

BARIÉROVÉ EFEKTY GEORELIÉFU MALÝCH KARPÁT PRI ŠÍRENÍ ROZHLASOVÉHO FM SIGNÁLU

Marián Možucha

Trans World Radio – Slovakia, Baňšelova 17, 821 04 Bratislava 2

Abstract: In presented paper the phenomenon of georelief barrier effects is expressed with a set of morphometric parameters of georelief, with the parameters derived from them, and with global parameters of georelief structure. The barrier effects are studied in connection with radio FM signal propagation. The barrier effects are implemented into empirical formulas that are or can be used in prediction of spatial organization of radio FM field strength. All the parameters were verified on a study area around radio FM transmitter Kamzik, in environment of own Visual Basic application.

Keywords: georelief; DTM; radio signal; propagation; barrier effects; field strength; visibility; viewshed; diffraction

1. ÚVOD

Z geosystémového hľadiska chápeme georeliéf ako plochu, resp. rozhranie, na ktorom prebiehajú interakcie medzi geosférami, t.j. litosférou, pedosférou, hydrosférou, atmosférou a biosférou (Krcho, 1990), a okrem iného aj ako bariéru pre šírenie rozhlasového FM signálu.

Jednou z pomocných metód pri zisťovaní bariérových efektov je optická viditeľnosť, a to pomocou modulov visibility (point-to-point) a viewshed (point-to-area) v prostredí geografických informačných systémov (GIS) nad digitálnym modelom georeliéfu (digital terrain model – DTM).

Zisťovanie, meranie a analýza bariérových efektov georeliéfu je oblasť, ktorá nie je v geografii na Slovensku príliš rozšírená. Okrem sporadických prác, ktoré sa tomu náznačovo venujú pri analýze optickej viditeľnosti, treba spomenúť práce Minár a Tremboš a Vajlíková (1992) a Minár (1998). V týchto zmienovaných prácach sa okrem iného študuje priemerná úroveň sklonu určitého typu georeliéfu a jeho vplyv na rýchlosť a intenzitu horizontálnych vzťahov. V práci Minár a Tremboš a Vajlíková (1992) sa stanovuje veľkosť bariérového efektu georeliéfu na daný proces ako miera spomalenia (napr. rýchlosť

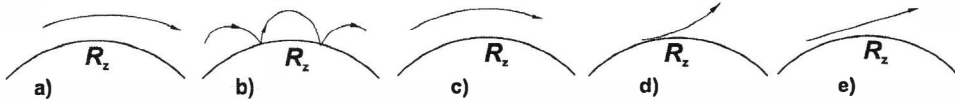
autobusovej dopravy) alebo ako zníženie jeho intenzity (napr. intenzita TV signálu), a to na základe empirických vzťahov.

V našom prípade bariérové efekty georeliéfu budú zisťované ako rozdiel hodnôt priestorového rozloženia intenzity poľa rozhlasového FM signálu voči priestorovému rozloženiu v ideálnych podmienkach (voľný priestor, resp. hladká rovina), a vyjadrené pomocou morfometrických parametrov, predovšetkým uhlom ožiarenia, ako aj pomocou globálnych štruktúrnych parametrov, ktoré charakterizujú georeliéf na trase medzi prijímacou a vysielačou anténou (Klima a Klimeš 1988, ITU-R 2000, Možucha, 2003c).

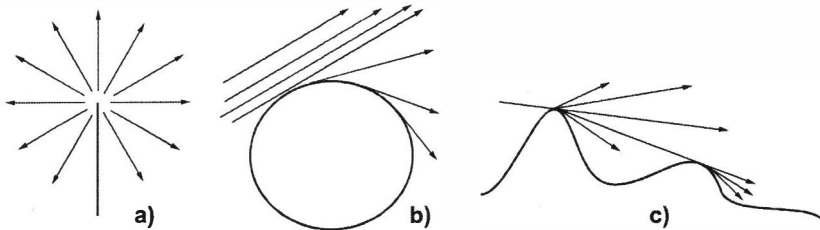
2. ŠPECIFIKÁ ŠÍRENIA ROZHLASOVÉHO FM SIGNÁLU

Pod pojmom rozhlasový FM signál budeme rozumieť umelo vyvolané a vzduchom šírené frekvenčne modulované (FM) elektromagnetické žiarenie obsahujúce informáciu, ktorá je pomocou rozhlasových prijímačov, tunerov, prípadne iných zariadení, rozkódovaná (demodulovaná) a reprodukovaná ako akustický signál niektorej z rozhlasových staníc vo frekvenčnom pásme $f = 87,5 - 108$ MHz.

Rozhlasový FM signál sa šíri v prostredí geografickej sféry. Z hľadiska prijatej mierky rozlíšenia je jeho šírenie ohraničené hornou hranicou troposféry, ktorú budeme považovať za polopriepustnú bariéru (prepúšťa rozhlasový FM signál iba smerom von), a georeliéfom, ktorý budeme považovať za nepriepustnú bariéru (čiastočne pohlcuje a čiastočne odráža rozhlasový FM signál). Časovo a priestorovo nevýznamné výnimky z tohto pravidla môžeme v zmysle práce Prokop a Vokurka (1981) zanedbať.



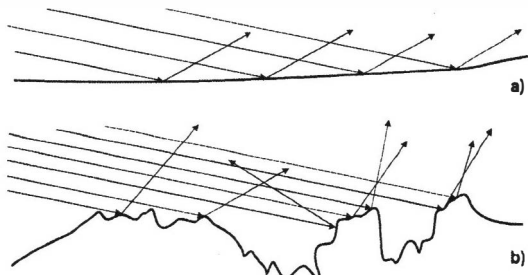
Obrázok 1 Refrakcia rozhlasového FM signálu v troposfére: a) štandardná, b), c) superrefrakcia, d), e) subrefrakcia



Obrázok 2 Difrakcie na povrchu – a) na hrane polroviny, b) na guľovom povrchu, c) na prekážkach pri šírení nad georeliéfom

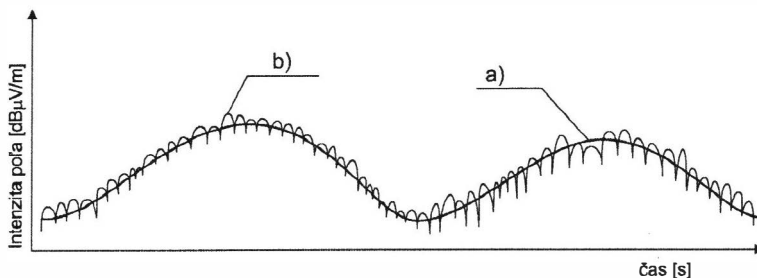
Rozhlasový FM signál pri šírení v takto vymedzenom priestore sa šíri rovnomerne všetkými smermi – ak uvažujeme o troposfére ako o homogénnom médiu a o anténe ako o izotropnom žiariči. Vzhľadom na množstvo rôznych nehomogenít a bariér (Raida a kol., 2002) dochádza pri šírení rozhlasového FM signálu k rôznym interakciám. Z tých

významnejších je vhodné spomenúť refrakcia (lom vplyvom zmeny hustoty a tým aj uhla lomu) – obr. 1, difrakcia (ohyb na prekážkou) – obr. 2, reflexia (odraz od povrchu) – obr. 3a, difúzia (rozptyl rôznymi smermi) (obr. 3b).



Obrázok 3 Reflexia – a) odraz, b) difúzia (rozptyl)

Rozhlasový FM signál teda môže meniť smer, odrážať sa, ale môže dochádzať aj k ich súčtu či odčítaniu elektromagnetickej nosnej vlny – k zmene intenzity elektromagnetickeho poľa, v závislosti od vzájomnej polohy fázy sčítaných vln. Na základe meraní (Klima a Klimeš, 1988) možno povedať, že intenzita poľa FM signálu má charakter dlhodobých (pravidelných) a krát- kodobých (nepravidelných) únikov (obr. 4).



Obrázok 4 Únik intenzity poľa FM signálu pri meraní v reálnych podmienkach a) dlhodobý únik, b) krátkodobý únik

Vzhľadom na časovú a priestorovú premenlivosť intenzity poľa rozhlasového FM signálu sa okamžité hodnoty intenzity poľa nahrádzajú mediánovými hodnotami (ITU-R, 2000), ktoré umožňujú modelovať priestorové rozloženie intenzity poľa s vopred danou štatistickou prípustnou odchýlkou.

3. MORFOMETRICKÉ PARAMETRE GEORELIÉFU

Georeliéf ako rovinnú plochu môžeme opísať aproximačnými funkciami, ktoré vychádzajú z primárneho bodového poľa výšok. Uvažujme o parciálnych deriváciách georeliéfu (Krcho, 1990):

$$\frac{\partial z}{\partial x} = z_x, \frac{\partial z}{\partial y} = z_y, \frac{\partial^2 z}{\partial x^2} = z_{xx}, \frac{\partial^2 z}{\partial x \partial y} = z_{xy}, \frac{\partial^2 z}{\partial y^2} = z_{yy}, \quad (1)$$

funkcie dvoch premenných x, y vyjadrenej vo všeobecnom tvare:

$$z = f(x, y). \quad (2)$$

Tieto parciálne derivácie vo zvolenej mierke $l:M_l$ na jej rozlišovacej úrovni U_l vyjadrujú presne geometrickú štruktúru plochy statického georeliéfu.

V zmysle práce Minár (1998) je nadmorská výška georeliéfu (z) primárny parameter, tzv. parameter nultého rádu. Z jeho zmeny (prvej derivácie) v istom smere (napr. sklon a orientácia) sú odvodené parametre prvého rádu. Krivosti georeliéfu a ďalšie parametre reprezentujúce zmenu zmeny (druhú deriváciu) nadmorských výšok sú potom parametrami druhého rádu. Takto možno definovať v podstate neobmedzené množstvo morfometrických parametrov.

Vyberieme si z nich tie, ktoré sú najvhodnejšie kvantitatívne vyjadrenie bariérových efektov georeliéfu, a odvodíme i niektoré parametre dosiaľ nepoužívané, ale významné z hľadiska tohto cieľa.

3.1. Výpočet uhla ožiarenia georeliéfu

Intenzita elektromagnetického poľa FM signálu v danom bode závisí od uhla jeho dopadu na georeliéf. Uhol ožiarenia georeliéfu je vyjadrením vzťahu morfometrických parametrov georeliéfu a polohy vysielača. Potrebujeme zistiť uhol ožiarenia ($\delta_{\text{exp}}^{\text{FM}}$), (t.j. uhol, ktorý zvierajú dopadajúci FM signál s dotyčnicou na georeliéf) a uhol δ_{LN} , ktorý zvierajú normála N_i v bode $A_i[x_i, y_i, z_i]$ plochy georeliéfu s dopadajúcim FM signálom (obr. 5).

Pre normálu N plochy georeliéfu v bode $A_i[x_i, y_i, z_i]$ platí:

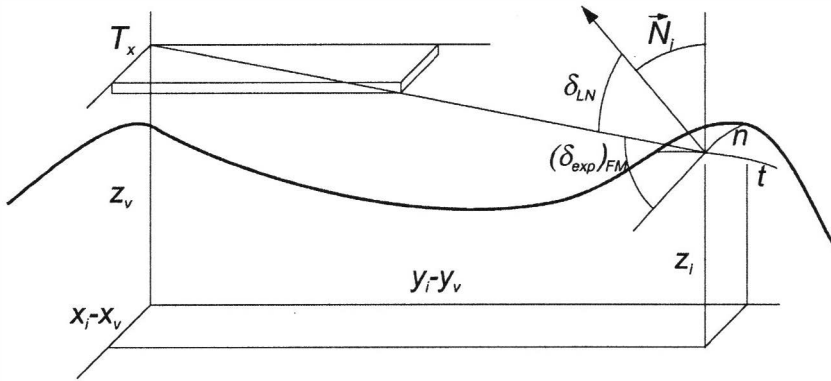
$$N = \{N_x, N_y, N_z\}. \quad (3)$$

Predpokladajme, že vektor normály N_i je jednotkový vektor, t.j. $|N| = 1$, potom jeho kartézske súradnice budú aj jeho smerovými kosínusmi (obr. 5), takže $N = \{\cos\alpha_N, \cos\beta_N, \cos\gamma_N\}$. Jednotlivé smerové kosínusy budú mať tvar:

$$N_x = |N| \cos\alpha_N = |N| \frac{-z_x}{\sqrt{z^2 x + z^2 y + 1}}$$

$$N_y = |N| \cos\beta_N = |N| \frac{-z_y}{\sqrt{z^2 x + z^2 y + 1}}$$

$$N_z = |N| \cos\gamma_N = |N| \frac{1}{\sqrt{z^2 x + z^2 y + 1}} \quad (4)$$



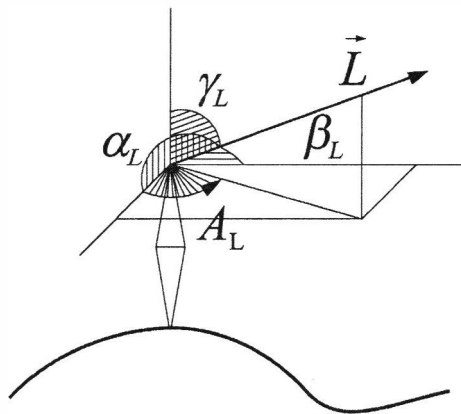
Obrázok 5 Dopad lúča na georeliéf

FM signál dopadajúci na bod $A_i[x_i, y_i, z_i]$ z vysielača $T_x[x_v, y_v, z_v]$ môžeme vyjadriť podobným spôsobom ako vo vzťahu (4), $\mathbf{L} = \{L_x, L_y, L_z\}$ (súradnicu z [m] počítame ako z' v zmysle vzťahu (9)), kde podľa obr. 6:

$$L_x = \cos\alpha_L = \frac{x_i - x_{vi}}{\sqrt{(x_i - x_{vi})^2 + (y_i - y_{vi})^2 + (z_i - z_{vi})^2}} = \frac{\Delta x_{vi}}{\sqrt{\Delta x_{vi}^2 + \Delta y_{vi}^2 + \Delta z_{vi}^2}},$$

$$L_y = \cos\beta_L = \frac{y_i - y_{vi}}{\sqrt{(x_i - x_{vi})^2 + (y_i - y_{vi})^2 + (z_i - z_{vi})^2}} = \frac{\Delta y_{vi}}{\sqrt{\Delta x_{vi}^2 + \Delta y_{vi}^2 + \Delta z_{vi}^2}},$$

$$L_z = \cos\gamma_L = \frac{z_i - z_{vi}}{\sqrt{(x_i - x_{vi})^2 + (y_i - y_{vi})^2 + (z_i - z_{vi})^2}} = \frac{\Delta z_{vi}}{\sqrt{\Delta x_{vi}^2 + \Delta y_{vi}^2 + \Delta z_{vi}^2}}. \quad (5)$$



Obrázok 6 Jednotkový vektor lúča

Definujme si rovinu σ_{LN} , v ktorej ležia oba jednotkové vektory \mathbf{L} a \mathbf{N} . Chceme zistiť uhol, ktorý vektory \mathbf{L} a \mathbf{N} zvierajú. V zmysle práce Krcho (1967) je východiskovým vzťahom na určenie uhla δ_{exp} v ľubovoľnom bode $A_i[x_i, y_i, z_i]$ topografickej plochy vzťah:

$$L \cdot N = \cos \delta_{LN} = \sin \delta_{\text{exp}} \quad (\delta_{LN} + \delta_{\text{exp}} = 90^\circ) \quad (6)$$

V skalárnom tvare to je:

$$L \cdot N = N_x L_x + N_y L_y + N_z L_z = \cos \delta_{LN} = \sin \delta_{\text{exp}} \quad (7)$$

Výsledný vzťah je po dosadení rovníc (4), (5), (6) a (7) definovaný ako:

$$\frac{(-z_x \Delta x_{vi}) + (-z_y \Delta y_{vi}) + \Delta z_{vi}}{\sqrt{z_x^2 + z_y^2 + 1} \sqrt{\Delta x_{vi}^2 + \Delta y_{vi}^2 + z_{vi}^2}} = \sin (\delta_{\text{exp}})_{\text{FM}} \quad (8)$$

3.2. Ďalšie parametre georeliéfu pri interakciách FM signálov s georeliéfom

Pri zobrazení intenzity interakcií FM signálov s georeliéfom sa ukázali ako vhodné ďalšie parametre odvodené zo základných morfometrických parametrov georeliéfu, ich zmenu v smere od vysielača, čiže v smere uhla α . Takto definovaná množina G'_{RF} pozostáva z parametrov (obr. 7):

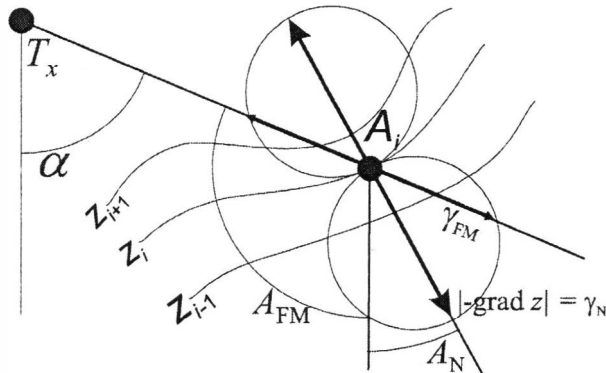
$$G'_{\text{RF}} = (z', \alpha, \gamma_L, \gamma_{\text{FM}}, A_{\text{FM}}, (K_N)_{\text{FM}}, (\delta_{\text{exp}})_{\text{FM}}, \gamma_{\text{vid}}, (\delta_{\text{exp}})_d, \dots), \quad (9)$$

kde z' je upravená nadmorská výška georeliéfu o zakrivenie Zeme, pričom vo všetkých prípadoch tieto parametre odvádzame vo vzťahu k súradniciam x_0, y_0, z_0 , resp. $\varphi_0, \lambda_0, h_0$ vysielača FM signálu, γ_N je sklon bodu v smere spádnice (obr. 7), α je azimut, t.j. uhol medzi juhom a bodom na georeliéfe (obr. 7):

$$\alpha = \arcsin \left(\frac{\Delta y_i}{Q} \right) = \arcsin \left(\frac{y_i - y_v}{\sqrt{(x_i - x_v)^2 + (y_i - y_v)^2}} \right), \quad (10)$$

A_{FM} (obr. 7) je orientácia georeliéfu voči vysielaču $T_x [x_v, y_v, z_v]$:

$$A_{\text{FM}} = 180^\circ - \alpha + A_N = 180^\circ - \alpha + \arctg (z/z_x), \quad (11)$$



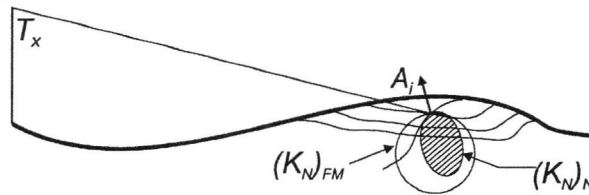
Obrázok 7 Zobrazenie uhla A_{FM} na mape

γ_{FM} je sklon georeliéfu v smere FM signálu (v zmysle Krcho, 2001), podľa obr. 7:

$$\gamma_{FM} = \gamma_N \cos A_{FM} = \arctg \left(\sqrt{(z_x)^2 (z_y)^2} \right) \cos A_{FM}, \quad (12)$$

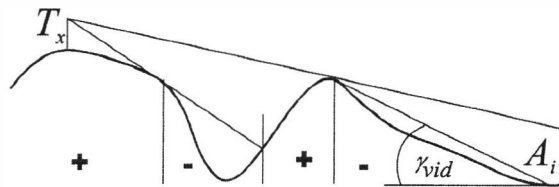
$(K_N)_{FM}$ je krivosť georeliéfu v smere FM signálu (v zmysle obr. 8, odvodené podľa Krcho, 2001). Krivosť v smere vysielača bude menšia, nanajvýš rovná krivosti normálovej $(K_N)_N$ v smere spádovej krivky, inak označovanej aj ako ω :

$$(K_N)_{FM} = \frac{z_{xx} \cos^2 \alpha + 2z_{xy} \cos \alpha \sin \alpha + z_{yy} \sin^2 \alpha}{\left[(1+z_x^2) \cos^2 \alpha + 2z_x z_y \cos \alpha \sin \alpha + (1+z_y^2) \sin^2 \alpha \right] \sqrt{1+z_x^2+z_y^2}}, \quad (13)$$



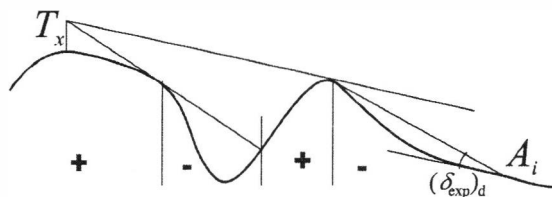
Obrázok 8 Krivosť georeliéfu v smere FM signálu

γ_{vid} je uhol voľnej viditeľnosti, ktorý zvierá bod A_i so spojnicou s vysielačom T_x , prípadne s najvýraznejšou bariérou georeliéfu (nad ňou je už voľná viditeľnosť) – obr. 9.



Obrázok 9 Uhol voľnej viditeľnosti

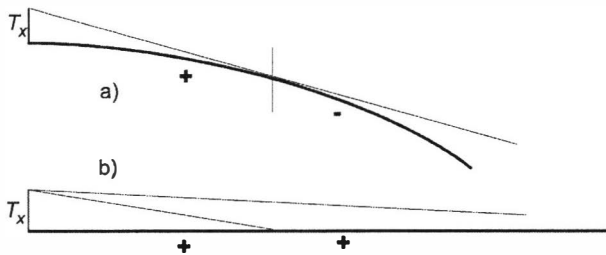
$(\delta_{exp})_d$ je uhol difrakčného ožiarenia, ktorý zvierá dotyčnica georeliéfu v bode A_i s vysielačom T_x , prípadne s najvýraznejšou bariérou georeliéfu (nad ňou je už voľná viditeľnosť) – obr. 10.



Obrázok 10 Uhol difrakčného ožiarenia

Na danej rozlišovacej úrovni nebudeme brať do úvahy úlohu odrazených lúčov, ktoré by eventuálne mohli spôsobiť, že niektoré oblasti v tieni by boli viditeľné.

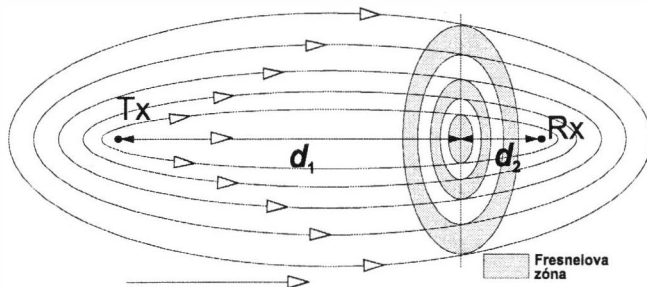
Zakrivenie Zeme niektoré GIS-y pri výpočtoch viditeľnosti prehliadajú, a zisťujú viditeľnosť len na plochej referenčnej ploche. Pre malé plošné rozmery digitálneho modelu georeliéfu, prípadne jeho pre nízku rozlišovaciu úroveň, to azda stačí, v ostatných prípadoch je zohľadnenie týchto javov dôležité (obr. 11). V zmysle práce Možucha (2003a) napríklad v závislosti od použitého kartografického zobrazenia pri dĺžke trajektórie 10 km by bolo nutné znížiť súradnicu z [m] v DTM kvôli zakriveniu Zeme až 5,9 m, pri 100 km až o 588,2 m. Skreslenie výsledkov spôsobené nezohľadnením zakrivenia Zeme rastie v podstate exponenciálne.



Obrázok 11 Vplyv zakrivenia Zeme na viditeľnosť: a) daný zakrivením, b) skreslený vyrovnaním

5. RÁDIOVÁ VIDITEĽNOSŤ A FRESNELOVA ZÓNA

Aj keď svetlo a rozhlasový FM signál majú povahu elektromagnetického žiarenia, preda sa pri svojom šírení v troposfére odlišujú. Pri takých relatívne krátkych vzdialenostiach (cca. 100 km) sa energia slnečného svetla (vlnový rozsah $\lambda = 380$ nm až 780 nm) šíri priamočiario, zatiaľ čo v prípade rozhlasového FM signálu s vlnovým rozsahom $\lambda = 2,78$ m až 3,43 m sa šíri v podobe elipsodu, ktorého rozmery sú funkciou vlnovej dĺžky a vzdialenosti medzi vysielačom a prijímačom (obr. 12). Výrazne odlišná frekvencia slnečného žiarenia – cca $3,8 \cdot 10^5$ – $7,8 \cdot 10^5$ GHz oproti 0,1 GHz FM signálu – determinuje výrazne odlišnú šírku Fresnelovej zóny.



Obrázok 12 Fresnelov elipsoid a Fresnelove zóny medzi vysielačom (T_x) a prijímačom (R_x)

Ak prekážka vo Fresnelovom elipsoide presiahne spojnicu $T_x - R_x$, spôsobuje stratu 6 dB (50% energie). No to platí len v prípade, že daná prekážka má voči vlnovej dĺžke λ FM signálu malé rozmery a veľkú krivosť $K_N = 1/R_N$. Vo väčšine skutočných prípadov však majú zaokrúhlený tvar (vrcholy hôr) alebo rozsiahly rovný povrch (horské chrbáty). V takých prípadoch tlmenie signálu môže dosiahnuť až 20 dB, čo predstavuje viac než trojnásobné zníženie intenzity poľa FM signálu. Vzťah na výpočet priečného polomeru r [m] Fresnelovho elipsoidu je (podľa Linhart, 1981):

$$r = \sqrt{\frac{\lambda d_1 d_2}{d_1 + d_2}}, \quad (14)$$

kde d_1 [km] je vzdialenosť od prekážky k vysielaču, d_2 [km] je vzdialenosť od prekážky k prijímaču, a λ [m] je vlnová dĺžka. Tieto parametre vystupujú do popredia aj pri výpočte difrakcie.

6. HODNOTENIE VYBRANÝCH PARAMETROV GEORELIÉFU

Na základe systémového vzťahu môžeme intenzitu E poľa FM signálu vyjadriť ako funkciu viacerých parametrov

$$E = f(h_1, h_2, d_1, d_2, \lambda, P, G, E_0, \dots), \quad (15)$$

kde P je vyžiarený výkon, E_0 je teoretická hodnota intenzity poľa pri dokonalej rovine – pri daných výškach a vzdialenostiach trasy medzi vysielačom a prijímačom, G je zisk vysielačej antény voči izotropnému žiariču (ideálnemu stavu).

Presné analytické vyjadrenie týchto vzťahov je odvodené a vyjadrené v mnohých prácach (napr. Linhart a kol. 1981, Prokop a Vokurka 1982, Klima a Klimeš 1988, ITU-R 2000). Takto definovanými vzťahmi je možné pomerne spoľahlivo počítať nielen optickú viditeľnosť nad daným georeliéfom, ale aj rádiovú viditeľnosť a priestorové rozloženie intenzity E poľa FM signálu podľa metodík ITU-R, i so zohľadnením zložitého javu difrakcie.

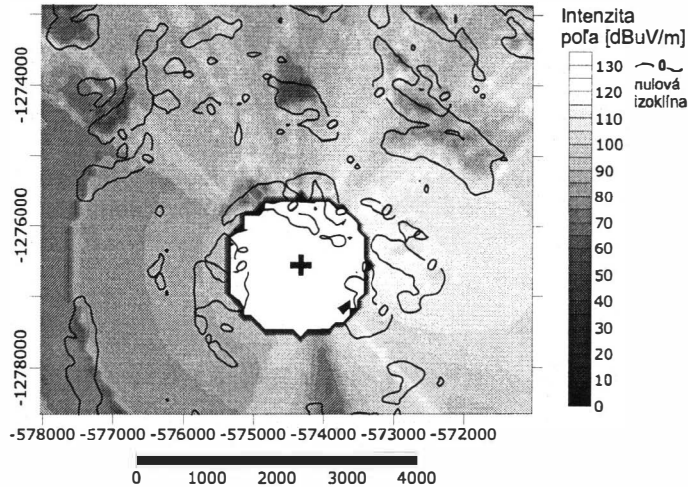
Autorovi nie sú známe GIS aplikácie a ani špecializované rádiokomunikačné aplikácie, ktoré by sa týmto problémom zaoberali práve z pohľadu bariérových efektov georeliéfu (Možucha 2003b). Vytvorili sme aplikáciu v prostredí Visual Basic (ktorú možno implementovať aj do rôznych prostredí GIS), na výpočet intenzity E poľa FM signálu (ITU-R, 2000) a na zisťovanie bariérových efektov georeliéfu..

Na testovacom území časti Malých Karpát (rôznorodosť morfometických parametrov a foriem georeliéfu) sme zisťovali vplyv jednotlivých parametrov georeliéfu na šírenie FM signálu s vysielača Kamzík.

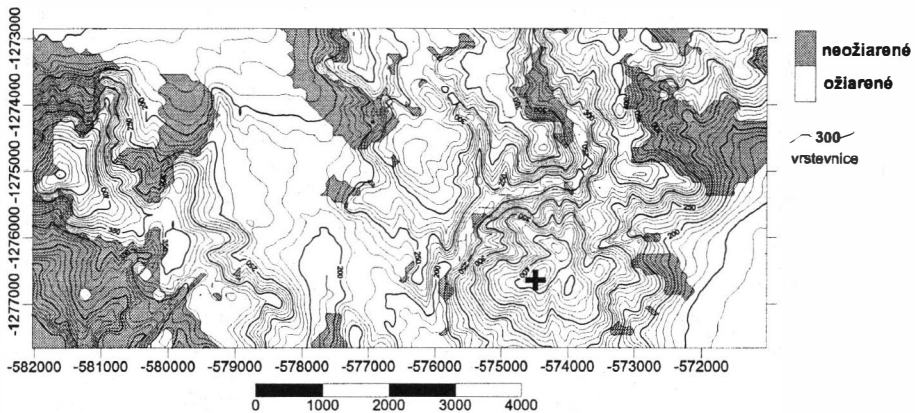
Vplyv uhla sklonu georeliéfu γ_{FM} v smere FM signálu na priestorové rozloženie intenzity poľa E zobrazuje obr. 13.

Izoklíny nulových hodnôt γ_{FM} (pozri obr. 13) vyhraničujú oblasti nehomogenity v priestorovom rozložení intenzity E poľa sledovaného FM signálu. Z povahy výpočtu parametra γ_{FM} vyplýva, že nadobúda aj negatívne hodnoty. Takto vyhraničené oblasti sa vyznačujú výraznou nehomogenitou intenzity E poľa FM signálu v porovnaní s teoretic-

kými hodnotami E_0 . Kladné hodnoty parametra γ_{FM} nie sú vždy lokalizované do oblastí s homogénnym rozložením intenzity poľa FM signálu. Súvisí to okrem iného aj s tým, že body georeliéfu s kladnou hodnotou parametra γ_{FM} sa môžu nachádzať v optickom tieni (nie vlastnom, ale vo vrhnutom bode, resp. bodmi georeliéfu ležiacom medzi daným bodom georeliéfu a vysielačom) – obr. 14.



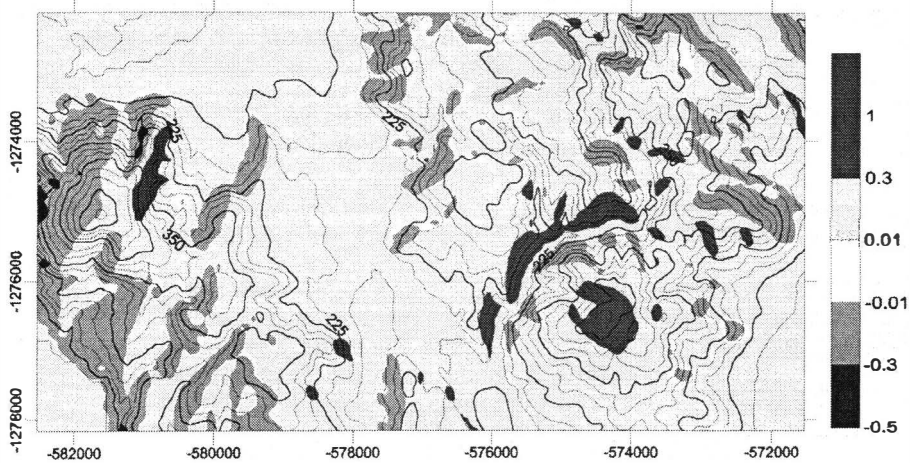
Obrázok 13 Priestorové rozloženie intenzity E [$\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$] poľa rozhlasového FM signálu – vplyv sklonu γ_{FM} [deg] georeliéfu v smere šírenie FM signálu



Obrázok 14 Ožiarenie georeliéfu FM signálom z FM vysielača Kamzík (čierne kríž)

Parameter uhla ožiarenia georeliéfu $(\delta_{\text{exp}})_{FM}$ FM signálom (obr. 15) z hľadiska geometrickej optiky najjednoduchšie vyjadruje funkčný vzťah medzi polohou T_x a morfo-metrickými parametrami georeliéfu. Nulové izalumklíny $(\delta_{\text{exp}})_{FM}$, tj. $(\delta_{\text{exp}})_{FM} = 0^\circ$ s vysokou presnosťou vylučujú a negatívne hodnoty $(\delta_{\text{exp}})_{FM}$, tj. $(\delta_{\text{exp}})_{FM} < 0^\circ$ určujú oblasti s nižšou intenzitou poľa FM signálu (s nižšou hodnotou vzhľadom na teoretické hodnoty intenzity poľa). Pri porovnávaní priestorového rozloženia intenzity poľa s uhlom ožiare-

nia georeliéfu ($\delta_{\text{exp}})_{\text{FM}}$ FM signálom je viditeľná zhoda dokonca aj v oblastiach optického tieňa.



Obrázok 15 Uhol ožiarenia georeliéfu FM signálom, v smere šírenia FM signálu, parameter $\sin(\delta_{\text{exp}})_{\text{FM}}$

7. ZÁVER

Na základe morfometrickej analýzy zvolenej množiny parametrov georeliéfu (9) na úrovni diferenciálne malého okolia bodu georeliéfu (Krcho, 1990) sme zistili, že niektoré z analyzovaných parametrov majú väčší, prípadne menší vplyv na priestorové rozloženie intenzity poľa FM signálu. Najlepšie je možné bariérové efekty georeliéfu vyjadriť pomocou uhla ožiarenia ($\delta_{\text{exp}})_{\text{FM}}$, prípadne pomocou vzájomných vnútorných vzťahov týchto parametrov. V prípade globálnych parametrov (15) geometrickej štruktúry georeliéfu (Klima a Klimeš, 1988) sú tieto súčasťou empirických vzťahov medzinárodne používaných pri predikcii intenzite poľa FM signálu, čo znamená, že dobre vystihujú bariérové efekty georeliéfu v prípade prijímača v klasickom prevedení – s prijímacou anténou minimálne 2 m nad georeliéfom. Parametre v množine G_{RF} vcelku dobre dopĺňajú tieto parametre vyjadrujúce bariérové efekty georeliéfu, ak by sme ich zisťovali priamo na úrovni georeliéfu.

Literatúra

- ITU-R Report 239-6. 1990. *Propagation statistics required for broadcasting services using the frequency range 30 to 1000 MHz*. Geneva : ITU-R, 1990. 275-289.
- HALL, M. P. M., BARCLAY, L. W., HEWITT, M. T. (eds.). 1996. *Propagation of Radiowaves*. New York : IEEE Press, 1996. 446. ISBN 0-85296-819-1.
- ITU-R Recommendation 370-7. 2000. *VHF and UHF propagation curves for the frequency range from 30 MHz to 1000 MHz*. Geneva : ITU-R, March 2000. – CD-ROM.

- KLIMA, J., KLIMEŠ, J. 1988. *Výpočet intenzity elektromagnetického poľa v pásmach VKV a UKV*. Praha : Nadas, 1988. 144.
- KRCHO, J. 1967. Zovšeobecnenie rovnice izalumklín na topografickej ploche a v jej skalárnom poli. In: *Geografický časopis*, roč. XIX, 1967, č. 2, 107-127.
- KRCHO, J. 1990. *Morfometrická analýza a digitálne modely georeliéfu*. Bratislava : Veda, 1990. 432. ISBN 80-224-0018-1.
- KRCHO, J. 1992. Georelief and Its Cartographic Modelling by Complex Digital Model (CDM) from Geographical Information System (GIS) Point of View. In: *Acta Facultatis Rerum naturalium Universitatis Comenianae, Geographica*, Nr. 33, Bratislava: Univerzita Komenského, 1992, 3-131.
- KRCHO, J. 2001. *Modelovanie georeliéfu a jeho geometrickej štruktúry pomocou DTM; polohová a numerická presnosť*. Bratislava : QI 11, 2001. 350. ISBN 80-85401-92-4.
- LINHART, E. a kol. 1981. *Rádiové pohyblivé služby*. Praha : Nadas, 1981. 250.
- MINÁR, J. 1998. *Georeliéf a geoeologické mapovanie vo veľkých mierkach*. Bratislava : Prírodovedecká fakulta Univerzity Komenského, 1998. 185. – Habilitačná práca.
- MINÁR, J., TREMBOŠ, P., VAJLÍKOVÁ, G. 1992. The Barrier Effect of Georelief, its Forms and Possibilities of Evaluation. In: *Acta Facultatis Rerum naturalium Universitatis Comenianae, Geographica*, Nr. 33. Bratislava : Univerzita Komenského, 1992, 199-212.
- MOŽUCHA, M. 2003(a). Interakcie FM signálov s georeliéfom a ich zobrazenie v 2D a 3D priestore – priestorová presnosť. In: *Geoinformatizácia kartografie : Zborník referátov 15. kartografickej konferencie (Zvolen 4. – 5. 9. 2003)*. Ed. J. Čížmár, K. Čuláková. Zvolen : Kartografická spoločnosť Slovenskej republiky, 2003, 192-201.
- MOŽUCHA, M. 2003(b). Možné prínosy geografie do predikcie priestorového rozloženia intenzity poľa FM signálu v priestore geografickej sféry. In: *Geografie XIV : Geografické aspekty stredoevropského priestoru*. Ed. S. Novák. Brno: Masarykova univerzita, 2003, 312-316.
- MOŽUCHA, M. 2003(c). *Bariérové efekty georeliéfu pri šírení rozhlasového FM signálu v prostredí geografickej sféry*. Bratislava : Prírodoved. fakulta Univerzity Komenského, 2003. 128. – Dizertačná práca.
- PROKOP, J., VOKURKA, J. 1982. *Šírení elektromagnetických vln a antény*. Praha : Státní nakladatelství technické literatury, 1982. 386.
- RAIDA, J. a kol. 2001. *Multimediální učebnice elektromagnetických vln a mikrovlnné techniky*. <http://wes.feec.vutbr.cz/~raida/multimedia/index.html.iso-8859-2>. Brno : Ústav rádioelektroniky FEI VUT, UT 2001.

Malé Karpaty Mountains as a barrier for propagation of a radio FM signal

Summary

Georelief is a surface where geospheres as systems are in interaction. Georelief also plays a role of a barrier for propagation of a radio FM signal. Expressing and analyzing barrier effects of georelief is not sufficiently developed area in Slovak geography, though there is a very good apparatus for its quantitative analysis in form of morphometric analysis of georelief.

In this article here were expressed attributes of radio FM signal when propagated from transmitter to receiver, and also a set of parameters necessary for expressing barrier effects of georelief – derived from morphometric parameters and derived from global parameters of geometric structure of georelief, some of them known and implemented in empiric equations for prediction of field strength E of radio FM signal, some of them derived as new parameters.

Since neither any GIS nor radiocommunication application allows making a new set of such parameters, an application under Visual Basic was developed, with possibility to execute it independently or to implement it into GIS environments.

Results of calculations showed that there are significant dependences between chosen parameters and a spatial distribution of field strength of radio FM signal over chosen georelief of Malé Karpaty Mountains.

There is a set of parameters expressing barrier effects of georelief in equations of field strength for receiving antenna height h more than 2 m. New parameters – defined and derived in this article – can help predict the field strength E on georelief, with areal expression.