejitvev | Parameter A0 modela Ericsson |
| P2 | f | brez omejitvev | Parameter A1 modela Ericsson |
| P3 | f | brez omejitvev | Parameter A2 modela Ericsson |
| P4 | f | brez omejitvev | Parameter A3 modela Ericsson |

Tip pomeni naslednje:

ul : poseben tip za *UserLabel* – znakovni niz, dovoljene znaki so črke ('A'..'Z', 'a'...'z'), številke, podčrtaj in pomicljaj.

i : celoštevilčna vrednost, definirana zgornja in spodnja meja, če imata obe meji vrednost nič, vrednost števila ni omejena. Število v sektorski tabeli ne sme imeti decimalne vejice/pike.

f : decimalna vrednost, definirana zgornja in spodnja meja, če imata obe meji vrednost nič, vrednost števila ni omejena. Število v sektorski tabeli je lahko brez decimalne vejice/pike.

s : znakovni niz, ujemati se mora z enim iz spiska dovoljenih. Pri tem je možno razvejanje na več variant. Konkretno je to v primeru stolpca *model*, ki ima lahko vsebino *hata*, *cost231*, *ericsson* ali *waik*, glede na izbrani model pa potem veljajo ustrezna pravila za nadaljnje (desne) stolpce s parametri za model, kot je to prikazano v zgornji tabeli.

- : poljubna vsebina.

Vsebina v posameznem polju mora biti ustrezna glede na tako določen tip polja, dodatno pa se še preveri enoličnost vsebine prvega polja (*userLabel* – ime sektorja), ki se v tabeli ne sme ponoviti (to polje je namenjeno predvsem uporabniku kot pomoč za identifikacijo sektorja, pri sami obdelavi pa nima posebnega pomena).

7.1.1 Posebnosti formata CSV

V standardni obliki [18] uporablja CSV za ločitev med polji (»field delimiter«) vejico (kot pove že ime formata), za decimalno ločilo pa piko, kar ustreza okolju ZDA. V evropskem okolju (z izjemo VB in Irske) se namesto decimalne pike praviloma uporablja decimalna vejica, kot ločilo med polji pa MS Excel v tem primeru uporablja podpičje. Standardna rešitev (kakršno uporablja npr. tudi OpenOffice v okolju Linux) bi bila uporaba vejice kot ločila med polji ter uporaba dvojnih narekovajev (»text delimiter«) za razrešitev nastalega konflikta (decimalna števila z vejico so zapisana med narekovajema).

Skripta *r.radcov* samodejno prepozna oba zapisa, kot decimalno ločilo se lahko uporablja tako vejica kot pika (skripta predela za svojo nadaljnjo obdelavo vse vejice v decimalnih številskih poljih v pike).

7.1.2 Uporaba znaka

Znak # kot prvi znak v vrstici oz. kot prvi znak imena sektorja (*userLabel*) pomeni, da se ta vrstica ignorira. Stvar ni namenjena komentarjem (čeprav bi bila možna tudi takšna uporaba) ampak temu, da se lahko na relativno enostaven način vključuje in izključuje posamezne radijske sektorje iz celotne obdelave, in da pri tem ni potrebno v celoti izbrisati podatkov izključenega sektorja iz vhodne tabele.

7.2 Zagon modula v terminalskem načinu

Struktura ukaza, pripadajoče zastavice in parametri so podani spodaj.

- Ukaz:

```
r.radcov [-rpc] csv_file=string antmap_file=string dem_map=string
[default_height=value] [clutter_map=string] [default_clutter=value]
[region=string] frequency=value cellnum=value out_map=string
db_driver=string database=string out_table=string [procnum=value]
[--overwrite]
```

- Zastavice:

| | | |
|----|--|---|
| -r | Recalculate all sector radio coverage files | zahteva ponovni izračun vseh modelov in sektorjev, tudi če ustrezne izračunane rastrske datoteke že obstajajo; TO MORAMO ZAHTEVATI V PRIMERU SPREMEMBE GEOGRAFSKEGA PODROČJA (zemljevida ali regije) !!! |
| -p | (purge) Delete all unused sector radio coverage files | »purge« – zahteva brisanje obstojecih prej izračunanih rastrskih datotek za modele in |

| | | |
|-----------------|---|---|
| -c | (check) Test run without actually performing radio coverage computation | sektorje, ki v tej simulaciji niso potrebni) |
| --o | Allow output files to overwrite existing files | »check« - testno izvajanje skripte brez dejanskega klica modulov za izračun pokritja |
| --v | Verbose module output | to se nanaša samo na izhodni datoteki, določeni z output= in table= |
| --q | Quiet module output | |
| ● Parametri: | | |
| csv_file | Radio cell/sector table in CSV format default: sector_table.csv | ime vhodnega tabele s seznamom in podatki za (vse oddajne sektorje) datoteka preslikav anten (ime → smerni diagram) |
| antmap_file | Antennas map file default: \$GISBASE/etc/~radio_coverage/antennamap | |
| dem_map | DEM file for radio coverage simulation default: dem_map@PERMANENT | vhodna rastrska datoteka z elevacijskim modelom uporabljenega geografskega področja |
| default_height | Default DEM height | privzeta višina (kjer ni določena z datoteko dem_map) |
| clutter_map | Clutter map file (required for Ericsson model) default: clutter_map@PERMANENT | vhodna rastrska datoteka z modelom radijskih lastnosti terena uporabljenega geografskega področja, potrebna je zgolj pri uporabi modula r.ericsson |
| default_clutter | Default clutter attenuation | privzeta vrednost slabljenja terena (kjer ni določeno z datoteko clutter_map) |
| region | Computation region (dem, current or region,rast,n,e,s,w,res - see g.region) default: dem | določitev geografskega področja izračuna (podrobnejši opis je v posebnem podoglavlju spodaj) |
| frequency | Radio frequency default: 900 | oddajna frekvenca v MHz |
| cellnum | Number of successive path loss values to be written in the table default: 5 | število najmočnejših sprejetih sektorskih signalov v posamezni točki rastra, ki se zapisujejo v izhodno podatkovno tabelo |
| out_map | Simulated radio coverage - raster (output) default: out_raster | izhodna rastrska datoteka s sprejeto močjo (v dBm) najmočnejšega signala v posamezni točki uporabljenega geografskega področja |
| db_driver | Database driver options: none,dbf,mysql,pg default: none | izbira tipa podatkovne baze oz. pripadajočega gonilnika (za izhodno tabelo) |
| database | Database name default: \$GISDBASE/\$LOCATION_NAME/~\$MAPSET/dbf | ime podatkovne baze (za tabelo) |
| out_table | Simulated radio coverage - db table (output) default: out_db | izhodna podatkovna tabela v formatu dbf s podatki o določenem številu (=cell_num) najmočnejših sprejetih signalov v vsaki točki rastra za izbrano geografsko področje |
| procnum | Number of parallel processes (-1: automatic, 0: non-parallel) default: -1 | število vzporedno izvajanih modulov za izračun pokritja (modelov ali sektorjev) |

- Primer klica:

```
r.radcov --o csv_file=csv/Ljutomer_ericsson.csv frequency=2040
dem_map=dem_ljutomer_25 clutter_map=clut_ljutomer25_converted
out_map=out_ljut_ericsson_mysql db_driver=mysql database=grass
out_table=out_ljut_ericsson_mysql
```

7.3 Pomembnejši podatki o izvajanju in notranji zgradbi skripta

Delovanje skripte lahko razdelimo na naslednje ključne korake:

- obdelava klicnih parametrov,
- včitanje in obdelava antenske preslikovalne tabele,
- včitanje in obdelava sektorske tabele,
- določitev geografskega področja izračuna,
- izračun modelov (hata, cost231, ericsson, waik) in sektorjev,
- na zahtevo: brisanje že obstoječih (prej izračunanih) nepotrebnih modelov in sektorjev,
- izračun celotnega pokritja (rastrska slika in podatkovna tabela v podatkovni bazi).

Podrobneje so opisani v naslednjih podpoglavljih.

Če ima računalnik na razpolago več procesorskih jeder ali procesorjev, se lahko hkrati vzporedno izračunava več modelov oz. več sektorjev. Klicni parameter *procnum* določa, koliko modulov (modelov ali sektorjev) se bo izvajalo vzporedno. To število je lahko tudi večje od števila jeder/procesorjev, v tem primeru bo izvajanje na razpoložljivem številu jeder/procesorjev deloma zaporedno (to velja tudi v primeru, ko je število jeder/procesorjev zadostno, vendar tečejo na računalniku še drugi procesi oz. aplikacije). Vrednost *procnum* določa število vzporednih izvajanj:

- 0: skripta ne uporablja načina za vzporedno izvajanje,
- -1: skripta sama ugotovi število jeder/procesorjev in požene enako število vzporednih izvajanj,
- pozitivna (celoštevilčna) vrednost: določa število vzporednih izvajanj.

V zadnji dveh primerih skripta uporablja način za vzporedno izvajanje tudi v primeru, da se hkrati izvaja samo eno izračunavanje (če je na voljo samo eno jedro/procesor ali če tako zahtevamo: *procnum=1*)

Ob koncu izvajanja izpiše skripta porabljen čas. To ni dejanski čas obdelave ampak pretečeni časa in je torej odvisen tudi od drugih procesov oz. aplikacij, ki tečejo na računalniku.

Skripta omogoča tudi izvajanje v posebnem testnem načinu (zastavica *-c*), pri čemer se dejanski klici modulov za izračun pokritja (izračun modelov, sektorjev in celotnega pokritja) ne izvedejo. Ta način je uporaben za preskus delovanja skripte skupaj s klicnimi parametri, antensko preslikovalno tabelo (s pripadajočimi datotekami z antenskimi sevalnimi diagrami), sektorsko tabelo (CSV datoteka), pri čemer izpiše tudi kompletен seznam (neizvedenih) klicev modulov za izračun pokritja.

7.3.1 Obdelava klicnih parametrov

Okolje GRASS (*grass.parser*) poskrbi za začetno kontrolo klicnih parametrov in njihove prizvete vrednosti v skladu z definicijami na začetku skripte (vrstice z *#%* na začetku). Neposredno na to je navezana tudi vgrajena pomoč (ukaz *r.radcov --help*) in okenski uporabniški vmesnik (ukaz *r.radcov* brez parametrov). Skripta *r.radcov* opravi potem še nekatere dodatne kontrole pravilnosti vhodnih parametrov.

7.3.2 Včitanje in obdelava antenske preslikovalne tabele

Antenska preslikovalna tabela določa preslikavo imena antene ob upoštevanju električnega nagiba (»tilt«) antene (oba podatka sta iz že prej opisane vhodne sektorske tabele) v ime

pripadajoče datoteke z definicijo antenskega sevalnega diagrama (v formatu MSI, [19]), ki jo potrebuje modul *r.sector* za svoje delovanje. Pri včitanju preslikovalne tabela preveri skripta pravilnost te tabele (napake lahko nastanejo pri ročnem urejanju) ter obstoj pripadajočih MSI datotek. Morebitne napake izpiše in v tem primeru prekine nadaljnje delovanje.

Preslikovalna datoteka ima lahko poljubno ime in lokacijo (pot navedemo kot parameter pri klicu *r.radcov*), privzeto pa je ime (celoten path) *\$GISBASE/etc/radio_coverage/antennamap*, kjer *\$GISBASE* predstavlja osnovni imenik paketa GRASS (npr. *usr/local/grass-6.2.3*). Pripadajoče MSI datoteke so lahko v poljubnem imeniku oz. imenikih (določimo jih v preslikovalni datoteki), običajno pa se nahajajo v privzetem imeniku *\$GISBASE/etc/radio_coverage/antenna_diagrams*.

Za pripravo preslikovalen tabele (samodejno glede na obstoječe MSI datoteke) in za njeno preverjanje obstajata dve pomožni skripti, *m.msi2antmap* in *m.checkantmap*, opisani na koncu tega poglavja.

7.3.2.1 Opis antenske preslikovalne datoteke

Preslikovalna datoteka je tekstovna datoteka, kjer posamezna vrstica vsebuje tri parametre, ločene z enim ali več presledki:

- oznaka tipa antene,
- električni nagib (»tilt«, v stopinjah, predvidene so celoštevilčne pozitivne vrednosti),
- pripadajoče ime antenske datoteke.

Z uporabo ključne besede *_directory_* določimo pot do imenika z antenskimi datotekami. Možno je določiti več imenikov, vsaka določitev velja do naslednje. Če imenika ne določimo sami, velja privzeti imenik, *\$GISBASE/etc/antenna_diagrams*, kjer *\$GISBASE* pomeni osnovni namestitveni imenik programa GRASS.

»Planke« (#) označujejo komentar, besedilo od vključno # do konca vrstice se ignorira. Prazne vrstice se prav tako ignorirajo.

Spodnji primer preslikovalne datoteke preslika tip antene »742213« z električnim nagibom 0 ° in 1° v MSI datoteki s pripadajočimi podatki sevalnih diagramov. Določitev imenika je v spodnjem primeru nepotrebna (redundančna, enaka je privzetemu imeniku).

```
# Primer preslikovalne tabele
_directory_ '$GISBASE/etc/antenna_diagrams'
#ime_tipa_antene    elektricni_tilt    ime_antenske_datoteke
742213            0                  742213_2140_X_CO_M45_00T.MSI    #lahko dodamo komentar
742213            1                  742213_2140_X_CO_M45_01T.MSI
```

Uporaba narekovajev ni nujna, z njimi si pomagamo pri »čudnih« znakih (npr. presledek) v imenih. Ime tipa antene lahko načeloma vsebuje poljubne znake (seveda pa ne more biti *_directory_*), vendar je to bolj strogo omejeno v okviru skripte *r.radcov* v *cellTableDescrib* - glej dokumentacijo za *r.radcov* oz. vhodno tabelarično CSV datoteko v predhodnih poglavjih.)

7.3.3 Včitanje in obdelava sektorske tabele

Sledi včitanje sektorske tabele – že opisane datoteke v formatu CSV, z avtomatskim prepoznavanjem standardne ali modificirane oblike (MS Excel - podpičja kot ločila med polji). Preveri se pravilnost vsebine te tabele. Pravila tabele so bila že opisana, v skripti pa so določena na prilagodljiv način z vsebino posebne spremenljivke *cellTableDescrib*. Dodatno k tem pravilom se preveri še enoličnost vsebine prvega stolpca - *userLabel*).

7.3.3.1 Opis *cellTableDescrib*

Pravila sektorske tabele, kot so bila prej opisana, določa naslednja vsebina *cellTableDescrib*:

```

cellTableDescrib = [
    ['userLabel', 'ul'],
    ['beamDirection', 'i', [0, 360]],
    ['electricalTiltAngle', 'i', [0, 10]],
    ['mechanicalAntennaTilt', 'i', [-90, +90]],
    ['heightAGL', 'f', [0., 300.]],
    ['antennaType', 'i', [742200, 742399]],
    ['positionEast', 'i', [400000, 600000]],
    ['positionNorth', 'i', [100000, 200000]],
    ['power', 'f', [0., 50.]],
    ['radius', 'f', [0., 100.]],
    ['model', 's', ['hata'], ['cost231'], ['ericsson'], ['waik']],
    ['P1', 's', ['urban', 'suburban', 'open'], \
        's', ['metropolitan', 'medium_cities'], \
        'f', [0., 0.], \
        's', ['metropolitan', 'medium_cities']],
    ['P2', 'i', 'f', [0., 0.], 'i', [10, 25]],
    ['P3', 'i', 'f', [0., 0.], 'i', [20, 50]],
    ['P4', 'i', 'f', [0., 0.], 'i', [0, 300]],
    ['P5', 'i', 'i', 'i', [0, 180]]
]

```

Spremenljivka *cellTableDescrib* je torej več-nivojska lista. Na osnovnem nivoju vsebuje listo stolpcev, ki je vsak spet opisan z listo. Opis posameznega stolpca vsebuje ime stolpca, tip stolpca (tipi so bili že opisani v poglavju o vhodni tabelarični datoteki), odvisno od tipa pa lahko sledijo pripadajoči parametri, ki so spet predstavljeni kot lista. Ti parametri predstavljajo omejitve vrednosti, bodisi numeričnih (tip *i* in *f*, minimalna in maksimalna vrednost) ali znakovnih (tip *s*, lista dovoljenih znakovnih nizov). V primeru razvezitve na variante (konkretno v primeru izbire modela, variante *hata*, *cost231*, *erisscon* in *waik*), so naslednji (desni) stolpci opisani z več tipi, po enim za vsako varianto (v zgornjem primeru so parametri P1-P5 opisani s po štirimi tipi, odvisno od prej izbranega modela).

Razvezitev se lahko izvede pri tipu *s*, in sicer tako, da mu sledi več list z dovoljenimi znakovnimi nizi. V zgornjem primeru povzroči naslednji opis stolpca *model* razvezitev v tri veje:

```
['model', 's', ['hata'], ['cost231'], ['ericsson'], ['waik']]
```

Za razliko od zgornjega opisa naslednji opis ne bi povzročil razvezitve (in bi zahteval, da veljajo za vse tri modele enaka pravila za stolpce P1-P5):

```
['model', 's', ['hata', 'cost231', 'ericsson', 'waik']]
```

Skripta sama preverja pravilnost opisa v *cellTableDescrib* in javlja ustrezne diagnoze v primeru najdenih nepravilnosti.

7.3.4 Določitev geografskega področja izračuna

»Področje« (*region*) v GRASS-u predstavlja pravokotno geografsko področje, ki ga določajo mejne koordinate (sever, jug, vzhod, zahod) ter ločljivost rastrskega zemljevida, podano v metrih. (Zraven sodijo še nekateri drugi podatki, npr. geografska projekcija, ki nas na tem mestu ne bodo zanimali.) GRASS pozna različna področja:

- trenutno področje (*current region*), na katerem moduli običajno opravljajo vsa izračunavanja,
- privzeto področje (*default region*), ki je določeno za posamezno GRASS »projektno lokacijo« (»Project location«),
- imenovano področje (*named region*): trenutno področje lahko shranimo v »region definition file« in ga kasneje spet povrnemo,
- področja posameznih zemljevidov (za nas so pomembni rastrski, to so DEM in clutter zemljevidi).

Pri klicu skripte *r.radcov* lahko uporabnik ne glede na trenutno področje določi področje izračuna oz. *računsko področje* (*computation region*). Skripta bo pri izračunu pokritja

upoštevale vse oddajnike, ki se nahajajo znotraj tega področja, dodatno pa še tiste, ki se nahajajo zunaj področja, vendar njihov vpliv (v okviru radija dosega določenega v vhodni sektorski tabeli) sega znotraj *računskega področja*. Glede na to določi skripta še *povečano računsko področje* (*extended computation region*), ki zajame še vse te dodatne oddajnike. (V primeru, da takih oddajnikov ni, je *povečano računsko področje* enako *računskemu področju*.)

Skripta *r.radcov* ob zagonu najprej shrani obstoječe *trenutno področje*, ugotovi *razširjeno računsko področje* in ga določi za *trenutno področje* ter v njem izračuna vse modele in sektorje. V nadaljevanju za *trenutno področje* določi *računsko področje* in v njem izračuna skupno pokritje (*r.MaxPower*), na koncu po povrne prvotno shranjeno *trenutno področje*.

Uporabnik določi *računsko področje* s pomočjo parametra *region* v ukazni vrstici *r.radcov*. Izračun se lahko opravlja na naslednjih področjih:

- na celotnem področju DEM mape, to je tudi privzeti način, določa ga *region=dem*,
- na obstoječem *trenutnem področju*, to izberemo z *region=current*,
- na imenovanem področju, določimo z *region=region:ime_shranjene_regije* (ali *region=region=ime_shranjene_regije*),
- na področju poljubne rastrske mape, določimo z *region=rast:ime_rastrske_mape* (ali *region=rast=ime_rastrske_mape*),
- na področju določenem s koordinatami in ločljivostjo, *region=n:_e:_s:_w:_res:_* (ali *region=n=_e=_s=_w=_res=_*), kjer _ predstavlja število v [m].

Z izjemo *dem* in *current* se ostali parametri lahko kombinirajo in se v enakem vrstnem redu predajo v obdelavo ukazu *g.region*, s tem da se predhodno opravi zamenjava znakov ':' → '=' in ',' → ''.

Pri določanju računskega področja (tudi če je to *trenutno področje*) opravi *r.radcov* nekaj »lepotnih« popravkov, in sicer:

- poenoti ločljivost področja v obeh smereh, tako da izbere ločljivost vzhod-zahod,
- zaokroži ločljivost na celo število (v [m]),
- zaokroži mejne koordinate področja na večkratnik ločljivosti na način, da novo (zaokroženo) področje ne sega izven meja starega področja.

Na opisani način lahko uporabnik določi tudi *računsko področje*, ki sega izven področja DEM in/ali clutter mape. Poleg tega lahko DEM in/ali clutter mapa vsebuje nedoločene točke (npr. DEM za področje Slovenije nima določenih točk izven meja Slovenije). Velja naslednje:

- vse oddajne točke morajo biti na DEM mapi določene, saj brez znane višine oddajnika ni mogoče izračunati modela in sektorja,
- v splošnem so lahko DEM in/ali clutter točke nedoločene, vendar morata biti v tem primeru določeni vrednosti parametrov *default_height* in/ali *default_clutter*; ti dve vrednosti potem določata vrednosti tistih točk, ki z DEM in/ali clutter mapo niso določene.

Če zgornja dva pogoja nista izpolnjena, moduli za izračun modelov in sektorjev javijo napako in izvajanje skripte *r.radcov* se prekine.

Opozorilo: Skripta *r.radcov* v privzetem načinu (če nismo uporabili zastavice *-r* - »recalulate«) izračuna modele in sektorje samo, če ustrezna rastrska datoteka z rezultati izračuna še ne obstaja, kar razbere iz imena datoteke. Skripta žel ne more ugotoviti, če je bilo od prejšnjega izračuna spremenjeno področje izračunavanja ali DEM/clutter mape (zemljevidi). **Uporabnik mora v primeru zamenjave zemljevidov in/ali področja izračunavanja eksplicitno zahtevati ponoven izračun z uporabo zastavice *-r*.** V

nasprotnem primeru se bodo uporabili stari izračuni, kar lahko pripelje do delno ali povsem napačnih končnih rezultatov.

7.3.5 Izračun modelov in sektorjev

Najprej se pripravi spisek ukazov za zagon vseh potrebnih simulacij modelov (moduli *r.hata*, *r.cost231*, *r.ericsson*, *r.waik*) ter ukazov za zagon vseh potrebnih simulacij sektorjev (*r.sector*) na osnovi predhodnih simulacij modelov. V naslednjem koraku se vsi ti ukazi izvedejo. Možno je vzporedno izvajanje izračunov modelov in izračunov sektorjev, kar omogoča bistveno pohitritev na večjedrnem ali večprocesorkem sistemu.

V naslednjih dveh podpoglavljih sta primera klica za izračun modela in izračuna sektorja, ki se izvedeta kot posledica naslednjega ukaza, pri čemer je uporabljen prej predstavljena sektorska tabela (ukazi so enovrstični, tukaj so zaradi svoje dolžine izpisani v več vrsticah):

```
r.radcov --o -r csv_file=Ljutomer_ericsson.csv frequency=2040
dem_map=dem_ljutomer_25@PERMANENT clutter_map=clut_ljutomer25Converted@PERMANENT
db_driver=dbf out_map=outmap out_table=outdb
```

Temu sledi podpoglavlje s podrobnejšim opisom vzporednega izvajanja.

7.3.5.1 Klic za izračun modela

Primer klica ukaza za simulacijo modela (*r.ericsson*), kot se ob izvajjanju izpiše na zaslon, je naslednji:

```
> SBANOVA (1./4)
r.ericsson input=dem_ljutomer_25@PERMANENT
clutter_map=clut_ljutomer25Converted@PERMANENT
output=_ericsson_42_42_-12_0.1_590020_159380_31.7_10_2040 A0=42 A1=42 A2=-12
A3=0.1 coordinate=590020,159380 ant_height=31.7 radius=10 frequency=2040
--overwrite
```

Ta primer tudi ilustrira zgradbo imena rastrske datoteke z izračunom modela, v zgornjem primeru je to:

```
_ericsson_42_42_-12_0.1_590020_159380_31.7_10_2040
```

V splošnem je sestava imena naslednja:

```
_model_P1_P2_P3_P4_P5_positionEast_positionNorth_heightAGL_radius_frequency
```

Ime vsebuje vse parametre izračuna, s katerimi skripta *r.radcov* ugotavlja istovetnost datoteke oz. izračuna za nadaljnjo obdelavo, razen datoteke DEM in (v primeru modela Ericsson) datoteke clutter ter izbranega *računskega področja* – zato je potrebno v primeru spremenjene izbire ali vsebine teh dveh datotek (recimo pri spremenjeni izbiri geografskega področja) in/ali *računskega področja* eksplicitno zahtevati nove izračune z uporabo zastavice *-r* pri klicu skripte *r.radcov*.

7.3.5.2 Klic za izračun sektorja

Primer klica ukaza za simulacijo sektorja, kot se ob izvajjanju izpiše na zaslon, je naslednji:

```
> SBANOVA (1./8)
r.sector pathloss_raster=_ericsson_42_42_-12_0.1_590020_159380_31.7_10_2040@IOzimek
DEM_raster=dem_ljutomer_25@PERMANENT
output=SBANOVA_ericsson_42_42_-12_0.1_590020_159380_31.7_10_2040_110_0_2_742213
ant_data_file=/usr/local/grass-6.2.3/etc/radio_coverage/antenna_diagrams/
742213_2140_X_CO_M45_00T.MSI
beam_direction=110 mech_tilt=2 height_agl=31.7 radius=10 east=590020 north=159380
--overwrite
```

Ime rastrske datoteke z izračunom sektorja je v zgornjem primeru:

```
SBANOVA_ericsson_42.0_42.0_-12.0_0.1_590020_159380_31.7_10_2040_110_0_2_742213
```

V splošnem je sestava imena naslednja:

```
userLabel(model)_beamDirection_electricalTiltAngle_mechanicalAntennaTilt_antennaType
```

kjer (model) predstavlja ime rastrske datoteke modela, uporabljenega pri izračunu sektorja. Zapisani *userLabel* je lahko malenkostno spremenjen glede na originalno ime – zbrisani so morebitni podčrtaji. To lahko v določenih primeri pripelje do ne-enoličnosti, vendar *userLabel* v imenu datoteke sektorja ni bistven in je uporabljen samo zaradi lažje razpoznavnosti vsebine datoteke s strani uporabnika. Za istovetnost datoteke in njene vsebine oz. uporabo zastavice *-r* velja enako kot je opisano že zgoraj pri rastrski datoteki modela.

7.3.5.3 Vzporedno izvajanje

Skripta *r.radcov* izvaja v privzetem načinu module vzporedno (klicni parameter *procnum=-1*) in sicer hkrati požene toliko izračunov modelov in (v nadaljevanju) toliko izračunov sektorjev, kolikor jeder oz. procesorjev ima računalniški sistem. Uporabnik lahko izbere tudi zaporedni način izvajanja (*procnum=0*) ali pa poljubno število vzporedno izvajanih modulov ne glede na obstoječe število jeder/procesorjev (npr. *procnum=16* za 16 hkrati izvajanih modulov).

Pri vzporednem izvajanju izpis iz modula na zaslon ne sledi neposredno njegovemu klicu, ampak se začasno shranjuje in izpiše ob koncu izvajanja tega modula. Klic modula je enako kot pri zaporednem izvajanju označen z imenom celice in zaporedno številko, npr. (kot v zgornjem primeru):

```
> SBANOVA (1./8)
```

Ko modul zaključi svoje delo, je to označeno z izpisom njegove zaporedne številke:

```
< (1./_)
```

temu pa sledijo morebitni izpisi iz modula na zaslon, nastali med njegovim izvajanjem. Modul lahko izpisuje na zaslon preko *stdout* in *stderr*, po konci izvajanja se izpišejo najprej morebitni izpisi na *stdout*, kar označuje '(O)' na začetku izpisov, potem pa še morebitni izpisi na *stderr*, kar označuje '(E)' na začetku izpisov.

7.3.6 Brisanje nepotrebnih modelov in sektorjev

Uporaba zastavice *-p* (»purge«) pri klicu skripte *r.radcov* povzroči brisanje obstoječih nepotrebnih rastrskih datotek z izračunanimi modeli in sektorji. Brišejo se vse datoteke z imeni oblike *_model_** ali *ime_model_**, kjer je *model* ime enega od modelov (*hata*, *cost231*, *ericsson*, *waik*), *ime* pa je poljubno ime, ki načeloma predstavlja ime sektorja, lahko pa je poljuben niz znakov razen podčrtaja.

Brisanje nepotrebnih datotek se izvaja po pripravi ukazov za izračun modelov in sektorjev in pred njihovim izvajanjem (opisano v prejšnjem podpoglavlju).

7.3.7 Izračun celotnega pokritja

Na koncu obdelave se izračuna skupno radijsko pokritje za celotno izbrano geografsko področje na osnovi prej izračunanih sektorjev. Rezultata sta dva. Prvi je datoteka (določena s klicnim parametrom *out_map*), ki predstavlja rastrski zemljevid z vrednostjo najmočnejšega signala v vsaki točki. Drugi pa je tabela (določena s klicnim parametrom *out_table*) s podatki o izbranem številu (privzeto 5, določimo s klicnim parametrom *cellnum*) najmočnejših signalov v vsaki točki, zapisana v izbrano podatkovno bazo.

Zapis podatkovne tabele je opcionalni in privzeto ni vključen (*db_driver=none*), kar lahko bistveno skrajša čas celotne obdelave. Uporabnik lahko izbere tri tipe podatkovne baze, dbf (*db_driver=dbf*), MySQL (*db_driver=mysql*) in PostgreSQL (*db_driver=pg*), pod pogojem, da so te že nameščene na sistemu (velja za MySQL in PostgreSQL, dbf je že vgrajena v GRASS). Baza dbf je funkcionalno omejena, sicer v splošnem hitrejša od ostalih dveh, vendar

zaradi velike potratnosti pri delu s pomnilnikom neprimerena za izračun pokritja večjih geografskih področij.

Za izračun celotnega pokritja kliče skripta dva modula. V primeru, da smo izbrali zapis podatkovne baze, modul *db.GenerateTable* najprej pripravi prazno podatkovno tabelo (če datoteka s tem imenom že obstaja in smo uporabili *--overwrite* oz. *--o*, se stara datoteka zbriše). V našem primeru izvede *r.radcov* naslednji klic:

```
db.GenerateTable -o table=outdb driver=dbf
database=$GISDBASE/$LOCATION_NAME/$MAPSET/dbf cell_num=5
```

Nato kliče skripta modul *r.MaxPower* za izračun in zapis rezultatov v izhodno rastrsko datoteko in podatkovno bazo. V našem primeru bi bil klic naslednji:

```
r.MaxPower 'cell_input=tmpFilename' output=outmap table=outdb driver=dbf
'database=$GISDBASE/$LOCATION_NAME/$MAPSET/dbf' --overwrite
```

kjer je *tmpFilename* samodejno ustvarjeno ime začasne datoteke, ki jo skripta *r.radcov* ustvari pred klicem modula *r.MaxPower*. Ta datoteka se po uporabi samodejno zbriše. Datoteka vsebuje podatke o sektorjih, dobljene iz vhodne sektorske tabele. V prvi vrstici je zapisano število sektorjev (t.j. število sledenih vrstic), v naslednjih vrsticah pa sledi opis sektorjev v naslednji obliki:

```
userLabel;sectorFilename;power;model;P1;P2;P3;P4;P5;;
```

sectorFilename predstavlja ime rastrske datoteke z izračunanim sektorjem.

V našem primeru bi imela vmesna datoteka naslednjo obliko:

```
8
SANOVA;SANOVA_ericsson_42_42_-12_0.1_590020_159380_31.7_10_2040_110_0_2_742213@IOzimek;25.3;ericsson;42;42;-12;0.1;;
SANOVB;SANOVB_ericsson_42_42_-12_0.1_590020_159380_33.7_10_2040_240_0_2_742213@IOzimek;25.3;ericsson;42;42;-12;0.1;;
SANOVC;SANOVC_ericsson_42_42_-12_0.1_590020_159380_33.7_10_2040_330_0_2_742213@IOzimek;25.3;ericsson;42;42;-12;0.1;;
SBELTIA;SBELTIA_ericsson_42_42_-12_0.1_594497_163319_34_10_2040_50_0_2_742213@IOzimek;27.4;ericsson;42;42;-12;0.1;;
SBELTIB;SBELTIB_ericsson_42_42_-12_0.1_594497_163319_34_10_2040_130_0_1_742213@IOzimek;27.4;ericsson;42;42;-12;0.1;;
SBELTIC;SBELTIC_ericsson_42_42_-12_0.1_594497_163319_34_10_2040_325_0_1_742213@IOzimek;26.4;ericsson;42;42;-12;0.1;;
SLJUTKA;SLJUTKA_ericsson_42_42_-12_0.1_592182_153422_22_10_2040_120_1_0_742265@IOzimek;27.5;ericsson;42;42;-12;0.1;;
SLJUTKB;SLJUTKB_ericsson_42_42_-12_0.1_592182_153422_22_10_2040_310_1_0_742265@IOzimek;27.5;ericsson;42;42;-12;0.1;;
```

7.4 Pomožni skripti

Poleg skripte *r.radcov* obstajata še dve pomožni skripti za pripravo in preverjanje antenske preslikovalne datoteke, *m.msi2antmap* in *m.checkantmap*. Prva omogoča samodejno pripravo preslikovalne datoteke na osnovi obstoječih datotek .MSI, druga pa preverjanje njene pravilnosti, kar je pomembno v primeru ročnega urejanja.

7.4.1 Skripta m.msi2antmap

Antenska preslikovalna datoteka se ustvari avtomatično na osnovi obstoječih datotek .MSI v podanem imeniku.

Posamezna vrstica antenske preslikovalne datoteke vsebuje ime antene, električni nagib in ime pripadajoče .MSI datoteke ter morebiten komentar.

Podvojene definicije (ime_antene, električni_nagib), se vnesejo kot komentar (izpiše se opozorilo), aktivna pa je samo prva taka definicija.

Ime antene določa spremenljivka NAME v prvi vrstici datoteke .MSI, v nasprotnem primeru se izpiše napaka. Trenutno v skripti ni omejitev glede dovoljenih znakov (dovoljeni so vsi izpisljivi - »non-white« - znaki) in dolžine imena.

Električni nagib določa spremenljivka TILT v .MSI datoteki. Njena vrednost naj bi bil nagib v stopinjah, vendar je v obstoječih datotekah njena vrednost 'electrical', nagib pa ja je podan kot del imena .MSI datoteke, npr.: 742211_2140_X_CO_M45_02T.MSI pomeni nagib 2 stopinji. Skripta zato preverja oba načina podajanja in javi napako v primeru neujemanja morebitne obojne definicije ali v primeru, da nagib ni podan na nobenega od obeh možnih načinov.

V posamezno vrstico antenske preslikovalne datoteko se kot dodan komentar prenese tudi vsebina spremenljivke COMMENT iz .MSI datoteke.

Struktura ukaza, pripadajoče zastavice in parametri so podani spodaj.

- Ukaz:

```
m.msi2antmap antennaMsiDir=string antennaMapFile=string [--overwrite]
```

- Parametri:

| | | |
|----------------|--|---|
| antennaMsiDir | Antennas .MSI files input directory | <i>ime imenika (celotna pot), v katerem se nahajajo datoteke .MSI (antenski sevalni diagr.)</i> |
| | default: \$GISBASE/etc/~/radio_coverage/antenna_diagrams | |
| antennaMapFile | Antennas map output file (for r.radcov) | <i>ime antenske preslikovalne datoteke, ki jo ustvari skripta m.msi2antmap</i> |
| | default: \$GISBASE/etc/~/radio_coverage/antennamap | |

- Zastavice:

| | | |
|-----|---|--|
| --o | Force overwrite of output files overwrite existing files | <i>Omogoči prepis obstoječe izhodne datoteke</i> |
|-----|---|--|

7.4.2 Skripta m.checkantmap

Skripta *m.checkantmap* je namenjena preverjanju in odkrivanju napak v antenski preslikovalni datoteki, ki lahko nastanejo kot posledica ročnega urejanja (z uporabo urejevalnika besedila). Skripta je sicer do neke mere redundantna, saj praktično enako preverjanje opravlja tudi skripta *r.radcov*, a je vendarle priročna v primerih, ko ročno spremojmo vsebino antenske datoteke in želimo hitro in enostavno preveriti njenou pravilnost.

Skripta preverja formalno pravilnost posameznih vrstic preslikovalne datoteke ter javlja napake ali opozorila odvisno od pomembnosti posameznih nepravilnosti. Preverja tudi obstoj podvojenih (name, tilt) definicij (večkratne definicije za isto ime antene in njen električni nagib), pa tudi (ne)obstoj .MSI datotek navedenih v posameznih vrsticah antenske preslikovalne datoteke (to zadnje javlja kot opozorilo).

Za vse obstoječe .MSI datoteke skripta *m.checkantmap* v drugem koraku preveri še skladnost imena in električnega nagiba, kot sta navedena v vrstici antenske preslikovalne datoteke ter znotraj .MSI datoteke in/ali (velja za električni nagib) kot del imena .MSI datoteke.

Struktura ukaza in pripadajoči parameter so podani spodaj.

- Ukaz:

```
m.checkantmap antennaMapFile=string
```

- Parametri:

| | | |
|----------------|--|--|
| antennaMapFile | Antennas map output file (for r.radcov) | <i>ime antenske preslikovalne datoteke, ki jo želimo preveriti</i> |
| | default: \$GISBASE/etc/~/radio_coverage/antennamap | |

8 Dodatni moduli

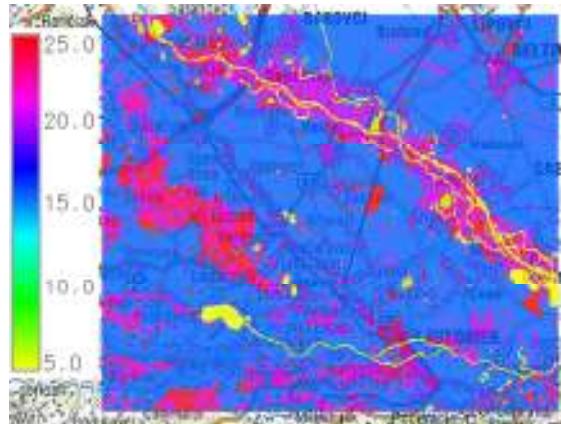
8.1 Modul *r.clutconvert*

Ker raster datoteke rabe tal (»clutter«) ne vsebujejo dejanskega slabljenja za določen tip terena, ampak so posamezni tipi terena označeni s številkami (od 1 do 10), je potrebno datoteke ustrezno preoblikovati. Za vsak tip terena je potrebno namesto številčnega opisa tipa terena vpisati ustrezno slabljenje signala. V ta namen je razvit modul *r.clutconvert*, ki na vhodu prebere raster datoteko rabe tal in tekstovno datoteko v kateri so v pravilnem zaporedju vpisane vrednosti slabljenja za določene tipe terena. V tabeli 3 so zbrani tipi terena in ustrezne številčne oznake v originalni datoteki rabe tal ter pripadajoče vrednosti slabljenja radijskega signala pri frekvenci 2040 MHz.

| oznaka v clutter datoteki | tip terena | slabljenje |
|------------------------------|---------------|------------|
| 11 | urbano 1 | 28 |
| 12 | urbano 2 | 25 |
| 13 | urbano 3 | 22 |
| 14 | urbano 4 | 18 |
| 15 | urbano 5 | 15 |
| 16 | gozd iglasti | 25 |
| 17 | gozd listnati | 20 |
| 18 | gozd mešani | 22 |
| 19 | grmičevje | 15 |
| 20 | voda | 3 |
| 21 | kmetijsko | 15,5 |
| 22 | odprto | 5,5 |

Tabela 3: Različni tipi terena z ustreznimi številskimi oznakami v »clutter« datoteki in pripadajoče vrednosti slabljenja za 2040 MHz

Izhod modula *r.clutconvert* je raster datoteka rabe tal v kateri so posamezni tipi terena opisani z ustreznim slabljenje v dB. Primer je prikazan na sliki 11.



Slika 11: Grafičen prikaz pretvorjene datoteke rabe tal za področje Ljutomera - izhod modula *r.clutconvert*

8.1.1 Zagon modula v terminalskem načinu

Struktura ukaza, pripadajoče zastavice in parametri so podani spodaj. Poleg parametrov so v oklepajih izpisani komentarji.

- Ukaz:

```
r.clutconvert input=name Path_loss_values=file name output=name [--overwrite] [--quiet]
```

- Zastavice:

| | |
|-----|--|
| --o | Allow output files to overwrite existing files |
| --q | Quiet module output |

- Parametri:

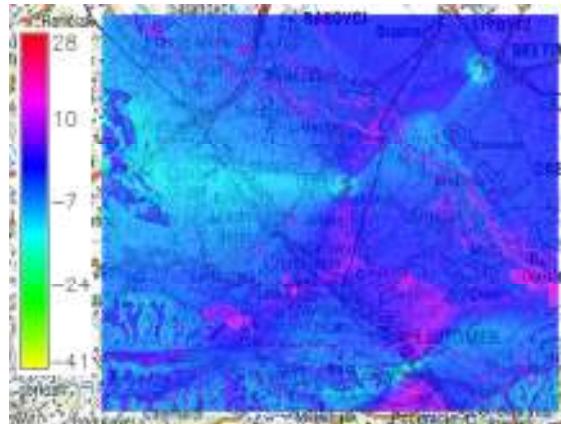
| | | |
|------------------|---|---|
| input | Name of input raster map (``clutter``) | ime vhodnega rastra - raba tal |
| Path_loss_values | Path loss factors for land usage | ime vhodnega .txt datoteke z slabljenjem rabe tal |
| output | Name for output raster map | ime izhodnega rastra - slabljenje rabe tal |

- Primer klica:

```
r.clutconvert input=clut_ljubljana2@PERMANENT
Path_loss_values=/usr/local/src/grass62/grass-6.2.3/dist.i686-pc-linux-gnu/etc/radio_coverage/lossfactors_new.txt output=clut_ljubljana2Converted --overwrite
```

8.2 Modul *r.compare*

Dodatni modul *r.compare* je namenjen verificiranju in umerjanju modelov izgube poti ter preverjanju modulov *r.sector* in *r.MaxPower*. Modul namreč primerja rezultate simulacij narejenih v GRASS okolju z rezultati simulacij narejenih s programom TEMS. Pri tem je potrebno biti pozoren na pravilno zaporedje podanih vhodnih raster datotek, ki vsebujejo informacije o jakosti signala oziroma izgubi poti za določeno področje. Za prvi vhod je potrebno izbrati jakost signala v raster datoteki dobljene v okolju GRASS, drugi vhod pa je uvožena raster datoteka slabljenja signala, ki je izračunana s programom TEMS (glej podpoglavlje 2.2). Izhod modula je zopet raster datoteka, ki vsebuje razliko jakosti signala na mestu sprejema. Grafična primerjava razlike rezultatov iz obeh simulatorjev za model 9999 in področje Ljutomera pri nosilni frekvenci 2040 MHz je podana na sliki 12.



Slika 12: Primerjav simulacij GRASS in simulacij TEMS za področje Ljutomera

8.2.1 Zagon modula v terminalskega načina

Struktura ukaza, pripadajoče zastavice in parametri so podani spodaj. Poleg parametrov so v oklepajih izpisani komentarji.

- Ukaz:

```
r.compare [-q] Raster_Path_Loss_Values_1=name
Raster_Path_Loss_Values_2=name output=name [--overwrite] [--quiet]
```

- Zastavice:

| | |
|-----|--|
| -q | Quiet |
| --o | Allow output files to overwrite existing files |
| --q | Quiet module output |

- Parametri:

| | | |
|---------------------------|------------------------|-----------------------------|
| Raster_Path_Loss_Values_1 | Path loss-first model | <i>ime vhodnega rastra</i> |
| Raster_Path_Loss_Values_2 | Path loss-second model | <i>ime vhodnega rastra</i> |
| output | Name for output | <i>ime izhodnega rastra</i> |
| | raster map | |

- Primer klica:

```
r.compare Raster_Path_Loss_Values_1=out_Ljutomer@Andrej
Raster_Path_Loss_Values_2=IJS_UTMS_Pathloss_Ljutomer_25masc@PERMANENT
output=compare_IJSGrass_MobitelTEMS_Ljutomer --overwrite
```

8.3 Modul *db.CompareResults*

Modul *db.CompareResults* opravi primerjavo izračunanih vrednosti z rezultati terenskih meritev.

Vhodni parametri modula so naslednji:

- DEM (digitalni elevacijski model) raster za simulirano področje
- ime tabele v kateri so zapisani rezultati simulacij
- ime gonilnika, ki je bil uporabljen v simulaciji
- ime gonilniku pripadajoče podatkovne baze
- tekstovna datoteka z rezultati terenskih meritev (npr ljutomer.txt)
- ime izhodne tekstovne datoteke

Modul prebere vrstico iz datoteke, v kateri so zapisani rezultati meritev, in shrani podatke o x in y koordinati, imenu merjene celice ter vrednosti sprejete moči (rscp). Ker se x in y koordinata na merjeni lokaciji v splošnem ne skladata z rastrskimi koordinatami, ki so zapisane v tabeli, modul opravi preslikavo koordinat na najbližjo lokacijo v rastru. Nato v tabeli, ki vsebuje rezultate simulacij poišče vrstico s pripadajočimi koordinatami ter shrani vrednost moči sprejetega signala ter model kanala za merjeno celico. Če na izbrani lokaciji simulacija ni opravljena (bodisi zaradi geografske omejenosti vhodnega rastra, bodisi zaradi večje oddaljenosti od bazne postaje kot je radij območja, zajetega v simulaciji), se primerjava ne izvede. V nasprotnem primeru se izračuna razlika med rezultatom meritve in rezultatom simulacije ($rscp_diff$ [dB] = $rscp_meas$ [dBm] - $rscp_sim$ [dBm]). V izhodno datoteko se vpišejo vsi podatki iz vhodne datoteke terenskih meritev, dodajo pa se še podatki o rastrskih koordinatah, vrednost moči sprejetega signala, dobljene s simulacijo, uporabljen model kanala in razlika med izmerjeno in izračunano močjo.

Atributi izhodne datoteke so prikazani v spodnji tabeli:

| attribute | time | x | y | cell | rscp | x_rast | y_rast | rscp_sim | model | rscp_diff |
|-----------|------------------------|--------|--------|---------|---------|--------|--------|----------|---------------|-----------|
| example | 2005-10-05 10:54:00 | 592000 | 153790 | SLJUTKB | 69.1200 | 592000 | 153800 | -95.4000 | Hata_suburban | 26.28 |

Tabela 4: Atributi v izhodni tekstovni datoteki modula *db.CompareResults*

Modul izračuna in izpiše tudi povprečno vrednost razlike med izmerjenimi in izračunanimi vrednostmi ($rscp_diff$). Parameter $rscp_diff$ omogoča kalibracijo parametra A_0 v primeru simulacije z uporabo modula r.Ericsson.

8.3.1 Zagon modula v terminalskem načinu

Struktura ukaza za zagon modula v terminalskem načinu je naslednja (oglati oklepaj pomeni, da je ukaz opcijski):

- Ukaz:

```
db.CompareResults DEM_raster=name table=name driver=name database=name
measurement_data=file_name output=file_name [--quiet].
```

- Zastavice:

```
--quiet Quiet module output
```

- Parametri:

| | | |
|-------------------|--|---------------------------------------|
| DEM_raster | elevation model-required for raster window determination | ime vhodnega rastra |
| table | name of the DBF table | ime DBF tabele |
| driver | driver name | ime gonilnika |
| database | database name | ime podatkovne baze |
| measuerement data | path to the file containing measuerement data | ime vhodne datoteke s podatki meritev |
| output | name of the output txt file | ime izhodne datoteke |

- Primer klica:

```
db.CompareResults DEM_raster=DEM_ljutomer_25@PERMANENT table=test driver=dbf
database=$GISDBASE/$LOCATION/$MAPSET/dbf measurement_data=/home/grass/source/grass-
6.4.0RC3/doc/db/db.CompareResults/ljutomer.txt output=/home/grass/source/grass-
6.4.0RC3/doc/db/db.CompareResults/test.output.txt
```

8.4 Modul *r.CompareMobitel*

Modul *r.CompareMobitel* opravi primerjavo med terenskimi meritvami in izračunanimi vrednostmi najvišje sprejete moči za posamezno točko. Njegovo delovanje je podobno modulu *db.CompareResults*, le da imamo na razpolago le najvišjo sprejeto moč na posamezni točki, brez informacije o pripadajoči celici. Modul je namenjen oceni razlike med sprejeto močjo v določeni točki za določeno celico ter najvišjo sprejeto močjo v isti točki. Modul združuje v za ta namen prilagojene module *db.GenerateTable*, *r.MaxPower* in *db.CompareResults*.

Modul najprej generira DBF tabelo, katere ime določimo v ukazni vrstici. Tabela vsebuje štiri atribute, in sicer: koordinati x in y, podani v Gauss-Krugerjevem koordinatnem sistemu, resolucijo uporabljenega digitalnega elevacijskega modela ter vrednost sprejete moči v dBm. Modul nato prebere vrednosti iz vhodnega rastra, izračuna potrebne atribute, ter jih vpisuje v tabelo. Enako kot v modulu *r.MaxPower*, tudi na tem mestu v tabelo vpisujemo celoštevilske vrednosti sprejetih moči, ki jih predhodno pomnožimo s faktorjem 100.

V nadaljevnavju modul opravi primerjavo vrednosti in pridobljene rezultate shrani v izhodno tekstovno datoteko, ki ima enako zgradbo kot izhodna datoteka v modulu *db.CompareResults*.

Modul podpira primerjavo izmerjenih rezultatov tako za simulacije, pridobljene s programom TEMS, kot tudi za simulacije z simulacijskim okoljem, razvitim v okolju GRASS. Izbiro določimo z označitvijo zastavice '*GRASS MaxPower raster*'. Tak pristop je potreben zaradi razlike med vhodnima rastroma. Raster, pridobljen v okolju GRASS vsebuje najvišje sprejete moči, medtem ko raster, pridobljen v programu TEMS vsebuje podatke o slabljenju signala. Ker podatek o oddajnih močeh celic v tem primeru ni na voljo, je pri primerjavi meritev, pridobljenih s programom TEMS, potrebno vpisati še povprečno oddajno moč, ki jo model nato upošteva pri izračunu sprejetih moči.

8.4.1 Zagon modula v terminalskem načinu

Struktura ukaza za zagon modula v terminalskem načinu je naslednja (oglati oklepaj pomeni, da je ukaz opcijski):

- **Ukaz:**

```
r.CompareMobitel [-o] [-c] MaxPower_raster=name model=name avg_transmit_power=value
table=name driver=name database=name measurement_data=file_name output=file_name [-
-quiet]
```

- **Zastavice:**

| | |
|---------|-----------------------|
| -o | allow table overwrite |
| -c | GRASS MaxPower raster |
| --quiet | quiet module output |

Če tabela z izbranim imenom že obstaja, jo bo modul prepisal z novo, prazno tabelo. Če zastavice ne označimo, se bo, v primeru že obstoječe tabele z enakim imenom, izvajanje modula prekinilo.

Primerjava meritev z MaxPower vrednostmi, izračunanimi v okolju GRASS

- Parametri:

| | | |
|--------------------|---|--|
| maxPower_raster | Input MaxPower raster | ime vhodnega rastra |
| model | Channel model name | uporabljen model |
| avg_transmit_power | average transmit power (relevant only in case of TEMS input raster) | kanala Povprečna oddajna moč (pomembna le v primeru TEMS vhodnega rastra) |
| table | Name of the DBF table | ime DBF tabele |
| driver | driver name | ime gonilnika |
| database | database name | ime podatkovne baze |
| measuerement data | path to the file containing measuerement data | ime vhodne datoteke s podatki meritev |
| output | Name of the output txt file | ime izhodne datoteke |

- Primer klica:

```
r.CompareMobitel MaxPower_raster=IJS_UMTS_Pathloss_Ljutomer_25m_asc@AndrejH
model=Mobitel_Ericsson avg_transmit_power=26.5
table=db_IJS_UMTS_Pathloss_Ljutomer_25m_asc driver=dbf
database=$GISDBASE/$LOCATION/$MAPSET/dbf measurement_data=/home/grass/source/grass-
6.4.0RC3/doc/raster/ljutomer.txt output=/home/grass/source/grass-
6.4.0RC3/doc/raster/comparre_MobitelTEMS_Meritve_17feb.txt
```

9 Namestitev programskega modulov za izračun pokritosti z radijskim signalom

Vsi moduli so narejeni v programskem jeziku C in prevedeni s prevajalnikom »gcc«. Izvorna koda posameznih modulov se nahaja v mapi, ki so poimenovane po imenih modulov. Poleg osnovne datoteke *main.c*, ki vsebuje C kodo modula, se v mapi modula nahaja tudi dodatne datoteke s C-jevimi funkcijami in različne tekstovne datoteke s posameznimi konstantami. Obvezna vsebina mape posameznega modula je datoteka *Makefile*, ki poleg imena modula vsebuje še poti do nujno potrebnih datotek za pravilno prevedbo modula.

Primer vsebine datoteke *Makefile*:

```
#fix this relative to include/
# or use absolute path to the GRASS source code
MODULE_TOPDIR = ../../..
PGM = r.ericsson
LIBES = $(GISLIB)
DEPENDENCIES = $(GISDEP)
include $(MODULE_TOPDIR)/include/Make/Module.make
default: cmd
```

Ob nameščanju programskih modulov na sistem je potrebno izbrati mesto, kjer naj se mape modulov, ki vsebujejo izvorno kodo, nahajajo. Naslednji korak je dodelitev ustreznih pravic uporabnikom za dostop do map in uporabo datotek. Glede na nameščeno verzijo programa *grass* in mesto namestitve posameznih programskih komponent, je potrebno ustrezno prirediti poti do posameznih *grass*-ovih datotek v datotekah *Makefile* posameznih modulov, kar je nujno potrebno za uspešno prevedbo modulov.

Prevajanje modulov se izvede v terminalskem oknu z uporabo ukaza *make*. Za uspešno prevajanje določenega modula se je potrebno postaviti v mapo, kjer se nahajajo njegove datoteke s programsko kodo (*main.c* in *Makefile*) in uporabiti ukaz *make*. Po uspešni prevedbi je modul pripravljen za uporabo. Možno ga je uporabljati preko grafičnega uporabniškega vmesnika ali preko ukazne vrstice v terminalskem oknu. V prvem primeru ga je potrebno odpreti preko terminalskega okna v okolju *grass* z ukazom, ki je enak imenu modula (npr.: *r.ericsson*), in nato ustrezne vhodno/izhodne datoteke in parametre modula vpisati v grafični vmesnik, ki se pojavi na zaslonu. V drugem primeru pa se celotna ukazna vrstica z vsemi ustreznimi parametri in imeni vhodno/izhodnih datotek vnese neposredno v terminalske okno, kjer je moč opazovati tudi napredek izvajanja modula in vse morebitne izpise.

Za hkratno uporabo več modulov (primer na sliki 1) je potrebno natančno poznati sestavo ukazne vrstice posameznega modula z vsemi obveznimi in opcijskimi vhodnimi podatki. Le tako je možno razviti ustrezno skripta Python, ki služi za zaporedno izvajanje vključenih modulov, in njen zagon.

Novi lastni moduli se običajno razvijajo in prevajajo v okviru delovne verzije prevedenega paketa (tam, kjer je bil opravljen prevod z ukazom *make*) in ne na končni lokaciji (kamor ga prepiše ukaz *install make*). Za normalno uporabo novo razvitih modulov je potrebno te na koncu prepisati na pravo mesto. V primeru, da je končna lokacija aplikacije GRASS */usr/local/grass-6.4.0RC3*, so lokacije modulov naslednje:

/usr/local/grass-6.4.0RC3/bin za dodatne prevedene module (napisani v jeziku C), v našem primeru sodijo sem vsi razviti moduli razen povezovalne skripte *r.radcov*.

/usr/local/grass-6.4.0RC3/scripts za skripte (npr. v jeziku Python), v našem primeru velja to za *r.radcov*.

/usr/local/grass-6.4.0RC3/docs/html za vse html datoteke s pomočjo, ki pripadajo posameznim modulom (t.i. »help« datoteke).

Za razliko od modulov pisanih v jeziku C skripta v jeziku Python ne potrebuje razvojnega okolja oz. orodij, uporablja pa razne funkcije okolja GRASS in deluje samo v tem okolju. Za uporabo skript narejenih v skladu s pravili GRASS veljajo enaka pravila kot za uporabo prevedenih modulov pisanih v jeziku C. Tudi skripta lahko uporabljamo preko grafičnega uporabniškega vmesnika, kot je bilo zgoraj opisano.

Omeniti velja še, da html datoteka s pomočjo za skripta (v spodnjem primeru *r.radcov*) samodejno ustvarimo na naslednji način, seveda v okviru okolja GRASS:

```
r.radcov --html-description >r.radcov.html
```

10 Primerjava rezultatov izračunov in meritev moči radijskega signala

Primerjava rezultatov izračuna z modulom r.ericsson ter programom TEMS in izmerjenih rezultatov prikazujejo slike v dodatku A. Prvi stolpec prikazuje primerjavo med izmerjenimi vrednostmi in izračunanimi vrednostmi z modulom r.ericsson, medtem ko je v drugem stolpcu prikazana primerjava med izračunanimi vrednostmi s programom TEMS in izmerjenimi vrednostmi. Primerjava je bila opravljena za šest primerov in sicer:

1. Področje Bohinja za GSM signal na 900 MHz,
2. Področje Bohinja za UMTS signal,
3. Področje Ljutomera za GSM signal na 900 MHz,
4. Področje Ljutomera za UMTS signal,
5. Področje mesta Ljubljane za GSM signal in
6. Področje mesta Ljubljane za UMTS signal.

Prva vrsta slik prikazuje sprejeti signal v dBm, modra barva predstavlja izmerjene vrednosti, zelena pa izračunane. Druga vrsta slik prikazuje razliko med izračunano in izmerjeno vrednostjo, medtem ko zadnja slika prikazuje prostorsko razporeditev meritev in njihovo odstopanje od izračunanih vrednosti in sicer:

- Zelena – odstopanje -5 in 5 dB
- Rumena – odstopanje 5 in 15 dB
- Cianidna – odstopanje 15 in 25 dB
- Modra – odstopanje 25 in 35 dB
- Viola – odstopanje 35 in 45 dB
- Rdeča – odstopanje 45 in 55 dB
- Črna – odstopanje 55 in več dB

Iz rezultatov v dodatku, lahko ugotovimo:

1. S programskega paketom TEMS in modul r.ericsson dobimo podobne vrednosti za vrednost signala v točkah meritev ne glede na izbrano okolje (Bohinj, Ljutomer, Ljubljana) in nosilno frekvenco signala. Manjše razlike, ki nastanejo, so posledica nedokumentirane implementacije modela 9999, ki je osnovni algoritem tako v programu TEMS kot tudi v modulu r.ericsson.
2. Za vsa področja in obe nosilni frekvenci program TEMS kot tudi modul r.ericsson izračunata nekoliko nižje vrednosti signala.
 - a. Za mestno okolje, je razlika skoraj zanemarljiva za obe frekvenci.
 - b. V razgibane gorskem okolju na področju Bohinja so izračunane vrednosti precej nižje od izmerjenih. Napaka je še posebno izrazita za področje na nasprotni strani Bohinjskega jezera na višje ležečih področjih, kjer dobimo direktno vidljivost med oddajnikom na Voglu in sprejemnikom, sam model 9999 pa tega ne upošteva. Na teh področjih so bile meritve izvedene le za frekvenco 900 MHz, vendar predvidevamo, da bi tudi pri UMTS frekvenci dobili podobne rezultate. Za nižje ležeča področja pa se izmerjeni in izračunani signali dokaj dobro ujemajo.
 - c. Dobro ujemanje med izračunanimi in izmerjenimi vrednostmi, dobim tudi za področje Ljutomera.
3. Modul r.ericsson in program TEMS izračunata podobne vrednosti tudi, pri različnih oddaljenosti sprejemnika od bazne postaje.

11 Zaključek

Izdelani programski moduli omogočajo izračun pokritja z radijskim signalom za poljubno področje zemeljske oble in prikaz izračunanih rezultatov v programskevem okolju GRASS. Moduli *r.hata*, *r.fspl* in *r.cost231* uporabljajo javno dostopne izkustvene modele za izračun pokritosti z radijskim signalom, medtem ko modul *r.ericsson* uporablja Ericssonov model 9999, ki je uporabljen tudi v programskevem orodju TEMS: Modul je izdelan po razpoložljivih podatkih iz uporabniškega priročnika, v katerem pa model ni opisan z vsemi potrebnimi podrobnostmi, zato pride tudi do manjših razlik med rezultati izračunanimi s programskevim paketom TEMS in izdelanim modulom *r.ericsson*.

Primerjava izračunanih vrednostmi z izmerjenimi da zadovoljive rezultate. Glede na izbrane parametre so izračune vrednosti signala nekoliko nižje od izmerjenih, kar pa v primeru načrtovanja pokritja z radijskim signalom predstavlja določeno prednost, saj dobimo dejansko pokritost z radijskim signalom tudi na področjih, kjer tega nismo predvideli. Na razmerje CINR pa manjše izračunane vrednosti signala ne vplivajo, saj je vrednost CINR oblikovana kot razmerje med koristnim signalom in interferenco.

Skripta izdelana v jeziku Python omogoča enostaven izračun področji z več celicami in velikimi področji. Generirana tabel rezultatov pa omogoča enostaven izračun razmerja med signalom interferenco in šumom.

12 Literatura

- [1] M. Hata, Empirical formula for propagation loss in Land Mobile radio services, IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol. 29, no. 3, avgust 1980.
- [2] S. R. Saunders, Antennas and Propagation for Wireless communication systems.
- [3] Y.Okumura, E. Ohmori, T. Kawano, K. Fukada, Field Strength and its Variability in VHF and UHF Land-Mobile Radio Service, Review of the Electrical Communication Laboratory, Vol 16, no. 9-10, september-oktober 1968.
- [4] G. L. Stuber, Principles of mobile communications, Kluwer Academic Publishers, London 2001.
- [5] WinProp, AWE Communications, <http://www.awe-communications.com/>.
- [6] Vulcano, Siradel, <http://www.siradel.com/>.
- [7] Planet and decibel Planner (Marconi), <http://www.ericsson.com/>.
- [8] Wireless System Planning Tools: <http://www.members.shaw.ca/propagation/planning.html>.
- [9] TAP - Terrain Analysis Tool, <http://www.softwright.com/>.
- [10] CS telecom nG <http://www.atdi.com/>.
- [11] RPS - Radiowave Propagation Simulator, <http://www.radiowave-propagation-simulator.de/>.
- [12] Compile and install – instructions, http://grass.osgeo.org/wiki/Compile_and_Install.
- [13] Installing GRASS from source code, <http://grass.itc.it/grass61/source/INSTALL>.
- [14] GRASS 6 Programmer's Manual, http://download.osgeo.org/grass/grass6_progman/.
- [15] D. J. Cichon, T. Kurner, Propagation prediction models, COST 231 Final Rep., dosegljiv na: <http://www.lx.it.pt/cost231/>.
- [16] J. Walfisch, H. L. Bertoni, A Theoretical Model of UHF Propagation in Urban Environments, IEEE Trans. Antennas Propagat., Vol. 36, pp. 1788–1796, december 1988.
- [17] J. Walfisch, H. L. Bertoni, A Theoretical Model of UHF Propagation in Urban Environments, IEEE Trans. Antennas Propagat., Vol. 36, pp. 1788–1796, december 1988.
- [18] Common Format and MIME Type for Comma-Separated Values (CSV) Files, RFC 4180, okotber 2005, <http://www.rfc-editor.org/rfc/rfc4180.txt>.
- [19] (Format .MSI datotek) http://radiomobile.pelmew.nl/?The_program:Definitions:MSI.

13 Dodatek A

Primerjava izmerjenih in izračunanih vrednosti

