

A HCM megállapodás továbbfejlesztési lehetőségei a földi mozgószolgálat nemzetközi frekvenciakoordinációjában

Unger Tamás István

Távközlési Tanszék

Széchenyi István Egyetem

B.Sc. szakos villamosmérnök hallgató

Győr, Magyarország

unger.tamas.taisze@gmail.com

Kulcsszavak—HCM megállapodás, nemzetközi frekvenciakoordináció, földi mozgószolgálat, spektrumgazdálkodás, kijelölés, működési terület, szimulációs eljárások, térerősség

Kivonat—Cikkem a mobil távközlési rendszerek zavarmentes és spektrumhatékony használatának témakörén belül a földi mozgószolgálat nemzetközi frekvenciakoordinációjával foglalkozik. Összefoglaló áttekintést nyújtok a frekvenciakijelölések nemzetközi egyeztetésének aktuális adminisztrációs kérdéseivel kapcsolatban, részletezve az állomások által létrehozott térerősségszintek meghatározása során alkalmazott algoritmust, érintve és bemutatva az egyeztetési keretrendszer által biztosított módszereket, effektív felhasználásukat a kijelölések tervezése során. Bemutatom a térerősségviszonyok meghatározására használt szimulációs eljárás működését, a terepviszonyokból származtatható korrekciós tényezőket, számítási módszerüket. Összefoglalom az érvényes koordinációs megállapodás továbbfejlesztési lehetőségét a mobil állomások működési területének pontosabb leírásával, és az így kibővített szimulációs algoritmus felhasználásával fiktív és valós topográfián bemutatom az implementált algoritmus működését, előnyeit, alkalmazási és alkalmazhatósági kérdéseit.

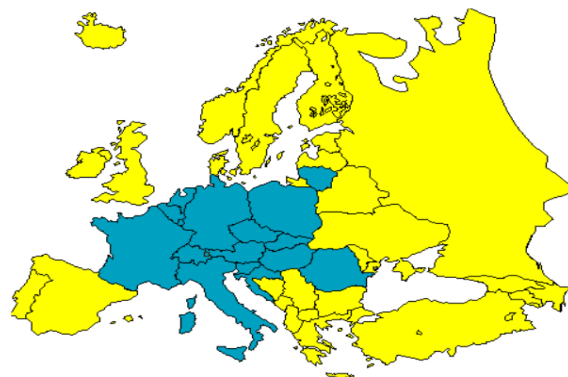
I. BEVEZETÉS

Az elmúlt évtizedek során a modern hírközlő rendszerek elterjedésével jelentősen megnőtt a vezeték nélküli szolgálatok és szolgáltatások frekvenciaigénye. Ez a tény arra sarkallja a nemzeti és nemzetközi szervezeteket, hogy a rendelkezésre álló frekvenciakészletet hatékonyan használják fel, osszák ki a szolgáltatók és a felhasználók számára úgy, hogy az állomások a lehető legkisebb mértékben okozzanak és szenvedjenek el káros zavarást az összeköttetések minőségének biztosítása érdekében.

A véges mennyiségben rendelkezésre álló frekvenciakészlet nemzeti kincs, melynek értékesítése

és felhasználása kizárólag szabályozott úton, egyezményes és előírások megalkotásával, a megalkotott szabályrendszerek betartásával és betartatásával lehetséges. A vezeték nélküli technológiák számtalan előnye mellett számolni kell azzal, hogy a határon belüli szabályozáson és tervezésen kívül szükség van összehangolt nemzetközi együttműködésre is, hiszen a hullámterjedés nem ismer országhatárokat.

A kijelölések szomszédos országokkal történő egyeztetése jellemzően két- vagy többoldalú megállapodások alapján történik, mely megállapodások megkötésére az ITU Nemzetközi Rádiószabályzatának 6. cikke [1] nyújt széles lehetőségeket biztosító keretet. Az európai országok igazgatásainak jelentős része (az 1. ábra kézzel jelölt országai) már ezen keretek között, az elsőként 1993-ban megkötött *Harmonized Calculation Method* (HCM) megállapodás alapján koordinálja kijelöléseit az állandóhelyű és a földi mozgószolgálat vonatkozásában [2].



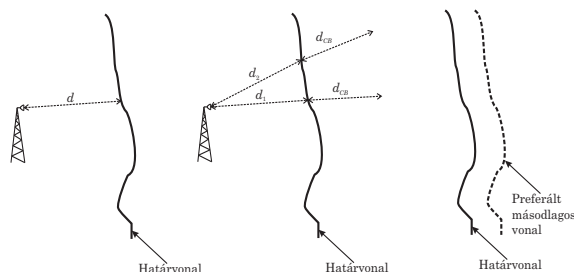
1. ábra. Európa országai [3]

A HCM megállapodás által definiált koordinációs eljárás kulcsfontosságú pontja a kijelölések terve-

zett földrajzi és műszaki paramétereinek ismeretében történő szimuláció, melynek a földi mozgószolgálat esetén elsődleges célja az állomás által létrehozott térerősségviszonyok feltérképezése. A kijelölés jellemzőinek minél pontosabb ismerete jelentősen elősegítheti a spektrum effektív kihasználását, lehetőséget adva az egyedi koordinációs kérelmek rugalmas kezelésére is.

II. A FÖLDI MOZGÓSZOLGÁLAT KIJELÖLÉSEINEK KOORDINÁCIÓJA

Az állomások üzembe helyezése előtt végzett nemzetközi egyeztetés egy műszaki eszközkészlettel segített adminisztrációs folyamat, melynek elsődleges feladata, hogy a HCM megállapodásban részletesen definiált szimulációs módszer felhasználásával eldöntse, hogy a vizsgált állomás okoz-e, illetve annak okoznak-e káros zavart a szomszédos országok már koordinált, üzemelő kijelölései. Földi mozgószolgálat esetén ehhez a 2. ábrán feltüntetett nevezetes pontokra meghatározott, a működési frekvenciától függő maximális térerősségszintek kerültek meghatározásra. A HCM megállapodás alapján be-



2. ábra. Határvonal, határon átnyúló távolság és a preferált másodlagos vonal

szélhetünk a vizsgált kijelölés által a határvonalon létrehozott térerősségszintről (d) és határvonalon átnyúló távolságról (d_{CB}). A szomszédos igazgatások meghatározott frekvenciasávokra két- vagy többoldalúan köthetnek úgynevezett preferált megállapodásokat is, melyek lényege, hogy a sávon belül egymás között felosztott blokkok használatával kapcsolatban a preferált, elsőbbségi jogot élvező igazgatások kedvezőbb körülmények között koordinálhatják és helyezhetik üzembe kijelöléseiket. Ennek értelmében a határvonalra történő számításokat nem a valós határvonalra, hanem annak egy előre definiált távolsággal történő transzlációjával meghatározott, úgynevezett másodlagos határvonalra kell elvégezni.

A kijelölések nemzetközi egyeztetése egyrészt a koordinációs kérelmek elbírálásra történő elküldését jelenti a folyamatban érintett igazgatások felé, másrészt magában foglalja a szomszédos igazgatásoktól

érkező kérelmek kiértékelését is. Koordinációt igényel az az adóállomás, amely az érintett ország irányában, annak határvonalára számítva a földfelszín feletti 10 m magasságban nagyobb térerősségszintet hoz létre a HCM megállapodás 1. mellékletében foglaltaknál. A földi mozgószolgálat vevőállomásait abban az esetben szükséges koordinálni, ha a vevőrendszer védelmet igényel, és az a megállapodás első mellékletében meghatározott frekvenciafüggő, határvonaltól mért távolságon belül található. A beérkező kérelmek elbírálása során el kell utasítani a kijelölést, ha:

- az állomás a megállapodás 1. mellékletében meghatározott térerősségszintet túllépi az érintett igazgatás frekvenciajegyzékében szereplő állomások valamelyikénél;
- a használni kívánt frekvencia két- vagy többoldalú megállapodások által definiált feltételekbe ütközik;
- az állomás a megállapodás 1. mellékletében meghatározott térerősségszintet túllépi legalább egy, koordinációs kérelmének elbírálására váró állomásnál (a kérelmeket beérkezésük szerinti időrendben kell figyelembe venni);
- az állomás a megállapodás 1. mellékletében meghatározott, határon átnyúló távolságra számított térerősségszintet túllépi.

Vevővédelmi igény csak akkor utasítható el, ha:

- a kérelem kiértékelését végző igazgatásnak van már legalább egy olyan koordinált adója, ami a megállapodás 1. mellékletében definiált térerősségszintnél nagyobbhoz létre az érintett vevőnél;
- a kérelem pozitív elbírálása megakadályozná az igazgatóságot az általa birtokolt preferált frekvenciák valamelyikének két- vagy többoldalú megállapodásban lefektetett feltételek szerinti felhasználásában;
- a kérelem kiértékelését végző igazgatásnak van legalább egy olyan, koordinációs kérelem elbírálására várakozó adója, ami a megállapodás 1. mellékletében definiált térerősségszintnél nagyobbhoz létre az érintett vevőnél;
- a megállapodás 1. mellékletében megállapított, a határon átnyúló zavarással kapcsolatosan támasztott feltételek nem teljesülnek.

III. A KOORDINÁCIÓS ELJÁRÁS GYAKORLATI NEHÉZSÉGEI

A nemzetközi koordináció olyan komplex igazgatási feladat, melynek szükségessége a nemzeti ki-

jelölések zavarmentes működésének biztosítása érdekében megkérdőjelezhetetlen, de a gyakorlati munka során sokféle problémát és kihívást hordoz magában. A koordinációs kérelmek küldése, fogadása és elbírálása jelentősen megnöveli az igazgatásokra háruló adminisztratív munkát: egy-egy koordinációs procedúra problémás ügyek esetén el is húzódhat, így lassítva az igazgatások frekvenciaengedélyezési eljárásait.

A HCM megállapodás alapján történő egyeztetés előnye, hogy – miként azt a neve is sugallja – az igazgatások ugyanazon számítási algoritmus alapján határozzák meg a kijelölések térerősségviszonyait, így küszöbölve ki az ebből adódó esetleges különbségeket, melyek vitás kérdésekhez vezetnének. Szem előtt kell tartani ugyanakkor, hogy az algoritmus harmonizálása még nem elegendő, az egyeztetést végző igazgatásoknak az eredmények összehangolásának érdekében megegyező, vagy maximum kis mértékben eltérő földrajzi adatbázis (topográfiai adatok, határvonal-vektorok, koordináta-rendszer) alapján, valamint folyamatosan frissített, egymás között meghatározott időnként kicserélt kijelölés-adatbázisból kell dolgozniuk. Sokszor adódnak speciális ügyek is, hiszen a HCM megállapodás mellett rendszerint születnek (és érvényben is vannak) megállapodások például preferált frekvenciákról. A kiegészítő megállapodások figyelembevétele bonyolultabbá teszi az ügyintézkést.

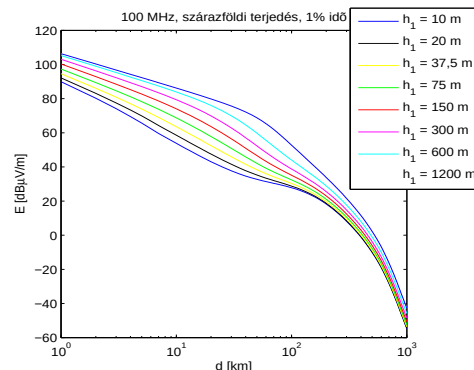
Magyarország szempontjából különleges helyzet, hogy két szomszédos ország, Ukrajna és Szerbia nem tagja a HCM megállapodásnak, így az érintett országok igazgatásaival úgy kell lefolytatni a koordinációt, hogy – bár van kétoldali érvényes, a HCM megállapodástól eltérő keretrendszer – az említett országokkal történő koordináció során eltérő típusú, bizonyos frekvenciasávokra megkötött megállapodásokat kell alkalmazni, ami nehézségeket szül a gyakorlatban, például az adatcsere ügyében is. Előfordul, hogy a szomszédos igazgatások olyan állomásokra kérnek vevővédelmet, melyeket nem jelentettek be, nem koordináltak, így az nem került be az érintett igazgatás frekvenciajegyzékébe. Az ilyen esetekben az igazgatás koordináció nélkül üzembe helyezett állomásra vevővédelmet nem igényelhet.

IV. A ZAVARÓ TÉRERŐSSÉG MEGHATÁROZÁSA

A térerősségszint meghatározásának alapját az ITU-R P. 1546-os ajánlás adja [4]. Lényege, hogy az elsőrendű Fresnel-zóna tisztaságának függvényében választja meg a számítási algoritmust. Amennyiben a Fresnel-zóna tisztasága biztosított, úgy az

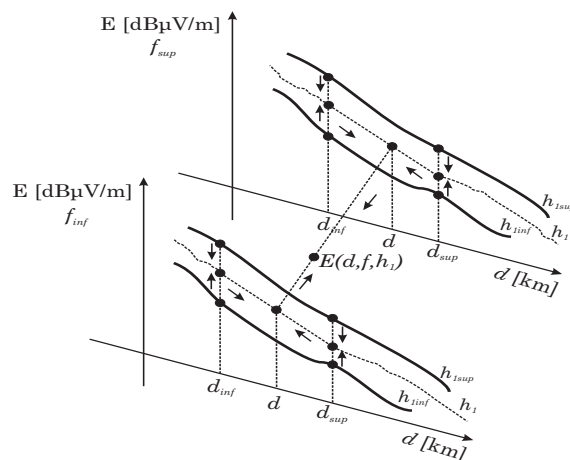
$$E = 107 \frac{\text{dB}\mu\text{V}}{\text{m}} + 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{P}{1000 \text{ W}} \right) - 20 \cdot \log_{10} (d) \quad (1)$$

összefüggés alapján meghatározott szabadtéri térerősséggel kell számolni, ahol d a távolság km-ben, P pedig a kisugárzott teljesítmény W-ban. Ha az elsőrendű Fresnel-zónában terepakadály található, akkor az összeköttetés nem tekinthető optikainak, és az ITU ajánlásában található terjedési görbéket kell alkalmazni (3. ábra). A terjedési görbék matematikai



3. ábra. Terjedési görbék (100 MHz, 1% idő, szárazföld)

szempontból olyan négyváltozós (f frekvencia, h_1 magasság, d távolság és az idővalószínűség) függvényként kezelendők, melyek analitikus formában nem adhatók meg, továbbá értelmezési tartományuk és értékészletük diszkrét, így a szimulációk során a 4. ábrán látható módon inter- és extrapolációk szuperpozíciójára van szükség. Mivel a HCM algo-



4. ábra. Térerősség interpolálása a terjedési görbék segítségével

ritmus lineáris interpolációt alkalmaz, így a függvény értéke annak tetszőleges γ változója (legyen az frekvencia, h_1 vagy a távolság, az idővalószínűség explicit módon adott, így azzal nem kell foglalkozni)

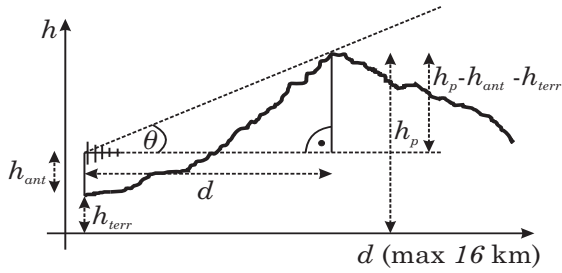
alapján interpolálható az

$$E = E(\gamma_{inf}) + \frac{(E(\gamma_{sup}) - E(\gamma_{inf})) \log_{10} \left(\frac{\gamma}{\gamma_{inf}} \right)}{\log_{10} \left(\frac{\gamma_{sup}}{\gamma_{inf}} \right)} \quad (2)$$

összefüggés segítségével, ha a függvény értéke a változó γ pontjában keresett, γ_{inf} és γ_{sup} pedig a keresett pontnál kisebb és nagyobb értékű, rendelkezésre álló változó értéke.

V. KORREKCIÓS TÉNYEZŐK

A Fresnel-zóna tisztaságának függvényében meghatározott térerősségszinteket az adó és a vevő között értelmezett terepviszonyok függvényében korrigálni, csökkenteni kell, melyre a topográfiából származtatott paraméterek (terepegyenletlenség, tereptisztasági szög, effektív antennamagasság), és az azokból meghatározható empirikus korrekciós értékek nyújtanak lehetőséget. Érdeemes szem előtt tartani, hogy



5. ábra. Tereptisztasági szög meghatározása

bár a szimulációs eljárás az ITU által definiált, a terepviszonyokat az antennától legfeljebb 15 km-ig vizsgáló, bizonyos esetekben negatív értéket is felvevő effektív antennamagasság értékét alkalmazza, a további számítások során az abból származtatott h_1 érték kerül felhasználásra, mely konverzió az antennák magasságának, valamint a kijelölés típusának függvényében biztosan nemnegatív magasságértéket eredményez. A megállapodás 5. mellékletében található konverziós táblázat determinálja továbbá, hogy bizonyos esetekben mely korrekciós tényezők alkalmazása szükséges a térerősségszint pontosabb meghatározásának érdekében.

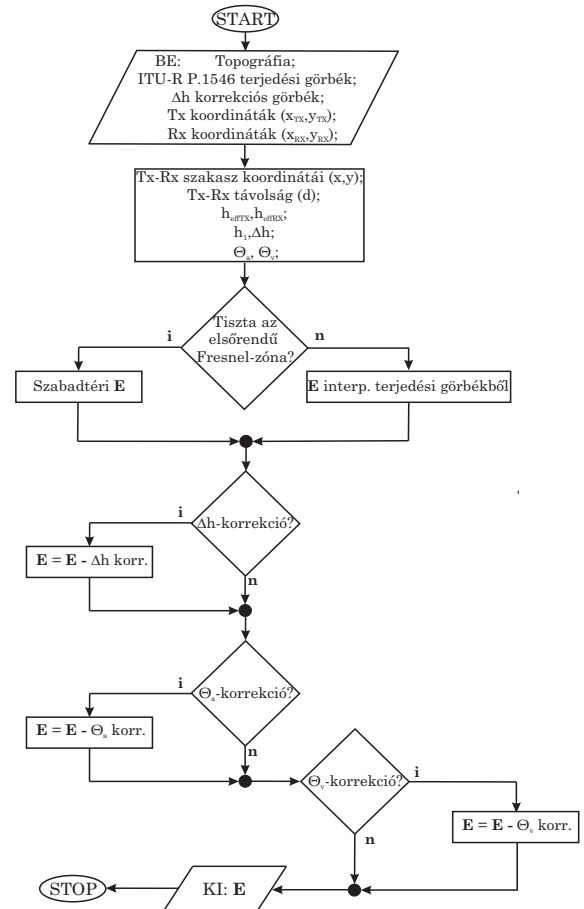
Miként a terjedési görbék esetén, úgy a korrekciós tényezők meghatározása során is inter- és extrapolációra van szükség, hiszen a korrekciós értékek a paraméterek függvényében diszkrét értelmezési tartományon és diszkrét értékkel állnak rendelkezésre. Erre példa az 5. ábra jelölései alapján a

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{h_p - h_{ant} - h_{terr}}{d} \right) \quad (3)$$

formulával meghatározható tereptisztasági szög is, mely értékéhez a HCM megállapodás korrekciós görbesereget rendel, melyből a korrekció pontos értéke a már ismertetett lineáris interpoláció alkalmazásával határozható meg.

VI. AZ IMPLEMENTÁLT ALGORITMUS

A földi mozgószolgálat térerősségviszonyait meghatározó szimulációs eljárást az igazgatások által használt programkörnyezettől (és a hivatalos HCM-programtól) függetlenül, önállóan működő Matlab-script [5] formájában implementáltam. Az algoritmus folyamatábrája a 6. ábrán tanulmányozható. A szí-



6. ábra. A térerősségszámítás folyamatábrája

mulációs környezet Matlab-alapú megvalósítását elsősorban a számítási algoritmus rugalmas kezelésének igénye, az eljárás továbbfejlesztési lehetőségének vizsgálata kívánta meg. A zavaró térerősség meghatározásának egyik legfontosabb bemeneti adata az a topográfiai adatbázis, melyen a vizsgált állomásokat el kell helyezni. Munkám során egyaránt használtam fiktív és valós topográfiát, előbbi

digitális képfeldolgozási eszközök segítségével valósítottam meg.

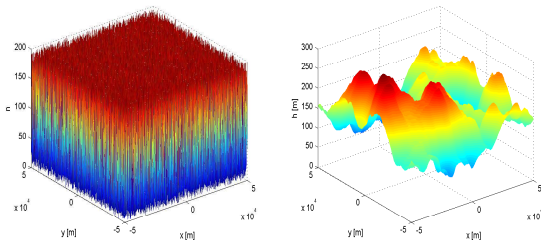
A topográfia nem más, mint egy $t(x, y)$ kétváltozós függvény, melynek értékkészlete az adott (x, y) -pontban értelmezett magasságértéket adja meg méterben. Ennek meghatározásához egyaránt használható a hosszúsági és szélességi fokok koordináta-rendszere, valamint a klasszikus Descartes-féle koordináta-rendszer is, melyet az egyszerűség kedvéért én is alkalmaztam. A sztochasztikus topográfiamátrix generálása során első közelítésben ehhez rendeltem egy pszeudovéletlen, normál eloszlású számokkal feltöltött $\mathbf{F}(x, y)$ kvadratikus mátrixot, melyet egy

$$\mathbf{W}(x, y) = w(x, y) = e^{-\left(\frac{2|x|}{c_x} + \frac{2|y|}{c_y}\right)} \quad (4)$$

impulzusválasszal rendelkező Gauss-szűrő segítségével dolgoztam fel. Az összefüggésben c_x és c_y ún. korrelációs faktorok: minél nagyobb az értékük, az adott irányban annál gyorsabban csillapodik az impulzusválasz, így "simább" lesz a szűrő gerjesztett válasza, tehát a topográfia. Az ezt reprezentáló $\mathbf{T}(x, y)$ mátrix a helyfrekvenciák tartományában történő konvolúcióval határozható meg:

$$\mathbf{T}(x, y) = \frac{2d}{N\sqrt{c_x c_y}} \mathcal{F}^{-1} \{ \mathcal{F} \{ \mathbf{W}(x, y) \} \mathcal{F} \{ \mathbf{F}(x, y) \} \}, \quad (5)$$

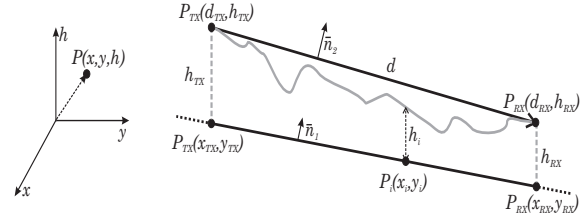
ahol $\mathcal{F}\{\cdot\}$ a Fourier-transzformáció operátora, N pedig a felosztás finomságát jelöli $d \cdot d$ területtel rendelkező vizsgálati tartomány esetén.



7. ábra. Véletlenszám-mátrix és egy generált topográfia

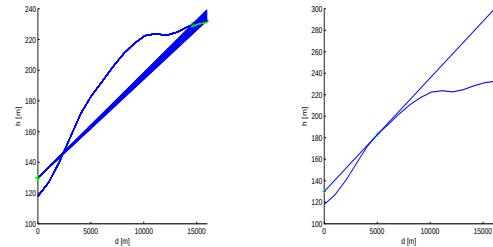
A számítások során az így létrehozott földrajzi adatbázison történő tájékozódást síkbeli és térbeli koordináta-geometria segítségével, a 8. ábrán látható módon valósítottam meg. A térben az azok koordinátái alapján azonosított adó- és vevőpontok közötti metszet felvételéhez elsőként meg kell határozni a két pontot összekötő, az xy -síkon található egyenes pontjait. Ezen pontokhoz két távolságot rendeltem: az adótól és a vételi ponttól vizsgált távolságok értékét (d). Így az előző síkra merőleges vizsgálati metszet is definiálható, hiszen a d távolságok függvényében felvehetők a két pont közötti terepmetszet

magasságértékei. Ez az úgynevezett dh -síkon történő vizsgálatot teszi lehetővé, ami a terepkorrekció tényező meghatározása szempontjából elengedhetetlen. Ez elegendő, hiszen a szimuláció során mindig pont-pont közötti számításokat (vagy azok szuperpozícióját) kell végrehajtani.



8. ábra. Koordináták síkban és térben

Bár a terepmetszettel történő munka jelentősen csökkenti az egyes számítások során feldolgozásra kerülő adatmennyiséget, az algoritmus futási idejét érdemben nem ez, hanem a korrekcióhoz szükséges paraméterek meghatározása, valamint a bemenetként rendelkezésre álló empirikus függvények segítségével történő inter- és extrapoláció befolyásolja. A paraméterek esetén előfordul, hogy kimerítő keresési algoritmust kell alkalmazni – ilyen eljárást igényel például a tereptisztasági szöghöz szükséges derékszögű háromszög átfogóját meghatározó egyenes megkeresése (9. ábra). Az eljárás előnye,



9. ábra. Kimerítő keresési algoritmus alkalmazása

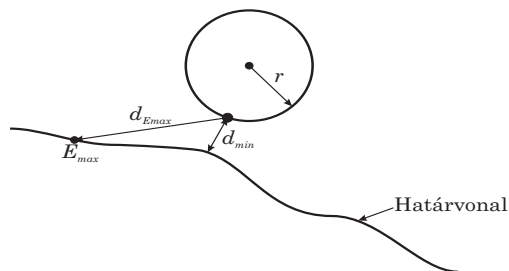
hogy tetszőleges topográfia esetén megfelelő eredményt ad, hátránya, hogy nem használja ki az egyedi viszonyokból adódó egyszerűsítési lehetőségeket, ezért rendkívül időigényes. Az interpolációs eljárások időigényessége nem a matematikai műveletek bonyolultságából adódik, hanem a függvény három változójából következő $2^3 = 8$ különböző eset kezeléséből if -ágak segítségével.

VII. A KIJELELÉSEK MŰKÖDÉSI TERÜLETÉNEK LEÍRÁSA

A mozgószolgálatok jellemzője, hogy összeköttetéseknek legalább egyik végpontja mozog, vagy

előre meg nem határozható helyen tartózkodik [6]. Működési terület szempontjából tehát kétféle típusú állomással kell foglalkozni: a fix, a koordináta-rendszer egy adott pontjához kötött állomásokkal (ilyenek például a mobil összeköttetések bázisállomásai), valamint a mobil kijelölésekkel. Az állandóhelyű kijelölések során a feladat egyszerű, hiszen egyetlen pont-pont összeköttetéssel kell számolni a zavaró térerősség meghatározása során, a számítás egyetlen szabadságfoka a vételi pont meghatározása. A mobil kijelölések földrajzi helyzete ellenben nem írható le egyetlen ponttal, az állomásokhoz működési területet kell rendelni, így a mozgó kijelölések térerősségviszonyainak feltérképezése két szabadságfokú számítást igényel: nem mindegy, hogy az állomás a működési területének mely pontján tartózkodik, és az sem, hogy onnan a vizsgált tér mely pontjában akarjuk meghatározni az általa létrehozott térerősségszintet.

A jelenleg érvényes HCM megállapodás térerősségszámítási algoritmusának kidolgozása során arra törekedtek, hogy a lehető legegyszerűbb, *worst case*-alapú szimulációval történjen a koordináció. Ehhez a mobil állomások működési területét minden esetben egy adott középpontú, adott sugarú körrel közelítik, és a szimuláció során csak a kör területének azon pontját veszik figyelembe, mely a lehető legrosszabb térerősségviszonyokat eredményezi. Erre mutat példát a 10. ábrán látható, határvonalra történő számítás is. Ebben az esetben a működési zóna területének



10. ábra. Mobil állomás térerősségszintjének meghatározása határvonalra

azon pontjából történik a számítás, amely a legközelebb található a vizsgált határvonalhoz, és az a vételi határpont a mérvadó koordinációs szempontból, melyen a kijelölés a legnagyobb (E_{max}) térerősségszintet hozza létre.

Ez az eljárás egyszerű és gyors szimulációt tesz lehetővé, ugyanakkor számos hátránya is van: például a határ közelében található mobil állomások működési területének körrel történő közelítése során adódhatnak olyan esetek, hogy a közelített mozgáskörzet átnyúlik a szomszédos ország területére, ami hamis, a valóságot nem tükröző eredményre is vezethet, így felmerül a terület rugalmasabb, körtől el-

térő síkidommal történő leírásának igénye. Adódhat olyan topográfia is, mely esetén a vizsgált kijelölés nem a működési zóna területének valamely pontján hozza létre a maximális zavaró térerősséget, hanem a terület valamely belső pontján, hiszen a térerősség nem kizárólag a távolság, hanem a topográfia függvénye is.

Felmerül továbbá annak a kérdése is, hogy a mobil állomások a működési területeik bizonyos pontjain milyen valószínűséggel találhatók meg: amennyiben a kijelölések megtalálási valószínűsége megismerhető és leírható, úgy azt célszerű figyelembe venni a koordinációs eljárás során, hiszen lehet olyan eset is, hogy a terület azon részén, ahol a vizsgált kijelölés a legnagyobb zavaró térerősséget hozza létre, csak igen kis valószínűséggel tartózkodik. Munkám során a mobil kijelölések jelenlegi koordinációs eljárásának kiterjesztésével foglalkoztam, mely kiterjesztéssel elszakadtam a jelenleg alkalmazott módszertől, és a működési területet a kétváltozós normális eloszlás sűrűségfüggvényével modelleztem.

A sűrűségfüggvény segítségével történő mozgáskörzet-leírás egyrészt a működési terület modellezési lehetőségeinek kiszélesítését takarja, hiszen alkalmazása elszakadást jelent a köralapú leírástól, másrészt modellezhető vele az állomás előfordulási valószínűsége is, így a vizsgált mozgó állomások viselkedése rugalmasabban vizsgálható. A leíráshoz definiálni kell két valószínűségi változót: legyen ξ az állomás x -irányú tartózkodási helyzete a síkon, míg η jelölje az y -irányú pozíciót. Ekkor ξ és η együttes eloszlásának sűrűségfüggvénye az

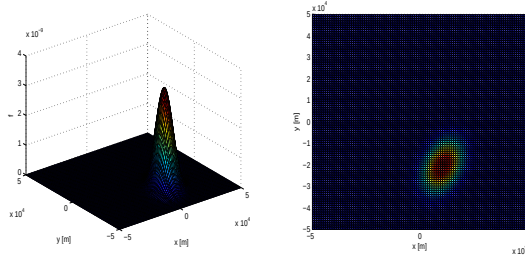
$$f(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma_1\sigma_2\sqrt{1-r^2}} \exp\left(-\frac{1}{2(1-r^2)}\left[\frac{(x-m_1)^2}{\sigma_1^2} - 2r\frac{x-m_1}{\sigma_1}\frac{y-m_2}{\sigma_2} + \frac{(y-m_2)^2}{\sigma_2^2}\right]\right) \quad (6)$$

alakban írható fel, ahol m_1 és σ_1 ξ , m_2 és σ_2 pedig η várható értéke és szórása, r pedig a kovariancia segítségével definiálható korrelációs együttható [7]:

$$r = \frac{\text{Cov}(\xi, \eta)}{\sigma(\xi)\sigma(\eta)}, \quad r \in [-1, 1]. \quad (7)$$

Az így leírt, meghatározott működési terület formailag sokkal rugalmasabb, mint a körrel történő közelítés, például a határmenti kijelölések esetén lényegesen jobban igazodik az adott mobil állomás tényleges működési területéhez. A pontosabb terület-leíráson túl a módszer segítségével lehetőség nyílik az egyszerű, pont-pont alapú számítás kiterjesztésére a függvény tartományán belül, a kiszámított térerősségértékek eloszlás szerinti figyelembevételével, súlyozásával, mely módszer a tartózkodási valószínűség figyelembevételével precízebb információt ad

az állomás által létrehozott térerősségviszonyokról, ezzel segítve a rendelkezésre álló frekvenciakészlet hatékonyabb felhasználását. Abból kifolyólag, hogy

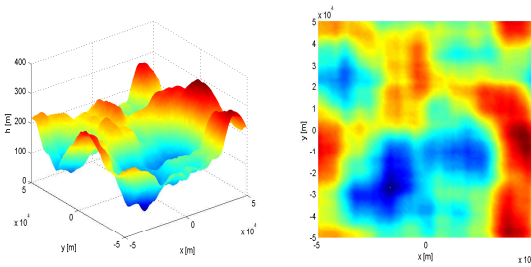


11. ábra. Modellezés normális eloszlással: $m_1 = 1 \cdot 10^4$, $m_2 = -2 \cdot 10^4$ m, $\sigma_1 = 6200$ m, $\sigma_2 = 8100$ m, $r = 0,35$

a sűrűségfüggvény maximuma a 10^{-9} nagyságrendű, értékeit nem célszerű direkt módon a térerősségszintek súlyozására használni, ezért a működési területet leíró függvényt annak maximális értékére normalizáltam. Ennek értelmében a súlyozás után a legnagyobb, a klasszikus algoritmusból ténylegesen adódó térerősségszint a várható értéknél értelmezett, minden attól eltérő pontban az eredeti térerősség tartózkodási valószínűséggel arányosan csökkentett értéke lesz a szimuláció kimenete.

VIII. DUPLEX BÁZIS-MOBIL ÖSSZEKÖTTETÉS VIZSGÁLATA FIKTÍV TOPOGRÁFIÁN

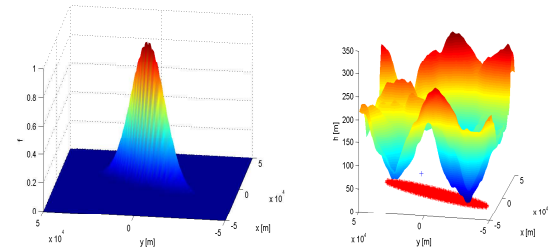
A továbbfejlesztett, Matlab-script formájában implementált algoritmus működését megvizsgáltam egy fiktív topográfián elhelyezett bázisállomás-mobil duplex összeköttetés térerősségviszonyainak feltérképezésére. A $100 \text{ km} \cdot 100 \text{ km}$ területen értelmezett topográfia a 12. ábrán látható. A topográfia minimális magassága 0 m ,



12. ábra. A vizsgált topográfia

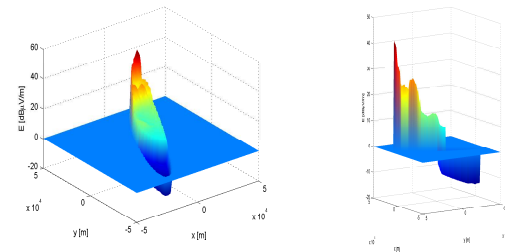
maximuma $307,66 \text{ m}$, átlaga $161,91 \text{ m}$. Az $x, y \in [-5 \cdot 10^4 \text{ m}, 5 \cdot 10^4 \text{ m}]$ értelmezési tartományú Descartes-féle koordináta-rendszerben a bázis-állomást a $P_b(3,99 \cdot 10^4; 1,97 \cdot 10^4)$ koordinátájú, $h_b = 220,94 \text{ m}$ magasságú pontban helyeztem el,

míg a mobil állomás helyét egy $m_1 = m_2 = 0, \sigma_1 = 5000, \sigma_2 = 10000, r = 0,5$ paraméterekkel rendelkező, normális eloszlással modellezett működési területen értelmeztem. Első közelítésben a duplex összeköttetés mobil adás – bázis vétel esetét (*uplink*) vizsgáltam meg, $f = 450 \text{ MHz}$ adási frekvenciával, $P = 20 \text{ W}$ kisugárzott teljesítménnyel, körsugárzó antennát feltételezve. Ha alaposabban tanulmányozzuk a mobil állomás működési pontjait, a hozzájuk rendelt magasságértékeket és az adó-vevő közötti terepviszonyokat, akkor a szimuláció tényleges lefuttatása előtt le lehet vonni néhány egyszerű következtetést.



13. ábra. A mobil állomás sűrűségfüggvénye és a bázis-mobil pontok a topográfián

Amennyiben a normált sűrűségfüggvény nullától eltérő ($\|f(x, y)\| > 1 \cdot 10^{-4}$) pontjaiból számolunk térerősséget a függvény kvantitatív adatainak figyelmen kívül hagyásával (tehát csak az a fontos, hogy előfordulhat-e, hogy az adott pontban megtalálható az állomás, de azt nem nézzük, hogy a sűrűségfüggvény ott mekkora értéket vesz fel), azon pontoknál fog nagyobb térerősségérték adódni, melyek egyrészt közelebb vannak a bázishoz ($y > 0$), másrészt ahonnan nézve a terepegyenetlenség és az abból fakadó korrekciós tényezők a legkisebbek. Ez jól láthatóan szintén a pozitív y -értékek részsíkja. A súlyozatlan szimulációs eredmények a 14. ábrán láthatók. Fontos megjegyezni, hogy az *uplink*-eset



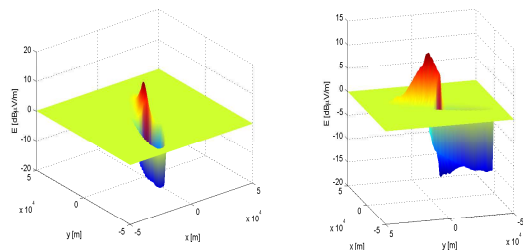
14. ábra. A mobil állomás működési pontjaiból számított térerősségértékek

térerősségértékeinek ábrázolását az egyszerűség és az átláthatóság kedvéért úgy végeztem el, hogy az

értékeket azokhoz a pontokhoz rendelttem hozzá, ahonnan a számítás elvégzése történt. Ez a módszer nyilvánvalóan kezelhetőbb eredményt ad, hiszen a fordított esetben a fix vételi pontban lenne szükséges feltüntetni a térerősségeket, ami problémás feladat.

A mobil állomás által a fix bázisponton létrehozott térerősség szint maximális értéke $E_{max} = 42,69 \frac{\text{dB}\mu\text{V}}{\text{m}}$ -re adódott a $P_{max}(2,07 \cdot 10^4; 4,19 \cdot 10^4)$ koordinátájú, $h_{max} = 163,46$ m magasságú pontból. Innen nézve az adó-vevő távolság $d = 29,35$ km, a terepegyenletlenség $\Delta h = 138,17$ m, a tereptisztasági szögek elhanyagolhatóan kicsik, az effektív antennamagasságok $h_{effTX} = 36,2079$ m és $h_{effRX} = 67,0210$ m értékekre adódnak ($h_{antTX} = h_{antRX} = 12$ m) és az elsőrendű Fresnel-zóna tisztasága nem biztosított. A legkisebb létrehozott térerősség szint $E_{min} = -13,81 \frac{\text{dB}\mu\text{V}}{\text{m}}$ értékűre adódik a $P_{min}(-1,66 \cdot 10^4; -3,88 \cdot 10^4)$ koordinátájú, $h_{min} = 59,92$ m magasságú pontból. Ebben az esetben az adó-vevő távolság $d = 81,43$ km, a terepegyenletlenség $\Delta h = 211,21$ m, a tereptisztasági szögek jó közelítéssel zérusok, az effektív antennamagasságok $h_{effTX} = 4,32$ m és $h_{effRX} = -18,82$ m értéket vesznek fel, optikai összeköttetésről ezúttal sem beszélhetünk.

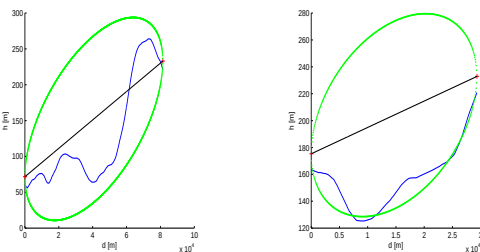
Az eredmények alapján látható, hogy a vizsgált mobilállomás igen szélsőséges térerősség szinteket hoz létre attól függően, hogy éppen hol tartózkodik. A térerősség szint ingadozása miatt adódhat olyan eset, hogy a vizsgált kijelölés működési területének létezik olyan pontja, amelyből már jelentős mértékű káros zavart okoz egy másik állomásnak, ezáltal koordinációs szempontból lehet, hogy problémás lenne a kezelése. Megfigyelhető továbbá, hogy a kijelölés a legnagyobb térerősség szinteket a működési körzetének szélén hozza létre, ahol igen kis valószínűséggel tartozik. A súlyozott térerősség szintek a 15. ábrán láthatók. A sűrűségfüggvény alakulásának



15. ábra. A számított térerősség szintek súlyozás után

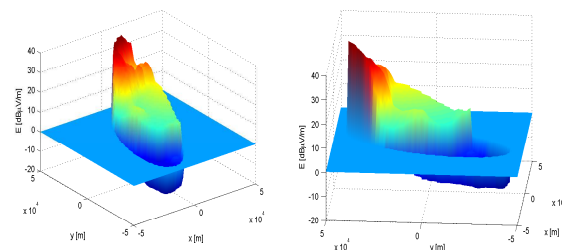
figyelembevétele jelentősen csökkenti az eredetileg kiszámított térerősség szinteket, és szinte teljes egészében levágja, zérusra csökkenti a függvény szélén található maximumokat, megtartva a várható érték-

nél, valamint annak közvetlen közelében kiszámított szinteket. Az így adódó maximális térerősség szint $E_{max} = 11,3580 \frac{\text{dB}\mu\text{V}}{\text{m}}$, a hozzá tartozó adatok: $P_{max}(505,70; 1,51 \cdot 10^3)$, $h_{max} = 159,53$ m, $d = 43,38$ km, $\Delta h = 204,40$ m, $\theta_{TX} = \theta_{RX} \approx 0$, $h_{effTX} = 29,70$ m, $h_{effRX} = -12,91$ m és az összeköttetés nem optikai. A minimális térerősséghez tartozó adatok: $E_{min} = -15,18 \frac{\text{dB}\mu\text{V}}{\text{m}}$, $P_{min}(-3,53 \cdot 10^3; -6,56 \cdot 10^3)$, $h_{max} = 111,5$ m, $\Delta h = 206,48$ m, $\theta_{TX} = \theta_{RX} \approx 0$, $h_{effTX} = 7,60$ m, $h_{effRX} = -14,79$ m, az elsőrendű Fresnel-zóna tisztasága ezúttal sem biztosított. Az



16. ábra. A minimális és a maximális térerősséghez tartozó terepmetszetek

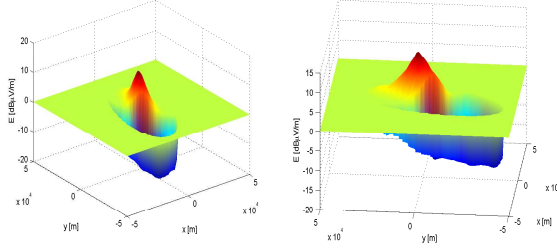
így adódó $10 \frac{\text{dB}\mu\text{V}}{\text{m}}$ körüli maximumok jelentősen kisebb térerősség szintet reprezentálnak a hagyományos, súlyozatlan számítási módszerhez képest, így azt mondhatjuk, hogy ez az eljárás pontosabb képet ad az állomás működése közben kialakuló térerősségviszonyokról, megnyitva a lehetőséget az egyedi esetek rugalmasabb kezelésére, koordinálására. A bázisállomás által a mobil működési területére (downlink) létrehozott térerősség szinteket a 17. ábra mutatja. Az állomás $f = 460$ MHz adási



17. ábra. A mobil állomás működési pontjaira számított térerősségek

frekvencián, 20 W kisugárzott teljesítménnyel és körsugárzó antennával üzemel. A súlyozási eljárás nélkül létrehozott maximális térerősség szintet a kijelölés a $P_{max}(10606; 4,29 \cdot 10^4)$ pontban $E_{max} = 38,05 \frac{\text{dB}\mu\text{V}}{\text{m}}$ értékkel hozza létre, míg a minimális térerősség szint a $P_{min}(-1,66 \cdot 10^4; 3,88 \cdot 10^4)$ pontban $E_{min} = -13,98 \frac{\text{dB}\mu\text{V}}{\text{m}}$ értékűre adódik.

Előbbi az *uplink*-irányhoz képest 4,64 dB-rel, míg utóbbi 0,167 dB-rel kevesebb. A súlyozás utáni értékek a 18. ábrán láthatók. Az eljárás a maxi-



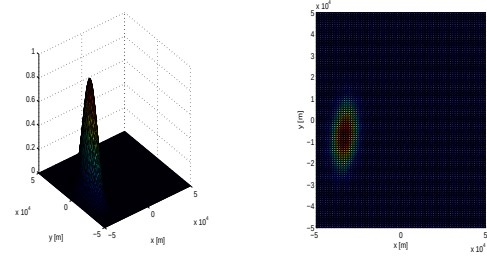
18. ábra. A számított térerősségszintek súlyozás után

mális térerősségszintet $E_{max} = 12,095 \frac{\text{dB}\mu\text{V}}{\text{m}}$ -re csökkenti, ami a súlyozatlan maximumnál 25,957 dB-rel kevesebb, míg az *uplink*-értékhez képest 0,737 dB-rel több, a minimális térerősségszint pedig $-15,004 \frac{\text{dB}\mu\text{V}}{\text{m}}$ -re adódik.

Összefoglalásképpen elmondható, hogy az *uplink-downlink*-irányok térerősségviszonyai kisebb különbségektől eltekintve megegyeznek, mely egyezés elsősorban a távolság alapú térerősségszámításból adódik (különbséget csak a frekvencia-offset és terepviszonyok közötti eltérés okozhat), így a súlyozott térerősségszintek is hasonlóan alakulnak. A legnagyobb térerősségszintek a várható érték környezetében, míg a minimum a működési terület bázisállomástól vizsgált távolabbi végén alakul ki. Mivel a koordinációs eljárások során a maximális szintek érdekesek, ezért elmondható, hogy az eredeti algoritmus segítségével adódó $40 \frac{\text{dB}\mu\text{V}}{\text{m}}$ körüli értékek helyett az átlagosan $15 - 20 \frac{\text{dB}\mu\text{V}}{\text{m}}$ nagyságú térerősségszintekkel kell számolni.

IX. SZÁMÍTÁS A HATÁRVONALRA FIKTÍV TOPOGRÁFIÁN

Munkám során egy fiktív topográfián megvizsgáltam a mobilállomások által a határvonalon létrehozott térerősség meghatározására szolgáló eljárás működését, javíthatóságát. Ehhez a mobil állomás helyzetét egy $m_1 = -3,384 \cdot 10^4$, $m_2 = -6,566 \cdot 10^3$, $\sigma_1 = 5000$, $\sigma_2 = 10000$ és $r = 0,2$ paraméterekkel rendelkező normális eloszlás sűrűségfüggvényével modelleztem, a határvonalat pedig az annak pontjait leíró (x, y) -koordinátákat azonosító vektor segítségével értelmeztem. A területet leíró függvény a 19. ábrán, míg a határvonal és a terület helyzete a 20. ábrán látható. Hagyományos számítási algoritmust feltételezve az első lépés a működési terület azon pontjának megkeresése, amely a határvonalhoz a legközelebb található.

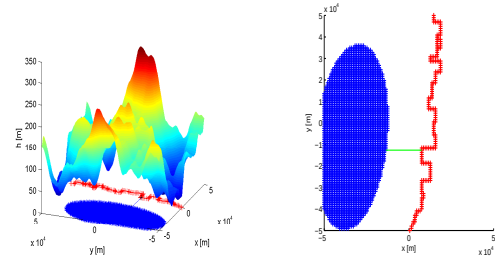


19. ábra. A mobil állomás helyzetét leíró függvény

A minimális távolság megtalálására egy kimerítő keresési algoritmust írtam, amely végigmegy a mobil állomás működési területének minden pontján, és ott megvizsgálja a határvonal összes pontjának távolságát a

$$d = \sqrt{(x_p - x_{border})^2 + (y_p - y_{border})^2} \quad (8)$$

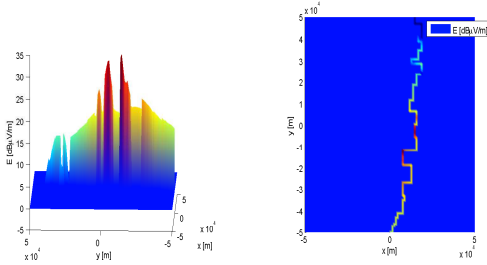
formula segítségével, és ahol ez az érték a legkisebb, azt a határvonal- és működési terület pontot választja ki. A legkisebb távolság ezúttal $d_{min} = 21,211$ km-re adódott a $P_a(-1,3636 \cdot 10^4; 1,4646 \cdot 10^4)$ adási- és a $P_{border}(-1,3636 \cdot 10^4; 7,5758 \cdot 10^3)$ határpont között.



20. ábra. Az állomás területe, a határvonal és a minimális távolság

A klasszikus algoritmust használva tehát a feladat a következő: a megkeresett P_a pontból a határvonal összes pontjára meghatározni a $h = 10$ m magasságban létrehozott térerősség értékét, majd kiválasztani a legnagyobb, és annak koordinátáit, valamint a kiszámított térerősségszint értékét visszaadni kimenetként. A szimuláció során a mobil kijelölés adási frekvenciáját $f = 455,125$ MHz-re, teljesítményét $P = 25$ W-ra, az antenna magasságát $h_{ant} = 30$ m-re választottam. A határvonal teljes hosszára meghatározott térerősségszinteket mutatja a 21. ábra.

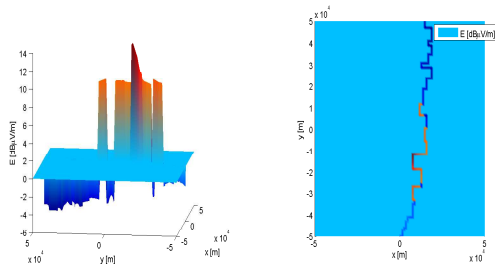
A maximális térerősség értéke a $P_{max}(7,5758 \cdot 10^3; -1,2626 \cdot 10^4)$ pontban $E_{max} = 30,5793 \frac{\text{dB}\mu\text{V}}{\text{m}}$ -ra adódik, amely meghaladja a HCM megállapodásban az adott



21. ábra. Térerősségszintek a határvonalon

frekvenciára előírt $20 \frac{\text{dB}\mu\text{V}}{\text{m}}$ -t, tehát a kijelölést mindenképpen koordinálni kell. Látható, hogy a vizsgált adási pont a mobil állomás meghatározott működési területének szélén található, ami azt jelenti, hogy normális eloszlást feltételezve a kijelölés a tárgyalt pontban igen kis valószínűséggel tartózkodik. Amennyiben ismert a kijelölés tartózkodási helyének eloszlása a síkon, úgy célszerű abból a pontból számítani a térerősség értékét a határvonalra, ahol a legnagyobb valószínűséggel található meg az adott állomás. Ez a pont nem más, mint a várható érték.

A várható értékhez a raszter alapján legközelebb eső $P_m(-3,3838 \cdot 10^4; -6,5657 \cdot 10^3)$ pontból elvégzett szimuláció során a határvonal pontjaira meghatározott térerősségszintek a 22. ábrán láthatók. Az eredmények alapján a maximális térerősségszint

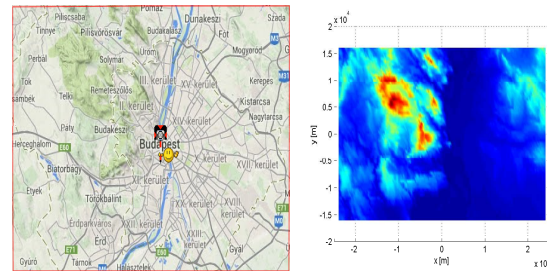


22. ábra. Térerősségszintek a határvonalon, a várható érték pontjából

ugyanarra a határpontra esik, de az eredetinel több mint 15 dB-val kevesebb, $E_{max} = 13,3904 \frac{\text{dB}\mu\text{V}}{\text{m}}$ -re adódik. Az így meghatározott térerősségszint a $20 \frac{\text{dB}\mu\text{V}}{\text{m}}$ -es koordinációs küszöb alatt marad, így ez alapján a kijelölés egyeztetés nélkül helyezhető üzembe. Az ügyintézőnek ezúttal is szem előtt kell tartania azt a tényt, hogy a kijelölés működési területének van olyan pontja, ahonnan az a kritikus szint feletti térerősséget hoz létre a határvonalon, így adott esetben az állomás koordinálendő, a működési terület sajátosságainak figyelembevételével.

X. SZIMPLEX ÖSSZEKÖTTETÉS VIZSGÁLATA VALÓS TOPOGRÁFIÁN

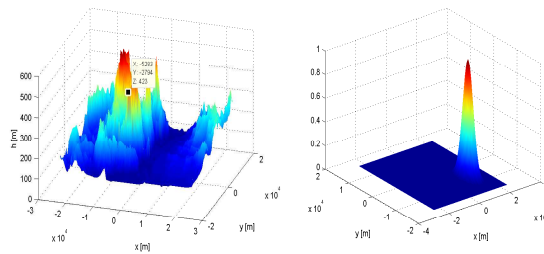
Az implementált térerősségszámítási eljárást a fiktív topográfiákon kívül a 23. ábrán látható, valós terepadatok leíró környezetben is teszteltem egy simplex bázis-mobil összeköttetést feltételezve. A Budapestet, valamint a szélesebb agglomerációt is magában foglaló terepadatokat – mely a magyarországi földmérési térképek vetületi rendszerének 65-ös sorszámu egységes országos vetületi (EOV) szelvénye [8] – a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem alapszakos villamosmérnök-hallgatója, Vigh Péter bocsátotta rendelkezésemre, amit ezúton is szeretnék megköszönni. A szelvény



23. ábra. A vizsgált 65-ös EOV-szelvény és topográfiaja felülnézetből [8]

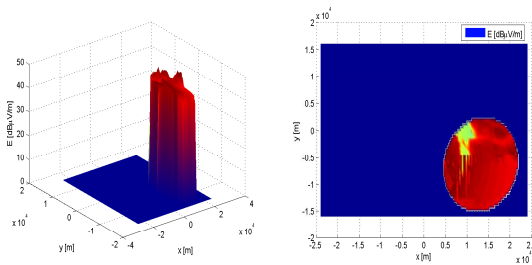
eredetileg egy $32 \text{ km} \cdot 48 \text{ km}$ -es téglalap, amely 50 méteres osztásközzel tárolva egy 640×960 -as mátrixot alkot. Ezt a mátrixot számítási idő csökkentése érdekében egy 64×160 -as mátrixra redukáltam, ami a térerősségszámítási pontosságot a pont-pont közötti interpolációs eljárás miatt nem befolyásolja, csupán az adó- és a vevőállomás helyzetének meghatározási finomságára van hatással.

A szimuláció során egy fix vevőállomást definiáltam a Széchenyi-hegy $h = 423 \text{ m}$ tengerszint feletti magasságú, $P_{RX}(-5283; -2794)$ koordinátákkal azonosítható pontjában $h_{ant} = 60 \text{ m}$ antennamagassággal, melyhez egy, a 24. ábrán látható, a pesti kerületekben történő üzemelést modellező, $m_1 = 1,313 \cdot 10^4$, $m_2 = -6349$, $\sigma_1 = \sigma_2 = 2000$ és $r = 0,1$ paraméterekkel rendelkező normális eloszlás sűrűségfüggvényével leírható működési területen értelmezett mobil adót rendeltem. Az adóantenna körsugárzó és $h_{ant} = 3 \text{ m}$ magas, a kisugárzott teljesítmény $P = 0,35 \text{ W}$, az üzemi frekvencia $f = 451,250 \text{ MHz}$. A súlyozatlan térerősségszintek alakulását a vevőantenna pontjában a mobil állomás tartózkodási helyének függvényében a 25. ábra mutatja. Megfigyelhető, hogy a mobil állomás által létrehozott térerősség a tartózkodási területen belül közel helyfüggetlen, konstans (alaposabb szemrevételezéssel látható, hogy a távolság növekedésével kis mértékben csökken), átlagosan $40 \frac{\text{dB}\mu\text{V}}{\text{m}}$ körül



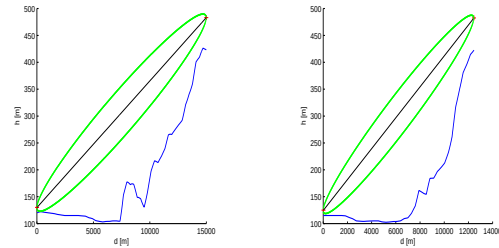
24. ábra. A fix- és a mobil állomás helyzete

alakul. A közel állandó télerősség értéke abból adódhat, hogy a pontonként elvégzett szimulációs lépések során érdemben nem változik az adó és a vevő közötti távolság befolyásolja. A viszonylag nagyknak mondható télerősségértékek forrása egyrészt fakadhat a kisebb távolságokból, másrészt a terepviszonyok alaposabb tanulmányozása során felmerülhet a gyanú, hogy az elsőrendű Fresnel-zóna tisztasága ezúttal biztosított, ezért a szabadtéri terjedés összefüggése szerint kell számolni.



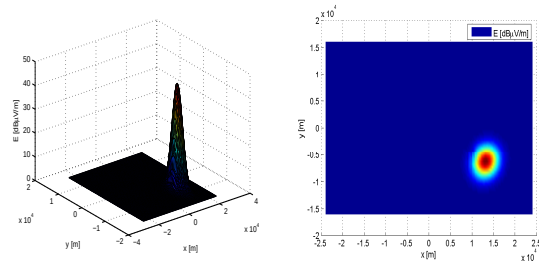
25. ábra. A súlyozatlan télerősségértékek alakulása

A sejtést a 26. ábrán látható, a minimális és a maximális télerősségszinthez tartozó terepmetszetek, és az azokra felrajzolt elsőrendű Fresnel-zónák viszonya is igazolja. Látható, hogy a topográfiai adatok alapján történő számítások alapján egy, Pest déli kerületei és a Széchenyi-hegy között kialakításra kerülő simplex összeköttetés esetén, a vizsgált frekvencián és annak környezetében a szabadtéri hullámterjedés törvényeit lehet és kell is alkalmazni. A télerősség értékének minimális ingadozását nem az alapvető számítási módszerek (terjedési görbék és szabadtéri összefüggés) közötti váltás okozza a vizsgált működési területen belül, hanem a terep-egyenletlenségek, valamint az azokból számított korrekciós tényezők hatásai. Mivel a területre számított télerősségek közel állandó értékűnek adódnak, így az eddig szemléletes, effektív hatást mutató súlyozási eljárás ezúttal várhatóan nem fog érdemi eredményre vezetni, az így kapott télerősség-eloszlás nem fog



26. ábra. Az elsőrendű Fresnel-zónák tisztasága biztosított

új információval szolgálni a kialakuló viszonyokkal kapcsolatban. A súlyozás után adódó télerősségszintek a 27. ábrán láthatók.

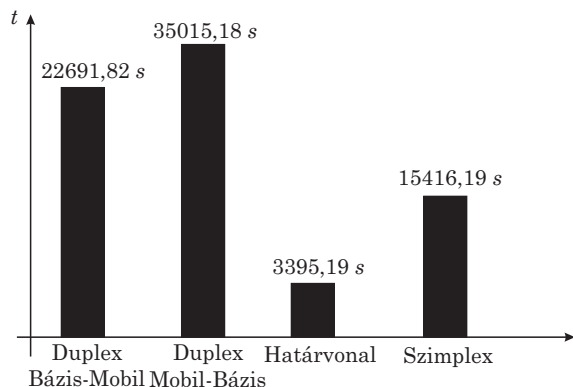


27. ábra. A súlyozott télerősségszintek alakulása

Az eredmények kvalitatív módon a közel konstans eredeti télerősségszintek miatt a működési terület leírásához használt normális eloszlás sűrűségfüggvényének megfelelően alakulnak. Összefoglalásképpen elmondható, hogy abban az esetben, ha az elsőrendű Fresnel-zóna tisztasága biztosított, úgy kis működési területeket feltételezve a súlyozási eljárás nem szolgál új információval, ebben az esetben célszerűbb és kézenfekvőbb egy átlagos télerősségszinttel számolni, hiszen az állomás jó közelítéssel a mozgáskörzetének minden pontján azonos télerősségszintet fog létrehozni a vizsgált ponton.

XI. FUTÁSI IDŐK ÖSSZEHASONLÍTÁSA

A Matlab-script formájában implementált télerősségszámítási algoritmus szűk keresztmetszete a futási idő, ahogy azt a 28. ábra is alátámasztja. A duplex összeköttetés télerősségviszonyainak meghatározási ideje az adott programkörnyezetben összesen több mint 16 órára adódott, a simplex összeköttetés megvizsgálása 4 órát, míg a határvonallal történő számítás 1 óránál kevesebb időt vett igénybe. A script rendkívül hosszú futási idejének oka elsősorban az, hogy a végrehajtott feladat lényegében sok pont-pont közötti télerősségszámítás szuperpozíciója, melyek egyenként is sok időt vesznek igénybe a Matlab korlátai, a topográfiai adatok



28. ábra. A vizsgált problémák futási ideje

nagysága, valamint bizonyos esetekben a számítások során használt kimerítő keresési eljárások miatt.

Belátható, hogy az eljárás mindennapi használatához a jelenleg még túlzottan hosszú futási időket csökkenteni kell. Az egyik lehetséges megoldás az algoritmus más, gépközi programkörnyezetbe történő átültetése, átkódolása, a független programrészek párhuzamosítása, vagy a tényleges számítási algoritmus tökéletesítése a kimerítő keresés használatának elkerülésével, ahol az lehetséges. A legrövidebb, egy óra alatti futási idő a határvonalra történő számítás esetén adódott, hiszen ebben az esetben a fix adási pontból a kétszázalig alig több határpontra kellett számolni, ami számszerűen kevesebb iterációs lépést takar.

XII. KONKLÚZIÓ, JÖVŐBELI TERVEK

Cikkemben ismertettem a HCM megállapodás mellékleteiben összefoglalt, a földi mozgószolgálat nemzetközi frekvenciakoordinációja során felhasznált térerősségszámítási eljárásokat, a terepviszonyok kezelését és az azokból származtatható korrekciós tényezőket műszaki és matematikai vonatkozásban, kitérve a programozási gyakorlatban történő megvalósítási módszereikre. `Matlab`-script formájában megvalósítottam a meghatározott és leírt algoritmust, így egy saját, egyedi, független környezetet teremtettem a HCM-eljárást alkalmazó számításokhoz.

A klasszikus szimulációs algoritmust kiegészítettem a mobil állomások működési területének statisztikai, valószínűségszámítási eszközkészlettel történő leírásával, valamint az ehhez kapcsolódó függvények szerinti térerősség-súlyozással, így nyitva lehetőséget egy pontosabb, a jelenleginél rugalmasabb, és spektrumgazdálkodási értelemben több lehetőséget magában foglaló módszer alkalmazása előtt.

A saját script felhasználásának segítségével illusztratív példákat mutattam be az új eljárás alkalmazásának

lehetőségére, valamint az eredményekből levont következtetésekkel összefoglaltam az új módszer előnyeit és hátrányait, fiktív és valós terepadatok alkalmazásának segítségével.

A jövőben szeretném a jelenleg `Matlab` környezetben futó scriptet a szimuláció felgyorsítása érdekében C programozási nyelvre átkódolni, ezzel küszöbölve ki az eljárás jelenlegi legnagyobb hátrányát, problémáját, továbbá foglalkozni szeretnék a mozgó állomások tartózkodási valószínűségének leírásának még pontosabb, a normális eloszlástól eltérő formulával történő közelítésével is.

HIVATKOZÁSOK

- [1] International Telecommunication Union, *Radio Regulations*. Article 6, ITU, 2012.
- [2] HCM Agreement, <http://www.hcm-agreement.eu/>
- [3] <http://www.hcm-agreement.eu/grafiken/europa.gif> (utolsó látogatás: 2014. szeptember 17.)
- [4] International Telecommunication Union, *ITU-R P. 1546-5, Method for point-to-point-area predictions for terrestrial services in the frequency range 30 MHz to 3000 MHz*. ITU, 2013.
- [5] <http://www.mathworks.com/products/matlab/> (utolsó látogatás: 2014. szeptember 20.)
- [6] Szekeres B, Nagy L. *Antennák és hullámterjedés*. Jegyzet, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Budapest.
- [7] Bronstein I. N., Szemengyaljev K. A. *Matematikai kézikönyv*. Typotex Kiadó, Budapest 2009.
- [8] <http://pf-prg.hu/trafo/eov-szelv-1.php?mod=-1> (utolsó látogatás: 2014. szeptember 19.)