

## GEORELIÉF A LOKALIZAČNÉ FAKTORY PRE VÝSTAVBU ROZHLASOVÝCH FM VYSIELAČOV

Marián Možuča

---

*Trans World Radio – Slovakia, Banšelova 17, 821 04 Bratislava 2*

**Abstract:** In presented paper factors influencing location of radio FM transmitters are studied. Process of location is analysed from the system point of view, with focus on georelief. Location factors, strongly influenced with georelief – its morphometry, are developed and used in an analysis of location of various radio FM transmitters in Slovakia and they are also implemented into calculations of location potential of a part of Malé Karpaty mountains. Possibilities of new locations in result of new technologies and trends in location are showed as well.

**Key words:** FM transmitter, location factors, location potential, visibility, viewshed, system of radio FM signal propagation, frequency coordination, radio horizon

### 1. ÚVOD DO PROBLÉMU

Lokalizácia rozhlasových vysielateľov frekvenčne modulovaného (FM) signálu na území Slovenska je z geografického pohľadu zaujímavý proces. Po r. 1989 na Slovensku došlo k výraznému nárastu súkromných FM rádii – dovtedy existovalo iba štátne Rock FM rádio – na 30 rádii, so 77 frekvenciami (10.5.2003). FM rádiá sú dnes také neodmysliteľné ako Internet a mobilná komunikácia. Tento nárast priniesol aj výrazný tlak na hľadanie nových vhodných lokalít pre FM vysielateľov, ktorý v podstate trvá až podnes. Tento rast je zaujímavý aj z toho dôvodu, lebo sa istým spôsobom zopakoval, a aj opakuje, v prípade mobilných sietí typu NMT, GSM, UMTS a v prípade mikrovlnových sietí.

Cieľom tohto príspevku je poukázať na georeliéf ako najvýraznejší lokalizačný faktor a stanoviť jeho vplyv na umiestnenie rozhlasových FM vysielateľov.

Lokalizácia je proces rozhodovania o umiestnení (prípadne o vymedzení, obmedzení) – lokalizovaní určitého objektu alebo činnosti do abstraktného alebo fyzického priestoru. Takto poňatý výraz môže označovať napr.

- ♦ lokalizáciu počítačového programu do slovenčiny,
- ♦ lokalizovanie požiaru,
- ♦ lokalizáciu priemyselného závodu.

V prípade lokalizácie rozhlasového FM vysielateľa ide o jeho umiestnenie na georeliéfe z hľadiska:

- ♦ predpokladaného efektu (územné pokrytie – kompaktnosť a dosah, potenciálny okruh poslucháčov)
- ♦ predpokladaných nákladov (vyžarovanie FM signálu, vybudovanie komunikačných a energetických sietí a zariadení).

## 2. SYSTÉMOVÉ HLĀDISKO

Priestorová lokalizácia FM vysielateľov je proces odohrávajúci sa v geografickej sfére, a preto je vhodné vyjadriť ho systémovo. FM vysielateľe sú v zmysle práce Krcho (1990) súčasťou dopravno-komunikačného systému. Z hľadiska stanoveného cieľa FM rozhlasové vysielanie môžeme ponímať ako systém zložený z niekoľkých subsystémov:

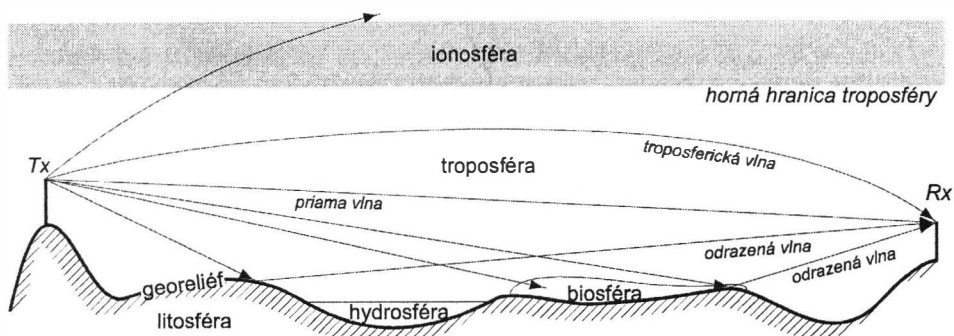
1. technický subsystém – FM vysielateľe, stožiare, vysielacie anténové sústavy, technické zariadenie na tvorbu FM signálu (modulátor), FM prijímače, prijímacie antény, zariadenie na demoduláciu FM signálu a jeho akustickú reprodukciu
2. subsystém šírenia FM signálu – prostredie, v ktorom sa FM signál šíri (troposféra, biosféra, resp. socioekonomická sféra), a v ktorom dochádza k interakciám FM signálu s georeliéfom: k refrakcii (lomu), difrakcii (ohybu), reflexii (odrazu) a difúzii (rozptylu) šíreného FM signálu (Hall, Barclay, Hewitt 1996, Grosskopf 1991)
3. poslucháčsky subsystém – prostredie, v ktorom prebiehajú spätné väzby na reprodukovanie informácie obsiahnuté v FM signále (on-line a off-line komunikácia, zmena preferencií a počúvanosti)
4. subsystém, ktorý produkuje obsah FM rozhlasového vysielania (redakčný tím, informačné zdroje, hudobné štúdiá) a podporuje ho (marketing, public relations)
5. subsystém, ktorý FM rozhlasové vysielanie kontroluje (Rada pre vysielanie a retransmisiiu, Telekomunikačný úrad, ochranné zväzy autorov a interpretov: SOZA, BIEM, Slogram)

Subsystém šírenia FM signálu vyjadrený svojimi prvkami a vzťahmi medzi nimi je v geografickej sfére jednoznačne priestorovo lokalizovaný, a preto sa naň zameriame.

### 2.1. Subsystém šírenia FM signálu

FM signál ako elektromagnetická vlna s nosnou frekvenciou, na ktorú je frekvenčne namodulovaná informácia, sa šíri v prostredí geografickej sféry. Vzhľadom na svoj charakter je jeho šírenie v podosfére, hydrosfére a litosfére výrazne obmedzené (na rozdiel

od elektromagnetického žiarenia v inom frekvenčnom spektre). Georeliéf ako pevné a zároveň dynamické rozhranie medzi atmosférou a hydrosférou na jednej strane a litosférou a pedosférou na druhej strane (Krcho 1990) je spodnou hranicou  $H_D$  tohto subsystému (slúžia ako izolant). Za hornú hranicu  $H_H$  budeme považovať hornú hranicu troposféry. Nad touto hranicou dochádza takmer výlučne k úniku FM signálu do priestoru nad troposférou (Vavra, Turán 1989). V celom priestore medzi dolnou a hornou hranicou dochádza k šíreniu FM signálu medzi vysielateľom a prijímačom viacerými spôsobmi (obr. 1).



**Obrázok 1** Systém šírenia rozhlasového FM signálu z vysielateľa na prijímač v prostredí geografickej sféry ( $T_x$  – vysielateľ,  $R_x$  – prijímač) a rôzne módy šírenia z vysielateľa na prijímač

Môžeme určiť aj horizontálnu hranicu – horizont. Je to línia spájajúca body georeliéfu, na ktoré FM signál z analyzovaného vysielateľa dopadá ako dotyčnica. Jej presný priebeh je funkciou vertikálnej členitosti georeliéfu a výšky vysielacej a prijímacej antény.

Vzťahy medzi prvkami uvažovaného subsystému sú v podstate jednosmerné – od vysielateľa  $T_x [x_t, y_t, z_t]$  k prijímačom  $R_x [x_r, y_r, z_r]$ . Vzťahy FM signálu s georeliéfom môžeme považovať za negatívne, pretože znižujú intenzitu poľa FM signálu resp. skresľujú nesenú informáciu (šum, kolísanie, únik, interferencie apod.).

V zmysle práce Krcho (1990) môžeme teda hovoriť o vplyve parametrov prvkov jednotlivých geosfér na šírenie FM signálu, a to:

- ♦  $a_1 \times e_5$  – atmosféry s jej parametrami (teplota, vlhkosť, zrážky, obsah prachu, zastúpenie plynov, intenzita a smer turbulencií, atmosferický tlak),
- ♦  $a_2 \times e_5$  – hydrosféry s jej parametrami (plošný rozsah, slanosť, teplota, obsah vodných pár, hladina spodnej vody, orientácia vodných tokov voči FM vysielateľa),
- ♦  $a_3 \times e_5$  – litosféry a georeliéfu s jeho parametrami (nadmorská výška  $z$ , efektívna výška  $h_{ef}$  vysielateľa, frekvencia vertikálnych zmien, morfometrické parametre: sklon  $\gamma_N$ , orientácia voči svetovým stranám  $A_N$ , normálová krivosť  $\omega$  a horizontálna krivosť  $K_r$ ) (Krcho 1990, 2001),
- ♦  $a_4 \times e_5$  – pedosféry s jej parametrami (vlhkosť, vodivosť, výška spodnej vody),
- ♦  $a_5 \times e_5$  – biosféry s jej parametrami (výška a typ porastu, hustota, vlhkosť, plošný rozsah), resp.

- ♦  $e_1 \times e_5$  – lesohospodárskej sféry (vlhkosť, hustota a výška lesného porastu, kompaktnosť)
- ♦  $e_2 \times e_5$  – poľnohospodárskej sféry (vlhkosť, hustota a výška pestovaných plodín),
- ♦  $e_3 \times e_5$  – priemyselnej sféry (výška a plošný rozsah zástavby, odrážavosť, priepustnosť stavieb),
- ♦  $e_4 \times e_5$  – obytnej a sídelnej sféry (výška a hustota sídelnej zástavby, typ materiálu, odrážavosť, priepustnosť) (Hall, Barclay, Hewitt 1996),
- ♦  $e_5 \times e_5$  – dopravnej a komunikačnej sféry (intenzita elektromagnetického žiarenia, výšky stožiarov a smer vedenia elektrického prúdu VVN, hustota rôznych vysielateľov a vykryvačov),
- ♦  $e_6 \times e_5$  – riadiacej sféry a sféry služieb (frekvenčná koordinácia, kontrola dodržiavania emisných limitov, zmena technických parametrov vysielateľov) (Klima 2001, Belluš 2000).

Na základe empirických výskumov (Klima, Klimeš 1988) bolo jednoznačne dokázané, že na priestorové rozloženie intenzity poľa FM signálu – a teda aj rozhlasového FM signálu – má najväčší vplyv georeliéf. Vyplýva to aj z toho, že pre potreby praxe sa prijímacie antény nachádzajú v relatívne malej výške nad georeliéfom (2 – 10 m).

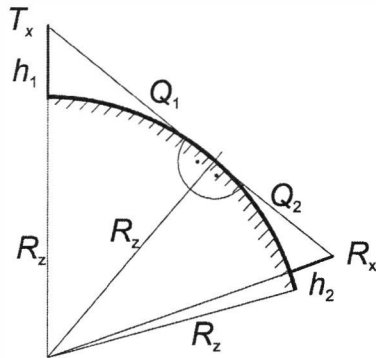
### 3. LOKALIZAČNÉ FAKTORY

Z hľadiska výstavby rozhlasových FM vysielateľov môžeme stanoviť tieto základné skupiny lokalizačných faktorov, ktoré pôsobia spolu, a lokalizáciu podporujú, prípadne redukujú alebo vylučujú:

1. Morfometria georeliéfu – efektívna výška  $h_{ef}$  vysielateľa voči okolitému georeliéfu, viditeľnosť a zatienenie jednotlivých oblastí pred šíriacim sa FM signálom, vertikálna členitosť georeliéfu, sklon v smere od vysielateľa, efektívna krivosť georeliéfu (Krcho 1990, 2001, Hall, Barclay, Hewitt 1996, Možucha 2003(b))
2. Osídlenie – koncentrácia obyvateľstva, výška obytných budov (výška prijímacích antén), potenciálny okruh poslucháčov, resp. veľkosť cieľovej skupiny a jej územná kompaktnosť
3. Koordinácia s ďalšími zdrojmi elektromagnetického žiarenia – obmedzenie rušenia FM signálu na lokálnej, regionálnej, medzinárodnej úrovni (Klima 2001)

#### 3.1. Lokalizácia FM vysielateľov vzhľadom na morfometriu georeliéfu

Na rovinnom type georeliéfu, resp. na ideálnej rovine pri dostatočne veľkom rozdielne medzi výškou vysielacej antény  $h_1$  a dĺžkou trasy  $d_{tr}$  medzi  $T_x$  (vysielateľ) a  $R_x$  (prijímač), t. j.  $h_1 \ll d_{tr}$ , dochádza k viditeľnosti až po hranicu horizontu, ktorý je daný zakrivením Zeme. Výpočet vzdialenosti horizontu Zeme pri zanedbaní vertikálnej členitosti georeliéfu spočíva na výpočte strán  $Q_1$  a  $Q_2$  dvoch pravouhlých trojuholníkov podľa vzťahu (1) (obr. 2) a za predpokladu, že výška vysielateľa  $h_1 > 0$  a výška prijímača  $h_2 > 0$ . Pri daných vstupných parametroch je horizont vo vzdialenosti  $d$  ( $d \geq d_{tr}$ ):



Obrázok 2 Princíp výpočtu horizontu (pri zanedbaní vertikálnej členitosti georeliéfu)

$$d = Q_1 + Q_2 = \sqrt{(R_z + h_1)^2 - R_z^2} + \sqrt{(R_z + h_2)^2 - R_z^2} \quad [\text{km}; \text{km}] \quad (1)$$

$$d = \sqrt{2R_z h_1 + h_1^2} + \sqrt{2R_z h_2 + h_2^2} \cong \sqrt{2R_z} \left( \sqrt{h_1} + \sqrt{h_2} \right) \quad [\text{km}; \text{km}] \quad (2)$$

Vzťah (2) je zjednodušením vzťahu (1) bez výrazných strát. Rozdiel medzi výsledkami vzťahu (1) a vzťahu (2) je zanedbateľný, napr. pri vzdialenosti horizontu  $d = 100$  km predstavuje 37cm, čiže 0,00037 % .

Pri refrakcii FM signálu v tzv. štandardnej atmosfére (priemerné hodnoty tlaku, teplotného gradientu apod.) dostaneme aproximatívny vzťah vystihujúci vzdialenosť tzv. rádiového horizontu (Klima, Klimeš 1988), ktorý uvažuje s tzv. efektívnym polomerom Zeme  $R_{ef}$ :

$$d = \sqrt{2R_{ef}} \left( \sqrt{h_1} + \sqrt{h_2} \right) \quad (R_{ef} = 4/3 R_z) \quad [\text{km}; \text{km}] \quad (3)$$

Presnejšie odchýlky medzi optickým a rádiovým horizontom pri výpočtoch viditeľnosti sú uvedené v Možucha 2003(a).

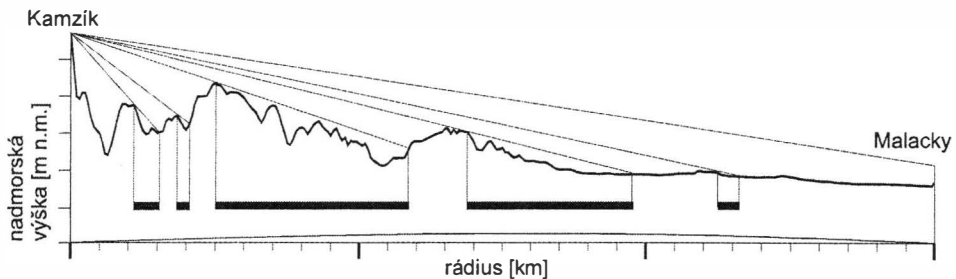
Napr. na rovinnom georeliéfe v rozsahu územia juhozápadného Slovenska pre vysielač Kamzík a Zobor neexistuje hranica rádiového horizontu v dôsledku zakrivenia Zeme, čo však neplatí pre vysielače s menšou efektívnou výškou  $h_{ef}$ , t. j. s menším vertikálnym rozdielom medzi nadmorskou výškou vysielača a okolitého georeliéfu (napr. mestské FM vysielače v Bratislave).

Pri výraznej vertikálnej členitosti a pri častom striedaní foriem georeliéfu so vzdialenosťou od vysielača prudko klesá intenzita poľa FM signálu a narastá jej nepravidelnosť (Klima, Klimeš 1988, Hall, Barclay, Hewitt 1996).

Pri lokalizácii FM vysielačov môžeme uvažovať o morfológii georeliéfu aj z hľadiska hierarchickej úrovne georeliéfu:

1. Vplyv makrotvarov – orientácia pohorí a kotlín vo vzťahu k polohe FM vysielača, efektívna výška  $h_{ef}$  vysielača – t. j. rozdiel medzi nadmorskou výškou anténovej sústavy a priemernou nadmorskou výškou okolitého georeliéfu (ITU-R, 1990), parametre globálnej štruktúry georeliéfu v danom smere (Klima, Klimeš 1988) a pod. (obr. 3)

2. Vplyv mikrotvarov – jednotlivé formy georeliéfu, morfometrické parametre, resp. ich efektívne hodnoty (Krcho 2001, Možucha 2003(b), prípadne z nich odvodené, napr. svetlosť trasy (Prokop, Vokurka 1982) a hĺbka tieňa Možucha 2003(b) a pod.



**Obrázok 3** Vplyv vertikálnej členitosti georeliéfu na zatienenie pred vysielateľom (profil Kamzík – Malacky)

Georeliéf svojou vertikálnou členitosťou rozdeľuje Slovensko tak, že z jedného miesta nie je technicky realizovateľné, prípadne ekonomicky únosné pokryť FM signálom šíriacim sa z pozemného FM vysielateľa väčšinu obývaného územia Slovenska. V letovej výške nad 7500m je zaručená rádiová komunikácia na celom území Slovenska, bez ohľadu na polohu vysielateľa (umiestnenom v lietadle) a prijímateľa (Marko, Babjak 1996).

V dôsledku mnohých limitných podmienok (zakrivenie Zeme, výrazná vertikálna členitosť georeliéfu, dohody s okolitými štátmi o koordinácii frekvencií a i.) sú kotliny pokryté alebo viacerými FM signálmi z jedného alebo viacerých vysielateľov.

Na väčšine územia Slovenska má mnoho potenciálnych FM vysielateľov nízky lokálny potenciál, a to z viacerých dôvodov:

1. nezasahujú oblasť s vysokou koncentráciou obyvateľstva, georeliéf v okolí dominanty takéto územie pred FM signálom zatienuje (stredné Slovensko)
2. georeliéf svojimi bariérovými efektmi spôsobuje nekompaktné pokrytie záujmového územia FM signálom (severovýchodné Slovensko)
3. existuje mnoho ďalších lokalít, ktoré túto úlohu splnia efektívnejšie, na ne postavené vysielateľe združujú antény (juhozápadné Slovensko)

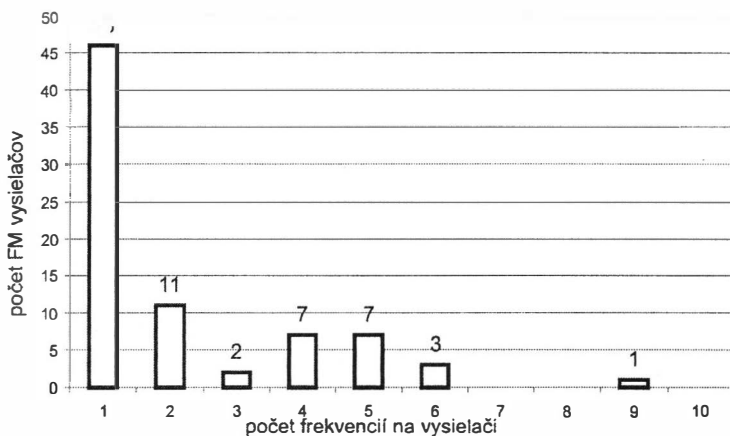
### 3.2. Lokalizácia FM vysielateľov vzhľadom na osídlenie

Koncentrácia obyvateľstva, veľkosť sídel, výška obytných budov (výška prijímacích antén), potenciálny okruh poslucháčov, resp. veľkosť cieľovej skupiny a jej územná kompaktnosť – to všetko výrazne ovplyvňuje lokalizáciu FM vysielateľov.

Osídlenie je do istej miery výsledkom vplyvu morfometrie georeliéfu – v depresných makroformách georeliéfu je najväčšia koncentrácia obyvateľstva. Najviac FM vysielateľov je umiestnených v blízkosti veľkých miest – Bratislava, Košice, Banská Bystrica, Žilina. Zvýšená koncentrácia FM vysielateľov na území, ktoré z morfometrického hľadiska na to nemá najlepšie predpoklady, môže byť dôsledkom relatívne vysokej koncentrácie obyvateľstva, napr. na Východoslovenskej rovine.

### 3.3. Lokalizácia vzhľadom na iné FM vysielacie a iné FM signály

Frekvenčné spektrum určené pre rozhlasové FM vysielanie je dost' úzke:  $f = 87,5 - 108$  MHz, čo pri pásme vyhradenom pre každý FM signál  $\Delta f = 50$  kHz predstavuje teoretický počet 205 navzájom nerušených FM signálov s rôznymi frekvenciami. Jednotlivé rozhlasové FM signály však môžu rušiť FM signály s násobkom svojej frekvencie, napríklad FM signálom s  $f = 100$  MHz sa môže rušiť FM signál s  $f = 200$  MHz, 300 MHz, 400 MHz atď. (Vavra, Turan 1989). Avšak aj vzhľadom na medzinárodnú koordináciu je teoretický počet frekvencií (205) predsa len malý. Potreba koordinácie výrazne obmedzuje lokalizáciu FM vysielateľov na najvyšších polohách georeliéfu Slovenska a v prihraničných, najmä nížinných, oblastiach.



**Obrazok 4** Rozdelenie rozhlasových FM vysielateľov podľa počtu frekvencií na Slovensku (spracované na základe údajov z Výskumného ústavu spojov – sekcia Rádiokomunikácie v Banskej Bystrici, 2003)

Vďaka výraznej vertikálnej členitosti georeliéfu Slovenska sa používa FM signál rovnakej frekvencie v regiónoch oddelených bariérou v podobe vysokých pohorí, napr.:

1. na východnom Slovensku, resp. na juhozápadnom Slovensku, napr.: Bardejov – Nitra (88,8 MHz), Trebišov – Skalica (89,2 MHz), Prešov – Trnava (90,8 MHz), Snina – Trenčín (95,9 MHz), Košice – Nové Mesto nad Váhom (103,2 MHz), Košice – Bratislava (96,6 a 100,3 MHz).
2. na severnom a strednom Slovensku, napr.: Žilina – Bratislava (97,2 MHz), Banská Bystrica – Senica (101,5 MHz), Námestovo – Rimavská Sobota (102,4 MHz), Poprad – Považská Bystrica (102,5 MHz), Banská Bystrica – Košice – Štrbské Pleso (102,9 MHz), Prievidza – Košice (104,5 MHz).
3. v geograficky blízkych oblastiach: Košice – Trebišov (101,3 MHz), Trebišov – Michalovce (103,3 MHz), kde je limitovaný vyžiarený výkonom a tiež technickými obmedzeniami priamo na vysielacej anténe.

Na georeliéfe existuje obmedzené množstvo vhodných vysielacích lokalít. Preto je častá kombinácia viacerých vysielacích anténových sústav na jednom FM vysielateľi

(obr. 4). Najviac frekvencií je umiestnených na významných FM vysielateľoch: 9 – Kamzík, 6 – Suchá hora, Úložisko, 5 – Kráľova hoľa, Krížava, Nad Oborou, 4 – Šibená hora, Veľký vrch, Zobor.

Konkurujúce si FM vysielateľe sú: Kamzík – Zobor – Sitno (JZ), Nad Oborou – Veľká Javorina – Krížava (SZ), Krížava – Úložisko – Chopok (S), Kráľova hoľa – Chopok – Dubník (V), Chopok – Suchá hora – Panský diel – Laskomer (stred).

V prípade vysokej efektívnej výšky *hef* vysielateľa je nutné potenciálny FM signál koordinovať na regionálnej úrovni (možné rušenie iných rádiokomunikačných služieb) a na medzinárodnej úrovni (možnosť obsadenia frekvenčného spektra v susednej krajine).

### 3.4. Komplexné lokalizačné faktory – tvorba sietí rozhlasových FM vysielateľov

Sieť FM vysielateľov je množina anténových sústav vysielajúcich FM signál, ktoré používajú jednotliví vlastníci licencie na rozhlasové vysielanie. Každý z nich sa snaží vytvoriť takú sieť FM vysielateľov, ktorá by čo možno najefektívnejšie pokrývala ich záujmové územie. (na rozdiel od televízneho vysielania rozhlasové FM vysielanie nemá na Slovensku vykryvače). Najväčšie siete majú rádiá (k 10. 5. 2003): Expres – 26, Lumen – 13, Twist – 13, Fun – 7, Okey – 5 .

Tvorba sietí je pre jednotlivé rádiá veľmi dôležitá, pretože v konkurencii profituje len to rádio, ktoré má dostatočne veľkú poslucháčsku základňu. Z toho hľadiska i samotná tvorba sietí sa podriaďuje tomuto cieľu – nehľadá sa lokalita, ktorá by pokryla čo najväčšie územie, ale taká, ktorá by pokryla sídelnú sieť čo najkompaktnejšie a najkomplementárnejšie – vzhľadom k ostatným (existujúcim, alebo plánovaným) FM vysielateľom a FM signálom.

## 4. APLIKÁCIA MORFOMETRICKÝCH LOKALIZAČNÝCH FAKTOROV NA GEORELIÉFE ČASTI MALÝCH KARPÁT

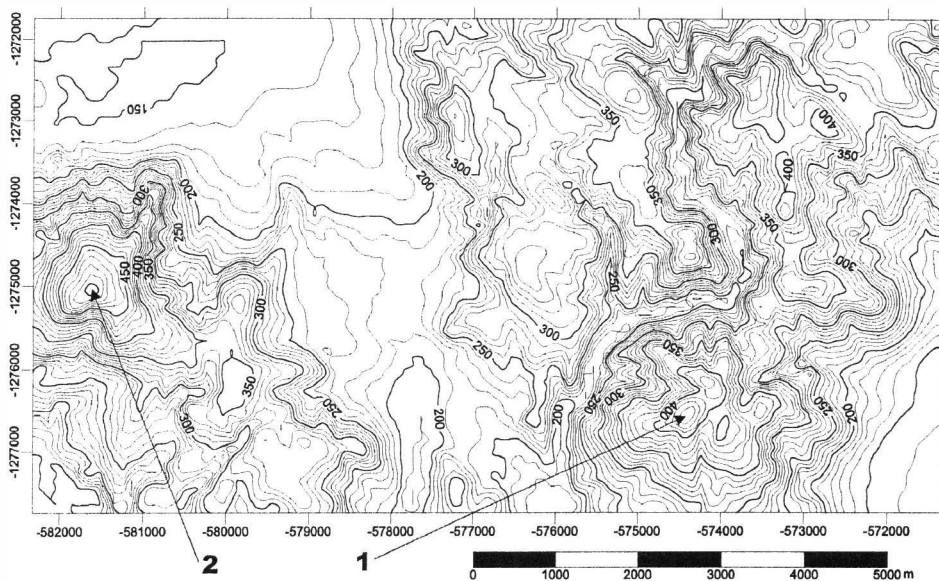
Uvažujme ďalej o konkrétnom území v oblasti severne od Bratislavy (Malé Karpaty), ktoré vyhraničíme ako pravidelný štvoruholník s rozmermi 12 x 6 km (obr. 5). Súčasťou takto vyhraničeného územia je okrem iného aj vysielateľ Kamzík a Devínska Kobyla. Digitálny model georeliéfu (digital terrain model – DTM) bol vytvorený z dát, ktoré poskytol Topografický ústav v Banskej Bystrici, s rozlišovacou úrovňou rastra 100 m.

Viditeľnosť ako jeden z lokalizačných faktorov bodov georeliéfu vyjadríme v tvare tzv. lokalizačného potenciálu *LP*, ktorý si môžeme definovať ako absolútny a relatívny *LP*.

$$LP_{abs} = \sum_i A_i \text{ [km}^2, \text{ resp. obyv.]} \quad (4)$$



$$LP_{rel} = 100 \frac{\sum_i A_i}{\sum_i A_i + \sum_j B_j} \quad [\%] \quad (5)$$



Obrázok 5 Georeliéf časti Malých Karpát (1 – Kamzík, 2 – Devínska Kobyla)

Lokalizačný potenciál  $LP$  počítame pre každý bod georeliéfu osobitne, a to ako sumu bodov, plochy, obyvateľov viditeľných z daného bodu, v absolútnom alebo pomerom vyjadrení. Premenná  $A_i$  je definovaná ako testovaná plocha, resp. počet obyvateľov na nej – s pozitívnym výsledkom, a  $B_j$  je definovaná ako testovaná plocha, resp. počet obyvateľov na nej, s negatívnym výsledkom (je komplementárna k  $A_i$ ). Súčet sumárnych hodnôt  $A_i$  a  $B_j$  je sumou celkovej testovanej plochy, resp. počtu obyvateľstva na nej. Premenné  $A_i$  a  $B_j$  zo vzťahov (4) a (5) môžu byť definované ako pozitívne resp. negatívne z hľadiska:

- viditeľnosti (vo všeobecnosti, resp. vo vybraných lokalitách, smeroch šírenia FM signálu, dosahu FM signálu apod.)
- rušenia iných FM signálov (vo všeobecnosti, resp. vo vybraných lokalitách, smeroch šírenia FM signálu, dosahu FM signálu apod.)
- komplementarity (vo všeobecnosti, vo vzťahu k sieti vybraných FM vysielateľov apod.)
- špeciálnych užívateľských podmienok, príp. kombinácie vyššie spomenutých hľadísk

V prípade zisťovania lokalizačného potenciálu každého bodu DTM prvku by muselo prebehnúť  $m \times n$  zisťovaní optickej viditeľnosti, t. j.  $m$  zisťovaní z  $n$  bodov, ale tento postup je na základe skúseností časovo dosť náročný. Môžeme preto postupovať selektívne – vyberať iba dominanty, oblasti s relatívne veľkou nadmorskou výškou, prípadne s výraznou vertikálnou členitosťou georeliéfu, dôležité smery šírenia FM signálu a pod.

(napr. Rana 2003). V prípade zmieneného výpočtu boli použité všetky body georeliéfu  $T_x$  a pre výber bodov  $R_x$  krokovanie azimutu lúča  $\Delta u_{hol} = 0,5^\circ$ .

Pre zameranie tohto príspevku sa obmedzme na stanovenie lokalizačného potenciálu na umiestnenie FM vysielateľa pomocou zisťovania viditeľnosti (Krcho 1970, Možucha 2003b) a podielu opticky viditeľného územia (%) podľa vzťahu (4). Zisťujeme podiel viditeľného územia vo všetkých bodoch georeliéfu daného DTM zobrazeného na obr. 5 v pravidelnom gride s rozlíšením 100 m, vlastne prijímacích antén  $R_x$  umiestnených na daných bodoch, s výškou  $h_2 = 2\text{m}$ , z množiny bodov georeliéfu vybraného územia, v ktorom sme na georeliéf umiestnili sieť vysielateľov  $T_x$  s výškou  $h_1 = 30\text{m}$ , so stanoveným dosahom  $d_{tr} = 30\text{ km}$ .

Výpočet prebiehal v prostredí Visual Basic, v aplikácii vytvorenej autorom, a implementovanej do vyvinutého programu *Šírenie* (ako modul *lokalizácia*), ktorý okrem celého radu rádiokomunikačných výpočtových metód a špeciálnej morfometrickej analýzy obsahuje aj vhodné dáta – nadmorskú výšku jednotlivých bodov pravidelného bodového poľa výšok v oblasti Malých Karpát a juhozápadného Slovenska a výšku krajinej pokrývky nad nimi. Výsledné hodnoty lokalizačného potenciálu  $LP$  boli vizualizované v programe Surfer.

Princíp a logická štruktúra algoritmu výpočtu vychádza z prác Možucha (2003a, 2003b). Pre pochopenie výpočtov je postup uvedený na obr. 6. Mapovým výstupom výpočtov je obr. 7.

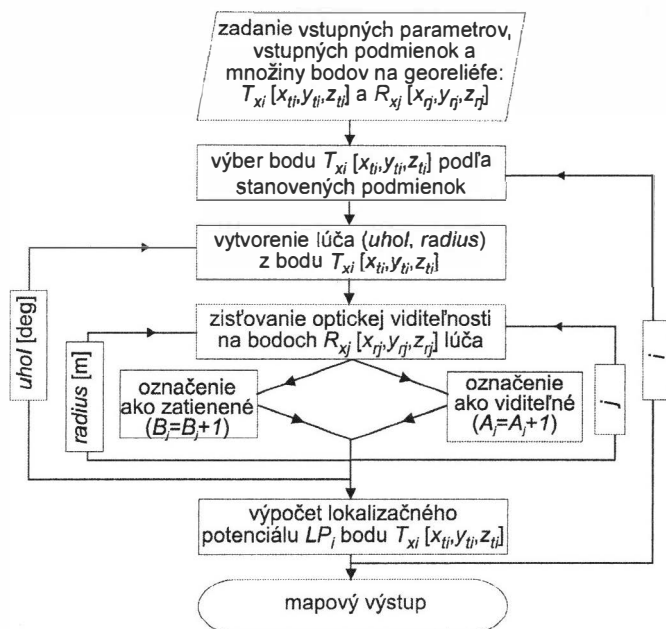
Z mapového výstupu programu (obr. 7) vyplýva, že najlepšie pokrytie majú najvyššie oblasti, ktoré nie sú obklopené georeliéfom s veľkou nadmorskou výškou, ako aj chrbáty. Najmenej výhodné sú nízko položené vnútrohorské doliny Malých Karpát a georeliéf zovretý dvomi výraznými bariérami.

Takéto hodnoty lokalizačného potenciálu súvisia s vopred definovaným testovaním viditeľnosti georeliéfu do vzdialenosti  $d_{tr} = 30\text{ km}$  od potenciálneho vysielateľa. Priebieh jednotlivých izolínií je pomerne hladký, čo súvisí s relatívne veľkou výškou vysielateľa:  $h_1 = 30\text{ m}$ . Pri extrémnych hodnotách  $LP$  ( $LP < 5\%$ , resp.  $LP > 70\%$ ) priebieh izolínií zjavne koreluje s priebehom vrstevníc.

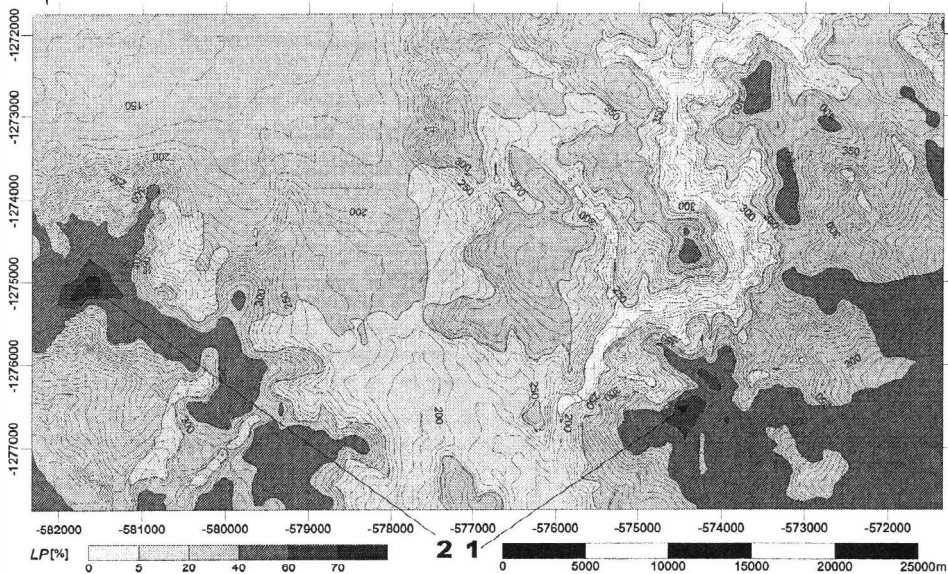
Konvex-konvexné formy georeliéfu na obr. 7 oblasťami majú najväčší lokalizačný potenciál, zatiaľ čo konkáv-konkávne formy najmenší lokalizačný potenciál, čo však súvisí aj s ich relatívnou výškou voči svojmu okoliu.

Ak pri obr. 7 vezmeme do úvahy aj pokrytie sídel FM signálom (a to aj mimo sledovaného územia), najvýhodnejšie miesto na lokalizáciu rozhlasového FM vysielateľa z tohto pohľadu má Kamzík – vďaka svojej blízkosti Bratislavy, a výbornou viditeľnosťou smerom na východ a severovýchod (okrajová poloha Malých Karpát). Ďalšia lokalita s vysokým lokalizačným potenciálom – Devínska Kobyla – má nevýhodu v tom, že Malé Karpaty tvoria pre ňu bariéru pre šírenie rozhlasového FM signálu smerom na severovýchod, do oblastí s vysokou hustotou obyvateľstva (zatičená je napr. Modra, Pezinok, Trnava). Ostatné potenciálne lokality pokrývajú oveľa menšie územie, pokrývajú menší podiel osídleného územia, prípadne pokrývajú osídlené územie menej kompaktné ako spomenuté dve lokality.

Vyvinutý program *Šírenie*, ktorého súčasťou je aj modul *lokalizácia*, je vhodným nástrojom na ďalšie špecializované rádiokomunikačné výpočty, ktorých opis však prekračuje zameranie tohto príspevku.



Obrázok 6 Algoritmus na výpočet lokalizačného potenciálu LP georeliéfu pre výstavbu FM vysielateľov (súčasných i potenciálnych)



Obrázok 7 Lokalizačný potenciál LP georeliéfu pre výstavbu FM vysielateľov ( $d_v = 30$  km,  $h_1 = 30$  m,  $h_2 = 2$  m, 1 – Kamzík, 2 – Devínska Kobyla)

## 5. ZÁVER

Bratislava so svojim okolím je z pohľadu lokalizácie FM vysielateľov výrazne exponovaná – blízko sú štátne hranice s Rakúskom i Maďarskom, a preto v nej nové frekvencie pribúdajú a šíria sa v podstate len v mestskom prostredí (Juventa, Technopol, Devínska Nová Ves), no ako vyplynulo z výpočtov programu *Šírenie* Možucha 2003(b) a ako dokazuje aj rádiokomunikačná prax, ani tieto FM vysielateľe nie sú schopné uspokojivo pokryť FM signálom celé vertikálne členité územie mesta Bratislavy (pri splnení všetkých koordinačných a hygienických limitov).

Rovinný georeliéf juhozápadného Slovenska svojou bezbariérovosťou smerom na juh vo všeobecnosti obmedzuje počet povolených (medzinárodne i regionálne skoordinovalých) frekvencií pre FM vysielateľe, ktoré by chceli svoj signál šíriť z okolitých pohorí. V blízkosti hraníc juhozápadného Slovenska s Rakúskom a Maďarskom existuje len málo lokalít vhodných na výstavbu FM vysielateľov šíriacich signál len na územie Slovenska.

Riešením tohto komplikovaného problému v Bratislave by bola sieť niekoľkých FM vysielateľov na okolí, napr. na úpätí Malých Karpát, čo je pravdepodobne úlohou pre digitálne rozhlasové vysielanie.

Najvhodnejším celoslovenským riešením sa zdá byť výstavba relatívne hustej siete nízkovýkonových (a nízkonákladových) vysielateľov s vhodne orientovaným vyžarovaním FM signálu ktoré by s jednou, prípadne malým počtom skoordinovalých frekvencií, pokrývali predovšetkým mestá v rozsahu ich aglomerácie a cesty I. triedy, ako je to naznačené aj v práci Klíma 2001. Výber lokalít vhodných na výstavbu FM vysielateľov by sa tým podstatne rozšíril – vhodná je aj menšia efektívna výška  $h_{ef}$  FM vysielateľa, minimalizujú sa problémy s rušením a rádiovými emisiami (Belluš, 2000) apod. Tak to urobilo rádio Express – v súčasnosti má najväčšie a najkompaktnejšie pokrytie sídel Slovenska.

S poklesom vyžiarovaného výkonu FM vysielateľov – v súvislosti s prechodom na digitálne upravené rozhlasové vysielanie – pravdepodobne vzrastie ich počet, najmä do oblastí, ktoré by v dôsledku poklesu výkonu ostali nepokryté (úloha georeliéfu ako bariéry sa teda zväčší).

Z tohto pohľadu výpočet lokalizačného potenciálu pomocou programu *Šírenie*, ako je to naznačené a podané v tomto príspevku, môže celý komplikovaný proces lokalizácie FM vysielateľov optimalizovať a automatizovať, a to na ľubovoľnom území a pri akýchkoľvek vstupných podmienkach.

## Literatúra

- GROSSKOPF, R. 1991. Field strength prediction in the VHF and UHF range including multipath propagation. In: *Proc. 7th International Conference on Antennas and Propagation (ICAP), York 1991 : Conf. Publication 333, Vol. 2*, London : IEE, 1991, s. 965-967.
- HALL, M. P. M., BARCLAY, L. W., HEWITT, M. T. (eds.). 1996. *Propagation of Radiowaves*. New York : IEEE Press, 1996. 446 s. ISBN 0-85296-819-1.
- ITU-R Report 1145. 1990. *Propagation over irregular terrain with and without vegetation*. Geneva : ITU-R, 1990.
- KLÍMA, J., KLÍMEŠ, J. 1988. *Výpočet intenzity elektromagnetického poľa v pásmach VKV a UKV*. Praha : Nadas, 1988. 144 s.

- KLIMA, J. 2001. *Meranie a posudzovanie pokrytia územia Slovenskej republiky televíznym a rozhlasovým signálom : Technický predpis telekomunikácií TPT-R5*. Bratislava : Ministerstvo dopravy, pôšt a telekomunikácií SR, 2001. 23 s.
- KRCHO, J. 1970. Zostrojovanie máp časovej a uhlovej dynamiky oslnenie reliéfu graficko-numerickej spôsobom a pomocou samočinných počítačov. In: *Geografický časopis*, roč. 22, 1970, č. 3, s. 107-127.
- KRCHO, J. 1990. *Morfometrická analýza a digitálne modely georeliéfu*. Bratislava : Veda, 1990. 432 s. ISBN 80-224-0018-1.
- KRCHO, J. 2001. *Modelling of Georelief and its Geometrical Structure Using DTM: Positional and Numerical Accuracy*. Bratislava : Q111, 2001. 350 s. ISBN 80-85401-92-4.
- MARKO, M., BABJAK, M. 1996. *Integrovaná rádiová sieť letectva Armády SR – rozloženie intenzity elektromagnetického poľa vysielačov rádionavigačnej služby vo vybraných letových hladinách : Čiastková výskumná správa*. Liptovský Mikuláš : Vojenská akadémia, 1996. 44 s. – Správa.
- 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. Čížmar, K. Čuláková. Zvolen : Kartografická spoločnosť SR, 2003, s. 192-201.
- MOŽUCHA, M. 2003(b). *Bariérové efekty georeliéfu pri šírení rozhlasového FM signálu v prostredí geografickej sféry*. Bratislava : Prírodoved. fakulta Univerzity Komenského, 2003. 128 s. – Dizertačná práca.
- PROKOP, J., VOKURKA, J. 1982. *Šírenie elektromagnetických vln a antény*. Praha : Státní nakladatelství technické literatury, 1982. 386 s.
- RANA, S. 2003. Fast approximation of visibility dominance using topographic features as targets and the associated uncertainty. In: *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 69, 2003, 2, s. 881-888.
- VAVRA, Š., TURÁN, J. 1989. *Šírenie elektromagnetických vln*. Bratislava : Alfa, 1989. 423 s. ISBN 80-05-00131-2.

## Summary

### Location factors for building radio FM transmitters

Location factors are well-known in geography, and they are explicitly or implicitly expressed mainly in connection with location of settlement and industry. A location of radio FM transmitters is more complicated decision process. The reason is that we can have an indefinite set of points of possible localities. Location of radio FM transmitters is a sophisticated process, includes viewshed calculations and frequency coordination analysis as well. In these calculations, a georelief plays the main role with its attribute of a vertical differentiation and a curvature.

Propagation of a radio FM signal was described as a subsystem of a global transport-communication system, with emphasis on interactions with georelief.

Location factors in view of morphometry of georelief, settlement, other radio FM transmitters and FM radio network building were traced, using own Visual Basic application, and DTM containing a part of Bratislava and Male Karpaty mountains.

A location potential from various points of view was described and one of them used in calculations.

The result of the analysis has proved that the location of radio FM transmitter on Kamzik was an effective decision, but the location of Bratislava – close to the border

with three other countries – disables future development by means of introducing some new radio FM signals with a strong radiation power.

The decision for the situation in Bratislava and whole Slovakia, as well, will be building a network of small-range and low-powered radio FM transmitters on any suitable dominant features (high buildings, chimney stacks) close or inside the settlements and along the highways, with one or two frequencies throughout Slovakia. This solution and an upcoming shift from analog to digital FM radio broadcasting will increase the importance of georelief – its geometric structure expressed with morphometric parameters, as a significant location factor of building new radio FM transmitters.

From this point of view, a calculation of location potential as it is presented in this article can optimize and automatize the complicated process of decision on location of FM transmitters.

---

*Trans World Radio – Slovakia, Banšelova 17, 821 04 Bratislava 2, Slovakia,  
e-mail: marian@twr.sk*