

Využitie prostriedkov GIS vo výskume vplyvu zdrojov neionizovaného žiarenia na ľudský organizmus

Ján Klima, Miloslava Sudolská

Katedra fyziky, Fakulta prírodných vied, Univerzita M. Bela, Tajovského 40,
974 01, Banská Bystrica, Slovenská republika
klima@fpv.umb.sk

Katedra informatiky, Fakulta prírodných vied, Univerzita M. Bela, Tajovského 40,
974 01, Banská Bystrica, Slovenská republika
sudolska@fpv.umb.sk

Abstrakt. Moderné telekomunikačné prostriedky vo veľkej miere ovplyvňujú náš každodenný život. Ich expanzívny nárast (najmä zdroje pre mobilnú komunikáciu a najnovšie pozemské zdroje pre vysielanie DVB-T) predstavujú enormné zvýšenie vyžiarenej energie, ktorá by mohla byť škodlivá pre zdravie obyvateľstva. Autori prezentujú doterajšie výsledky výskumu výpočtov šírenia neionizovaného žiarenia v geopriestore, získané aplikovaním technológií GIS, tvorbou analýz 3D modelu a simuláciami pokrytia územia vyžiarenou energiou.

Kľúčová slová: telekomunikácie, vyžiarená energia, geoinformatika, pokrytie územia, simulácia pokrytia

Abstract. Exploitation of the GIS tools in research of influence non-ionizing sources of radiation to human body. Modern telecommunications tools influence our daily life in great degree. Their expansive rise (particularly sources for mobile communications and the newest terrestrial sources for DVB-T broadcasting) represents enormous increase of the irradiated energy which should be harmful to public health. The authors present their existing results propagation of non-ionizing irradiated energy calculations in geographical environment, gained by application of GIS technology, 3D model analysis and simulation of territory coverage by irradiated energy.

Keywords: telecommunications, emanated energy, geoinformatic, territory coverage, coverage simulation

1 Úvod

Aby sa ukázala komplexnosť riešenia danej problematiky autori umiestnili svoj výskum do reálneho životného prostredia. V zmysle zákona č. 17/1992 Zb. a v znení neskorších predpisov *životné prostredie* je prostredie, ktoré umožňuje základné prejavy a funkcie živých organizmov. Je to komplexný, mnohozložkový systém, vytvorený a určený fyzikálnym, chemickým a biologickým prostredím a sociálnym prostredím, v ktorom živý organizmus žije a realizuje svoje biologické, sociálne

prípadne materiálne a kultúrne potreby [1]. Životné prostredie teda zahŕňa ovzdušie, vodu, pôdu, prírodné a umelé zdroje (zdroje ionizovaného žiarenia a zdroje neionizovaného žiarenia), flóru, faunu, človeka a ich vzájomné vzťahy. Umelé zdroje vyžiarenej energie (zdroje neionizovaného žiarenia) si človek do životného prostredia sám umiestnil, najmä aby získal čo najviac informácií. Ich expanzívny nárast (najmä zdroje pre rozhlas, mobilnú komunikáciu, digitálnu terestriálnu televíziu, a pod.) predstavuje však enormné zvýšenie vyžiarenej energie, ktorá v synergickom pôsobení môže negatívne ovplyvňovať zdravie človeka a živočíchy žijúce v určitom vymedzenom teritóriu. Na účinky prírodného žiarenia sa človek aj živočíchy adaptovali. Proti týmto vplyvom možno sa konečne chrániť v obmedzenej miere. Inak to je so žiarením z umelých zdrojov, pretože o subtílnych účinkoch a nebezpečí týchto žiarení sú zatiaľ len málo spoľahlivé informácie. Aby sa splnili požiadavky na bezpečnú prevádzku umelých zdrojov žiarenia, musí existovať dostatočná informovanosť o rôznych formách elektromagnetického žiarenia a jeho účinkoch na človeka. V prípade neionizujúceho žiarenia kvantá žiarenia nemajú dostatočnú energiu aby ničili molekulárnu štruktúru látok. Biologický účinok je preto závislý od **intenzity žiarenia**, a od **času trvania** účinku. Preto pre tento typ žiarenia možno definovať prahové hodnoty intenzity pre priame biologické poškodenie.

V prípade ionizujúceho žiarenia je už kvantum žiarenia tak energeticky bohaté, že môže zmeniť chemický vzorec molekuly, resp. zničiť jej štruktúru. To znamená, že v prípade ionizujúceho žiarenia – nezávisle od intenzity – stále trvá nebezpečenstvo biologického poškodenia. Röntgenový snímok vždy škodí telu, ale riziko poškodenia tela je vyvážené získanou diagnostickou informáciou pre lekára. Hranice medzi neionizujúcim a ionizujúcim žiarením ležia (v závislosti od druhu látky) približne na rozhraní medzi viditeľnou a ultrafialovou časťou svetla. Ak vynecháme oblasti tepelného žiarenia, viditeľného svetla a ionizujúceho žiarenia s ešte kratšími vlnovými dĺžkami, potom spektrum technicky využívaného elektromagnetického žiarenia zahŕňa **frekvenčný rozsah od 1 Hz až po 1 000 GHz**. V rámci tohto veľkého rozsahu je vplyv žiarenia veľmi rozdielny čo do šírenia a prieniku hmotou, tak aj svojej biologickej účinnosti. Preto nemožno paušálne hodnotiť zdravotné nebezpečie, ktoré môžu mať pôvod v žiarení. Rovnako tak nemožno dôkaz o zdravotnom nebezpečí spôsobenom žiarením v určitom frekvenčnom pásme aplikovať v iných frekvenčných pásmach alebo tento dôkaz zovšeobecňovať. Preto je aj náš príspevok zameraný len na časť frekvenčného spektra, ktorá súvisí s rozvojom mobilných sietí GSM a UMTS ako aj miestnych rozhlasových (FM) a televíznych (TV) vysielateľov. GSM a UMTS vysielateľ sú umiestňované v mestách (na miestach s trvalým pobytom obyvateľstva) pretože majú menšie výkony ale môžu mať vplyv na obyvateľstvo. Vplyvom tohto žiarenia na obyvateľstvo sa zaoberá svetová zdravotná organizácia WHO (World Health Organization). Podmienky týkajúce sa ochrany obyvateľstva pred expozíciou elektromagnetickými poliami, podrobne rozpracovala nezávislá Medzinárodná komisia pre ochranu neionizujúceho žiarenia ICNIRP (International Commission on Non-ionizing Radiation Protection). Jej odporúčania tvoria základ odporúčania European Council Recommendation 1999/519/EC ktoré definuje limity elektrických a magnetických polí, rýchlosti absorpcie energie SAR (Specific Energy Absorption Rate), a hustoty výkonového toku [2], [3]. Pojem elektromagnetické pole v tomto odporúčaní zahŕňa statické polia, polia s extrémne nízkou frekvenciou

a vysokofrekvenčné polia vrátane mikrovln, vo frekvenčnom rozsahu od 0 Hz do 300 GHz. Ukážky hodnôt jednotlivých typov polí sú uvedené v tab. 1.

Tabuľka 1. Typické zdroje elektromagnetických polí

Frekvenčné pásmo	Frekvencie	Zdroje polí	Maximálne hodnoty
Statické polia	0 Hz	Prírodné Displej počítača, video, ... NMR a iné diagnostické / vedecké merania	70 μ T 1 T v tuneli; 200 mT na vstupe; < 0,5 mT v miestnosti s prístrojom 10-30 mT v úrovni chodidiel
Polia s extrémne nízkou frekvenciou	0 – 300 Hz 50 Hz	Vysokonapäťové vedenia Domáce rozvody Elektrické motory v autách, vlakoch , električkách	10 – 20 μ T pod vedením alebo 10 kV/m < 0,1– 0,2 μ T v miestnosti 50 μ T and 300 V/m
Nízkofrekvenčné polia	300 Hz- 100 kHz	Video -displejové zariadenia, Zariadenia proti krádeži v obchodoch, automatické riadiace systémy, čítače karát, detektory kovov	30 - max 700 nT 10 V/m
Vysokofrekvenčné polia	100 kHz – 300 GHz	Rozhlas a televízia; mobilné telefóny, mikrovlnové rúry, radary, prenosné a stacionárne transceivry, personálne mobilné rádiá	0,1 W/m ² 0,5 W/m ² 0,2 W/m ²

V kontexte s expozíciou elektromagnetickými poliami sa v odporúčaní používa 8 fyzikálnych veličín:

- *kontaktný prúd* (I_c) medzi osobou a objektom vyjadrený v ampéroch (A);
- *prúdová hustota* (J) vyjadrená v (A/m²);
- *intenzita elektrického poľa* (E) vyjadrená vo (V/m);
- *intenzita magnetického poľa* (H) v (A/m);
- *magnetická indukcia* (B) v teslách (T);

- hustota výkonového toku (S) v (W/m^2);
- rýchlosť absorpcie energie (SAR) v (J/kg).

Z týchto veličín možno priamo merať kontaktný prúd, intenzitu elektrického a magnetického poľa, magnetickú indukciu a hustotu výkonového toku.

Toto odporúčanie prevzali takmer všetky európske národy do svojich národných zákonov, ktoré garantujú – v súlade s aktuálnymi vedomosťami – najlepšiu ochranu obyvateľstva.

Základným dokumentom z hľadiska definície zdrojov elektromagnetických polí v Slovenskej republike je európska norma EN 50383 [4]. Je to základná norma pre výpočet a meranie intenzít elektrického a magnetického poľa a SAR týkajúca sa expozície obyvateľstva zo základňových staníc a terminálov pevných staníc bezdrôtových telekomunikačných systémov (110 MHz – 40 GHz). Uvedené hodnoty vychádzajú z výskumov vplyvu elektromagnetického poľa na ľudský organizmus a sú uvedené pre obyvateľstvo a pre profesionálnych pracovníkov. Uvádza sa, že *elektromagnetické polia s frekvenciami do 10 MHz majú induktívny charakter, tzn. vytvárajú induktívne prúdy v tele. Nad touto frekvenciou prevládajú tepelné účinky na ľudský organizmus.*

So zvyšujúcou frekvenciou sa znižuje hĺbka vniku ohrevu do ľudského organizmu. Ako medzná hodnota sa uvažuje ohrev organizmu o 1 °C. Z tohto sa vypočíta absorbovaný výkon v tkanive tela. Tento výkon sa pre obyvateľstvo vydolí 50-timi a pre pracovníkov 10-timi. A tieto hodnoty sa považujú za medzné hodnoty absorbovaného výkonu pre jednotlivé skupiny obyvateľstva. Základným národným dokumentom v Slovenskej republike sú nové Nariadenia vlády SR č. 325 a č. 329 z 10. mája 2005 [5], [6].

V prípadoch kde existuje súčasná expozícia poliami niekoľkých zdrojov s rôznymi frekvenciami musí sa uvažovať ich aditívna (synergická) vlastnosť. Výpočty pre takúto aditívnosť sa musia urobiť pre každý vplyv osobitne. Teda, treba urobiť výpočty zvlášť pre tepelné a zvlášť pre elektrické stimulačné vplyvy na ľudský organizmus [7].

Na určenie tepelného pôsobenia zdrojov s rôznymi frekvenciami, ktoré sa uplatňuje pri frekvenciách vyšších ako 100 kHz, treba vypočítať celkový hmotnostný absorbovaný výkon sčítaním príspevkov SAR_i od zdrojov s frekvenciami z intervalu od 100 kHz do 10 GHz a celkovú hustotu toku výkonu sčítaním príspevkov S_i od zdrojov s frekvenciami z intervalu od $f > 10$ GHz do 300 GHz. Limitná hodnota nie je prekročená, ak je súčet pomeru celkového hmotnostného absorbovaného výkonu k jeho limitnej hodnote SAR_L a pomeru celkovej hustoty toku výkonu k jej limitnej hodnote S_L menší ako jedna alebo rovný jednej:

$$\sum_{100 \text{ kHz}}^{10 \text{ GHz}} \frac{SAR_i}{SAR_L} + \sum_{f \geq 10 \text{ GHz}}^{300 \text{ GHz}} \frac{S_i}{S_L} \leq 1$$

Tepelné pôsobenie, ktoré sa uplatňuje pri frekvenciách vyšších ako 100 MHz, neprekračuje limitnú hodnotu, ak sú splnené nerovnosti:

$$\sum_{100 \text{ kHz}}^{1 \text{ MHz}} \left(\frac{E_i}{c} \right)^2 + \sum_{f \geq 1 \text{ MHz}}^{300 \text{ GHz}} \left(\frac{E_i}{E_{L,i}} \right)^2 \leq 1$$

kde

E_i je intenzita elektrického poľa s frekvenciou i ;

$E_{L,i}$ je akčná hodnota intenzity elektrického poľa pre i -tu frekvenciu;

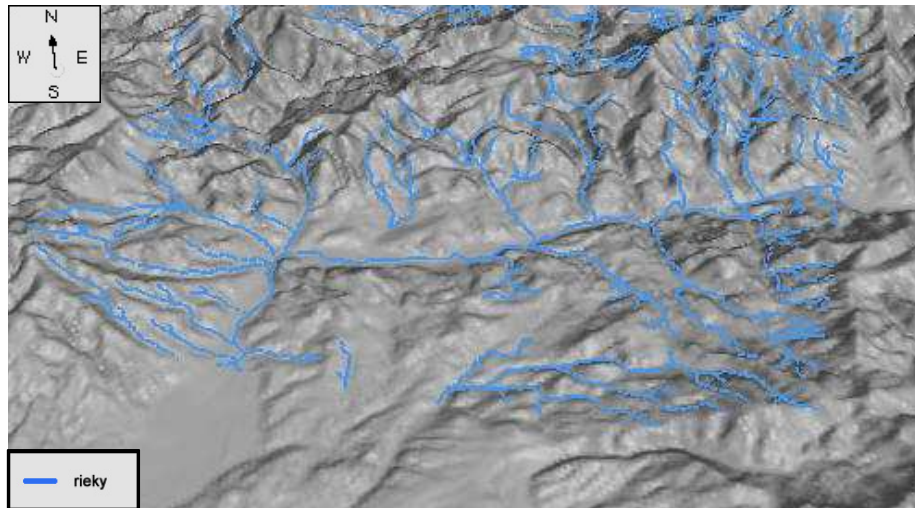
c je $87 \cdot 10^3 / f^{0.5}$ V/m

A práve určovanie hraníc s určitou hodnotou intenzity elektrického poľa využitím prostriedkov GIS pre takéto výpočty bolo a je cieľom autorov.

2 Funkcia prostriedkov GIS

2.1 Georeliéf

Georeliéf ako pevné ale dynamické rozhranie medzi komponentmi geografickej sféry je v pozornosti geovied a rôznych aplikovaných disciplín. Georeliéf vyjadrený vo forme diskrétného bodového výškového poľa pomocou digitálneho modelu je pracovnou dátovou bázou geoinformačných a tiež rádiokomunikačných aplikácií. Jedna z jeho vlastností je, že vytvára bariérový efekt pri šírení elektromagnetického žiarenia – obr. 2.1.



Obr. 2.1. Model skúmaného územia

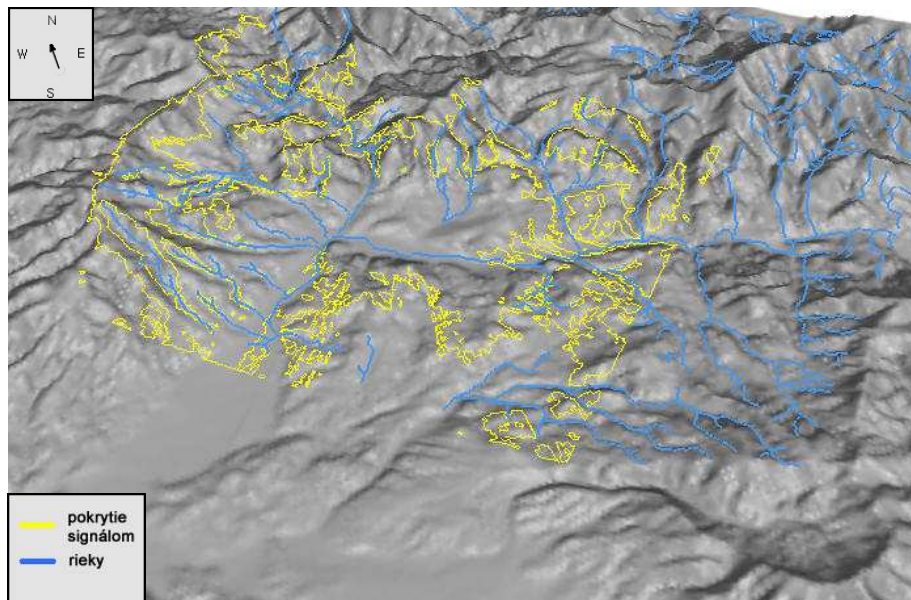
Georeliéf je vo svojej povahe pre elektromagnetické vlnenie - signál nepriepustný, má však schopnosť odrážať, resp. pohlcovať elektromagnetické žiarenie. Vo väčšine prípadov sa vyžiarený signál vo forme vlnoplochy pri dopade na georeliéf čiastočne odráža a čiastočne absorbuje.

V nehomogénnom prostredí sa menia jeho elektrické a magnetické parametre (permitivita, vodivosť, permeabilita) od miesta k miestu. Zmena parametrov môže byť spojitá alebo nespojitá. K zmene parametrov dochádza na povrchu telies, teda v prostredí, v ktorom sa vyskytujú vodivé alebo dielektrické (prípadne feromagnetické) telesá. Pri šírení elektromagnetických vln nad georeliéfom sú to napr. budovy, stromy, vertikálne georeliéfne extrémny, ale aj dopravné prostriedky, ľudia, alebo vodné kvapky.

Signál je pri dopade na georeliéf ovplyvnený hodnotou sklonu v smere najväčšej vertikálnej zmeny (v tomto prípade v smere šírenia žiarenia) alebo orientáciou voči svetovým stranám (v našom prípade voči vysielaču) a inými používanými morfometrickými parametrami. Na intenzitu poľa v mieste príjmu výrazne vplýva vertikálna členitosť georeliéfu po celej dĺžke trasy medzi vysielačom a prijímačom (musíme však túto vertikálnu členitosť vzťahovať k výške pod, resp. nad spojnicou vysielač – prijímač).

2.2 Priestorové analýzy

Na základe vlastného spracovania 3D digitálneho modelu terénu okolia Banskej Bystrice (ako reprezentanta členitého terénu s veľkosťou cca 50 x 50 km, ktorý sa dá

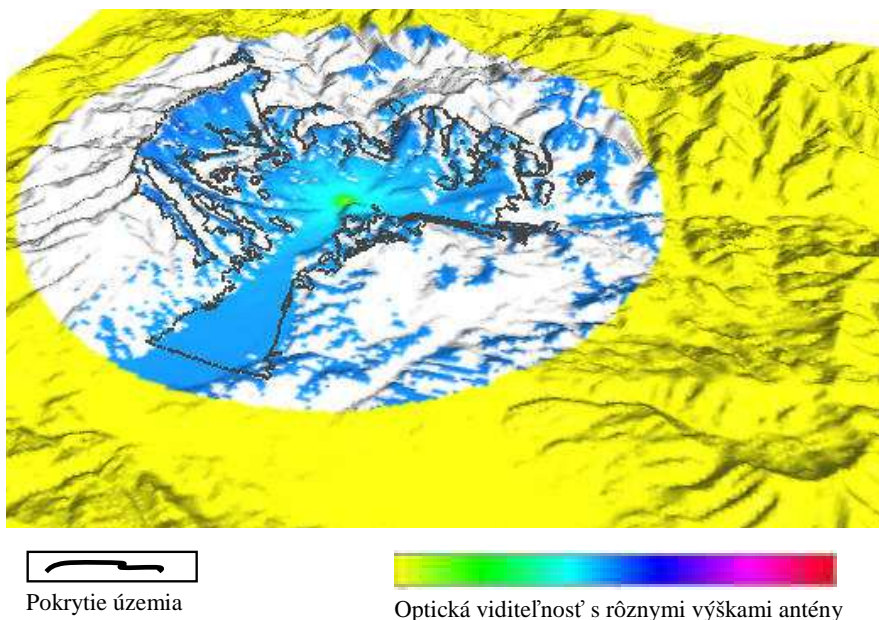


Obr. 2.1.a Model pokrytia územia signálom vypočítaným podľa skutočných parametrov antény

aplikovať na ľubovoľný región Slovenska), použitia existujúcich a vývojom nových GIS aplikácií pre výpočet pokrytia územia signálom autori prezentujú doterajšie výsledky pokrytia vybraného územia pre mobilnú rádiokomunikačnú službu

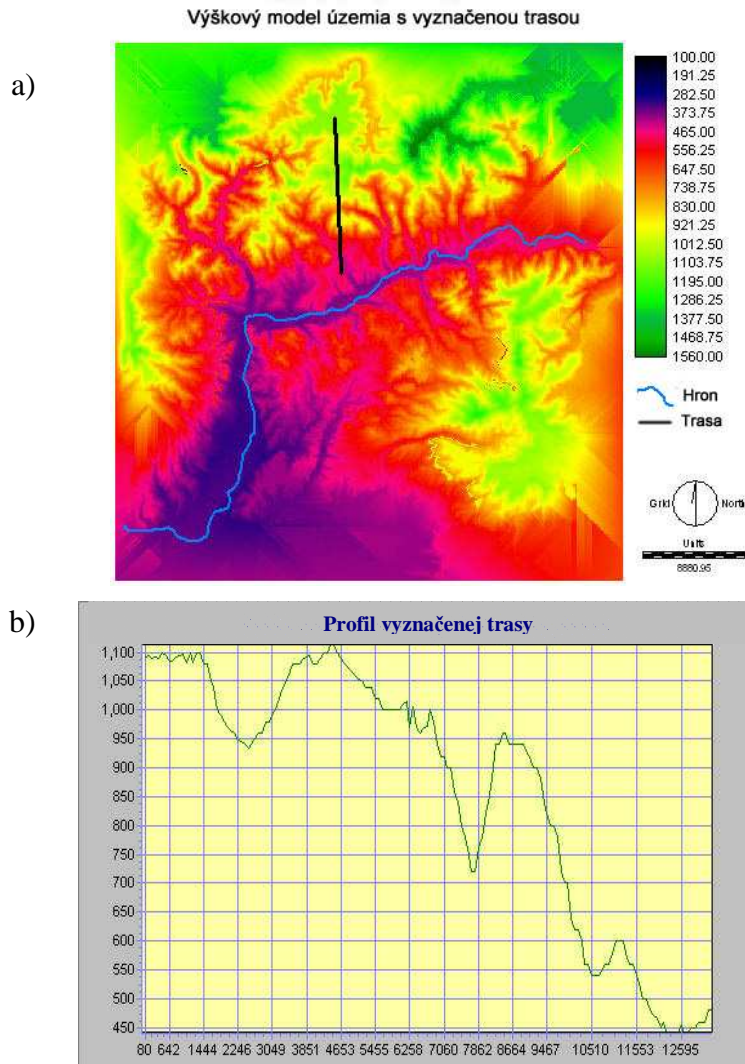
Na obr. 2.1.a je vyznačené pokrytie územia zo základňovej stanice (ZS) č.1 vypočítané na základe jej skutočných parametrov na modelovom území regiónu Banská Bystrica.

Digitálny model terénu autori analyzovali z hľadiska optickej viditeľnosti a na základe získaných poznatkov vytvorili aplikáciu umožňujúcu analyzovať terén s možnosťou voľby výšky vysielača, vzdialenosti, rozsahu azimutu. Na obr. 2.2 sú porovnané výpočty optickej viditeľnosti a výpočty pokrytia územia ZS č. 3.



Obr. 2.2: Modelovanie optickej viditeľnosti antény v modelovom území

Z analýzy optickej viditeľnosti georeliéfu je možné stanoviť viacero oblastí viditeľností ohraničených parametrom vzdialenosti optického horizontu, ktorý rozdeľuje georeliéf na dve významné skupiny: oblasť opticky viditeľnú a oblasť v optickom tieni. Na obr. 2.3a je DEM modelového územia s vyznačenou trasou analyzovaného profilu, na obr. 2.3b je vypočítaný profil. Na obr. 2.4 je vyznačená opticky viditeľná oblasť (+) a oblasť v optickom tieni (-) v závislosti od výšky antény.

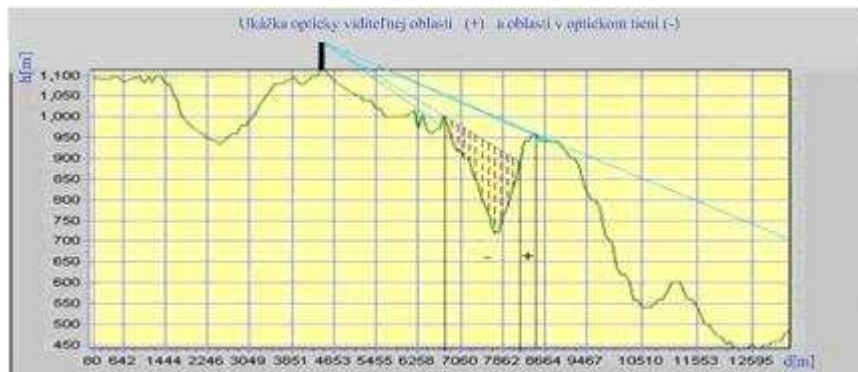


Obr. 2.3 a) ukážka DTM modelového georeliéfu s vyznačenou trasou analýzy členitosti reliéfu, b) ukážka profilu vyznačenej trasy analyzovaného reliéfu

Pre určenie hraníc s určitou hodnotou intenzity elektrického poľa je dôležité čo najpresnejšie určiť samotnú intenzitu. Výpočty intenzity poľa ovplyvňujú nasledovné parametre:

Zvlnenie georeliéfu – tento faktor charakterizuje stupeň nepravidelnosti georeliéfu a vyjadruje vplyv vertikálnej členitosti georeliéfu na intenzitu poľa nad georeliéfom v stanovenej výške (podľa metódy CCIR). V zadanom úseku na trase profilu sa určuje ako rozdiel interaktívne zistených nadmorských výšok jednotlivých bodov. Ak označíme H mieru pravdepodobnosti výskytu danej nadmorskej výšky a HD

a HH jej dolnú a hornú hranicu môžeme vyjadriť zvlnenie georeliéfu ako rozdiel iteratívne zistených HD a HH - tak, že v 10% celkovej dĺžky úseku sú výšky bodov georeliéfu nad hornou, resp. pod dolnou úrovňou. Takto definovaný rozdiel HD a HH vytvorí faktor zvlnenia Δh . [8]. Vplyv Δh na intenzitu elektromagnetického poľa počítaného v danom bode je vyjadrený tzv. korekčným faktorom, ktorý sa pridáva k intenzite poľa vypočítanej z mediánových kriviek šírenia.

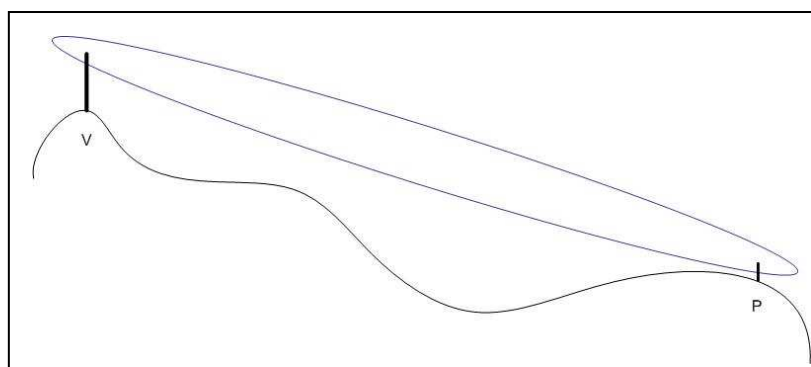


Obr. 2.4 Zisťovanie oblastí opticky viditeľnej (+)

Šírka Fresnelovej zóny - je určená pomocou kružníc ohraničujúcich Fresnelove zóny v ľubovoľnej vzdialenosti od prijímača – obr. 2.5

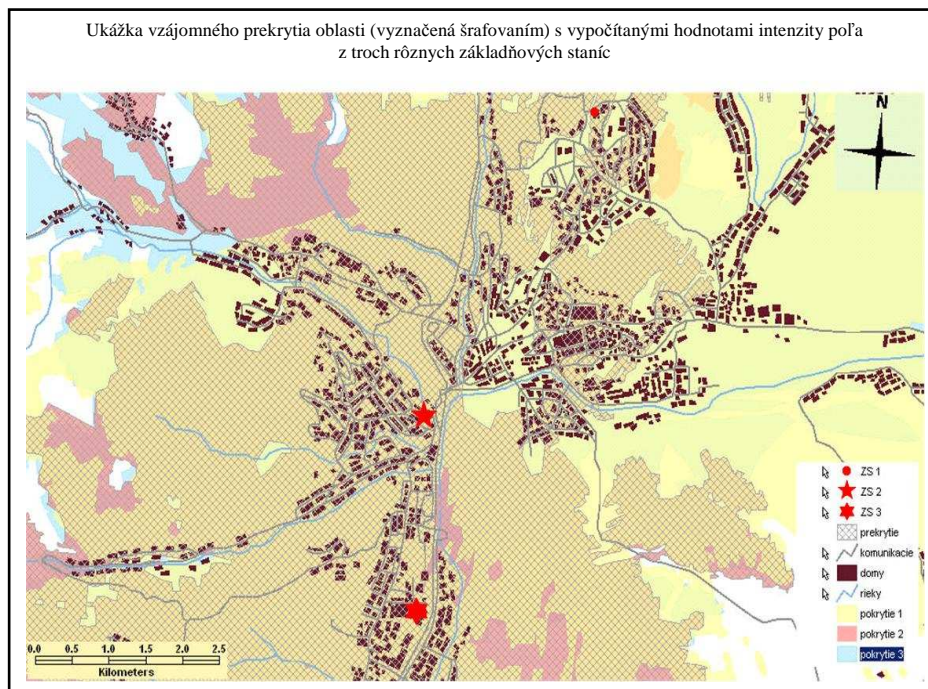
Difrakcia – v blízkosti väčších prekážok s hladkým povrchom a relatívne malou krivosťou dochádza k difrakcii a tým pádom k zosilňovaniu resp. zoslabovaniu vysielaného signálu. Oblasti rádiového tieňa, možno rozdeliť v závislosti od počtu difrakčných prekážok.

Efektívna výška vysielача h_{ef} [m], je definovaná rozdielom medzi výškou vysielача a priemernou výškou georeliéfu na danej trase.



Obr. 2.5 Ukážka Fresnelovej zóny

Využitím prostriedkov GIS možno skúmať vlastnosti georeliéfu vo vzťahu k výpočtom intenzity elektromagnetického poľa nad zvoleným modelovým územím. Technológie GIS umožňujú analyzovať pokrytie územia z viacerých zdrojov žiarenia a skúmať ich pôsobenie v geopriestore vo vzťahu k pôsobeniu elektromagnetického žiarenia na ľudský organizmus. Na obrázku 2.6 je prezentované vzájomné pôsobenie troch rozličných základňových staníc (zdrojov neionizovaného žiarenia) v rozmedzí 15 x 15 km. Z obrázku vidieť, že existujú oblasti, v ktorých všetky tri zdroje prispievajú k výslednej hodnote intenzity poľa.



Obr. 2.6 Synergetický účinok intenzity elektromagnetického poľa z troch základňových staníc

Výskum pokrytia georeliéfu elektromagnetickým poľom je dôležitým faktorom monitorovania kvality životného prostredia. Existujú indície poukazujúce na vplyv intenzity žiarenia a zdravie obyvateľstva [7], [9].

V súlade s možnosťami expozície obyvateľstva intenzitou elektromagnetického poľa možno rádiové zariadenia rozdeliť do dvoch skupín. Do jednej z nich patria zariadenia so všesmerovou anténou alebo anténou so sektorovo vyžarovacím diagramom (základňová stanica GSM, UMTS, NMT a PMR). Do druhej skupiny patria rádiové zariadenia s anténou s úzkym vyžarovacím diagramom (rádio-reléové vysieláče, družicové vysieláče). Výsledky meraní na rôznych miestach s anténami pre GSM pásmo budú prezentované v prednáške na konferencii.

3 Záver

Autori v príspevku poukazujú na dôležitosť výskumu v oblasti elektromagnetického žiarenia v súvisi s environmentálnymi aspektmi kvality životného prostredia. Prezentujú čiastkové výsledky doposiaľ vykonaných výpočtov intenzity poľa pre základňové stanice mobilnej rádiatelefontnej služby, vytvorené na základe matematických modelov a metodológiami GIS. V texte sú uvedené analýzy pokrytia georeliéfu žiarením pre tri vybrané základňové stanice v tej istej oblasti, pričom modelové územie je volené s reálnym umiestnením množstva základňových staníc (jedného z operátorov mobilnej služby v Slovenskej republike) a variability georeliéfu. V ďalšej výskumnej činnosti v tejto oblasti sa autori budú venovať výpočtom pokrytia teritória z rozhlasových a televíznych vysielateľov a vysielateľov digitálnej terestriálnej televízie (DVB-T) ako aj detailnejším meraniam hodnôt intenzity poľa a ich porovnávaniam s vypočítanými hodnotami. Na základe takto získaných výsledkov plánujú, v spolupráci s lekármi a pracovníkmi hygieny práce, urobiť analýzu možných zdravotných rizík v skúmanom teritórii.

Literatúra

- [1] Piatrik, M.- Tureková, I.- Vincíková, S.- Rusko, I.: Legislatíva životného prostredia I. Banská Bystrica, FPV UMB. 2003. ISBN 80-8055-860-4
- [2] *COUNCIL RECOMMENDATION of 12 July 1999 on the limitation of exposure of the general public to electromagnetic fields (0 Hz to 300 GHz) (1999/519/EC)*. Official Journal of the European Communities
- [3] ECC recommendation 02/04 *Measuring non ionising electromagnetic radiation (9 kHz – 300 GHz)*
- [4] *EN 50383 Basic standard for the calculation and measurement of electromagnetic field strength and SAR related to human exposure from radio base stations and fixed terminal stations for wireless telecommunication systems (110 MHz – 40 GHz)*
- [5] *Nariadenie vlády SR č. 325 o podrobnostiach o požiadavkách na zdroje elektromagnetického poľa a na limity expozície obyvateľov elektromagnetickému poľu v životnom prostredí*. Zbierka zákonov č. 325/2006
- [6] *Nariadenia vlády SR č. 329 o minimálnych zdravotných a bezpečnostných požiadavkách na ochranu zamestnancov pred rizikami súvisiacimi s expozíciou elektromagnetickému poľu*. Zbierka zákonov č. 325/2006
- [7] *EUROPEAN COMMISSION: SCIENTIFIC COMMITTEE ON EMERGING AND NEWLY IDENTIFIED HEALTH RISKS, C7 - Risk assessment: Preliminary Opinion on Possible effects of Electromagnetic Fields (EMF) on Human Health*. Adopted by the SCENIHR by written procedure on 19 July 2006
- [8] *ITU-R Recommendation 370-7*. 1995. VHF and UHF propagation curves for the frequency range from 30 MHz to 1000 MHz. CD-ROM, Geneva: ITU-R, March 2000
- [9] Klima, J.- Ščehovič, R. *The field strength measurement and SAR experience related to human exposure in 110 MHz to 40 GHz*. Dostupné na internete www.Measurement.sk/2006/52/Klima.pdf MEASUREMENT SCIENCE REVIEW Volume 6, Section 2, No. 4, 2006, pp. 40-44.