

A HCM megállapodás és alkalmazása, továbbfejlesztési lehetőségei a földi mozgószolgálat nemzetközi frekvenciakoordinációjában

Előadó:

UNGER TAMÁS ISTVÁN
B.Sc. szakos villamosmérnök hallgató

Konzulensek:

VÁRI PÉTER
egyetemi adjunktus

KISSNÉ DR. AKLI MÁRIA
osztályvezető, Nemzeti Média- és Hírközlési Hatóság

SZARKA ANDRÁSNÉ
Nemzetközi frekvenciakoordinációs szakértő

TUDOMÁNYOS ÉS MŰVÉSZETI DIÁKKÖRI KONFERENCIA
SZÉCHENYI ISTVÁN EGYETEM
GYŐR

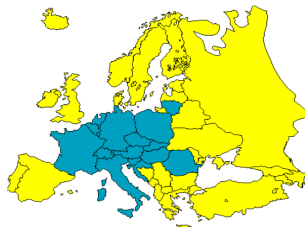
2014. november 19.

Tartalom

- 1 Bevezetés
- 2 A földi mozgószolgálat kijelöléseinek koordinációja
 - Az egyeztetési eljárás alapja
 - Az egyeztetési eljárás gyakorlati nehézségei
- 3 A zavaró térerősség meghatározása
 - Szabadtéri terjedés, terjedési görbék
 - Lineáris interpoláció
 - Korrekciós tényezők
- 4 Az implementált algoritmus
 - Fiktív topográfia generálása
 - Koordináták síkban és térben
- 5 A kijelölések működési területének leírása
- 6 Duplex bázis-mobil összeköttetés vizsgálata fiktív topográfián
- 7 Számítás a határvonalra fiktív topográfián
- 8 Szimplex összeköttetés vizsgálata valós topográfián
- 9 Futási idők összehasonlítása

Miért van szükség frekvenciakoordinációra?

- Vezeték nélküli és mobil hírközlő rendszerek fejlődése, elterjedése → rendelkezésre álló frekvenciakészlet hatékony felhasználása;
- **Hatékonyság:** Az üzemelő kijelölések (állomások) a lehető legkisebb mértékben okozzanak és szenvedjenek el káros zavarást;
- **Zavarmentes üzem biztosítása** → nemzeti szintű szabályozási rendszer + összehangolt nemzetközi együttműködés;
- Kijelölések egyeztetése a szomszédos országokkal két- vagy többoldalú megállapodások alapján (ITU RR 6. cikk);
- *Harmonized Calculation Method* – **HCM megállapodás** (1993 óta): állandóhelyű és földi mozgószolgálat kijelöléseinek koordinálása.



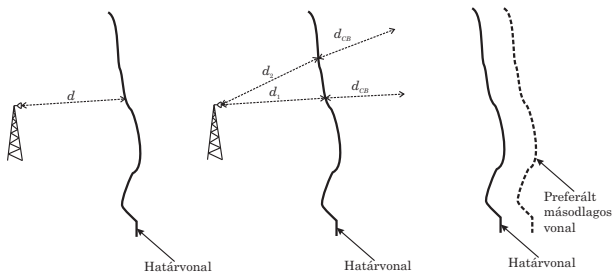
1. ábra. Európa országai

Tartalom

- 1 Bevezetés
- 2 A földi mozgószolgálat kijelöléseinek koordinációja
 - Az egyeztetési eljárás alapja
 - Az egyeztetési eljárás gyakorlati nehézségei
- 3 A zavaró térerősség meghatározása
 - Szabadtéri terjedés, terjedési görbék
 - Lineáris interpoláció
 - Korrekciós tényezők
- 4 Az implementált algoritmus
 - Fiktív topográfia generálása
 - Koordináták síkban és térben
- 5 A kijelölések működési területének leírása
- 6 Duplex bázis-mobil összeköttetés vizsgálata fiktív topográfián
- 7 Számítás a határvonalra fiktív topográfián
- 8 Szimplex összeköttetés vizsgálata valós topográfián
- 9 Futási idők összehasonlítása

A koordinációs folyamat

- A nemzetközi egyeztetés egy műszaki eszközkészlettel segített adminisztrációs folyamat;
- Feladata, hogy szimuláció segítségével eldöntse, hogy a vizsgált kijelölés okoz-e, valamint annak okoznak-e káros zavart a már koordinált állomások;
- Ennek meghatározása maximális térerősségszintek kerültek definiálásra nevezetes pontokon;
- Két-vagy többoldalú megállapodások preferált frekvenciákról.



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

Az egyeztetési eljárás gyakorlati nehézségei

- Kérelmek küldése, fogadása, elbírálása → növekvő adminisztrációs problémák, elhúzódó ügyek, engedélyezési eljárások lassítása;
- Összehangolt számítási eljárás: algoritmus harmonizálása + **megegyező földrajzi adatbázisok, határvonal-vektorok, koordináta-rendszer, frekvenciajegyzék** szükséges;
- Kiegészítő két- vagy többoldalú megállapodások: speciális ügyek kezelése;
- Magyarország vonatkozásában: Ukrajna és Szerbia nem tagja a HCM megállapodásnak (külön megállapodások, nehézkes adatszere, nem koordinált, de üzemelő állomások).

Tartalom

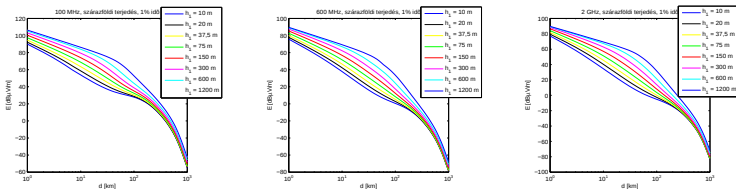
- 1 Bevezetés
- 2 A földi mozgószolgálat kijelöléseinek koordinációja
 - Az egyeztetési eljárás alapja
 - Az egyeztetési eljárás gyakorlati nehézségei
- 3 A zavaró térerősség meghatározása
 - Szabadtéri terjedés, terjedési görbék
 - Lineáris interpoláció
 - Korrekciós tényezők
- 4 Az implementált algoritmus
 - Fiktív topográfia generálása
 - Koordináták síkban és térben
- 5 A kijelölések működési területének leírása
- 6 Duplex bázis-mobil összeköttetés vizsgálata fiktív topográfián
- 7 Számítás a határvonalra fiktív topográfián
- 8 Szimplex összeköttetés vizsgálata valós topográfián
- 9 Futási idők összehasonlítása

Szabadtéri terjedés, terjedési görbék

- Eljárás alapja: ITU-R P. 1546;
- Az elsőrendű Fresnel-zóna tisztaságának függvényében megválasztott térerősségszámítási algoritmust;
- Tiszta elsőrendű Fresnel-zóna → szabadtéri terjedés:

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

- Terepakadály az elsőrendű Fresnel-zónában → terjedési görbék alkalmazása.



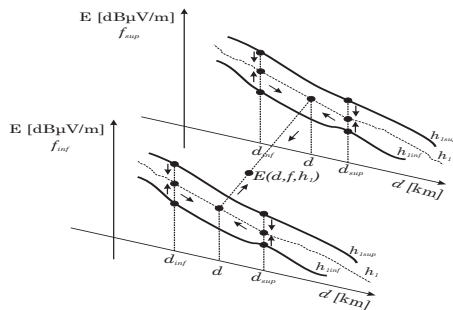
3. ábra. Szárazföldi terjedési görbék 1%-os időbeli valószínűség mellett

Lineáris interpoláció

- Terjedési görbék: diszkrét értékkészletű, diszkrét értelmezési tartományú négyváltozós függvények → interpolációra van szükség:

■

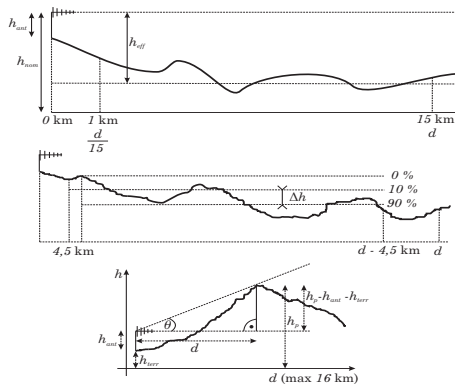
$$E = E(\gamma_{inf}) + \frac{(E(\gamma_{sup}) - E(\gamma_{inf})) \log_{10} \left(\frac{\gamma}{\gamma_{inf}} \right)}{\log_{10} \left(\frac{\gamma_{sup}}{\gamma_{inf}} \right)}. \quad (2)$$



4. ábra. Térerősség interpolálása a terjedési görbék segítségével

Korrekciós tényezők

- Topográfiából származtatott paraméterek: effektív antennamagasság, terepegyenletlenség, tereptisztasági szög;
- Paraméterekből származtatott empirikus korrekciós tényezők → DÉK, DÉT: interpoláció szükséges.

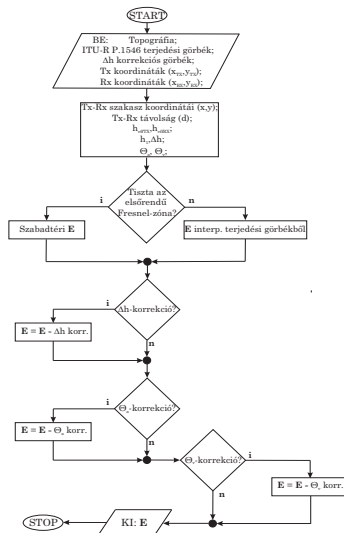


5. ábra. Topográfiából származtatott paraméterek

Tartalom

- 1 Bevezetés
- 2 A földi mozgószolgálat kijelöléseinek koordinációja
 - Az egyeztetési eljárás alapja
 - Az egyeztetési eljárás gyakorlati nehézségei
- 3 A zavaró térerősség meghatározása
 - Szabadtéri terjedés, terjedési görbék
 - Lineáris interpoláció
 - Korrekciós tényezők
- 4 Az implementált algoritmus
 - Fiktív topográfia generálása
 - Koordináták síkban és térben
- 5 A kijelölések működési területének leírása
- 6 Duplex bázis-mobil összeköttetés vizsgálata fiktív topográfián
- 7 Számítás a határvonalra fiktív topográfián
- 8 Szimplex összeköttetés vizsgálata valós topográfián
- 9 Futási idők összehasonlítása

Folyamatábra



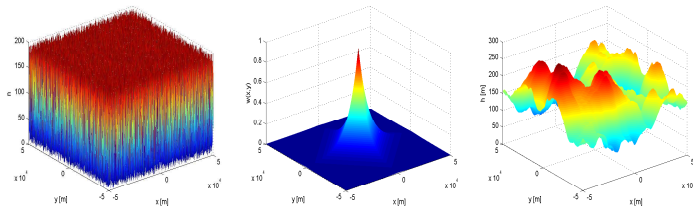
6. ábra. Az algoritmus folyamatábrája

Fiktív topográfia generálása

- $\mathbf{F}(x, y)$ véletlenszám-mátrix;
- $\mathbf{W}(x, y)$ impulzusválasszal rendelkező szűrő.

$$\mathbf{W}(x, y) = w(x, y) = e^{-\left(\frac{2|x|}{c_x} + \frac{2|y|}{c_y}\right)} \quad (3)$$

$$\mathbf{T}(x, y) = \frac{2d}{N\sqrt{c_x c_y}} \mathcal{F}^{-1} \{ \mathcal{F} \{ \mathbf{W}(x, y) \} \mathcal{F} \{ \mathbf{F}(x, y) \} \} \quad (4)$$

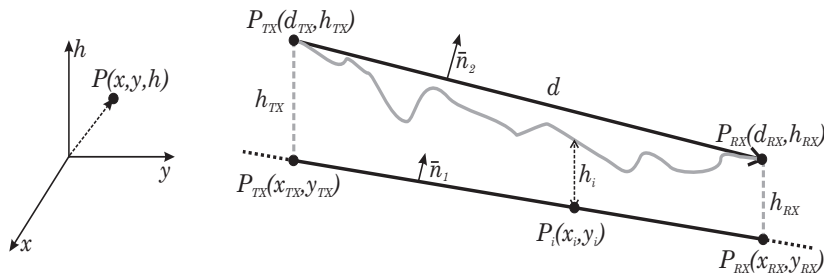


7. ábra. Véletlenszám-mátrix, a szűrő impulzusválasza és egy generált topográfia

- └ Az implementált algoritmus
 - └ Koordináták síkban és térben

Koordináták síkban és térben

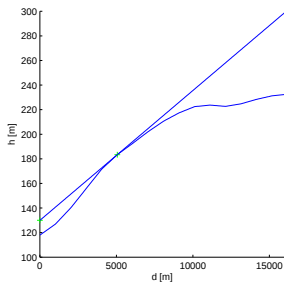
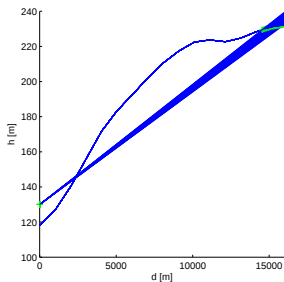
- Adó-vevő terepmetszet: összekötő egyenes pontja (xy -sík), távolságokhoz rendelt magasságértékek (dh -sík);
- Pont-pont számítás(ok szuperpozíciója).



8. ábra. Koordináták síkban és térben

Futási idő kérdése

- Befolyásoló tényezők: inter- és extrapoláció, kimerítő kereséses algoritmusok.



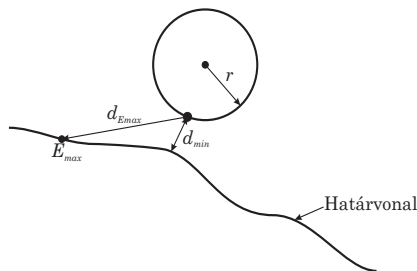
9. ábra. Kimerítő kereséses algoritmus alkalmazása

Tartalom

- 1 Bevezetés
- 2 A földi mozgószolgálat kijelöléseinek koordinációja
 - Az egyeztetési eljárás alapja
 - Az egyeztetési eljárás gyakorlati nehézségei
- 3 A zavaró térerősség meghatározása
 - Szabadtéri terjedés, terjedési görbék
 - Lineáris interpoláció
 - Korrekciós tényezők
- 4 Az implementált algoritmus
 - Fiktív topográfia generálása
 - Koordináták síkban és térben
- 5 A kijelölések működési területének leírása
- 6 Duplex bázis-mobil összeköttetés vizsgálata fiktív topográfián
- 7 Számítás a határvonalra fiktív topográfián
- 8 Szimplex összeköttetés vizsgálata valós topográfián
- 9 Futási idők összehasonlítása

Klasszikus módszer

- Fix (koordinátához kötött) és mobil (működési területtel leírható) állomások;
- Egy szabadságfokú (vételi pont) és két szabadságfokú (adási és vételi pont) számítások igénye;
- Jelenleg alkalmazott módszer: *worst-case* alapon, kör működési területtel;
- Egyetlen pontra rögzített mobil állomás: rugalmatlan, pontatlan, nem ad teljes képet a kijelölésről.



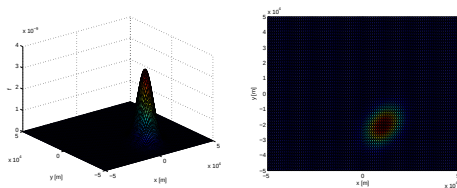
10. ábra. Mobil állomás térerősség szintjének meghatározása határvonalra

Továbbfejlesztési lehetőség: rugalmasabb működési terület

- Területi rugalmasság + valószínűségi faktor $\rightarrow$ sűrűségfüggvény-jellegű leírás;
- ξ és η valószínűségi változók: x - és y -irányú tartózkodási valószínűség.

$$f(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma_1\sigma_2\sqrt{1-r^2}} \exp\left(-\frac{1}{2(1-r^2)}\left[\frac{(x-m_1)^2}{\sigma_1^2} - 2r\frac{x-m_1}{\sigma_1}\frac{y-m_2}{\sigma_2} + \frac{(y-m_2)^2}{\sigma_2^2}\right]\right) \quad (5)$$

- Normális eloszlás: szórás (σ_1, σ_2), várható érték (m_1, m_2), korrelációs együttható (r):



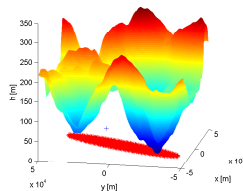
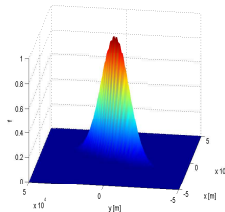
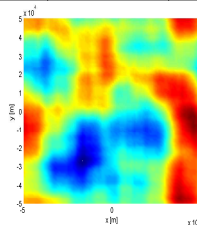
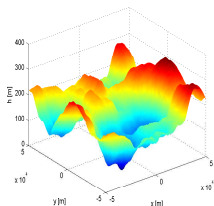
11. ábra. $m_1 = 1 \cdot 10^4$, $m_2 = -2 \cdot 10^4$ m, $\sigma_1 = 6200$ m, $\sigma_2 = 8100$ m, $r = 0,35$

Tartalom

- 1 Bevezetés
- 2 A földi mozgószolgálat kijelöléseinek koordinációja
 - Az egyeztetési eljárás alapja
 - Az egyeztetési eljárás gyakorlati nehézségei
- 3 A zavaró térerősség meghatározása
 - Szabadtéri terjedés, terjedési görbék
 - Lineáris interpoláció
 - Korrekciós tényezők
- 4 Az implementált algoritmus
 - Fiktív topográfia generálása
 - Koordináták síkban és térben
- 5 A kijelölések működési területének leírása
- 6 Duplex bázis-mobil összeköttetés vizsgálata fiktív topográfián
- 7 Számítás a határvonalra fiktív topográfián
- 8 Szimplex összeköttetés vizsgálata valós topográfián
- 9 Futási idők összehasonlítása

Topográfia, működési terület, paraméterek

h_{min}	h_{max}	h_{avg}	P_b	h_b	x, y
0 m	307,66 m	161,91 m	(39, 9; 19, 7) km	220,94 m	$\in [-50, 50]$ km

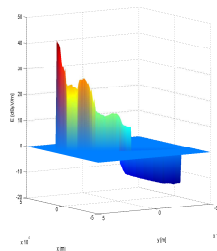
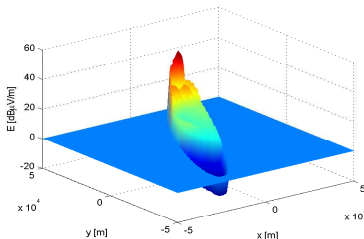


Mobil állomás: $m_1 = m_2 = 0$ m, $\sigma_1 = 5$ km, $\sigma_2 = 10$ km, $r = 0,5$.

Uplink, súlyozatlan szimulációs eredmények

Az antennák fizikai magassága 12 m, az uplink-frekvencia 450 MHz, az effektív kisugárzott teljesítmény 20 W, körsugárzó antennákat feltételezve.

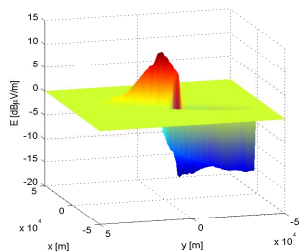
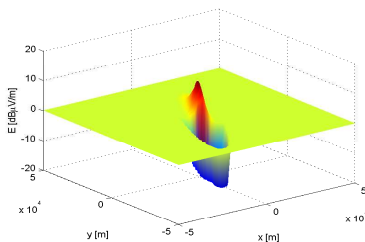
E_{max}	P_{max}	h_{max}	d	Δh	θ_a, θ_v
42,69 $\frac{\text{dB}\mu\text{V}}{\text{m}}$	(20,7;41,9) km	163,46 m	29,35 km	138,17 m	≈ 0
E_{min}	P_{min}	h_{min}	d	Δh	θ_a, θ_v
-13,81 $\frac{\text{dB}\mu\text{V}}{\text{m}}$	(-16,6;-38,8) km	59,92 m	81,43 km	211,21 m	≈ 0



12. ábra. A mobil állomás működési pontjaiból számított térerősségértékek

Uplink, súlyozott szimulációs eredmények

E_{max}	P_{max}	h_{max}	d	Δh	θ_a, θ_v
11,36 $\frac{\text{dB}\mu\text{V}}{\text{m}}$	(0,505;1,51) km	159,53 m	43,38 km	204,40 m	≈ 0
E_{min}	P_{min}	h_{min}	d	Δh	θ_a, θ_v
-15,18 $\frac{\text{dB}\mu\text{V}}{\text{m}}$	(-3,53;-6,56) km	111,5 m	81,43 km	206,48 m	≈ 0

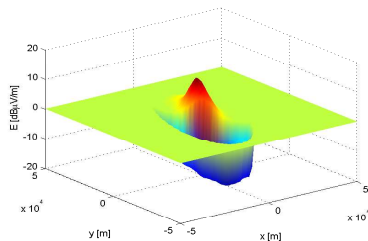
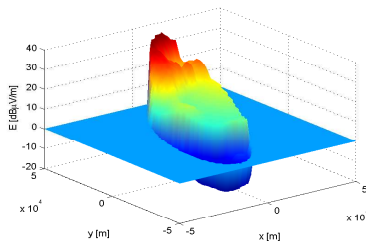


13. ábra. A számított térerősszintek súlyozás után

Downlink eredmények

■ $P = 20 \text{ W}$, $f = 460 \text{ MHz}$.

E_{max}	P_{max}	E_{min}	P_{min}	ΔE
$38,08 \frac{\text{dB}\mu\text{V}}{\text{m}}$	(10,6;42,9) km	$-13,98 \frac{\text{dB}\mu\text{V}}{\text{m}}$	(16,6;38,8)	$52,78 \frac{\text{dB}\mu\text{V}}{\text{m}}$



14. ábra. Térerősségszintek súlyozás előtt és után

E_{max}	ΔE_{max}	E_{min}	ΔE_{min}
$12,09 \frac{\text{dB}\mu\text{V}}{\text{m}}$	25,95 dB	$-15 \frac{\text{dB}\mu\text{V}}{\text{m}}$	-1,02 dB

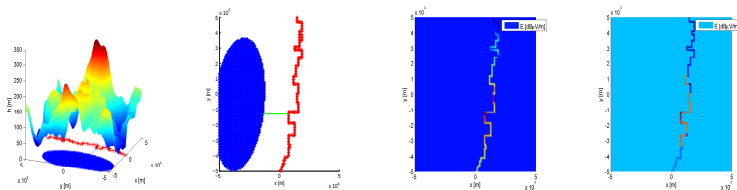
Tartalom

- 1 Bevezetés
- 2 A földi mozgószolgálat kijelöléseinek koordinációja
 - Az egyeztetési eljárás alapja
 - Az egyeztetési eljárás gyakorlati nehézségei
- 3 A zavaró térerősség meghatározása
 - Szabadtéri terjedés, terjedési görbék
 - Lineáris interpoláció
 - Korrekciós tényezők
- 4 Az implementált algoritmus
 - Fiktív topográfia generálása
 - Koordináták síkban és térben
- 5 A kijelölések működési területének leírása
- 6 Duplex bázis-mobil összeköttetés vizsgálata fiktív topográfián
- 7 Számítás a határvonalra fiktív topográfián
- 8 Szimplex összeköttetés vizsgálata valós topográfián
- 9 Futási idők összehasonlítása

Számítás a határvonalra fiktív topográfián

Paraméterek

- $m_1 = -33,84$ km, $m_2 = -6,56$ km, $\sigma_1 = 5$ km, $\sigma_2 = 10$ km, $r = 0,2$,
 $f = 455,15$ MHz, $P = 25$ W ERP, $h = 30$ m, körsugárzó antenna.



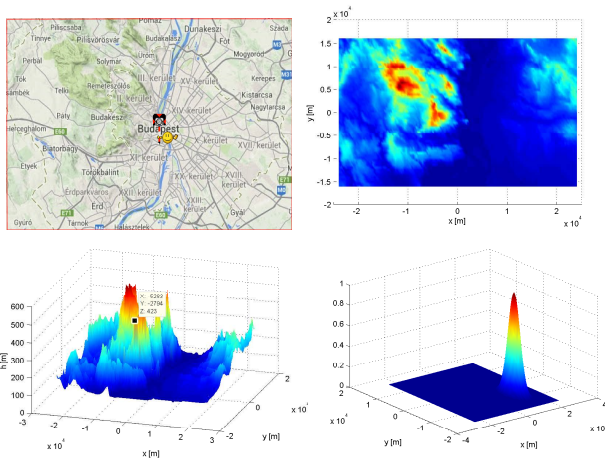
15. ábra. Határvonalra történő számítás és térerősségviszonyai

Küszöb	E_{max}	d	Tartalék	E_{max}	Tartalék
$20 \frac{\text{dB}\mu\text{V}}{\text{m}}$	$30,58 \frac{\text{dB}\mu\text{V}}{\text{m}}$	21,21 km	-10,58 dB	$13,39 \frac{\text{dB}\mu\text{V}}{\text{m}}$	6,61 dB

Tartalom

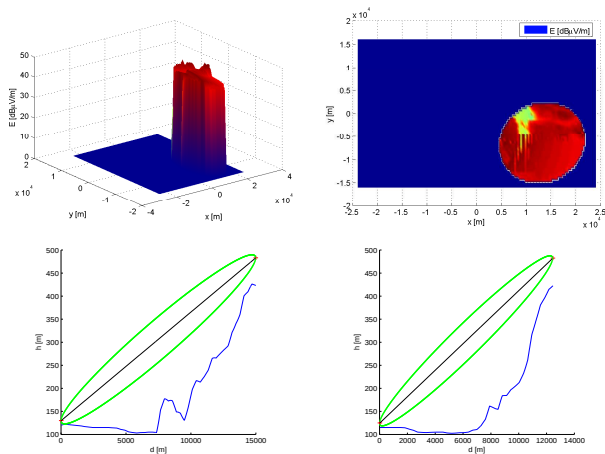
- 1 Bevezetés
- 2 A földi mozgószolgálat kijelöléseinek koordinációja
 - Az egyeztetési eljárás alapja
 - Az egyeztetési eljárás gyakorlati nehézségei
- 3 A zavaró térerősség meghatározása
 - Szabadtéri terjedés, terjedési görbék
 - Lineáris interpoláció
 - Korrekciós tényezők
- 4 Az implementált algoritmus
 - Fiktív topográfia generálása
 - Koordináták síkban és térben
- 5 A kijelölések működési területének leírása
- 6 Duplex bázis-mobil összeköttetés vizsgálata fiktív topográfián
- 7 Számítás a határvonalra fiktív topográfián
- 8 Szimplex összeköttetés vizsgálata valós topográfián
- 9 Futási idők összehasonlítása

- Vizsgált topográfia: 65-ös EOV-szelvény → Budapest;
- Széchenyi-hegyen definiált bázis (vevő), pesti kerületekben mozgó mobil kijelölés (adó) kapcsolata.



16. ábra. A vizsgált topográfia és az állomások helyzete

Szabadtéri terjedés, konstans térerősség



17. ábra. A térerősségértékek alakulása, elsőrendű Fresnel-zóna

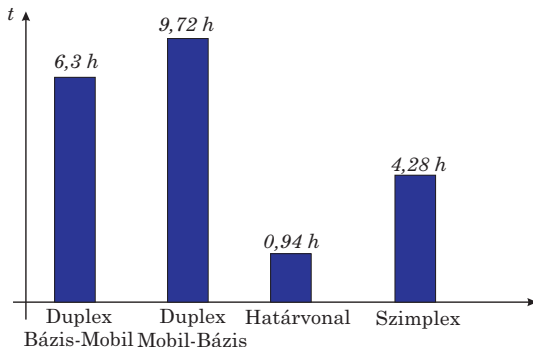
Tartalom

- 1 Bevezetés
- 2 A földi mozgószolgálat kijelöléseinek koordinációja
 - Az egyeztetési eljárás alapja
 - Az egyeztetési eljárás gyakorlati nehézségei
- 3 A zavaró térerősség meghatározása
 - Szabadtéri terjedés, terjedési görbék
 - Lineáris interpoláció
 - Korrekciós tényezők
- 4 Az implementált algoritmus
 - Fiktív topográfia generálása
 - Koordináták síkban és térben
- 5 A kijelölések működési területének leírása
- 6 Duplex bázis-mobil összeköttetés vizsgálata fiktív topográfián
- 7 Számítás a határvonalra fiktív topográfián
- 8 Szimplex összeköttetés vizsgálata valós topográfián
- 9 Futási idők összehasonlítása

Futási idők összehasonlítása

Gyorsítási lehetőségek

- Algoritmus implementálása gépközei programnyelven;
- Független részek párhuzamosítása;
- Kimerítő keresés elkerülése, ha lehetséges.



18. ábra. A vizsgált problémák futási ideje

Köszönöm a figyelmet!
Kérdések