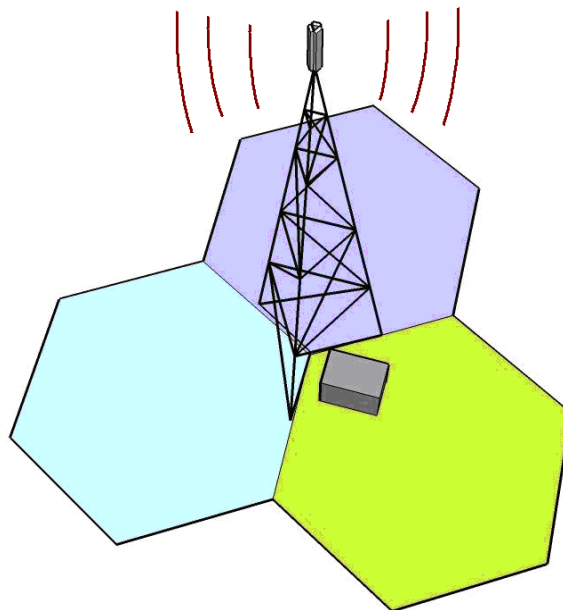


VILNIAUS UNIVERSITETAS
FIZIKOS FAKULTETAS
RADIOFIZIKOS KATEDRA
Telekomunikacijų sistemų laboratorija

Laboratorinis darbas Nr.1

**GSM bazinių stočių išdėstymo planavimas žemėlapyje,
naudojant „Cellular Expert“ programinį paketą**



Vilnius 2009

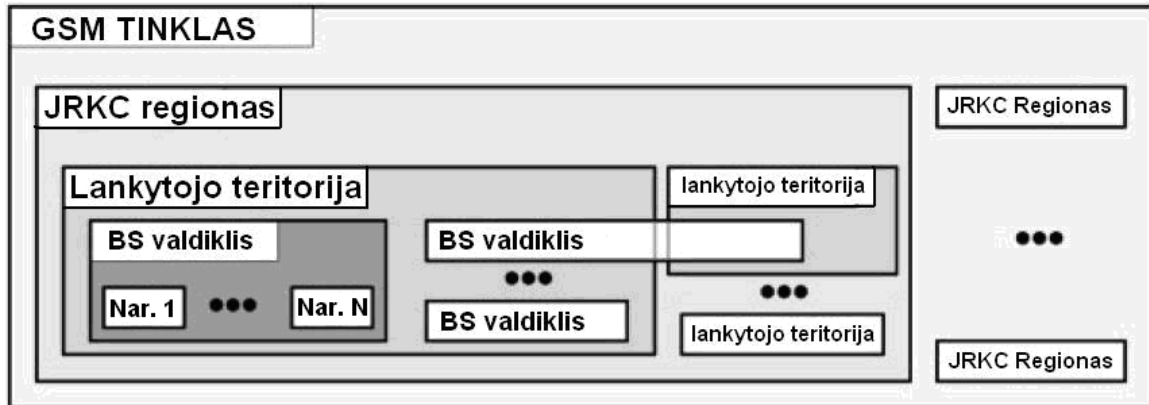
Turinys

1. Teorinis įvadas	3
1.1. GSM tinklo struktūra.....	3
1.2. GSM judriosios ir bazinės stoties blokinės schemos.....	5
1.3. Judriojo ryšio radijo kanalo slopinimas	6
1.4. Trukdžiai	9
1.5. Judriojo ryšio radijo sklidimo modeliai.....	10
1.6. Fiziniai ir dažniniai kanalai	15
1.7. Dvipusė vienalaikė veika ir prieigos tankinimas	16
1.8. Moduliacija.....	17
1.9. Antenos	18
1.10. Narveliai ir klasteriai.....	20
1.11. Tinklo apkrova	25
1.12. Bazinių stočių apjungimas į bendrą tinklą	26
1.13. GSM stočių radijo parametrai	28
2. Laboratorinis darbas „GSM bazinių stočių išdėstymo planavimas žemėlapyje“	30
2.1. Programinės įrangos ir duomenų bazės apžvalga	30
2.2. Darbo tikslas ir užduotys.....	31
2.3. Laboratorinio darbo eiga	31
Literatūros sąrašas	499

1. Teorinis įvadas

1.1. GSM tinklo struktūra

GSM turi hierarchinio tinklo struktūrą (1 pav.). Visas tinklas sudarytas iš tam tikro skaičiaus judriojo ryšio komutacijos centrų (*JRKC*), kuriems priskirti tam tikri regionai. *JRKC* regionas gali turėti kelias lankytojo teritorijas. Lankytojo teritorija sudaryta iš kelių narvelių grupių. Kiekviena narvelių grupė yra valdoma bazinės stoties valdiklio. Be to, BS valdikliui gali priklausyti narveliai ir iš kitos lankytojo teritorijos.

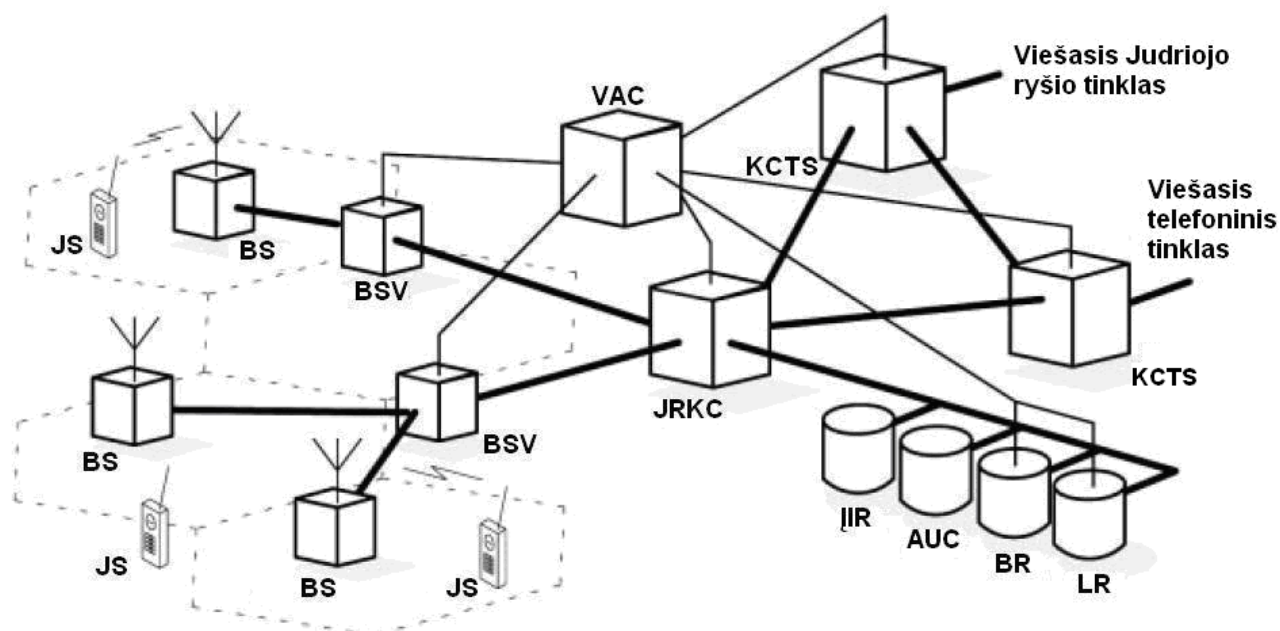


1 pav. GSM tinklo struktūra.

2 pav. pavaizduota GSM tinklo schema su pagrindiniais elementais. Akivaizdžiai matoma hierarchinė GSM tinklo konstrukcija [2].

Pagrindinės GSM judriojo ryšio sudedamosios dalys:

- a) **JS** (*MS – Mobile Station*) – judrioji stotis;
- b) **BS** (*BS – Base Station*) – bazinė stotis;
- c) **BSV** (*BSC – Base Station Controller*) – bazinės stoties valdytuvas;
- d) **JRKC** (*MSC – Mobile Switching Center*) – judriojo ryšio komutacijos centras;
- e) **VAC** (*OMC – Operation & Maintenance Center*) – valdymo ir aptarnavimo centras;
- f) **KCTS** (*ISC – International Switching Center*) – komutacijos centras- tinklų sietuvas;
- g) **KCTS** (*GMSC – Gateway MSC*) –komutacijos centras tinklų sietuvas;
- h) **IIR** (*EIR – Equipment Identity Register*) – įrangos identifikavimo registras;
- i) **AUC** (*AUC – Authentication Register*) – autentifikacijos centras;
- j) **BR** (*HLR – Home Location Register*) – buvimo registras;
- k) **LR** (*VLR – Visited Location Register*) – lankytojo registras.



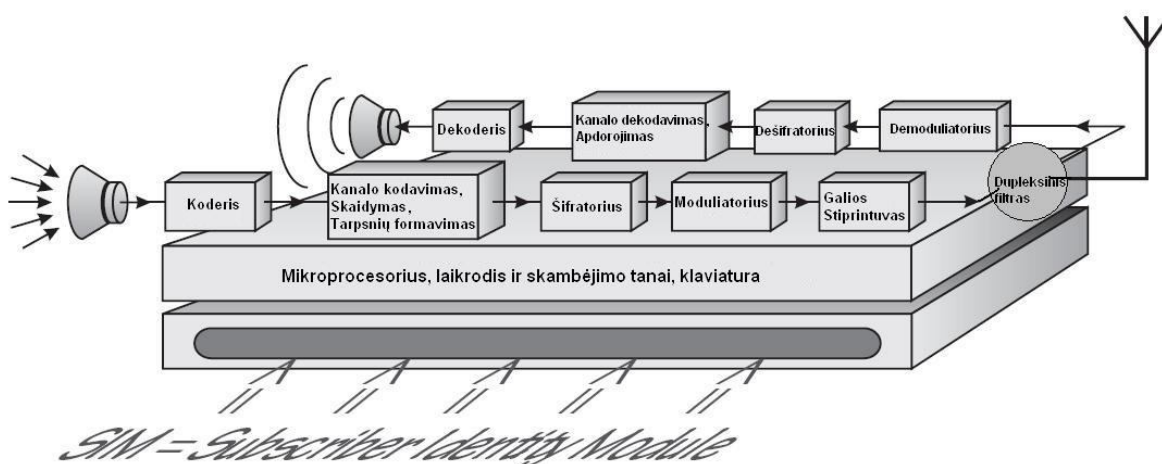
2 pav. GSM tinklo schema.

Bazinės stotys, dengdamos teritoriją radijo signalu, formuoja narvelius. Narvelis- tai vienos bazinės stoties antenos aprėpties zona. BSV gali valdyti kelias BS. JRKC komutuoja bendrą visų BS srautą ir nukreipia jį į pagrindinį tinklą, o po to į *viešojo judriojo ryšio tinklą* ir *viešąjį telefoninį tinklą*. Tinklo priežiūra, valdymas ir aptarnavimas vyksta iš *valdymo ir aptarnavimo centro*. Tinklo priežiūra ir valdymas neįmanomas be IIR, AUC, BR ir LR. *Buvimo registre* kaupiama pastovi informacija (vartotojo ryšio paslaugos informacija) ir laikinoji (vartotojo buvimo vieta). *Lankytojo registre* kaupiama informacija apie vartotoją, kuris randasi tik LR aptarnaujančiojoje teritorijoje. Ši informacija yra dalis laikinos BR informacijos. LR taip pat nustato laikiną identifikavimo informaciją. AUC generuoja kodus ir raktus saugumui užtikrinti, o IIR registruoja vartotojo įrangos duomenis [1].

1.2. GSM judriosios ir bazinės stoties blokinė schema

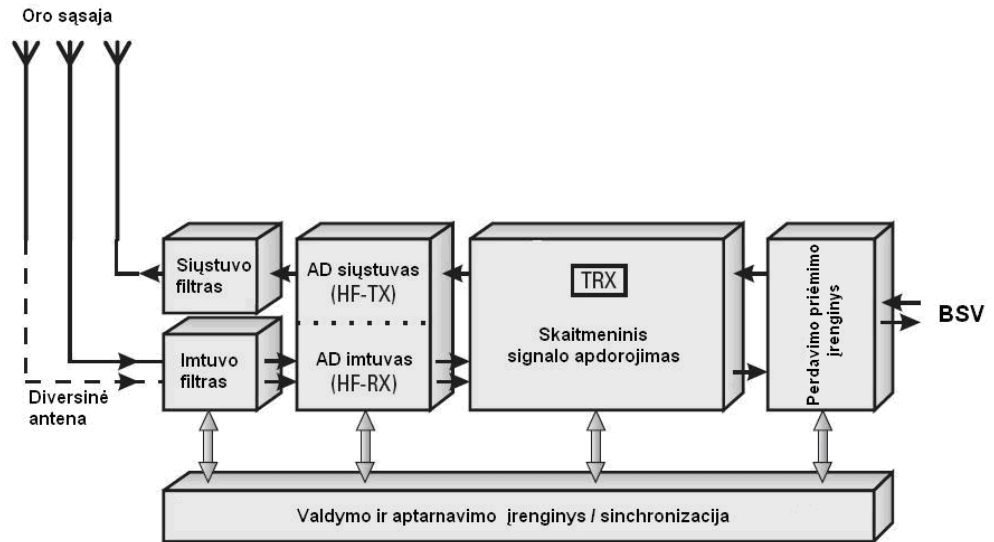
GSM judrusis telefonas yra labai sudėtingas įrenginys (3 pav.). SIM kortelė yra neatsiejama judriosios stoties dalis. Joje įrašyta vartotojo paslaugos informacija, pagal kurią BR atpažįsta savo abonentą. SIM kortelėje galimas adresų ir SMS (*Short Message Service*) kaupimas. Judrioji stotis susideda iš dviejų pagrindinių dalių: siųstuvo ir imtuvo.

JS siųstuvą sudaro elementų grandinė, kuri garso signalą paverčia elektromagnetinėmis bangomis. Iš mikrofono išeinantis analoginis signalas paverčiamas skaitmeniniu ir suspaudžiamas iki 13 kb/s. Toks veiksmas vadinamas *kalbos kodavimu*. Sekantys etapai – kanalo kodavimas, sklaidymas ir tarpsnių formavimas. Šio etapo metu vyksta procesas, kuris padeda švelninti fedingo efektą. Šifravimo metu kiekviena JS įgyja skirtingą rakto kodą. Moduliatoriuje yra naudojama **Gauso minimalioji manipuliacija** (*GMM, angl. – Gaussian minimum shift keying – GMSK*), dėl ko beveik visa signalo galia yra sutelkiama darbinėje dažnio juostoje. Po to signalas patenka į VAM maišiklį ir galios stiprintuvą. Iš galios stiprintuvo signalas patenka į juostinį filtrą. Tai labai tikslus įrenginys, kuris atskiria didelės galios siųstuvo signalą nuo palyginus silpno imtuvo signalo. Signalą atskirti padeda ir tai, kad imtuvas ir siųstuvas dirba skirtingais laiko intervalais. Imtuve procesai vyksta analogiškai, atvirkščia tvarka. Visus aukščiau aptartus įrenginius valdo mikroprocesorius.



3 pav. Judriosios stoties blokinė schema.

4 pav. pateikta GSM bazinės stoties schema. Pagal GSM rekomendaciją, vienoje BS vietoje galima talpinti iki šešiolikos bazinių stočių. Veikimo principas panašus kaip ir judriosios stoties. Bazinę stotį šiuo atveju valdo ne mikroprocesorius, o BSV. Valdymo ir aptarnavimo įrenginio pagalba nustatomi darbo kanalai, reguliuojama siųstuvo galia. Kadangi JS siųstuvo galia yra mažesnė negu BS, bazinės stoties imtuvas gali turėti diversinę anteną. Imtuvas palygina signalą priimtą iš pagrindinės ir diversinės antenų, dėl ko imtuvo jautris padidėja [4].



4 pav. GSM BS būdingoji schema.

1.3. Judriojo ryšio radijo kanalo slopinimas

Radijo signalo kelyje nuo BS iki JS vyksta daug įvairių fizikinių procesų, kurie blogina ryšio kokybę. Dėl fedingo efekto signalo lygis imtuve labai stipriai svyruoja, priklausomai nuo JS, kliūčių ir BS tarpusavio padėties (7 pav.). Jeigu signalas pasiekia imtuvą be jokių kliūčių ir į imtuvą nepatenka difragavę ar atspindėti signalai, turime vadinamąjį tiesioginio matomumo radijo kanalą, kuriame signalas silpsta tik dėl laisvos erdvės nuostolių (*angl. FSL – free Space Loss*), aprašomų išraiška:

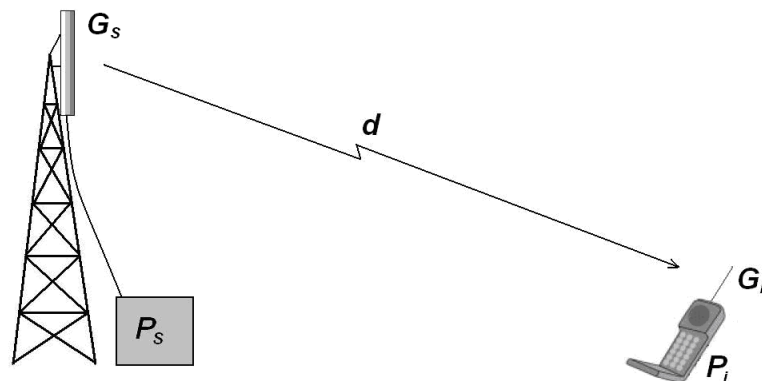
$$FSL(dB) = 32,5 + 20 \log D + 20 \log f, \quad (1)$$

kur D – atstumas nuo siųstuvo (km), f – dažnis (MHz).

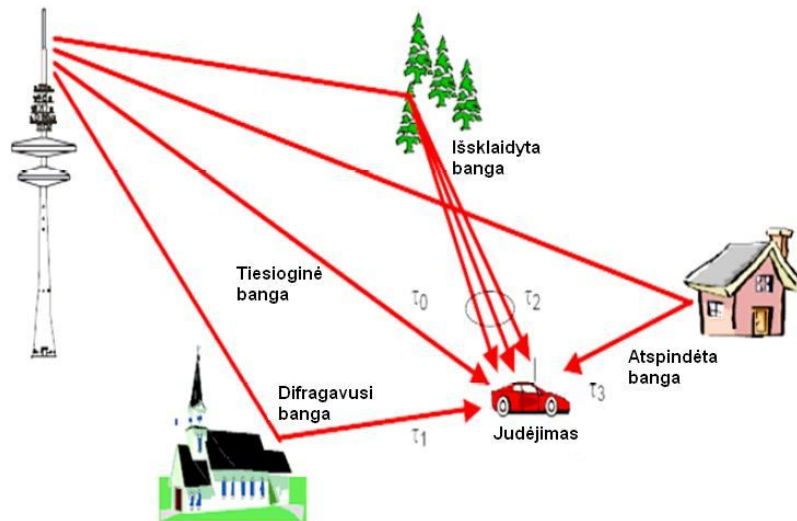
Priimtojo signalo galią imtuve galime išreikšti:

$$P_i = P_s + G_s + G_i - FSL. \quad (2)$$

Čia: P_s – BS siųstuvo galia, G_s – BS antenos stiprinimas, G_i – JS antenos stiprinimas (5 pav.)



5 pav. Tiesioginio matomumo radijo kanalas.



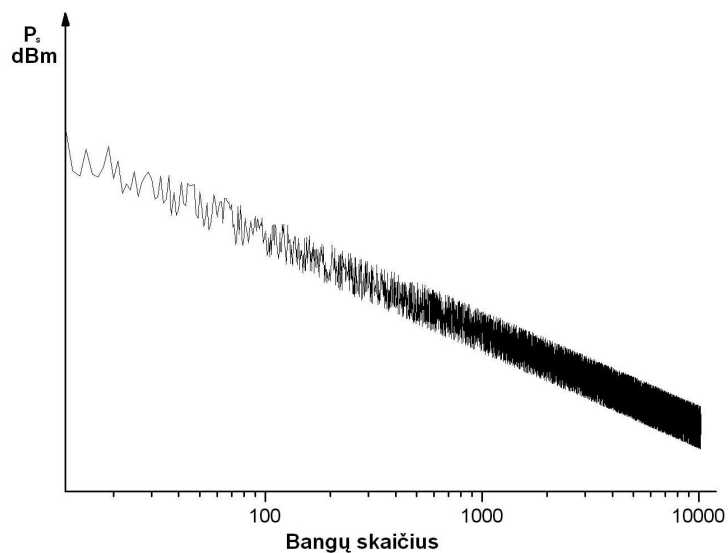
6 pav. Radijo bangų sklidimo mechanizmas.

Tačiau, kaip jau buvo minėta, JS gali priimti ne tik tiesioginių, bet ir išsklaidytą, difragavusią ir atspindėtą signalus (6 pav.), todėl priimtasis signalas yra lygus visų šitų signalų sumai:

$$E = E_0(1 + R_c e^{i\omega} + (1 - R_c)F(\bullet)e^{i\omega} + \dots) \quad (3)$$

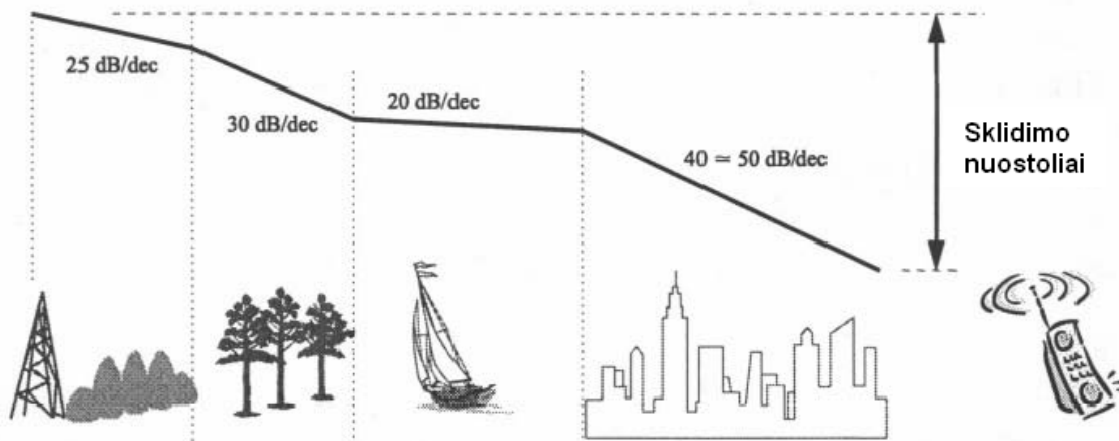
Kur E_0 signalo lygis imtuve esant sąlygai, kad yra tik FSL , R_c - atspindžio koeficientas, $F(\bullet)$ - kompleksinis paviršinių bangų slopinimas ir ω - fazės skirtumas tarp atspindėtos ir tiesioginės bangos. Aukštuosiuose dažniuose $F(\bullet) \ll 1$, todėl antrą lygtį galima supaprastinti:

$$E \approx E_0(1 + R_c e^{i\omega}) \quad (4)$$



7 pav. Priimtojo signalo galios priklausomybė nuo JS padėties.

Elektromagnetinių bangų sklidimui didelės įtakos turi augmenija, medinės bei gelžbetoninės konstrukcijos ir pan. Kuo dažnis yra didesnis, tuo kliūtys labiau slopina signalą. 8 pav. pavaizduotas GSM vidutinis statistinis signalo slopinimo grafikas, priklausomai nuo urbanizacijos regiono. Tuščioje erdvėje signalo silpimas yra proporcingas atstumo kvadratui, (t.y. decibelinėje skalėje -20 dB į dekadą.).



8 pav. Sklidimo nuostolių priklausomybė nuo urbanizacijos lygio.

Pirmoje lentelėje pateikti statistiniai nuostoliai, priklausomai nuo sklidimo aplinkos. Slopinimas dėl lietaus pasireiškia tuomet, kai bangos ilgis artėja prie lietaus lašo matmenų (slopinimas prasideda kai $F > 10\text{GHz}$). GSM atveju (900MHz) lietaus slopinimas yra tiek mažas, kad galima jo nepaisyti. Atmosferos absorbcijos taip pat galima nepaisyti (slopinimas pasireiškia virš 20GHz) [3], [9].

1 lentelė. Tipiniai nuostoliai skirtingoms sklidimo aplinkoms.

Aplinka	Slopinimas (db/dec)
Atvira vietovė	20 (FSL)
Kaimo vietovė	25
Priemiestis	30
Miestas	40
Didelis miestas	>45

Kai BS ir JS yra tiesioginio matomumo zonoje, signalo slopinimas priklauso nuo to, kiek stipriai *Frenelio zona* kerta kliūtis. Taškų, kuriuose bangos nuėjusios difrakciniu keliu fazė skiriasi nuo tiesioginės bangos fazės 180° , padėčių visuma vadinama *Frenelio zona* (8 pav.). Signalo slopinimas nepasireiškia, kai 60% pirmosios *Frenelio zonos* neliečia kliūčių ir tas dydis

vadinamas 0,6 Frenelio zonos kriterijumi. Frenelio zonos taškų geometrinė vieta brėžia elipsę, kurią galime išreikšti taip:

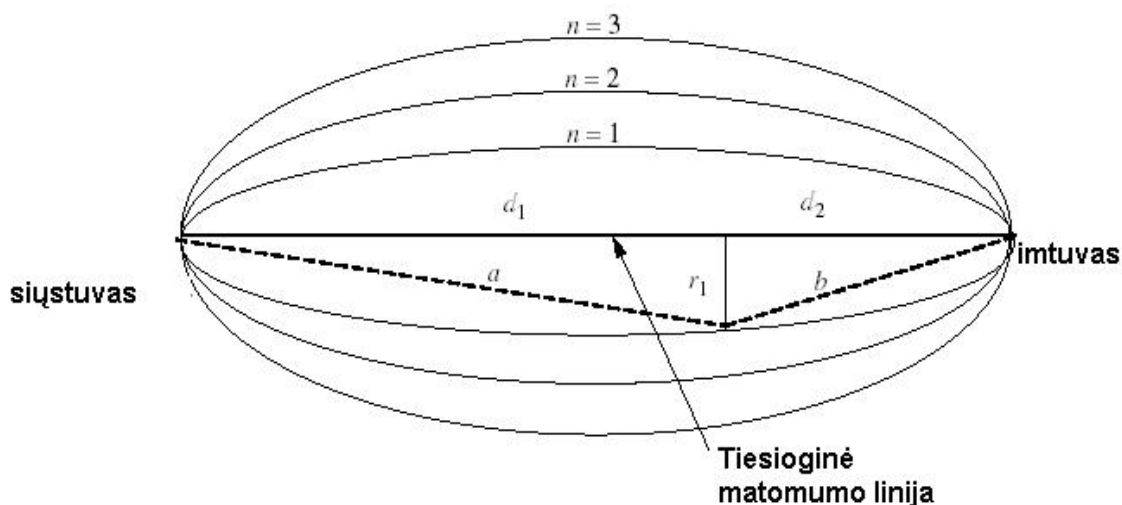
$$d_1 + d_2 + \frac{n\lambda}{2} = a + b \quad (5)$$

kur n - Frenelio zonos numeris.

Frenelio zonos plotį bet kuriame atstume galime išreikšti:

$$r_n = 17.3 \sqrt{\frac{nd_1d_2}{f(d_1 + d_2)}} \quad (6)$$

kur d_1, d_2 – atstumas (km), o f – dažnis (GHz). r_n – plotis (m).



8 pav. Frenelio zonos.

1.4. Trukdžiai

Labai aktuali problema yra sutaptinių kanalų trukdžiai. Šie trukdžiai stebimi, kai iš dviejų arba daugiau siųstuvų dirbančių tuo pačiu dažniu, signalai pasiekia imtuvą. Tokiu būdu yra mažinamas signalo-triukšmo santykis, dėl ko didėja klaidų tikimybė. Signalo-triukšmo santykis išreiškiamas taip:

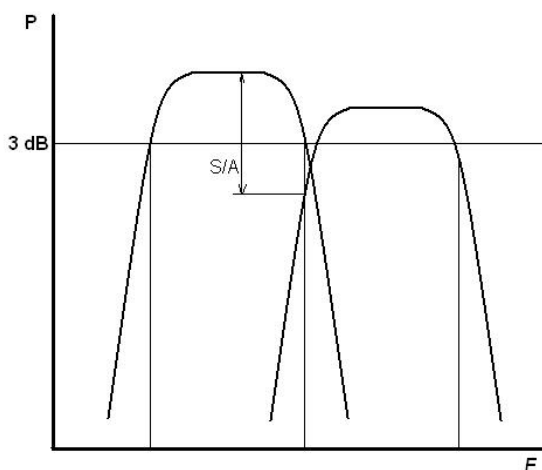
$$\frac{S}{N} = \frac{P_S}{P_N + P_I} \quad (7)$$

kur P_S, P_N ir P_I – yra atitinkamai signalo, triukšmo ir trukdžių galios. Dažniausiai triukšmo galia, palyginus su signalo ir trukdžio galiomis, yra labai maža. Tokiu atveju signalo-triukšmo santykį galima laikyti signalo-trukdžių santykiu:

$$\frac{S}{I} = \frac{P_S}{P_I} \quad (8)$$

Planuojant GSM korinį tinklą, reikia stengtis bazines stotis, dirbančias sutaptiniais kanalais, įrenginėti kuo toliau viena nuo kitos.

Stipriai paveikti signalą gali taip pat gretutinių kanalų trukdžiai (*angl. C/A – co channel interference*), jeigu siųstuvų šalinė spinduliuotė yra pakankamai žymi (9 pav.). Nors GSM atveju šalinė spinduliuotė yra gana maža, tai pačiai BS reikia priskirti dažninius kanalus, pakankamai nutolusius dažnių skalėje.



9 pav. C/A trukdžiai.

1.5. Judriojo ryšio radijo sklaidimo modeliai

Imtuvo signalo lygiui skaičiuoti buvo pasiūlyta nemažai įvairių modelių. Jie skiriasi pagal naudojamą dažnių ruožą, narvelio dydį, sklaidimo terpę, naudojamą technologiją ir t.t. Dažniausiai GSM tinklo planavimui ir sklaidimo nuostoliams (L_p) skaičiuoti yra naudojami HATA, LEE ir Walfish-Ikegami modeliai.

HATA modelis yra išplėstasis empirinis OKUMUROS modelis. Šis modelis paremtas OKUMUROS empiriniais matavimais, padarytais 1968 metais ir turi tenkinti sekančius reikalavimus:

2 lentelė. Hata modelio reikalavimai.

Dažnių ruožas	$150 \text{ MHz} \leq f_c \leq 1000 \text{ MHz}$
BS antenos aukštis	$30 \text{ m} \leq h_b \leq 200 \text{ m}$
JS aukštis	$1 \text{ m} \leq h_m \leq 10 \text{ m}$
Atstumas tarp BS ir JS	$1 \text{ km} \leq d \leq 20 \text{ km}$

$$L_P(dB) = \begin{cases} A + B \log_{10}(d) & \text{galioja miestams;} \\ A + B \log_{10}(d) - C & \text{galioja priemiesčiams;} \\ A + B \log_{10}(d) - D & \text{galioja atviroms vietovėms.} \end{cases} \quad (9)$$

kur

$$A = 69.55 + 26.16 \log_{10}(f_c) - 13.82 \log_{10}(h_b) - a(h_m),$$

$$B = 44.9 - 6.55 \log_{10}(h_b),$$

$$C = 5.4 + 2 \left[\log_{10} \left(\frac{f_c}{28} \right) \right],$$

$$D = 40.94 + 4.78 [\log_{10}(f_c)]^2 - 19.33 \log_{10}(f_c).$$

ir

$$a(h_m) = \begin{cases} [1.11 \log_{10}(f_c) - 0.7] h_m - 1.56 \log(f_c) - 0.8 & \text{vidutiniams/mažiems miestams;} \\ 3.2 [\log_{10}(11.75 h_m)]^2 - 4.97 & \text{dideliems miestams, kai } f_c \geq 400 \text{ MHz.} \end{cases}$$

LEE sklaidimo modelis taip pat paremtas empiriniais skaičiavimais. Laikoma, kad žemės paviršius yra lygus, o kai reljefas yra kalnuotas modelis duoda dideles paklaidas. Nepaisant to, šis modelis yra populiarus ir dažnai naudojamas. Vidutiniai sklaidimo nuostoliai modelyje išreiškiami taip:

$$L(d)[dB] = 10 \lg \left(L_0 \left(\frac{d_0}{d} \right)^\beta \left(\frac{f_c}{f} \right)^n \alpha_0 \right) \quad (10)$$

Čia: L_0 - signalo galia 1,6 km atstume nuo BS, β - silpimo parametras. Šie dydžiai yra empiriniai (3 lentelė). Parametras $\alpha_0 = 1$, kai:

$$f_c = 900 \text{ Mhz};$$

$$\text{BS antenos aukštis} = 30,48 \text{ m};$$

$$\text{JS antenos aukštis} = 3 \text{ m};$$

$$\text{BS siųstuvo galia} = 10 \text{ W};$$

$$\text{BS antenos stiprinimas} = 8,1 \text{ dBi};$$

$$\text{JS antenos stiprinimas} = 2,1 \text{ dBi}.$$

3 lentelė. Sklidimo nuostolių parametrai LEE modelyje.

Aplinka	L_0	β
FSL	-45	2
Atvira vietovė	-49	4,35
Priemiestis	-61,7	3,84
Miestas	-70	3,68
Didelis miestas	-84	3,05

Esant nestandartiniais parametrams (BS aukštis, JS aukštis, BS siųstuvo galia ir antenu stiprinimai) α_0 išreiškiamas lygtimi [10]:

$$\alpha_0 = \alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 \alpha_4 \alpha_5 \quad (11)$$

kur

$$\alpha_1 = \left(\frac{\text{tikras BS antenos aukštis}}{30.48} \right)^2, \quad (12)$$

$$\alpha_2 = \left(\frac{\text{tikras JS antenos aukštis}}{3} \right)^\xi, \quad (13)$$

$$\alpha_3 = \left(\frac{\text{tikra BS siųstuvo galia}}{10} \right)^2, \quad (14)$$

$$\alpha_4 = \frac{\text{tikras BS antenos stiprinimas dipolio atžvilgiu}}{4}, \quad (15)$$

$$\alpha_5 = \text{tikras JS antenos stiprinimas}. \quad (16)$$

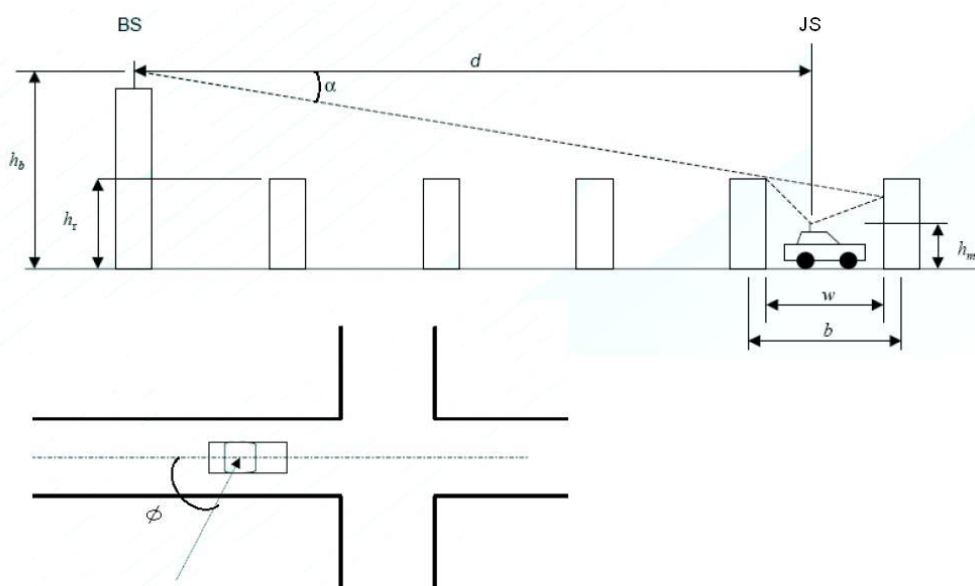
Taip pat rekomenduojama pasirinkti koeficientų vertes:

$$n = \begin{cases} 2 & \text{kai } f_c < 450 \text{ MHz} \\ 3 & \text{kai } f_c > 450 \text{ MHz} \end{cases} \quad (17)$$

$$\xi = \begin{cases} 2 & \text{kai MS aukštis } > 10 \text{ m} \\ 3 & \text{kai MS aukštis } < 3 \text{ m} \end{cases} \quad (18)$$

Walfish-Ikegami yra pusiau empirinis modelis, naudojamas skaičiavimams miestuose (mikrnavelių atveju). Modelis yra teisingas, kai dažnis yra 800÷2000 MHz. Pagrindiniai parametrai: pastatų aukštis h_r , gatvių plotis w , pastatų tankumas b ir kampas tarp gatvės ir bangos sklidimo krypties ϕ (10 pav.). Šis modelis leidžia koreguoti sklidimo nuostolius. Taip pat

leidžia skaičiuoti signalo lygį kai nuotolis iki BS $d > 20$ m, tuo tarpu, kai HATA modelio atveju – $d > 1$ km.



10 pav. Parametrai naudojami Walfish-Ikegami modelyje.

Esant tiesioginiam matomumui:

$$L[dB] = 42.6 + 26 \lg d[km] + 20 \lg f[MHz] \quad \text{kai } d \geq 0,020 \text{ km} \quad (19)$$

Nesant tiesioginio matomumo:

$$L = FSL + L_s + L_m \quad (20)$$

Kur L_s yra difrakcijos nuo namų stogų nuostoliai, L_m - multidifrakcijos nuostoliai.

$$L_s = -16.9 - 10 \lg w + 10 \lg f + 20 \lg(h_r - h_m) + L_{kr}, \quad \text{kai } h_r > h_m \quad (21)$$

L_{kr} - radijo sklaidimo krypties nuostoliai (4 lentelė).

4 lentelė. Radijo sklaidimo krypties nuostoliai.

L_{kr}	Kampas ϕ
$-10 + 0.354\phi$	$0 \leq \phi < 35^\circ$
$2.5 + 0.075(\phi - 35)$	$35^\circ \leq \phi < 55^\circ$
$4.0 - 0.114(\phi - 55)$	$55^\circ \leq \phi \leq 90^\circ$

$$L_m = L_{bsh} + k_a + k_d \lg d + k_f \lg f - 9 \lg b \quad (22)$$

Kur

$L_{bsh} = -18 \lg(1 + h_b - h_r)$	$h_b > h_r$
$L_{bsh} = 0$	$h_b \leq h_r$
$k_a = 54$	$h_b > h_r$
$k_a = 54 - 0.8(h_b - h_r)$	$d \geq 0.5$ ir $h_b \leq h_r$
$k_a = 54 - 0.8(h_b - h_r)(d/0.5)$	$d < 0.5$ ir $h_b \leq h_r$
$k_d = 18$	$h_b > h_r$
$k_d = 18 - 15(h_b - h_r)/h_r$	$h_b \leq h_r$
$k_f = -4 + 0.7(f/925 - 1)$	mažiams miestams ir priemiesčiams su medžiais gatvėse
$k_f = -4 + 1.5(f/925 - 1)$	dideliems miestams

Kai pastatų ir kelių struktūra yra neaiški, rekomenduojama naudoti šiuos parametrus:

$$b = 20 \dots 50m$$

$$w = b/2$$

$$h_r = 3(\text{aukštų skaičius}) + \text{stogo aukštis}$$

$$\phi = 90^\circ$$

Modelis yra naudojamas tik jei yra tenkinamos sekančios sąlygos [12]:

$$f = 800 \dots 2000MHz$$

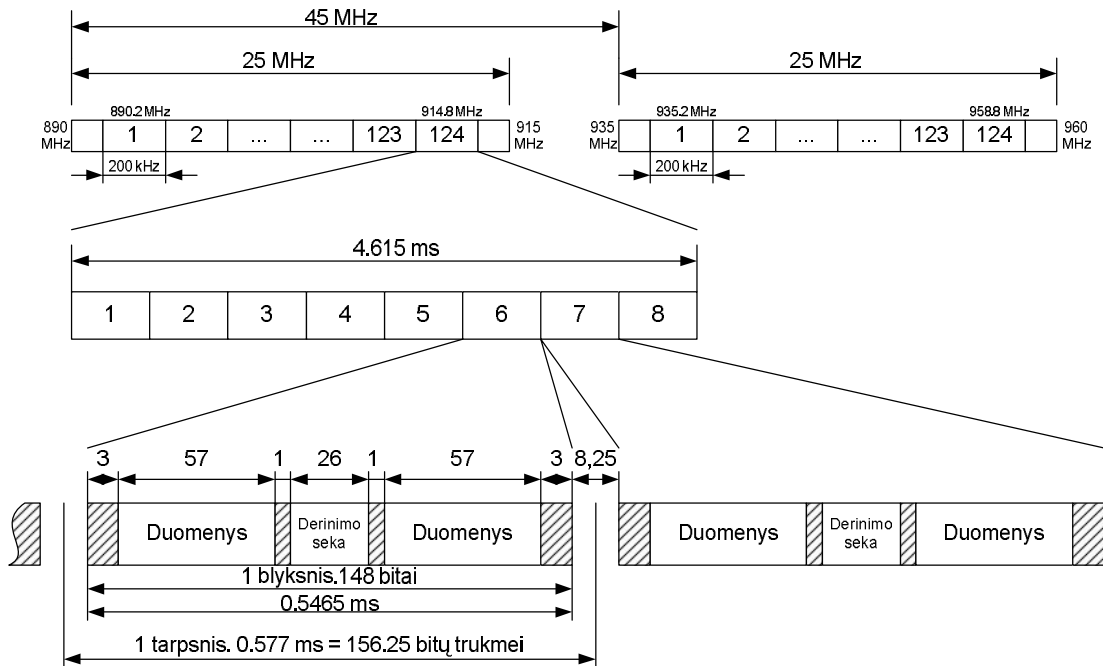
$$h_b = 4 \dots 50m$$

$$h_m = 1 \dots 3m$$

$$d = 0.02 \dots 5km$$

1.6. Fiziniai ir dažniniai kanalai

Kaip jau buvo minėta, GSM-900 naudoja 900 MHz dažnių ruožą (11 pav.). Viso ruožo juostos plotis yra 25 MHz dvipusėje viena laikėje veikoje (890 – 915 MHz ryšio aukštyn ir 935 – 960 MHz ryšio žemyn). Dažninio kanalo juostos plotis yra 200 kHz, taigi visame ruože telpa 124 dvipusiai viena laikiai kanalai. Likę 200 kHz yra paliekami atskirti GSM kanalus nuo kitų sistemų, dirbančių kitose dažnių juostose. Dvipusės viena laikės veikos tarpas (dažnio skirtumas tarp dvipusio viena laikio kanalo ryšio žemyn ir ryšio aukštyn) yra 45 MHz.

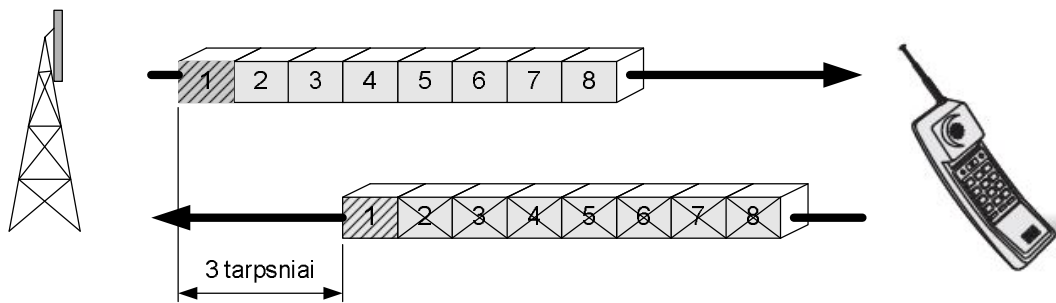


11 pav. Fiziniai ir dažniniai kanalai, tarpsnis ir normalusis blyksnis.

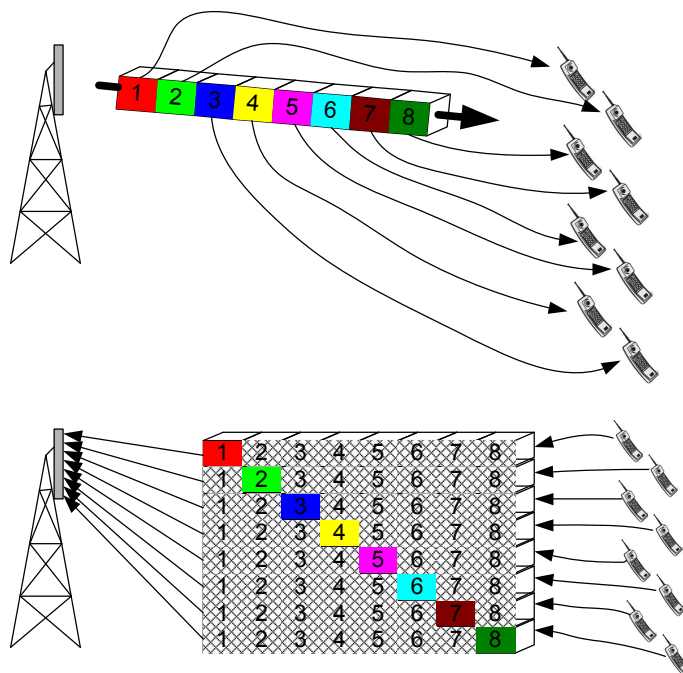
Viename dažniniame kanale telpa aštuoni fiziniai kanalai (susieti su konkrečiais laiko tarpsniais), kurie iš bazinės stoties yra išsiunčiami nuosekliai vienas po kito. Vieno tarpsnio trukmė yra 0,577 ms, kas atitinka 156,25 bitų trukmę. Tarpsnyje telpa vienas blyksnis, kurį sudaro 148 bitai: 34 bitai tai derinimo seka ir tinklo sinchronizacija, o 114 bitų – duomenys. Į 114 duomenų bitus įeina naudinga ir klaidų kodavimo informacija. Tarp blyksnių yra 8,25 bitų trukmės saugos periodas, kuris padeda apsaugoti nuo kryžminių tarpsnis-tarpsnis trukdžių. Kadangi vartotojo duomenų sparta GSM tinkle yra 9,6 kbps, naudingos informacijos tarpsnyje yra tik 44,3 bitų. Taigi abonentų informacija sudaro tik trečdali visos perduodamos informacijos [1].

1.7. Dvipusė vienalaikė veika ir prieigos tankinimas

GSM-900 dirba dažninio tankinimo dvipusėje vienalaikėje veikoje (angl. *FDD – Frequency division duplex*). Be to, kad sumažinti siųstuvo keliamus trukdžius imtuvui tarp ryšio aukštyn ir ryšio žemyn tarpsnių yra trijų tarpsnių trukmės (1.731 ms) užlaikymas (12 pav.). BS vienas po kito išsiunčia tarpsnius ir pokalbio metu vienas iš jų yra priskiriamas konkrečiai judriajai stotiai. Taigi JS priima tik vieną iš galimų aštuonių blyksnių. Ryšio aukštyn principas: JS tam tikru, griežtai nustatytu laiku, išsiunčia vieną blyksnį (13 pav.), o likusį septinis tarpsnius siųstuvai „tyli“. Toks tankinimo būdas vadinasi *laikinis prieigos tankinimas* (angl. *TDMA – Time Division Multiple Access*). Nors JS gauna ir išsiunčia duomenys tik kas 4,615 ms, to pilnai užtenka balsui ir trumpoms žinutėms (angl. *SMS – Short Messaging Service*) perduoti. Tačiau vienu dažniniu kanalu galima aptarnauti tik aštuonias judriąsias stotis vienu metu, todėl viena BS turi keletą dažninių kanalų. Po pirmojo tarpsnio perdavimo, sekantis perduodamas jau kitu dažniniu kanalu. Šis vyksmas vadinamas dažnio šuoliavimu (angl. *Frequency Hopping*). Dažnio šuoliavimas mažina sutaptinių kanalų trukdžius ir padidina signalo ir trukdžio santykį 3 dB [9].



12 pav. Dažnio dalijimo dvipusės vienalaikės veikos schema.

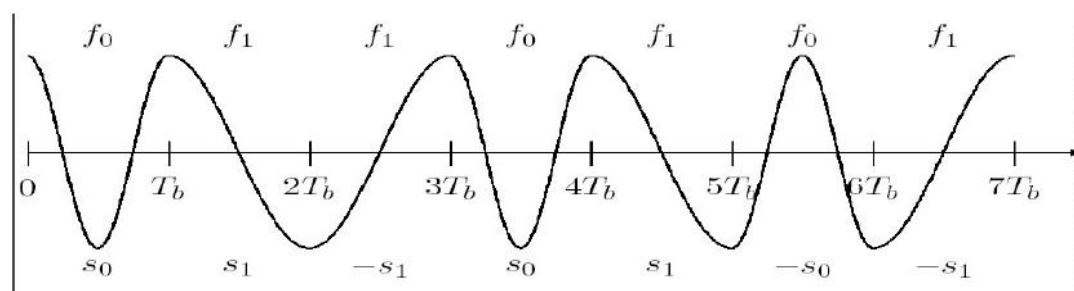


13 pav. Laikinis prieigos tankinimas.

Jeigu abonentas skambina tuo metu, kai nėra nei vieno laisvo fizinio kanalo, jis gauna informaciją apie tinklo užimtumą. Gavus šį pranešimą, skambutis yra atmetamas. Po atmetimo tinklas pamiršta apie mėginimą prisiskambinti, tai reiškia, kad kai tam tikru momentu atsilaisvina fizinis kanalas, abonentas negauna jokios informacijos apie skambučio galimybę [2].

1.8. Moduliacija

GSM judriajame ryšyje yra naudojama *Gauso minimalioji manipuliacija* (angl. *GMSK – Gaussian Minimum Shift Keying*). Ši manipuliacija yra *minimaliosios manipuliacijos (MSK)* modifikacija. Todėl iš pradžių verta aptarti minimaliosios manipuliacijos veikimo principus. MSK yra *tolydžiosios fazės dvilygė dažnio manipuliacija* (angl. *CPFSK – Continuous phase – frequency shift keying*). Tai reiškia, kad priklausomai nuo loginės būsenos keičiasi dažnis, bet fazė yra tolydi (14 pav.). Tolydžiosios fazės moduliacijos spektrinis efektyvumas (gebėjimas sutelkti signalo energiją pagrindinėje spektro dalyje) yra žymiai didesnis negu moduliacijų su fazės trūkiais (14 pav.).

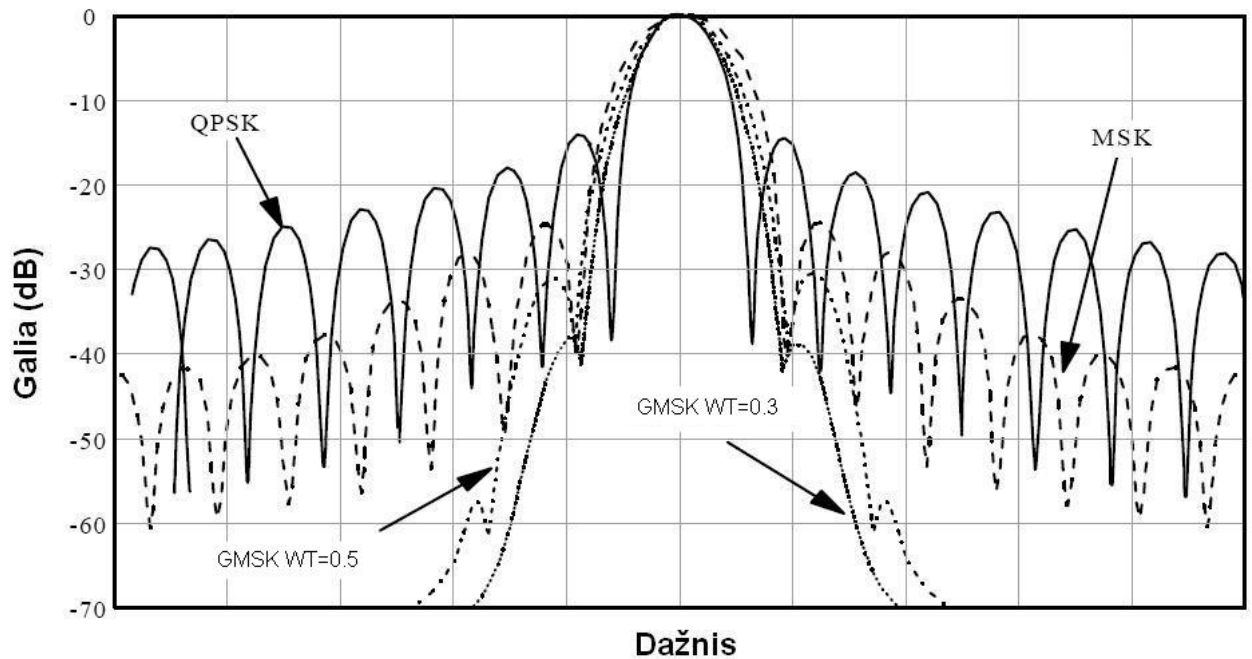


14 pav. Minimaliosios manipuliacijos signalo pavyzdys.

Šiuo atveju galimos tik dvi dažnio vertės f_0 ir f_1 atitinkančios logines „0“ arba „1“ būsenas.

$$S_0(t) = \sqrt{\frac{2E_b}{T_b}} \cos(2\pi f_0 t + \theta(0)), \text{ kur } 0 \leq t \leq T_b \quad (23)$$

$$S_1(t) = \sqrt{\frac{2E_b}{T_b}} \cos(2\pi f_1 t + \theta(0)), \text{ kur } 0 \leq t \leq T_b \quad (24)$$



15 pav. GMSK, MSK ir QPSK signalų spektrai.

E_b - bito energija, T_b - bito trukmė. $\theta(0)$ yra tolydžioji fazė, dar vadinama atminties faze, kadangi įsimena prieš tai buvusio simbolio fazę. Kito simbolio fazė prasideda nuo praeito simbolio pabaigos be fazės trūkio. $\theta(0)$ gali įgyti $-\pi$ arba $+\pi$ vertę.

GMSK moduliacija gaunama, kai prieš MSK moduliatorių yra patalpinamas filtras, turintis Gauso varpo formos atsaką. Kaip matyti iš 15 pav., moduluoto signalo spektre beveik nėra šoninių lapelių. Taigi, sistema naudojanti GMSK pasižymi mažais gretimųjų kanalų trukdžiais. Signalą formą filtro išėjime galima išreikšti taip:

$$g(t) = \frac{1}{2} \left[\operatorname{erfc} \left(\pi \sqrt{\frac{2}{\ln 2}} WT \left(\frac{t}{T} - \frac{1}{2} \right) \right) - \operatorname{erfc} \left(\pi \sqrt{\frac{2}{\ln 2}} WT \left(\frac{t}{T} + \frac{1}{2} \right) \right) \right] \quad (25)$$

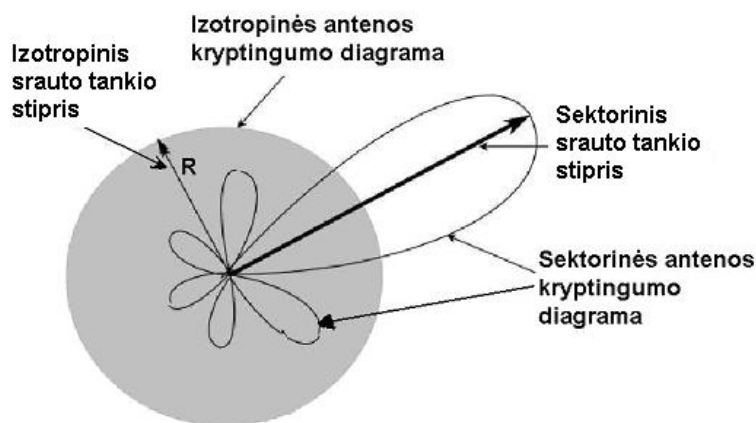
WT – **juosta-laikas** (W – Gauso filtro juostos plotis, T – bito trukmė). Nuo šio parametro priklauso spektro forma (15 pav.). Kai WT yra daug mažesnis už vienetą (juostos plotis yra daug didesnis už signalo spartą), filtras praleidžia neiškraipytą stačiakampį impulsą. Mažėjant juostos pločiui, spektras išplinta, o jo viršūnė suapvalėja. Staigus galios sumažėjimas spektro šoninėse lapeliuose parodo geras signalo charakteristikas. Visa tai ir nulėmė GMSK taikymą GSM judriojo ryšio sistemoje [6], [9], [11].

1.9. Antenos

Antena – įrenginys priimantis arba siunčiantis elektromagnetines bangas. Pagrindiniai antenos parametrai tai matmenys, spinduliavimo diagrama (kryptingumas), stiprinimas, poliarizacija ir darbinių dažnių ruožas. Pagal savo spinduliavimo diagramas antenos skirstomos į

visakryptines, sektorines ir kryptines. *Antenos stiprinimas (Gain)* parodo antenos kuriamą srauto tankį tiriamajame erdvės taške, lyginant jį su izotropinės (išreiškiamas dBi vienetais), arba dipolinės (išreiškiamas dBd) antenų kuriamu srauto tankiu tame pačiame erdvės taške, kai žadinančio siųstuvo galia abiem atvejais yra ta pati. Antenos stiprinimas tai gebėjimas sukcentruoti spinduliuojamą energiją tam tikra kryptimi (16 pav.). Kaip įrenginys antena signalo nestiprina.

$$GAIN = 10 \log_{10} \frac{P_{Sek}}{P_{Iz}} \quad (26)$$



16 pav. Sektorinės ir izotropinės antenos kryptingumo diagramos.

Antenos stiprinimas didėja mažėjant antenos spinduliavimo kampų dydžiams. Antenos sektorius- tai kampas horizontalioje plokštumoje, kuriame spinduliuojamas galios srauto tankis yra nemažesnis, negu -3 dB maksimalaus srauto atžvilgiu. GSM bazinėse stotyse dažniausiai yra naudojamos sektorinės 120⁰ antenos, kadangi trys tokios antenos sudaro 360⁰ laipsnių kampą. Vietovėse su mažu gyventojų tankumu yra svarbu padaryti kuo didesnę signalo aprėpties zoną. Tam yra naudojamos didelio stiprinimo panelinės antenos (18 dBi). Tokios antenos yra pakankamai didelės (1,5 – 2,5 m), šoniniai spinduliavimo diagramos lapeliai labai maži ir siauras vertikalus spinduliavimo diagramos kampas. Miestuose taip pat naudojamos 120⁰ antenos, bet su mažu stiprinimu ir didelio pločio vertikaliu lapeliu (apie 45⁰). Didžiuosiuose prekybos centruose, sporto ir koncertų rūmuose naudojamos visakryptinės antenos. Judriosiose stotyse naudojamos visakryptinės arba 180⁰ antenos, bet pagrindinis lapelis yra nukreiptas nuo žmogaus galvos.

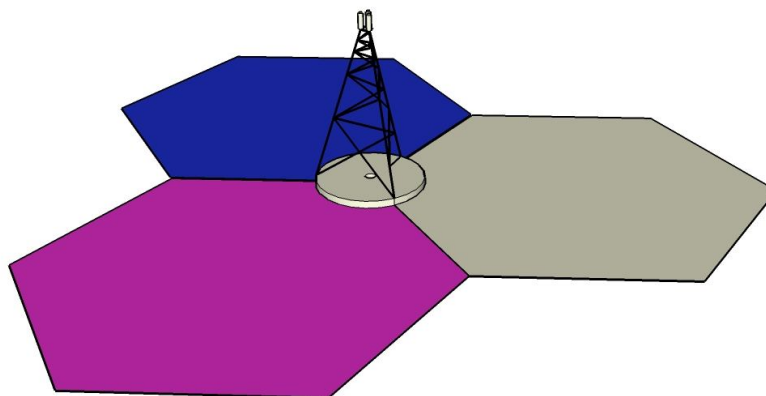
Praktiškai visos GSM naudojamos antenos yra vertikalios poliarizacijos. Vertikaliai poliarizuoto signalo sklidimas yra žymiai geresnis negu horizontaliai poliarizuoto. Aplinkoje yra žymiai daugiau vertikalų objektų, nuo kurių bangos gali atsispindėti. Taip pat vertikaliosios poliarizacijos antenų gamyba yra paprastesnė, o tai reiškia, kad ir kaina yra mažesnė.

Ryšio kokybei pagerinti dažnai naudojamos erdvės diversijos (erdvinio įvaisinimo) antenos (*angl. Space Diversity antenna*). Kadangi bazinės stoties siųstuvo galia visada yra didesnė nei judriosios stoties, tai ryšis žemyn yra ir taip gana patikimas. Taigi erdvės diversija yra naudojama tik ryšiui aukštyn. Signalas yra priimamas dviejų antenų (pagrindinės ir diversinės), palyginamas naudojant įvairias matematinės funkcijas ir susumuojamas. Diversijos dėka priimamo signalo signalo/triukšmo faktorius pagerėja nuo 3 iki 6 dB. Diversinė antena bokšte talpinama pastumta pagal horizontalę pagrindinės antenos atžvilgiu. Kuo narvelis yra mažesnis, tuo atstumas tarp antenų mažesnis: vidiniams narveliams pastumiama $1 - 4\lambda$, miestuose $7 - 10\lambda$, o kaimo vietovėse $10 - 15\lambda$.

Labai svarbu yra antenos nukreipimas žemyn. Yra antenų su elektriniu nukreipimu. Jas galima kabinti griežtai 90^0 kampu horizontalės atžvilgiu, o jų spinduliavimo diagrama vis tiek yra nukreipta žemyn reikiamu kampu. Tačiau tokios antenos retai naudojamos praktikoje dėl didelės kainos. Todėl dažniau naudojamos antenos su mechaniniu nukreipimu. Tokia antena mechaniškai nukreipiama tokiu kampu, kad visa spinduliavimo energija patektų į reikiamo radiuso aprėpties zoną [6].

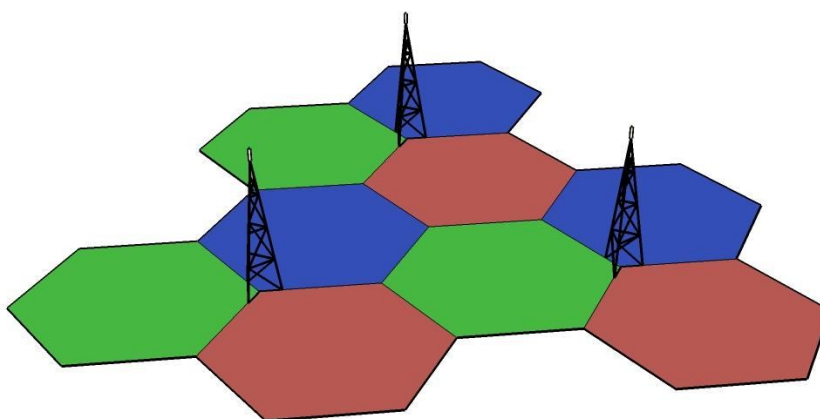
1.10. Narveliai ir klasteriai

Narvelis- tai mažiausias judriojo ryšio geografinis regionas, kurį aptarnauja dažniausiai viena bazinė stotis. Visa GSM tinklo teritorija yra sudaryta iš didesnių arba mažesnių narvelių. Narvelio matmenys priklauso nuo jame esančio vartotojų tankio. Kuo daugiau yra vartotojų, tuo mažesnis turi būti narvelis, kitaip neužtektų bazinės stoties fizinių kanalų. Patogiausia laikyti, kad narvelis yra šešiakampio formos, kadangi šios figūros sudedamos tarpusavyje, nepaliekant „baltų“ dėmių. Kaip jau buvo minėta, viena bazinių stočių vieta dažniausiai turi tris BS, atitinkamai jai priklauso trys narveliai (17 pav.). Taigi narvelių kiekis negali būti didesnis negu bazinių stočių kiekis.



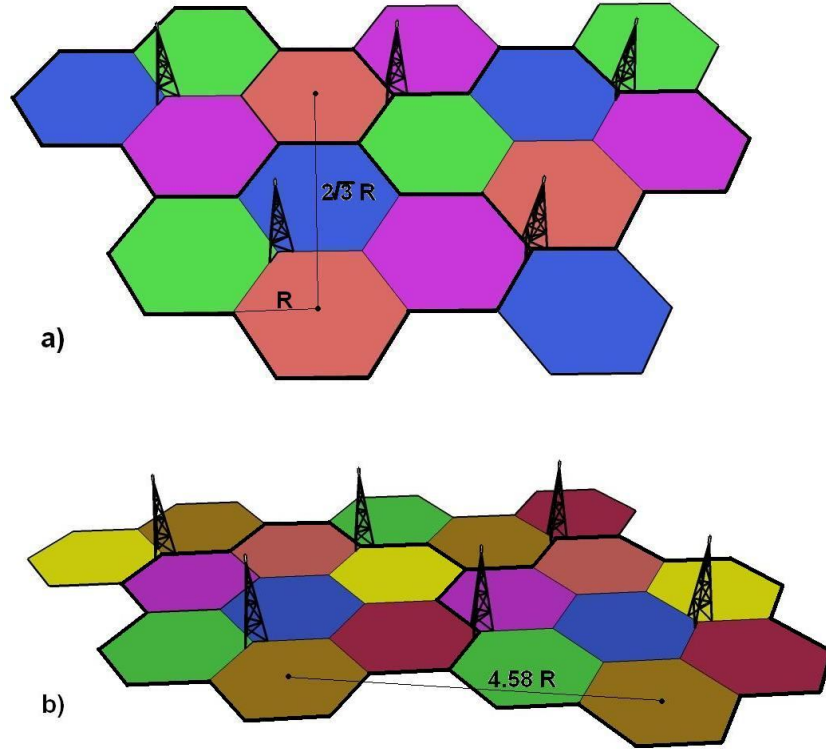
17 pav. Trys narveliai.

17 pav. pavaizduoti narveliai būtinai turi veikti skirtingais dažniais. Kaip jau buvo minėta, narveliai dirbantys tuo pačiu dažniu turi būti kuo toliau nutolę vienas nuo kito. Todėl stengiamasi daryti kuo daugiau narvelių, dirbančių skirtingais dažniais, tačiau narvelių išdėstymas turi būti periodinis. Narveliai su skirtingais dažniais yra grupuojami, šios grupės taip pat išdėstomos periodiškai. Didžiausia narvelių grupė, kurioje dažniai nesikartoja, vadinama klasteriu. Trijų narvelių klasteriai pavaizduoti 18 pav.



18 pav. Trijų narvelių klasteriai.

Kuo daugiau narvelių klasteryje, tuo mažesnis sutaptinių kanalų trukdžių poveikis, nes atstumas tarp sutaptinių narvelių didėja. 19 pav. pavaizduota, kaip atrodo keturių ir septinių narvelių klasteriai.



19 pav. a) Keturių narvelių klasteriai, b) septynių narvelių klasteriai.

Atstumas tarp sutaptinių narvelių išreiškiamas lygtimi:

$$D = R\sqrt{3k}, \quad (27)$$

kur k – narvelių skaičius klasteryje, R – narvelio spindulys.

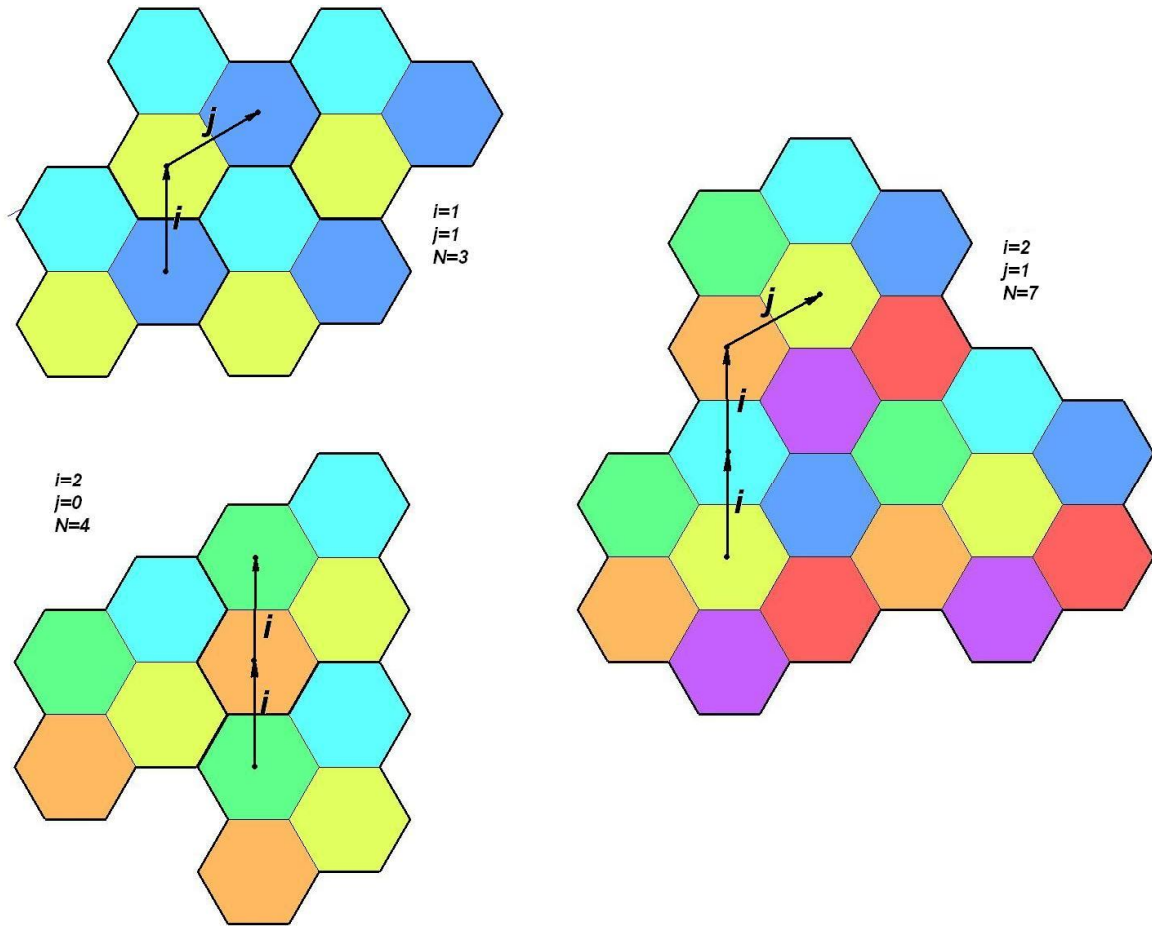
Tuo tarpu sutaptinių kanalų trukdžiai (SKT) išreiškiami taip:

$$W = \frac{R^{-\gamma}}{6D^{-\gamma}} = \frac{R^{-\gamma}}{6(R\sqrt{3k})^{-\gamma}} = \frac{1}{6}(3k)^{\gamma/2}. \quad (28)$$

Norint užtikrinti gerą pokalbio kokybę, SKT turi būti ne mažesni, nei 18 dB. Turint šią vertę, galima paskaičiuoti, kiek narvelių turi turėti klasteris. Laikome, kad silpimo parametras $\gamma = 4$.

$$10 \log W \geq 18 \text{ dB}, \quad W \geq 63.1 \Rightarrow D \approx 4.4R \Rightarrow k \geq 6.5 \Rightarrow k = 7 \quad (29)$$

Taigi naudingiausia yra naudoti septinių narvelių klasterius. Kiekvieną klasterį yra patogiu apibrėžti i ir j parametrais, kurie reiškia translaciųjų $\sqrt{3}R$ skaičių i ir j kryptimis. Tarp i ir j translaciųjų kampas yra 60° . 20 pav. pavaizduotos translaciųjų skaičiavimo schemos [7].



20 pav. i ir j translacijų skaičiavimo schemas.

Atstumą tarp sutaptinių narvelių centrų galima suskaičiuoti, pasinaudojant translacijomis:

$$D_k = R\sqrt{3(i^2 + j^2 + ij)} \quad (30)$$

Žinant atstumą tarp sutaptinių narvelių centrų, nesunku apskaičiuoti klasterio plotą:

$$S_{cl} = \frac{6}{\sqrt{3}} \frac{D_k^2}{4} = \frac{3}{2} \sqrt{3} R^2 (i^2 + j^2 + ij) \quad (31)$$

Narvelių kiekis klasteryje išreiškiamas:

$$N = (i^2 + j^2 + ij) \quad (32)$$

Žinant aukščiau pateiktus parametrus, nesunkai randami sutaptinių kanalų trukdžiai:

$$\frac{S}{I} = \frac{1}{6} \left(\frac{D_k}{R} \right)^2 = \frac{1}{6} (3N)^{2/3} = \frac{1}{6} (3(i^2 + j^2 + ij))^{2/3} \quad (33)$$

Ši formulė galioja kai narvelių skaičius yra nemažesnis negu septyni ir JS randasi narvelio pakrašty.

5 lentelė. Pagrindiniai klasterių parametrai.

i	j	N	S_{cl}	D_k	SKT , dB
1	0	1	$2.60 R^2$	$1.73 R$	0

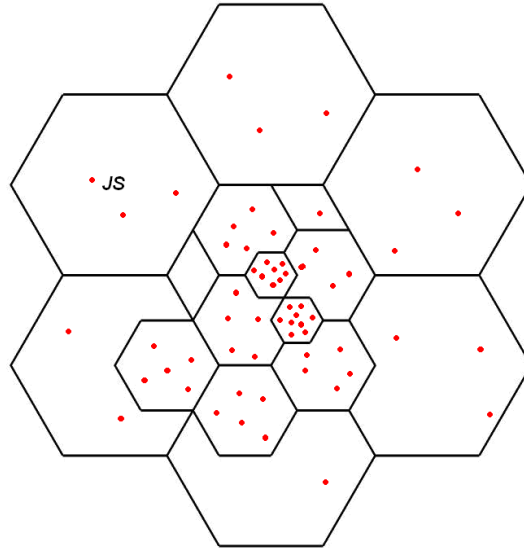
1	1	3	7.79 R ²	3.00 R	16.1
2	0	4	10.39 R ²	3.46 R	16.8
2	1	7	18.19 R ²	4.58 R	18.7
3	0	9	23.38 R ²	5.20 R	19.6
2	2	12	31.18 R ²	6.00 R	20.7
3	1	13	33.77 R ²	6.24 R	21

Prieš tai buvo daryta prielaida, kad narveliai yra vienodo dydžio, tačiau taip išdėstyti narvelius realiose sąlygose beveik neįmanoma, kadangi judriųjų stočių pasiskirstymas teritorijoje yra labai skirtingas (21 pav.). Šeštoje lentelėje pavaizduota, kaip priklauso narvelio matmuo nuo tam tikros aplinkos. Kuo mažesnis narvelis, tuo atitinkamai mažesnė siųstuvo galia. Galia reguliuojama automatiškai (*angl. APC – Automatic Power Control*). Dar prieš pasigirstant skambučiui, BS ir JS sureguliuoja savo siųstuvų galias. Kadangi signalo lygis JS nėra pastovus laiko ir padėties atžvilgiu, išėjimo galią pokalbio metu taip pat reguliuoja APC.

6 lentelė. Narvelio dydis, priklausomai nuo abonentų tankio.

Aplinka	Narvelio skersmuo, <i>km</i>
Tankiai apgyvendintas miestas	0,73
Miestas	2,51
Priemiestis	3,21
Kaimo vietovė	6,36

Kai abonentas yra dviejų narvelių riboje, jis priima abu apytiksliai vienodos galios signalus. Tarkime abonentas randasi A narvelyje, bet netoli B narvelio krašto. JS aptarnauja bazinė stotis A, kadangi priimamo signalo lygis iš A stoties yra didesnis negu iš B stoties. Kai JS pasiekia narvelių ribą, signalai susilygina, tačiau JS aptarnauja vis tiek A bazinė stotis. Tikrai, kai esant B narvelyje, B bazinės stoties signalas tampa pakankamai stipresnis už A stoties signalą, JS pradeda aptarnauti B stotis. Aprašytasis vyksmas vadinamas roamingu [2].



21 pav. Įvairių diametrų narvelių išdėstymas teritorijoje.

1.11. Tinklo apkrova

GSM operatoriams labai svarbu tinkamai administruoti ir iš anksto planuoti galimas tinklo apkrovas. Dėl per didelės apkrovos abonentai negali prisiskambinti, dėl ko gali kilti jų nepasitenkinimas. Reikia tiksliai įvertinti, kiek klientų tam tikru momentu tam tikrame narvelyje užims kanalus ir kokia tikimybė, kad skambutis bus atmestas dėl kanalų stokos. Įvedama blokavimo tikimybė $p(B)$ ir apkrovos intensyvumas A :

$$p(B) = \frac{\lambda_p}{\lambda}, \quad A = \tau\lambda, \quad (34)$$

kur λ - visų paraiškų sparta, λ_p - prarastų paraiškų sparta, τ - vidutinė pokalbio trukmė.

Blokavimo tikimybė apibudina tinklo kokybę. Erlango formulė blokavimo tikimybei:

$$p(B) = \frac{\left(\frac{A^N}{N!}\right)}{\sum_{k=0}^N \frac{A^k}{k!}}. \quad (35)$$

Čia $k=1,2,3 \dots, N$ - kanalų kiekis. Kai $N A \geq N$, dalis paraiškų yra blokuojama.

Apkrovos intensyvumo matavimo vienetas yra [ERL] (pavadintas matematiko Erlango garbei). Vienas Erlangas- tai vieno fizinio kanalo užimtumas vieną valandą. Vartotojas, kalbėdamas telefonu vieną valandą, apkrauna tinklą vienu Erlangu. Visa apkrova skaičiuojama, naudojant statistinius duomenis. Apkrovimas labai priklauso nuo paros meto. Naktį, anksti ryte ir vėlai vakare tinklas yra mažai apkrautas. Statistiniais duomenimis, vartotojas skambina vidutiniškai du kartus per valandą, o vidutinė pokalbio trukmė 3 min. Taigi vartotojas apkrauna tinklą 0,1 ERL. Vieno dažninio kanalo talpa yra 8 ERL. Teoriškai vienu dažniniu kanalu galima aptarnauti iki 80 abonentų. Tačiau šie skaičiavimai būtų teisingi, jeigu skambučiai vyktų vienas

po kito ir vienu metu skambintų lygiai aštuoni abonentai. Realiai, skambučio atmetimo tikimybė yra labai didelė kai tinklas labai apkrautas. Tam buvo sukurta ERLANG-B lentelė, kuri parodo apkrovos intensyvumus įvairiems kanalų kiekiams, esant fiksuotoms blokavimo tikimybėms (7 lentelė). Ši lentelė yra neatsiejamas GSM operatorių įrankis. Didelę reikšmę turi kanalo panaudos efektyvumas. Jis yra susietas su blokavimo tikimybė:

$$\eta = \frac{A_r}{N} = \frac{A(1 - p(B))}{N} \quad (36)$$

A_r - realusis apkrovos intensyvumas, N – ribinis tinklo apkrovos intensyvumas. Labai svarbu, kad η neviršytų vieneto. Didinti kanalo panaudos intensyvumą galima didinant blokavimo tikimybę arba didinant kanalų kiekį narvelyje. Tačiau visus aukščiau aptartus parametrus nuspėti yra gana sunku. Kadangi blokavimo tikimybės didinti nepatartina, belieka per tam tikrą laiką stebėti tinklo apkrovą, o po to, apdorojus statistinius duomenis, priderinti kanalų kiekį [2], [3].

7 lentelė. Apkrovos intensyvumai įvairiems kanalų kiekiams, esant fiksuotoms blokavimo tikimybėms.

Kanalų kiekis	Apkrovos intensyvumas		Kanalų kiekis	Apkrovos intensyvumas		Kanalų kiekis	Apkrovos intensyvumas	
	$p(B)=0,01$	$p(B)=0,02$		$p(B)=0,01$	$p(B)=0,02$		$p(B)=0,01$	$p(B)=0,02$
1	0,01	0,02	35	24,64	26,44	69	55,19	58,18
2	0,15	0,22	36	25,51	27,34	70	56,11	59,13
3	0,46	0,6	37	26,38	28,25	71	57,03	60,08
4	0,87	1,09	38	27,25	29,17	72	57,96	61,04
5	1,36	1,66	39	28,13	30,08	73	58,88	61,99
6	1,91	2,28	40	29,01	31	74	59,8	62,94
7	2,5	2,94	41	29,89	31,92	75	60,73	63,9
8	3,13	3,63	42	30,77	32,84	76	61,65	64,86
9	3,78	4,35	43	31,66	33,76	77	62,58	65,81
10	4,46	5,08	44	32,54	34,68	78	63,51	66,77
11	5,16	5,84	45	33,43	35,61	79	64,43	67,73
12	5,88	6,62	46	34,32	36,53	80	65,36	68,69
13	6,61	7,4	47	35,21	37,46	81	66,29	69,65
14	7,35	8,2	48	36,11	38,39	82	67,22	70,61
15	8,11	9,01	49	37	39,32	83	68,15	71,57
16	8,88	9,83	50	37,9	40,26	84	69,08	72,53
17	9,65	10,66	51	38,8	41,19	85	70,02	73,49
18	10,44	11,49	52	39,7	42,12	86	70,95	74,45
19	11,23	12,33	53	40,6	43,06	87	71,88	75,41
20	12,03	13,18	54	41,51	44	88	72,82	76,38
21	12,84	14,04	55	42,41	44,94	89	73,75	77,34
22	13,65	14,9	56	43,32	45,88	90	74,68	78,31
23	14,47	15,76	57	44,22	46,82	91	75,62	79,27
24	15,3	16,63	58	45,13	47,76	92	76,56	80,24
25	16,12	17,51	59	46,04	48,7	93	77,49	81,2
26	16,95	18,38	60	46,95	49,64	94	78,43	82,17
27	17,8	19,27	61	47,86	50,59	95	79,37	83,13
28	18,64	20,15	62	48,77	51,53	96	80,31	84,1
29	19,49	21,04	63	49,69	52,48	97	81,24	85,07
30	20,34	21,93	64	50,6	53,43	98	82,18	86,04
31	21,19	22,83	65	51,52	54,38	99	83,12	87
32	22,05	23,73	66	52,44	55,33	100	84,06	87,97
33	22,91	24,63	67	53,35	56,28			
34	23,77	25,53	68	54,27	57,23			

1.12. Bazinių stočių apjungimas į bendrą tinklą

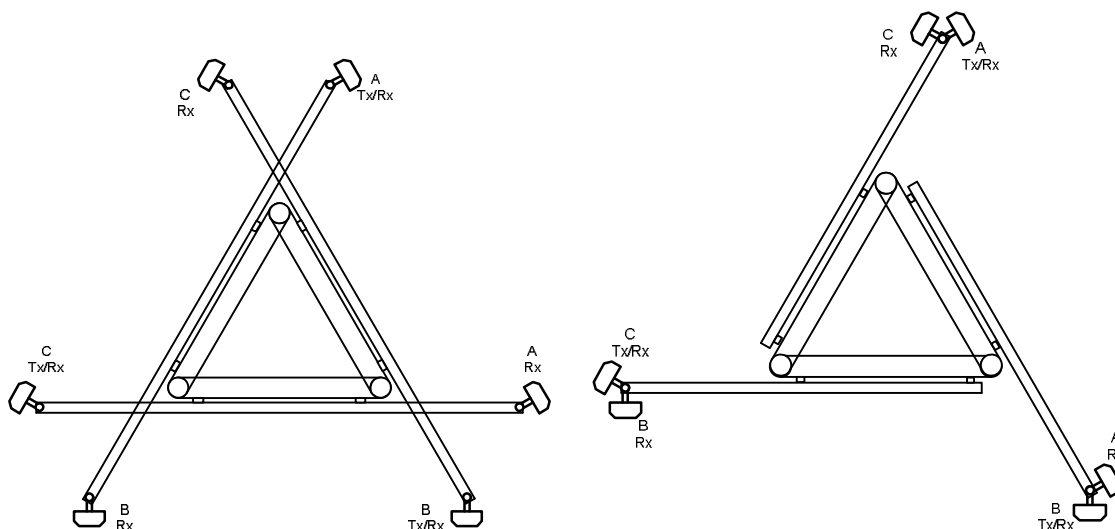
Kaip jau buvo minėta, vienoje BS vietovėje dažniausiai būna trys bazinės stotys. Trys pagrindinės ir trys diversinės antenos yra talpinamos GSM bokšto viršuje. Prie pat bokšto dažniausiai stovi įrangos konteineris, kuriame yra BS vidiniai moduliai, BS valdiklis,

nepertraukiamo maitinimo šaltinis ir t.t. (22 pav.). Dėl įrangos trapumo, konteineris turi būti apsaugotas nuo drėgmės ir temperatūros poveikio.



22 pav. a) Antenos GSM bokšte, b) trys bazinių stočių vidiniai moduliai, c) kondicionavimo įranga, d) nepertraukiamo maitinimo šaltinis

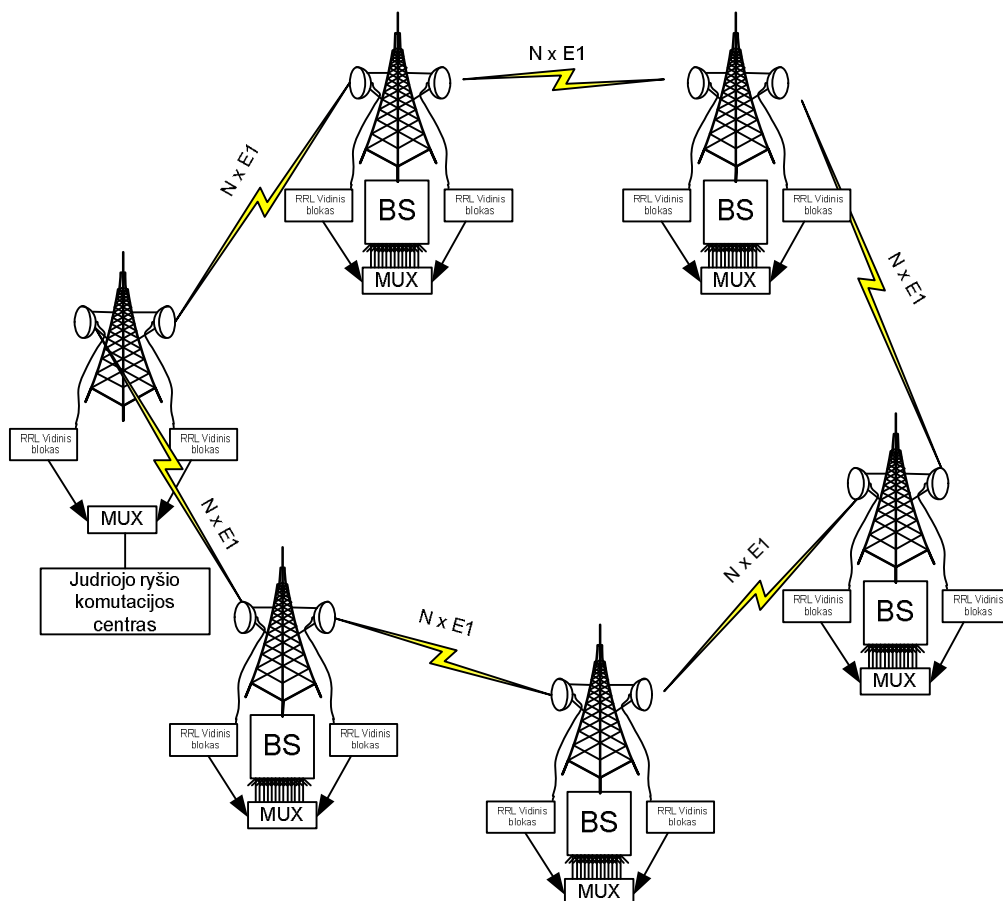
23 pav. Parodyta, kaip dažniausiai išdėstomos antenos bokšte.



23 pav. Antenų išsidėstymo horizontalioji projekcija. Tx/Rx – pagrindinė antena, Rx – diversinė.

Visi BSV turi būti sujungti su JRKC. Tokiam ryšiui GSM operatoriai dažniausiai naudoja *radijo relines linijas (RRL)*. Miestuose kartais naudojami optiniai kabeliai. RRL tai taškas-taškas tipo radijo sistema. RRL ryšio patikimumas per metus turi būti ne mažesnis negu 99,99%. Radiorelinės linijos sudarytos iš dviejų kryptinių antenų, dviejų vidinių ir dviejų išorinių blokų. RRL antena ir išorinis blokas kabinami bokšte žemiau GSM antenų (22 pav.), o vidinis blokas – konteineryje. Ryšio topologija gali būti žiedo arba žvaigždės tipo. Ašies topologija nebenaudojama, kadangi nutrūkus ryšiui vienoje BS lokacijoje, nutrūksta ir kitose. Dažniausiai

naudojama *skaitmeninės sinchroninės hierarchijos* (angl. *SDH – Synchronous Digital Hierarchy*) žiedinio tipo topologija, kadangi tokioje topologijoje ryšio patikimumas yra didesnis negu pačių RRL patikimumas. SDH yra labai patogi ir patikima technologija. Kiekvienoje BS vietoje yra multiplexorius (*MUX*), kuris iš žiedo paima arba paduoda žemesnio, pagal hierarchiją, lygmens srautus. GSM atveju, SDH žiede komutuojami E1 srautai. E1 standartas atitinka 2 Mb/s spartai dvipusėje veikoje. E1 susideda iš 32 tarpsnių (*time slot*). Vienu E1 srautu galima perduoti 30 balsinių kanalų, likusieji du yra tarnybiniai kanalai. MUX iš bendro srauto išima / paduoda reikiamą, pagal BS poreikius, balsio kanalų kiekį (24 pav.).



24 pav. SDH žiedo taikymas GSM tinkle.

Visi komutacijos centrai jungiami į dar aukštesnį pagal hierarchiją, tinklą. Tinklas gali būti taip pat SDH tipo. Dažniausiai jame naudojami STM-1 standarto srautai (*STM-1 greitaveika 155 Mb/s*). Į vieną STM-1 telpa 63 E1 srautai (1890 balsio kanalų). Žiedas taip pat gali būti optinis (*SONET*). Viso tinklo srautas ateina į GSM operatoriaus centrinę buveinę, iš kurios vyksta pagrindinis tinklo valdymas ir monitoringas [6], [8].

1.13. GSM stočių radijo parametrai

8 ir 9 lentelėse pateikti ryšio žemyn ir ryšio aukštyn radijo parametrai. JS siūstovo galia gali būti nuo 0,8 iki 8 W, o BS – nuo 1 iki 50 W. BS antenų stiprinimas gali svyruoti nuo 12 iki

18 dBi. BS siųstuvų - imtuvų parametrai yra žymiai geresni negu JS, dėl ko ryšio žemyn aprėpties radiusas yra didesnis negu ryšio aukštyn [3].

8 lentelė. Ryšio žemyn radijo parametrai.

Bazinė Stotis	vienetai	Reikšmė	
Siųstuvo galia	dBm	1 – 47	A
Jungčių nuostoliai	dB	2.5	B
Kabelių nuostoliai	dB	3	C
TX antenos stiprinimas	dBi	12 – 18	D
EISG	dBm	7.5 – 59.5	E=A-B-C+D
Judrioji stotis	vienetai	reikšmė	
Rx antenos stiprinimas	dBi	0	F
Kabelių nuostoliai	dB	0	G
JS imtuvo jautris	dBm	-105	H
Minimalus priimamas signalo lygis	dBm	-105	I=-F+G+H
Signalų sklaidimo kelio (nuo siųstuvo iki imtuvo) maksimalūs nuostoliai	dB	112.5 – 164,5	J=E-I

9 lentelė. Ryšio aukštyn radijo parametrai.

Judrioji stotis	vienetai	reikšmė	
Siųstuvo galia	dBm	29 – 39	A
Kabelių nuostoliai	dB	0	B
TX antenos stiprinimas	dBi	0	C
EISG	dBm	29 – 39	D=A-B+C
Bazinė Stotis	vienetai	reikšmė	
Rx antenos stiprinimas	dBi	12 – 18	E
Kabelių nuostoliai	dB	3	F
JS imtuvo jautris	dBm	-106	G
Minimalus priimamas signalo lygis	dBm	-115 – -121	H=-E+F+G
Signalų sklaidimo kelio (nuo siųstuvo iki imtuvo) maksimalūs nuostoliai	dB	144 – 160	I=D-H

2. Laboratorinis darbas „GSM bazinių stočių išdėstymo planavimas žemėlapyje“

2.1. Programinės įrangos ir duomenų bazės apžvalga

Laboratoriniams darbams atlikti naudojama „Cellular Expert“ (CE) programinė įranga, kuri veikia kaip sistemos „ArcGis“ įrankis. Tai labai patogus, kadangi „ArcGis“ gali nuskaityti įvairius skaitmeninių žemėlapių tipus: *Shapefile*, *DEM*, *GRID*, *TIFF*, *LZR*. „Cellular Expert“ tai Lietuvos įmonės „Hnit Baltic“ produktas. Ši programinė įranga skirta bevielio tinklo planavimui ir analizavimui. Tačiau CE negalėtų atlikti skaičiavimų be skaitmeninių reljefo ir kliūčių žemėlapių. Šiuo atveju žemėlapių tikslumas yra 50 m. Visa žemėlapio teritorija padalinta į daugelį kvadratų, kurių plotas 2500m². Kiekvienam kvadratui priskirta informacija apie aukštį virš jūros lygio ir koordinatės LKS94 koordinatinių sistemoje. Taigi žemėlapiai yra trimačiai. Jie būtinai turi būti sudaryti metrinėje koordinatinių sistemoje, laipsninė (WGS 84) koordinatinių sistema netinka. Skaičiavimams atlikti naudojami žemėlapiai su „GRID“ išplėtimu. Kliūčių sluoksnis padarytas iš „shape“ failo – tai dvimatis vaizdas, pririštas prie tos pačios koordinatinių sistemos. „ArcGis“ programos pagalba pridamas dar vienas informacijos laukas – aukštis (tai galima padaryti ir MS Excel pagalba). Tokiu pat principu sudaroma ir pastatų topologija. Šiuo atveju, kiekvienas pastatas turi skirtingą aukščio informaciją. Iš visų aukščiau išvardytų sluoksnių gauname beveik pilną Lietuvos trimatę geografinę duomenų bazę.

Laboratoriniam darbui atlikti yra paruoštas specialus aplankas D diske GSM_Planing_2009. Šiame aplanke yra patalpinta duomenų bazė, reikalinga laboratoriniam darbui atlikti; taip pat sukurti aplankai, kuriuose skaičiavimų metu bei atlikus skaičiavimus „Cellular Expert“ talpina skaičiavimų duomenis. D:\GSM_Planing_2009 aplankų paskirtys:

1. „antenu diagramos“- antenu diagramų duomenys. Laboratorinio darbo metu iš šio aplanko importuojami GSM sektorinės antenos duomenys;
2. „BS“- talpinami suskaičiuoti „Best Server“ žemėlapiai;
3. „CI“ – nenaudojama;
4. „Predictions“- talpinami suskaičiuoti aprėptiems žemėlapiai;
5. Temp - talpinami laikinieji failai;
6. Aplanke taip pat yra laboratoriniam darbui vykdyti pritaikyta duomenų bazė, bei failas GSM_planavimas.mxd. Pastarasis failas atidatromas, pradžioje darbo, paleidus programą ArcGis- ArcMap.

2.2. Darbo tikslas ir užduotys

Darbo tikslas. Susipažinti su GSM bazinių stočių išplanavimu, išmokti sudaryti narvelių dažnių grupes, apskaičiuoti signalo aprėpties zonas ir parodyti realius narvelius. Dėstytojas nurodo dažninių kanalų intervalą (pvz. nuo 41 iki 80 kanalo), narvelių skaičių klasteryje, narvelio radiusą.

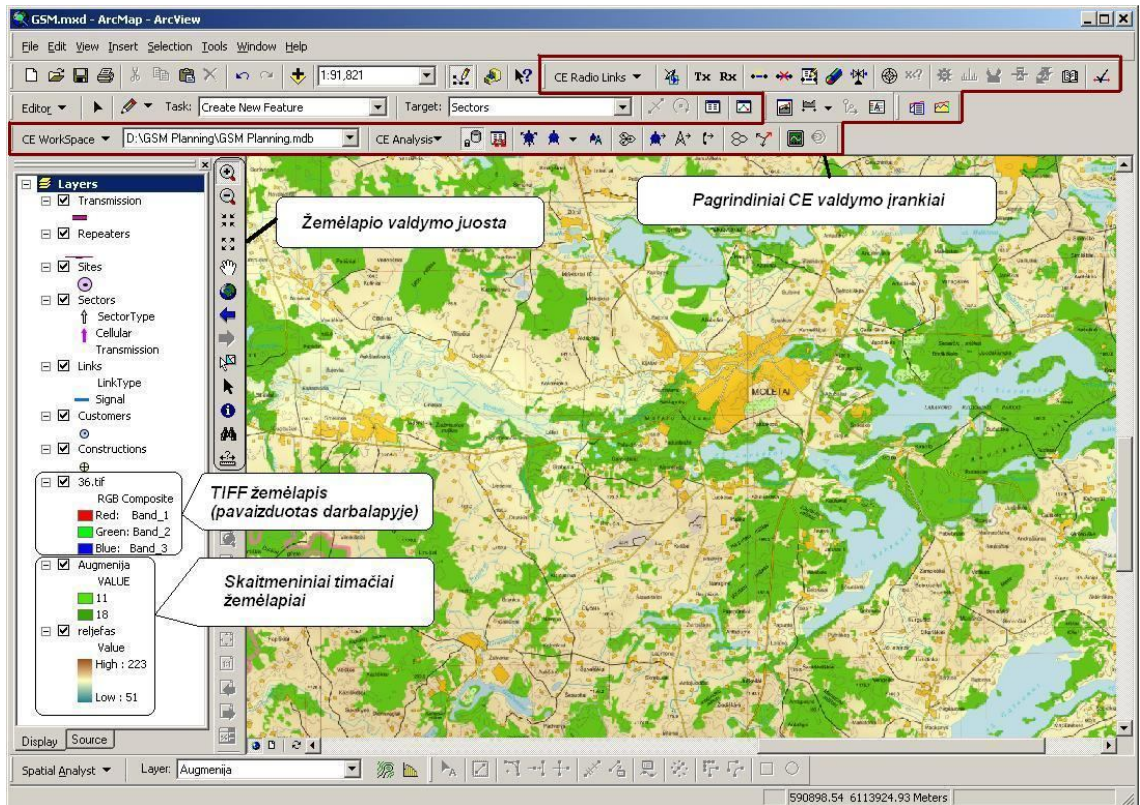
Užduotys.

1. Pagal duotą klasterio dydį ir dažninių kanalų kiekį, sudaryti narvelių dažnių grupes;
2. Sukurti reikiamą radijo sklidimo modelį, pagal kurį bus skaičiuojamas radijo signalo aprėpties žemėlapis;
3. Pagal klasterio ir narvelio parametrus išplanuoti bazinių stočių vietas žemėlapyje;
4. Apskaičiuoti signalo aprėpties zoną ir *Best Server* žemėlapij;
5. Patikslinti BS vietas, siųstuvų galias ir antenų palenkimo kampus.
6. Apskaičiuoti sutaptinių kanalų trukdžius.


2.3. Laboratorinio darbo eiga

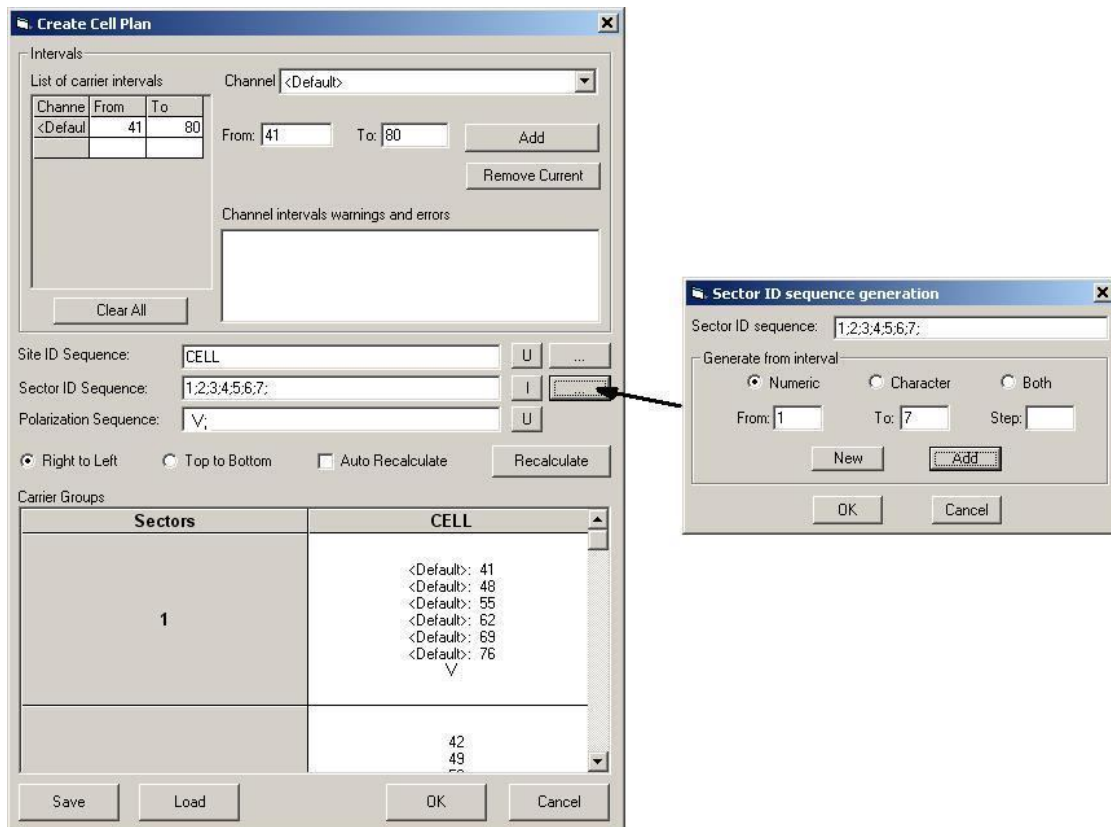
1 užduotis.

Nuskaitoma „ArcMap“ programinė įranga ir „open“ komanda pasirenkama byla „GSM_Planavimas“ (D:\GSM_Planning_2010\GSM_planavimas.mxd). Nuskaičius šią pradinę duomenų bazę, ekrane pasirodo Lietuvos reljefo žemėlapis su vienu vadinamuoju TIFF Lietuvos žemėlapių puslapiu (25kmx25km). Šį žemėlapij galima įjungti arba išjungti varnelės pagalba ekrano kairėje pusėje esančiame žemėlapių sluosnių sąrašė (Sluosnių aplankas „Lietuva“). Jūs galite patalpinti į šį sąrašą bet kurios Lietuvos vietovės rastrinį TIFF žemėlapij, spustelėję dešini pelės klavišą ir pasirinkę „Add“. Tuomet reikia nurodyti šių žemėlapių aplanką (geriau naršant - D:\Duomenų baze\rastras\LTDBK5000...\puslapio Nr.). Žemėlapių puslapių išdėstymas nurodytas darbo aprašo gale. Studentas pasirenką bet kurią sau mielą Lietuvos teritoriją 50 km x 50 km – t.y. keturis gretimus puslapius. Po to žemėlapis išdidinamas tiek, kad pasirinktoji teritorija užimtų visą ekraną (pavyzdys - 25 pav.).







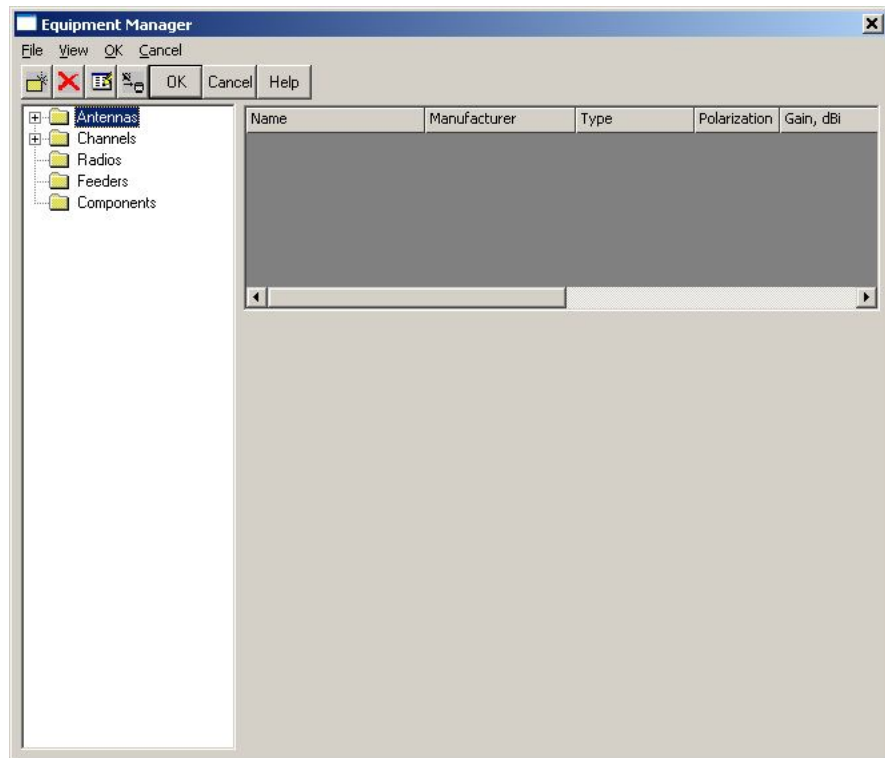
25 pav. ArcGis programos langas.

Narvelių dažnių grupėms sukurti, paspaudžiamas „*editor*“ mygtukas  ir „*CE Workspace*“ pasirenkama komanda „*Create Cell Plan*“ (26 pav.). Sukurkime septynių narvelių klasterį. „*Create Cell Plan*“ langelyje yra sukuriami BS dažniniai kanalai, t.y. sukuriamos dažnių grupės narvelių trejetams. Kadangi septyni nesidalina iš trijų „*Site ID Sequence*“ eilutėje pasirenkame tik vieną vertę (pvz.: *CELL*). „*Sector ID Sequence*“ eilutėje pasirenkamos septynios vertės, kiekviena kurių reiškia narvelio numerį. „*Recalculate*“ komanda sudaro dažnių grupes. Paspaudžiama „*OK*“ komanda ir „*Editor*“ juostoje, pasirinkus komandą „*Save Edits*“, išsaugomi pakeitimai.

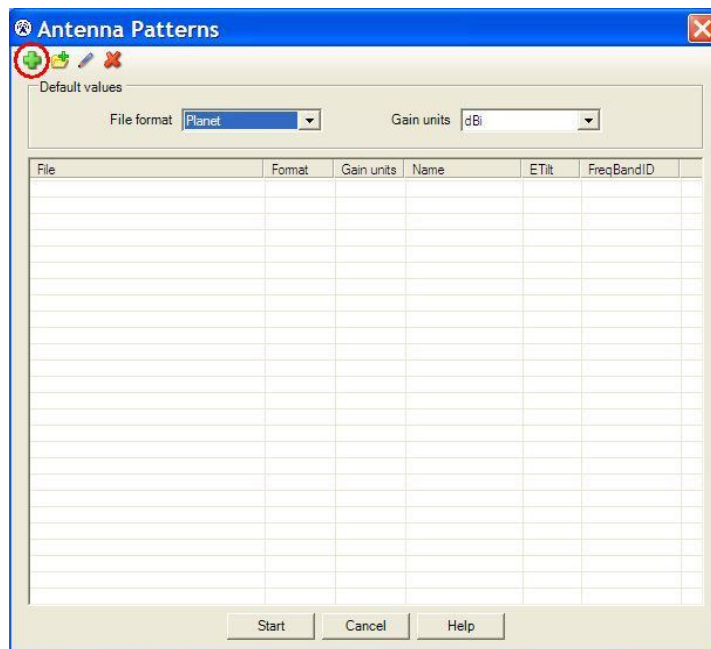


26 pav. „Create Cell Plan“ langas.

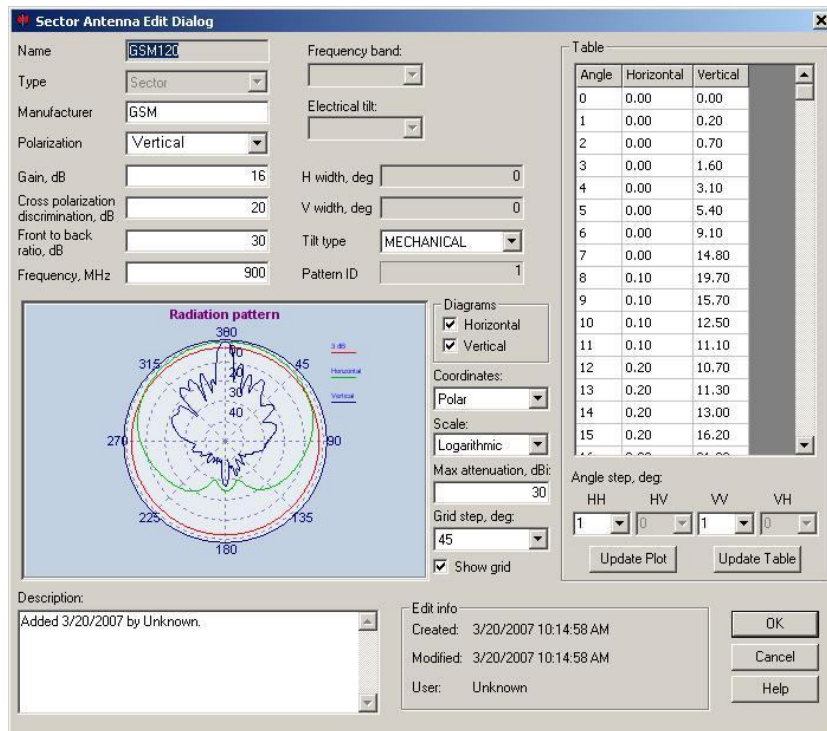
BS antenų spinduliavimo diagramoms sudaryti, pasirenkama komanda „Equipment Manager“  (27 pav.). Išplėtime „Antennas“ reikia pažymėti sektorinę anteną „Sector“. Paspaudžiama funkcija „Antenna Files Import“  ir „Add Single“  komandos pagalba iš aplanko „D:\GSM_Planning_2010\antenu diagramos“ pasirenkama reikiama antenos spinduliavimo diagrama (šiuo atveju „GSM 120 deg“) ir spaudžiama „Apply“. Pasirinkta *.txt byla „Start“ komandos pagalba importuojama į CE duomenų lentelę. Tuomet spaudžiama „Close“ ir „Cancel“. Langelyje „Equipment Manager“ sektorinės antenos išplėtime yra įkelta antenos duomenų bazė. Pažymint šią duomenų bazę ir pasirinkus komandą „Edit“ , galima keisti antenos duomenis (29 pav.). „Gain“ tai antenos stiprinimas, „Cross poliarization discrimination“ – kitos poliarizacijos signalo slopinimas, „Front to back ratio“ – antenos kryptingumo faktorius. Antenos nukreipimo žemyn eilutėje „Tilt type“ pasirenkamas mechaninis pakreipimas. Visuose langeliuose spaudžiami „OK“ mygtukai, kol grįžtama prie pagrindinio programinio lango. Išjungiamas „editor“ funkcijos mygtukas ir duomenų bazėje išsaugomi visi pakeitimai.



27 pav. „Equipment Manager“ langas.



28 pav. Antenos spinduliavimo diagramos importavimo langas.



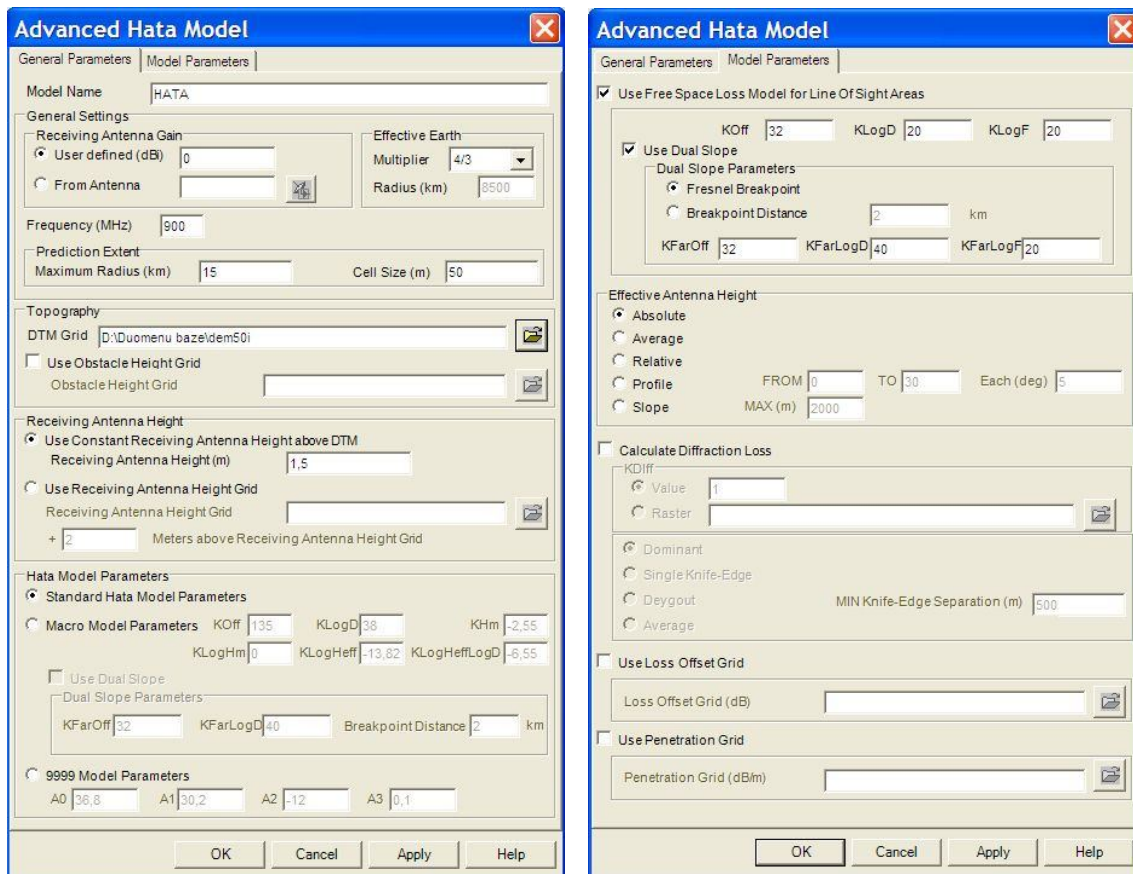
29 pav. Antenos redagavimo langas.

2 užduotis.

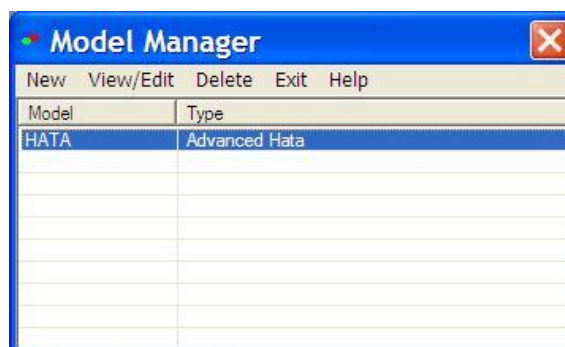
Aktyvuojama CE redagavimo funkcija (paspaudžiamas „*editor*“ komandos mygtukas) ir „*CE Analysis*“ meniu pasirenkamas „*Prediction models*“. „*New*“ komandoje pasirenkamas išplėstinis Hata modelis „*Advanced Hata...*“. Į sklidimo modelio langelį įvedami reikiami duomenys (30 pav.). Pirmiausia įvedamas modelio pavadinimas (šiuo atveju HATA). JS antenos stiprinimas „*Receiving Antenna Gain*“ - 0 dB. Žemės efektinis kreivumo koeficientas „*Effective Earth Multiplier*“ – 4/3.

Įvedant BS signalo aprėpties radiusą ir skaičiavimo narvelio dydį „*Cell Size*“, reikia atsižvelgti į kompiuterio parametrus, nes kuo didesnis radiusas ir kuo mažesnis skaičiavimo narvelis, tuo ilgiau kompiuteris skaičiuoja. Skaičiavimo narvelio dydis apsprendžia aprėpties zonos skaičiavimo tikslumą. Tačiau nėra prasmės pasirinkti narvelio dydį mažesnę negu reljefo ir kliūčių narvelių matmenys (duomenų bazės reljefo ir kliūčių narvelio dydis 50 m). Dažniausiai naudojamas 15km radiusas. Skiltyje „*Topography*“ reikia įkelti reljefo žemėlapi dem50i. JS aukštis virš žemės paviršiaus ~ 1,5 m.

Kitoje langelio dalyje patariama pasirinkti tiesioginio matomumo zonoje tuščios erdvės slopinimo skaičiavimą. Paspaudžiamas „*Apply*“ mygtukas ir grįžtama į „*Prediction models*“ meniu, kuriame yra įvestas aukščiau minėtas sklidimo modelis (31 pav.). Išeinama iš meniu ir išsaugoma duomenų bazė.







30 pav. Išplėstinio HATA modelio langas

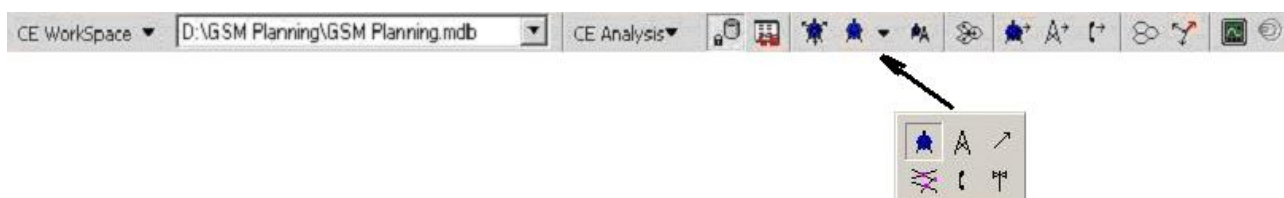


31 pav. Radijo sklaidimo modelių meniu

3 užduotis.

Aktyvuojama CE redagavimo funkcija. „CE WorkSpace“ juostoje iš „Site Add“ meniu pasirinkamas to paties pavadinimo „Site Add“ (įkelti BS vietą) įrankis (32 pav.). Paspaudžiamas klaviatūros „T“ mygtukas ir pažymima „Cellular“ eilutė. BS vieta žemėlapyje įkeliama paspaudus pelės kairįjį klavišą (paspaudus dešinįjį pelės klavišą, BS vietą galima įkelti pagal norimas koordinatas). Savaime suprantama, kad vietas reikia pasirinkti patogioje geografinėje vietovėje (ant kalno, netoli gyvenviečių arba šalia didelių kelių). Vietovės reljefą galima pamatyti išjугus rastrinius žemėlapius. Tuomet atsirado „New Site“ meniu (33 pav.). Įvedamas vietos pavadinimas

ir identifikacinis numeris. Langelyje „*Altitude*“ automatiškai rodomas vietos žemės paviršiaus aukštis virš jūros lygio. „*Base Height*“ langelyje įvedamas bokšto stiebo arba konstrukcijos aukštis. Įvedame sektorių skaičių – 3. „*Sector direction*“ langelyje įvedamas pirmosios antenos azimutas (0^0 – šiaurės ašigalio kryptis. Azimuto vertė didėja pagal laikrodžio rodyklę). Antros ir trečios antenos azimutai yra atitinkamai pasukti 120^0 ir 240^0 pirmosios antenos azimuto atžvilgiu. „*Maximum radius*“ langelyje įvedamas narvelio radiusas (sektoriaus aprėpties radiusas). Paspaudus *OK*, žemėlapyje parodoma BS vieta. Įjungus  mygtuką, matomas narvelių išsidėstymas žemėlapyje (matomi tik pažymėtų vietų narveliai; visi objektai pažymimi pasirinkus mygtuką  iš žemėlapijo valdymo įrankių juostos). Tačiau BS vietos dar neturi bazinių stočių ir joms priklausančių antenų. BS priskiriamos „*Create sectors*“ komanda  („*Sector type*“ - Cellular). Iš naujo pažymėję vietą, pasirenkame komandą „*CE Object Inspector*“ .



32 pav. *CE WorkSpace* įrankių juosta.

New Site

Site ID

Name

Status

Altitude, m Base height, m

Sectors number Sector direction, °


Maximum radius, m

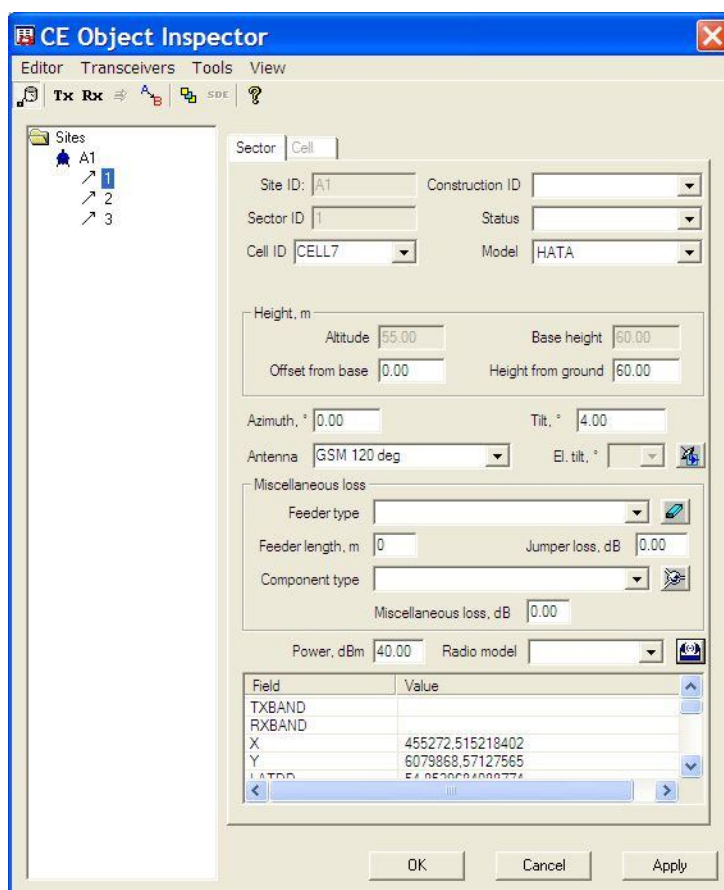
Field	Value
X	455272.515218402
Y	6079868.57127565
LATDD	54.8529684088774
LONGDD	23.3034680746739
LATITUDE	54° 51' 10.68"
LONGITUDE	23° 18' 12.48"
CREATED	2010.09.29 12:48:46
MODIFIED	
DBUSER	ADMINISTRATOR

OK Cancel Help

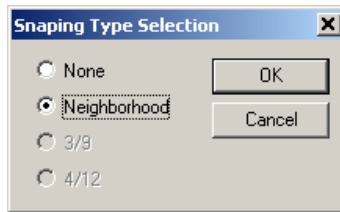
33 pav. BS lokacijos meniu.

„Object inspector“ lange pažymimas pirmas sektorius. „Cell ID“ langelyje įvedama pirmoji norimos narvelių grupės raidė (šiuo atveju C) ir pasirenkamas reikiamas narvelis. „Model“ langelyje įvedamas prieš tai sukurtas sklidimo modelis. Azimutai ir aukščiai yra automatiškai parinkti pagal BS vietos duomenis, tačiau juos galima keisti. Tokiu pat būdu, kaip narvelio pavadinimas, įvedama antena. Pagal antenos vertikalaus lapelio pločio vertę, įvedamas palenkimo žemyn kampas. Galima įvesti kabelių ir jungčių nuostolius. Siųstuvo galia įvedama dBm skalėje ($dBm=20\log(\text{siųstuvo galia milivatais})$). Tokiu pačiu principu, tik su skirtingomis „Cell ID“ vertėmis (Cell ID vertės priskiriamos pagal klasterio parametrus), įvedama informacija į kitus sektorius.

Baigus duomenų suvedimą, pažymima vieta kartu su bazinių stočių sektoriais ir paspaudžiamas BS vietos kopijavimo mygtukas . Spaudžiamas „S“ raidės mygtukas klaviatūroje ir pasirenkama funkcija „Neighborhood“. Dabar vieta nukopijuojama pagal narvelio geografinius parametrus. Kiekvieną kartą reikės įvedinėti „Cell ID“, „Base Height“ ir kitas vertes (33 pav.) pagal klasterio parametrus). Taip sudaroma grupė narvelių, kuriuos reikia išdėstyti pagal planą (36 pav.)



34 pav. Object inspector langas.




35 pav. Lokacijos kopijavimo funkcijos langelis.

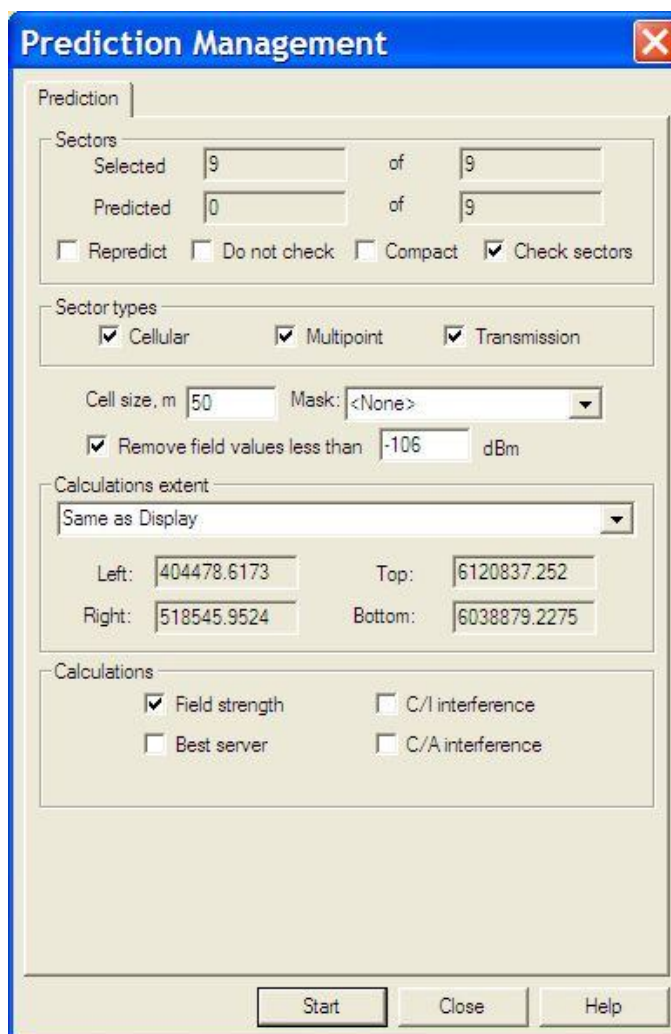


36 pav. BS lokacijų išplanavimas žemėlapyje.

4 užduotis.

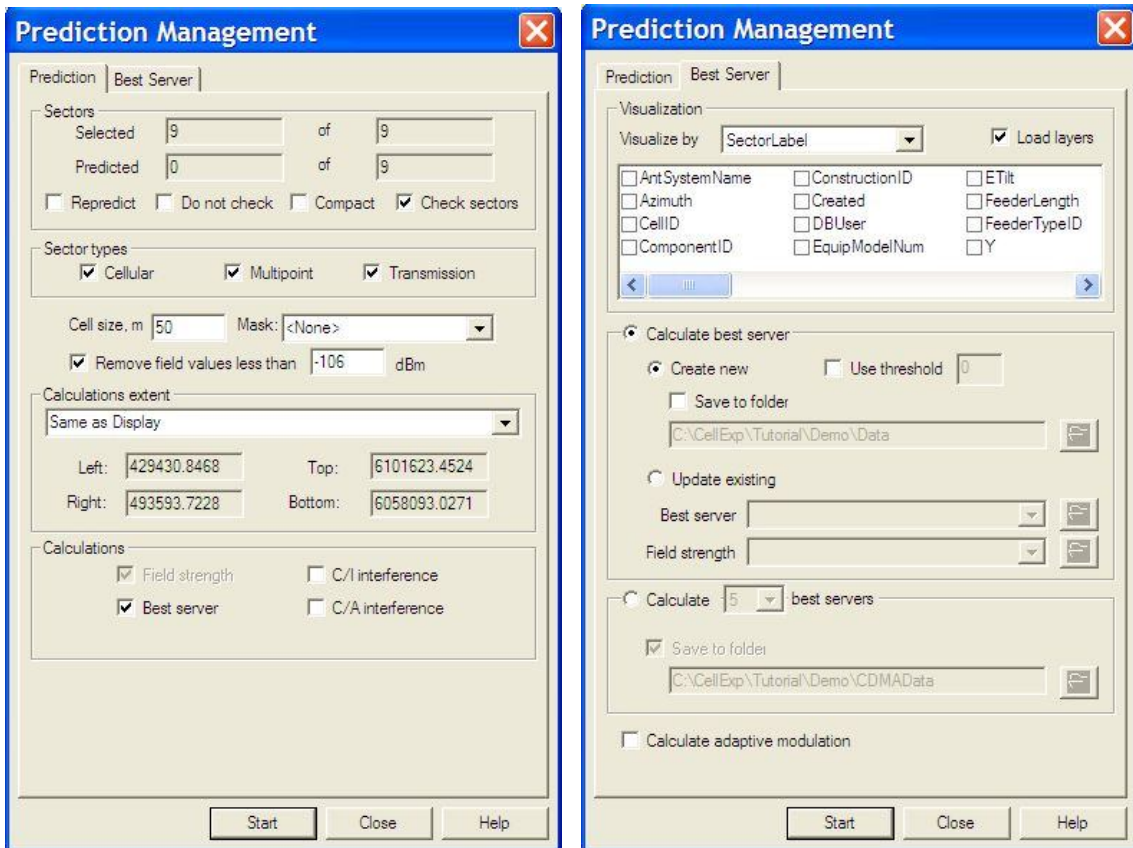
Signalo aprėpties žemėlapiui apskaičiuoti, reikia pažymėti visas BS lokacijas ir pasirinkti funkciją „Prediction Management“  (turi būti išjungta „Editor“ funkcija). Atsidariusiame langelyje nurodomas skaičiavimo narvelio dydis (jis negali būti mažesnis negu nurodytas sklidimo modelyje) ir nurodomas minimalus imtuvo jautris (37 pav.). „Calculation extent“ langelyje nurodoma skaičiavimo teritorija („same as display“ reiškia, kad matavimai bus atlikti tik

toje žemėlapyje dalyje, kuri yra matoma ekrane). Iš pradžių skaičiuojamas tik signalo stipris, tuomet uždedama žymė tik ant „Field strength“ (37 a) pav.). Skaičiavimai prasideda paspaudus „Start“. Signalo aprėpties žemėlapyje pavyzdys pateiktas 38 pav..



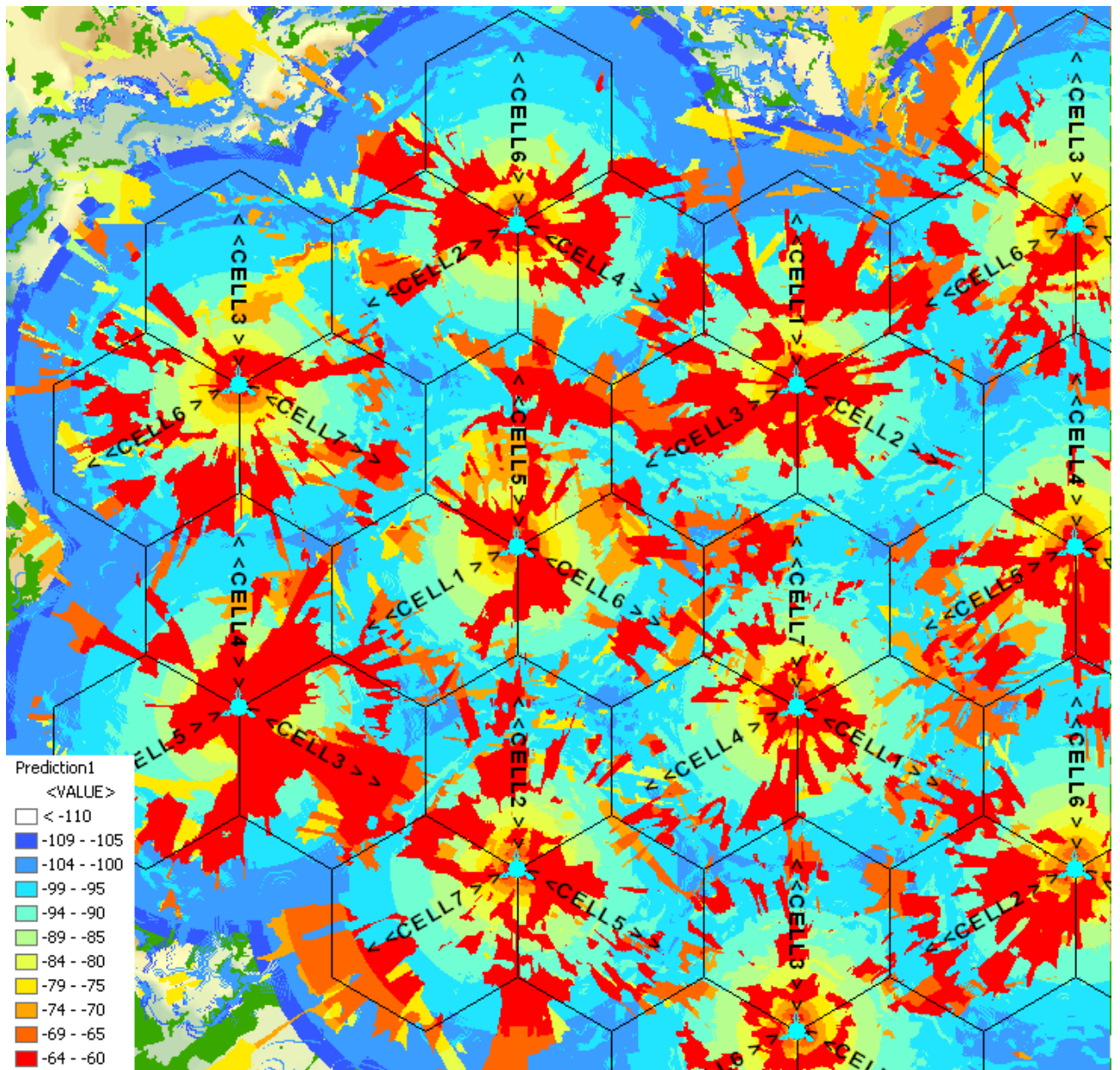
37 a) pav. Signalų aprėpties valdymo langas.

Sėkmingai atlikus minėtą užduotį, skaičiuojamas „Best server“ (geriausios paslaugos) žemėlapis (37 b) pav.). Priklausomai nuo kompiuterio parametrų, vienos BS skaičiavimas gali užtrukti vidutiniškai iki dviejų minučių, todėl atliekant skaičiavimus antrą kartą, reikia atkreipti dėmesį į tai, kad nebūtų pažymėta funkcija „Repredict“.

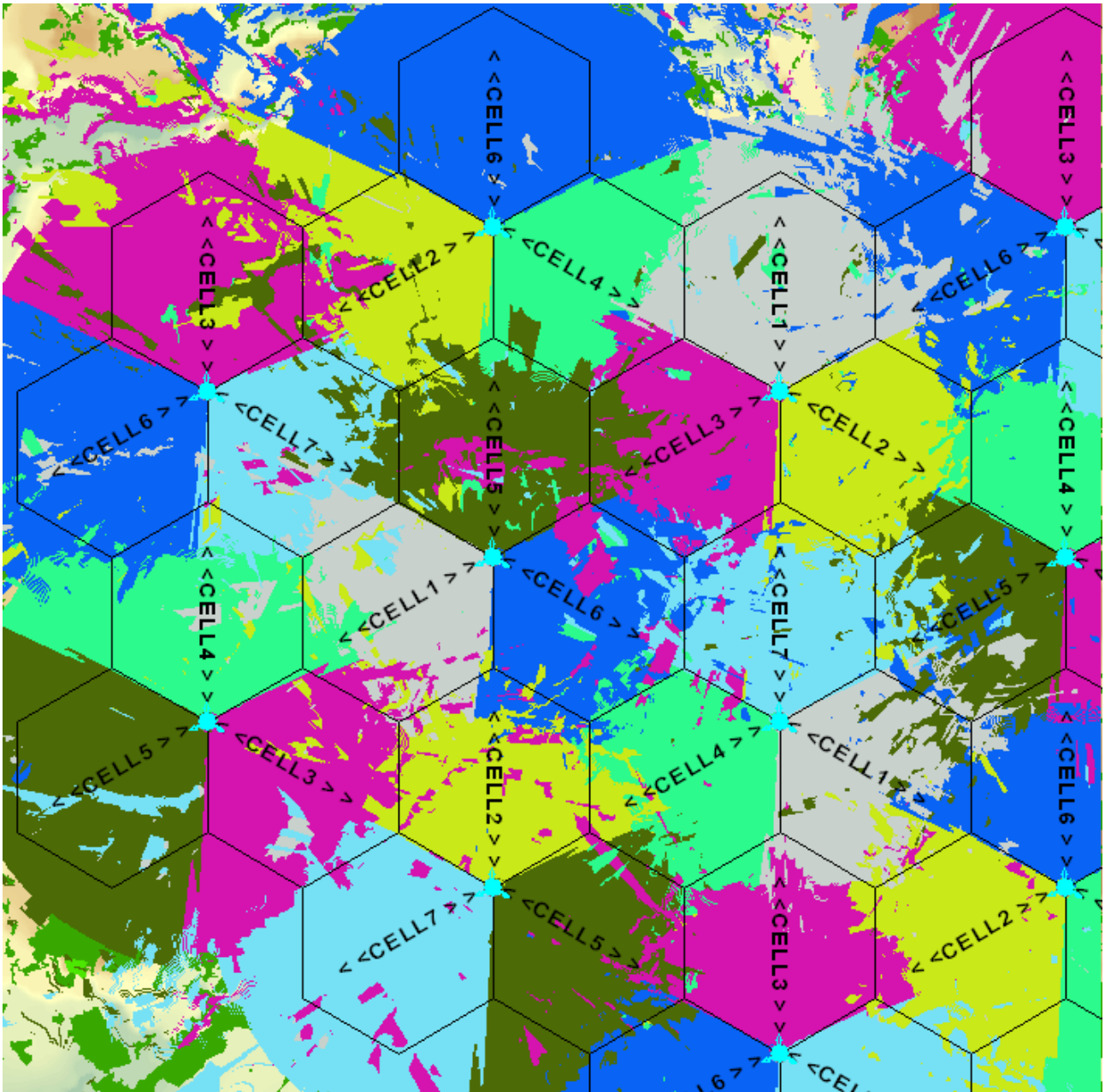


37 b) pav. Signalo aprėpties valdymo langas.

Geriausios paslaugos žemėlapis pavyzdys pateiktas 39 pav.. Matyti, jog narvelių formos labai skiriasi nuo teorinių. Tokią formą daugiausiai lemia reljefas ir kliūčių išsidėstymas.




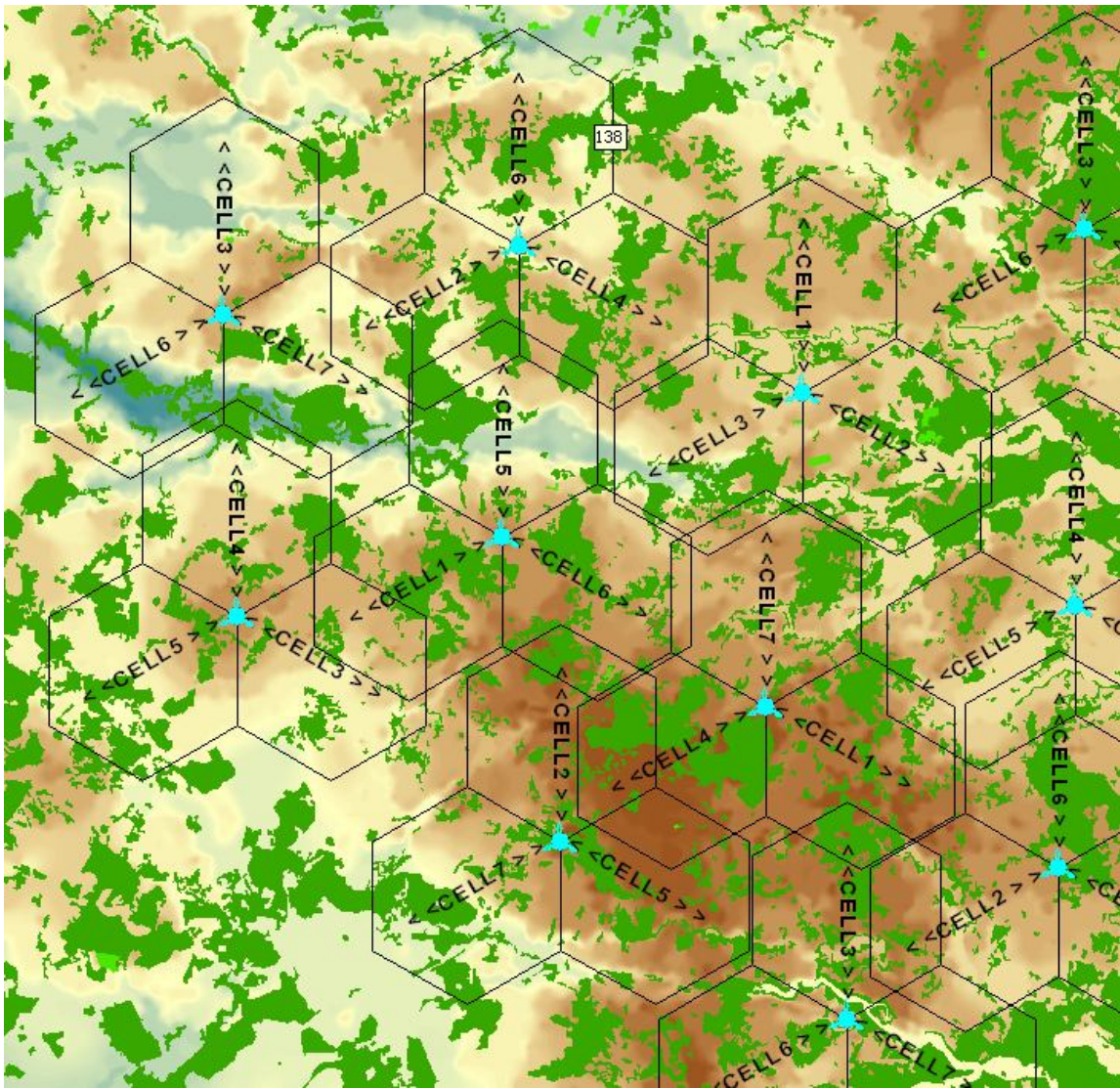
38 pav. Signalo aprępties žemėlapis.



39 pav. Geriausios paslaugos žemėlapis

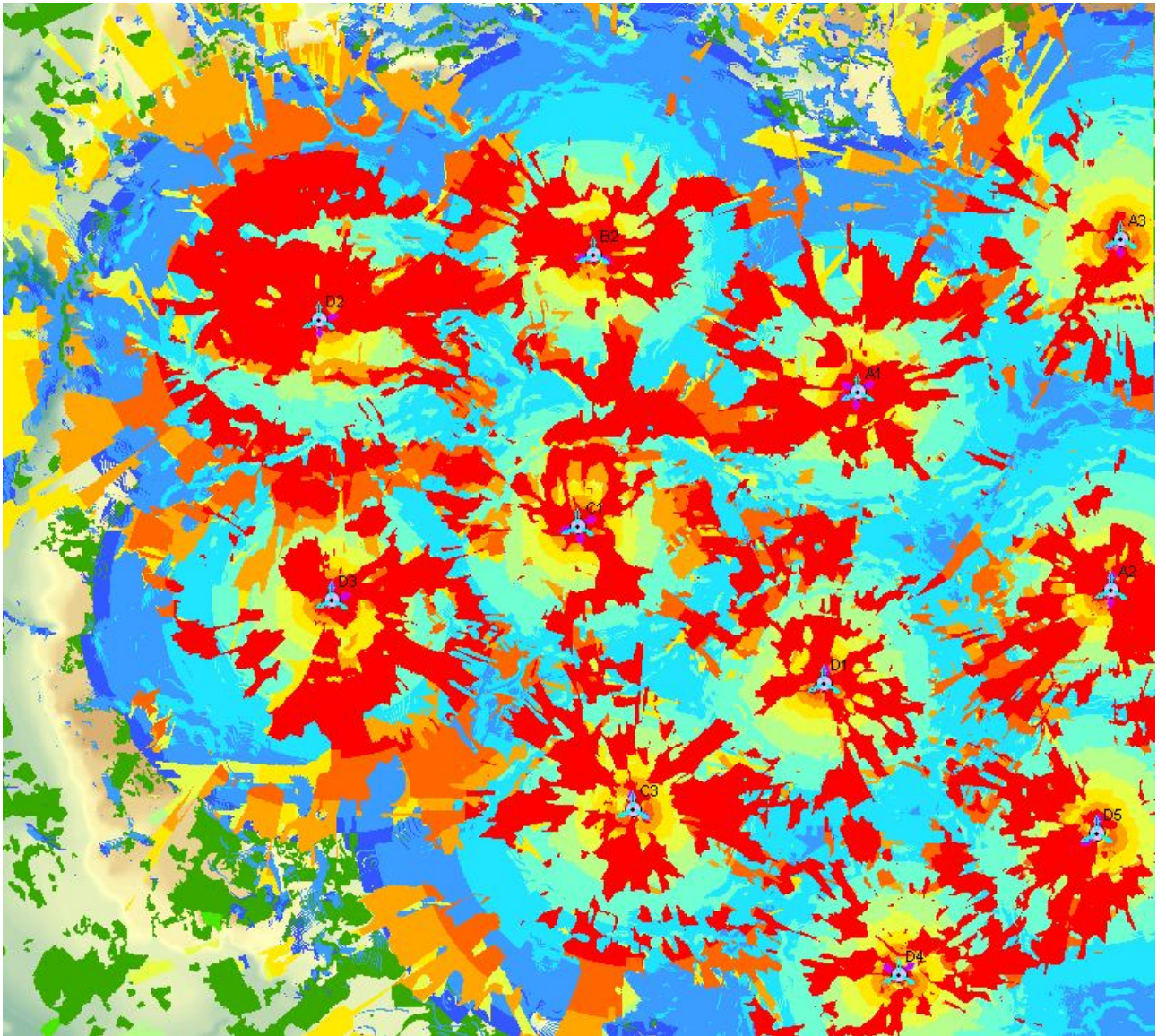
5 užduotis.

Dėl reljefo nepalankių sąlygų, gyvenviečių, miškų ir vandens telkinių BS vietos nėra išsidėsčiusios periodiškai. Taigi būtina optimizuoti BS vietas, pasirenkant netoliese esančias aukštas vietas. Programoje įjungžiama redagavimo funkcija ir pasirinkus opciją „Move Site“ , BS lokacijos pastumiamos į reikiamą vietovę. Po šios operacijos narvelių periodiškumas yra šiek tiek suardytas (40 pav.).

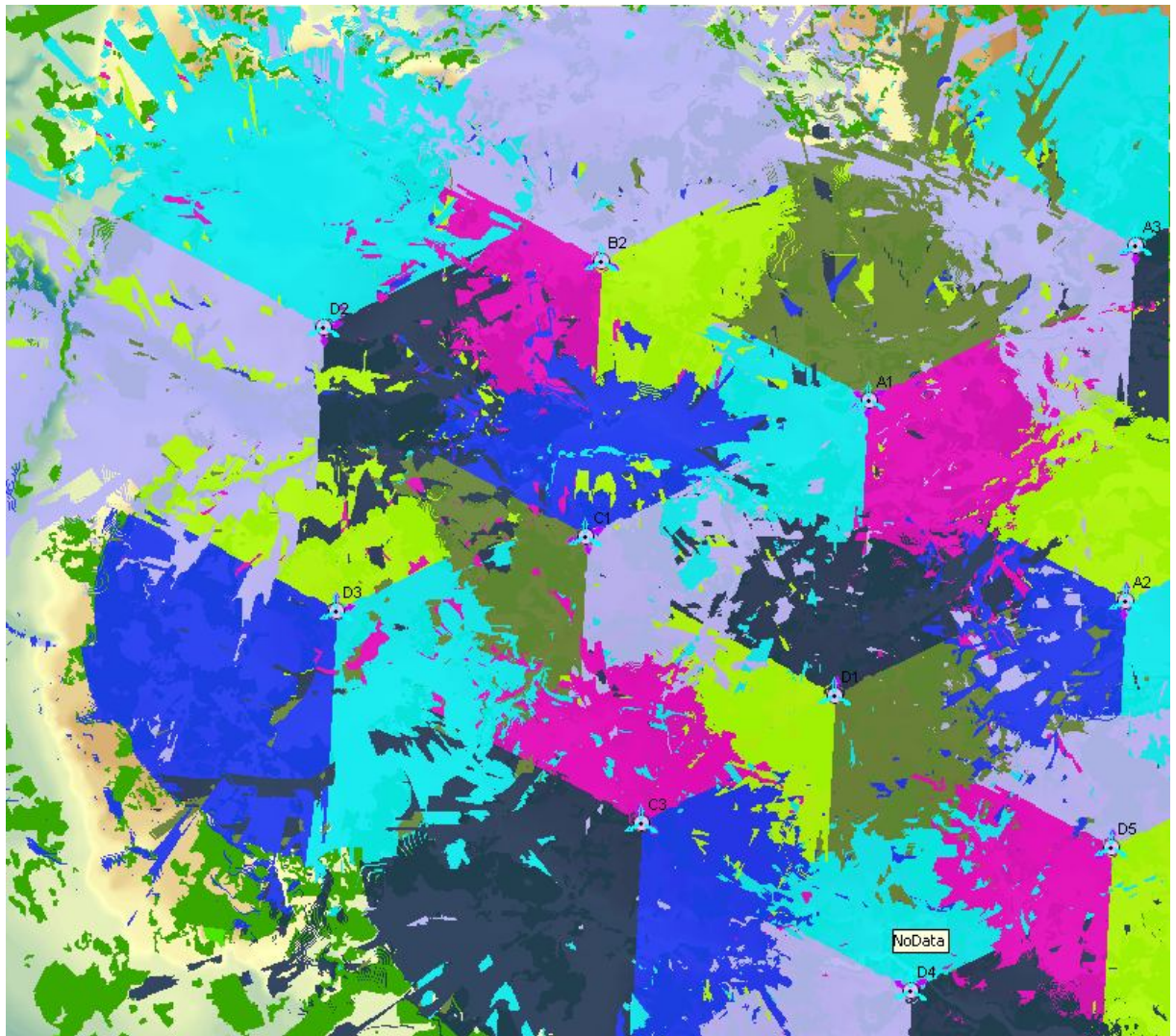


40 pav. Narvelių išsidėstymas po pastūmimo operacijos.

Dar kartą atliekama aprėpties zonos ir geriausios paslaugos žemėlapis skaičiavimo operacija (41 ir 42 pav.). Kadangi vietos pasikeitė, „Prediction Management“ langelyje reikia pažymėti funkciją „Repredict“. Po atliktų skaičiavimų rezultatai palyginami. Jeigu žemėlapyje atsirado baltų dėmių, reikia patikslinti BS spinduliuojamą galią ir antenos palenkimo kampą.




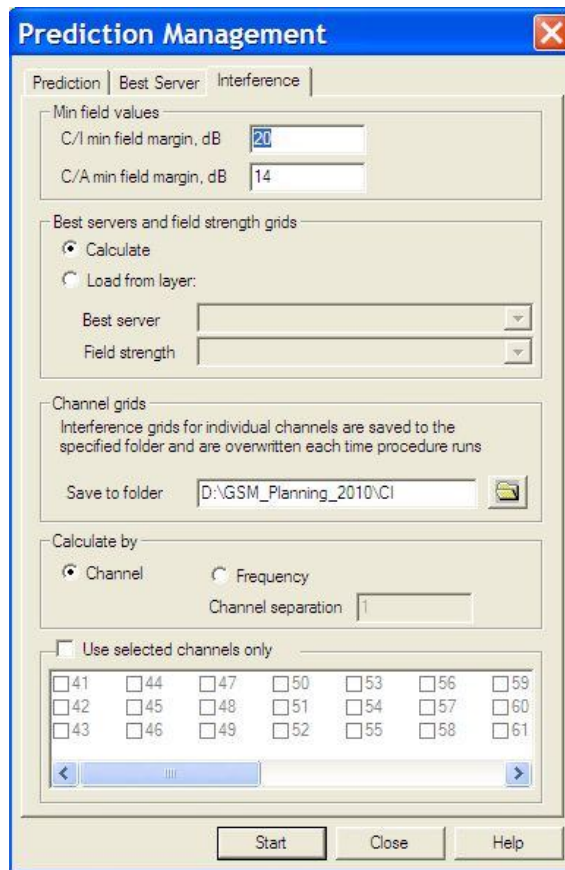
41 pav. Signalų aprėpties žemėlapis po BS vietų optimizavimo.



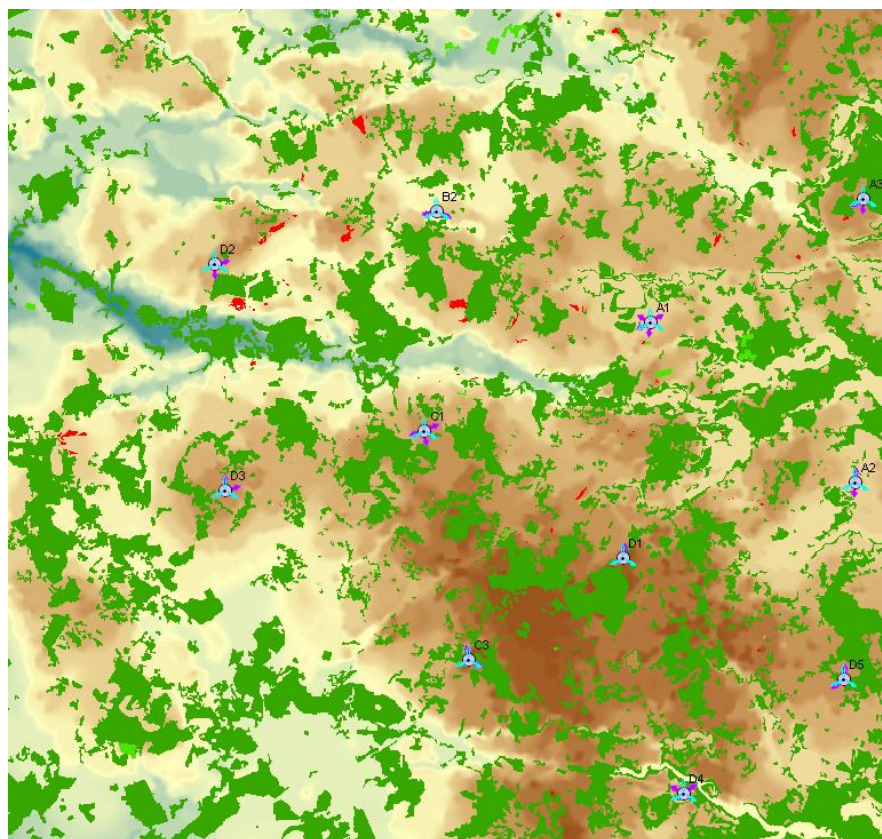
42 pav. Geriausios paslaugos žemėlapis po BS vietų optimizavimo.

6 užduotis.

Dėl netaisyklingos narvelių struktūros gali atsirasti per dideli sutaptinių kanalų trukdžiai, kuriuos reikia apskaičiuoti šioje užduotyje. Pažymimos visos BS lokacijos ir atidaromas „Prediction dialog“  langas. Pažymėjus „C/I interference“, atsidaro „Interference“ skiltis (43 pav.). Nurodoma C/I vertė decibelais, iki kurios bus skaičiuojami sutaptinių kanalų trukdžiai. C/A (gretimų kanalų) interferencija nebus skaičiuojama, jos vertės galima nebekeisti. Signalo/trukdžių skaičiavimas gali užtrukti iki 30 minučių.



43 pav. Trukdžių skaičiavimo funkcijų langas.



44 pav. Signalų/trukdžių pasiskirstymo žemėlapis.

Lietuvos LTDBK50000-V nomenklatūrinis skaidymas lapais "Baltija-93".

			PKELIAI 3142	BURNAČIAI 3231	VEIGERAI 3232				ŠNURKIŲNAI 3332	PUČIAKALNĖ 3341					
	SKUODAI 3114	YLAKIAI 3123	MAŽERAI 3124	AKMENĖ 3213	NAUJOJI AKMENĖ 3214	ŽAGARĖ 3223	JONKIŲKI 3224	KEMIDINI 3313	DEŽAI 3314	PARČIŲŲŲŲŲ 3323	ŠARŠIŲŲŲŲŲŲŲ 3324				
PALANGA 3111	SALANTA 3112	KEATELIAI 3121	TELŠIAI 3122	TRIKIŲKI 3211	KURŠIŲNAI 3212	GRUZEIŲKI 3221	PANRŲKIŲKI 3222	ŠNEKLIŲKI 3311	VASALININKAI 3312	PAPILYS 3321	ROKIŲKI 3322	TRIKUPĖ 3411	AŽULIAI 3412		
KLAIPEDA 2133	KRETINGA 2134	PLUNGE 2143	VARNAI 2144	UVENTIS 2233	ŠAKIŲNAI 2234	ŠAULIAI 2243	ŠIŠIŲKI 2244	PAVĖŽIŲKI 2333	ŠIŠIŲKI 2334	KUPIŠKI 2343	PANEMUNĖLIS 2344	DUBETAI 2433	ZARAI 2434	TURMANTAS 2443	
AKKRAMBIAI 2131	PRIEKULĖ 2132	KVEDARNA 2141	ŠILALĖ 2142	VIŠIŲKI 2231	KELMĖ 2232	ŠAKIŲKI 2241	BASOGALA 2242	RAMYGALA 2331	RAGUVI 2332	ANYKŠČIAI 2341	ŠVEDAI 2342	UTRĖ 2431	DOKIŲKI 2432	ŠŠABINIS 2441	
NEA 2113	ŠILUTĖ 2114	ŽEMAIČIŲ NAUMESTIS 2123	MAŽONIAI 2124	ŠVAIČIŲKI 2213	RASEINIAI 2214	DETYGALA 2223	KIDANIŲKI 2224	ŽETA 2313	JAIŠIŲKI 2314	KAVARAI 2323	ALŪTA 2324	TAURAGIAI 2413	ŠONALINA 2414	TVIRČIŲKI 2423	DYBIAI 2424
	GALDŽIŲKI 2112	PAGEGAI 2121	TAURAGĖ 2122	JURBARKAS 2211	GELGAUDIŠKI 2212	ARŠIŲKI 2221	DABTAI 2222	ŽONAVA 2311	ŠMERGĖ 2312	ŽELVA 2321	MOLETAI 2322	ARMIČIŲKI 2411	ŠVENČIONIŲKI 2412	AKUTIŠKI 2421	
			ŠTĖŽERIS 1144	SLAVIŲKI 1233	ŠAKAI 1234	LEIŠIŲKI 1243	KALNAGIS 1244	RIMŠIŲKI 1333	KAIŠIŲKI 1334	MAŠIŲKI 1343	NEMENČIŲKI 1344	ŠARAI 1433	ŠEŠČIŲKI 1434		
			KYBARIAI 1231	VILKAVIŠKI 1232	NAŠLŲ RŪDA 1241	PRIENAI 1242	JEŽINAI 1331	ELBTRENIŲKI 1332	TRAKAI 1341	VILNIUS 1342	KIŠIAI 1431				
			VISTYTIS 1213	KALVARIJAI 1214	MARIJAMPOLĖ 1223	SALMERIŠKI 1224	ŠEŠČIŲKI 1313	ŠUNTAUVIŠKI 1314	RŪDŲKI 1323	JAIŠIŲKI 1324	MEDININKAI 1413				
			LIŠIŲKI 1212	LAZDIJAI 1221	ŠEŠČIŲKI 1222	MERKINĖ 1311	VARĖNA 1312	ŠIŠIŲKI 1321	ŠALČIŲKI 1322	ŠEŠČIŲKI 1411					
						KUČIŲKI 243	DRUSKININKAI 244	RATKIŲKI 333	MARIČIONIŲKI 334	KALVAI 343					
							VARVIŠKI 242	GRŪDAI 331	GUDŲ GRĖIAI 332						

Literatūros sąrašas

- [1] Eberspacher J., Vogel H. J., Bettstetter C. *GSM Switching, Services and Protocols Second Edition*. John Wiley & Sons, LTD, 2001.
- [2] **Kežionis A. Radijo sąsaja šiuolaikinėse telekomunikacijų sistemose. Vilnius, 2008.**
- [3] Lempinen J., Manninen M. *Radio Interface System Planning for GSM/GPRS/UMTS*. Kluwer Academic Publishers, 2002.
- [4] Heine G. *GSM Networks: Protocols, Terminology and Implementation*. Boston-London, 1998.
- [5] Hillebrand F. *GSM and UMTS*. John Wiley & Sons, LTD, 2002.
- [6] Clark M. P. *Wireless Access Networks: Fixed Wireless Access and WLL Networks – Design and Operation*. John Wiley & Sons, LTD, 2000.
- [7] Parsons J. D. *The Mobile Radio Propagation Channel*. John Wiley & Sons, LTD, 2000.
- [8] Lehman H. *Transmission Systems Design Handbook for Wireless Networks*. Boston-London, 2000.
- [9] Anderson H. R. *Fixed Broadband Wireless System Design*. John Wiley & Sons, LTD, 2003.
- [10] Sorooshyari S. *Introduction to Mobile Radio Propagation and Characterization of Frequency Band*.
- [11] Mandatam N. B. *Wireless Communication Technologies*. Rutgers University, 2002.
- [12] Akcakaya O., Kocaman E., Kaldirim O. *Propagation Models*.
- [13] **Halonen T. ir kt. GSM, GPRS and EDGE performance. John Wiley & Sons, LTD, 2003.**