

Cser Zsolt

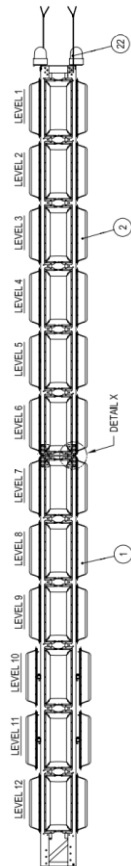
Antenna Hungária

Műsorszóró adóantennák
iránykarakterisztika
mérése a gyakorlatban.

HTE 2024



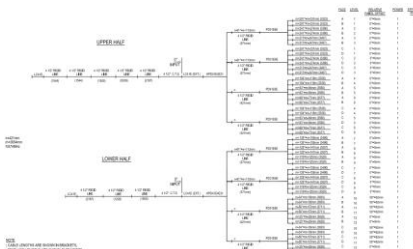
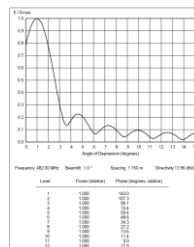
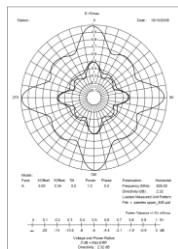
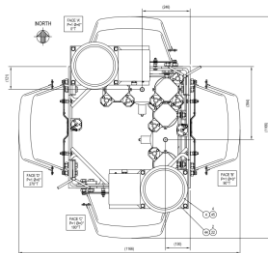
Pár szó az antenna-iránykarakterisztika mérés fontosságáról



Egy antennarendszer üzemállapotának vizsgálata szempontjából az leghatékonyabb és a legcélravezetőbb mérési eljárás az antenna iránykarakterisztika mérés. Ez utóbbi megállapítás fokozottan igaz a nagy méretű, komplex, nagy elemszámú műsorszóró antennarendszerek esetén.

Melyek a mérési módszer hátrányai:

- Ennek a mérésnek a kivitelezéséhez elengedhetetlen valamilyen légi jármű használata.
- Viszonylag magas költsége (légi jármű bérlet, speciális mérőeszközök, stb.)
- Nagy mérési tapasztalat és speciális méréstechnikai tudás.
- Speciális, egyedi szoftverek (mérés automatizálás, adatgyűjtés, adatfeldolgozás)



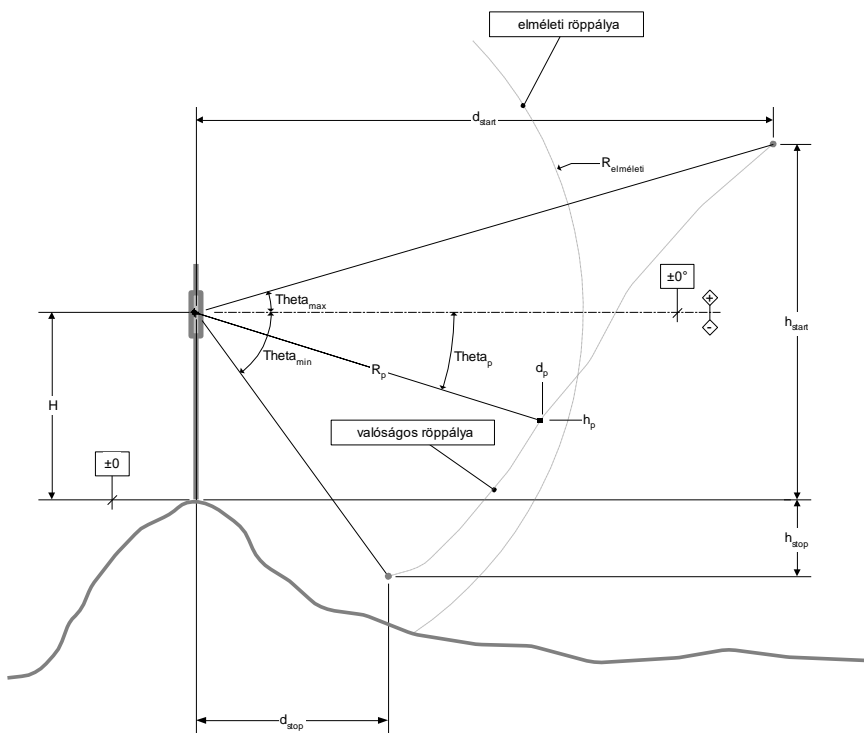
Az Antenna Hungária által alkalmazott mérési módszerek.



- A 90-es évek közepén elkezdtük a saját, helikopteres támogatású mérési módszer és összeállítás fejlesztését. Ez a rendszer UHF, VHF, FM és KH antennák iránykarakterisztika mérését tette lehetővé.
- Ennek a mérőrendszernek fontos része volt egy speciális, általunk tervezett többfunkciós navigációs modul.
- Saját fejlesztésű mérésvezérlő, automatizáló és adatfeldolgozó szoftverek az NI LabView rendszerben megvalósítva.
- Ezt a mérési módszert egészen 2020.-ig használtuk, nagyrészt a nagyadók UHF TV antennarendszerek mérésére (analóg-digitális átállítás, frekvencia váltások). Kisebb számban FM antennarendszerek és KH tornyok mérésére is sor került.
- **2023-ban, a R&C ZRt.-vel (<https://rotorsandcams.com/>) közösen elkezdtük a helikopteres mérési eljárás átalakítását drón alapú módszerre. Ez a fejlesztési feladat sikeresen megvalósult 2024 májusában.**



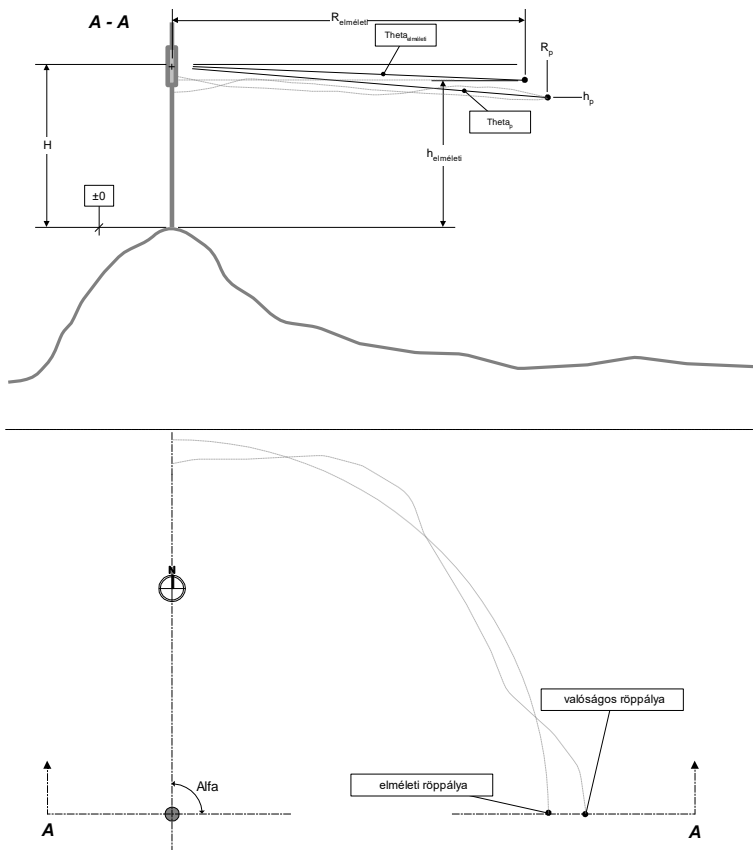
FM rádió és TV antennarendszerek mérése



- Az antennák iránykarakterisztikája a sugárzás-intenzitás eloszlásának 3D alakzata.
- A gyakorlatban vertikális és horizontális síkú, 2D szelvények mérésével vizsgáljuk az antenna karakterisztikát.
- A vertikális karakterisztika mérése során meghatározott irányokban függőleges vagy ferde pályán történik a mérés.

Paraméter	Értékek
d_{start}	2000...3500m
d_{stop}	≥ 800 m
h_{start}	400..600m antenna súlypont felett
h_{stop}	0...-50m terepviszonyoktól függően
Theta	-15°...10°
$R_{\text{elméleti}}$	2000m
$V_{\text{repülési}}$	2...3m/s (repülési idő max. 10perc)

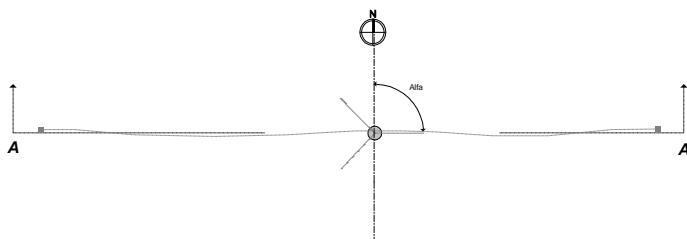
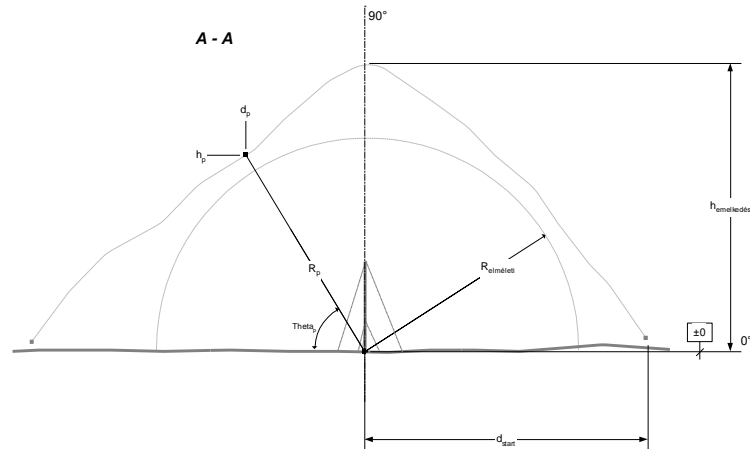
FM rádió és TV antennarendszerek mérése



- A horizontális karakterisztika mérése során meghatározott magasságú horizontális körpályán történik a mérés.
- A körpálya magasságának meghatározása a vertikális mérések eredményei alapján történik, a jelmaximum szintjén ami megegyezik a főnyaláb csúcsának a magasságával.

Paraméter	Értékek
$R_{pályá}$	1400...2200m
$t_{repülési}$	7...15perc/kör
$v_{repülési}$	15...20m/s
$N_{körök}$	1.5...2kör
Theta	-2°...0°
$R_{elméleti}$	2000m

KH adótornyok mérése



- A KH tornyok mérése esetén a vertikális karakterisztika vizsgálata a teljes 0° - 90° -os elevációs tartományban szükséges.
- A horizontális mérés 2000m-es sugarú körpályán történik, alacsony magasságban (≈ 50 m).

Paraméter	Értékek
d_{start}	10...15km
$h_{emelkedési}$	≥ 2000 m
$R_{elméleti}$	2000m
Theta	$0^\circ \dots 90^\circ$
$t_{repülési}$	egy átrepülés max. 25 perc
$V_{repülési}$	15...20m/s

A minimális mérési távolság meghatározása

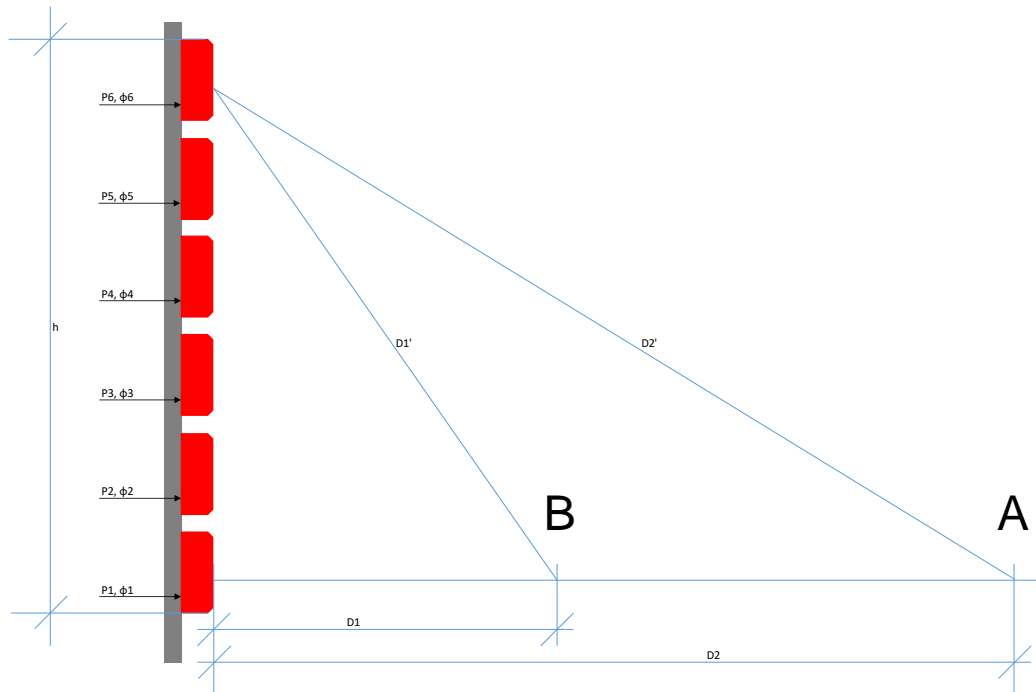
A mérési távolság megválasztása:
Fraunhofer távolság (közeltér távolság határ):

$$D_{\text{mérés}} = \frac{2 \times h^2}{\lambda}$$

$$D_{\text{mérés}} \gg \lambda$$

Minimális mérési távolságok az adóantenna méret és a az üzemi csatorna függvényében:

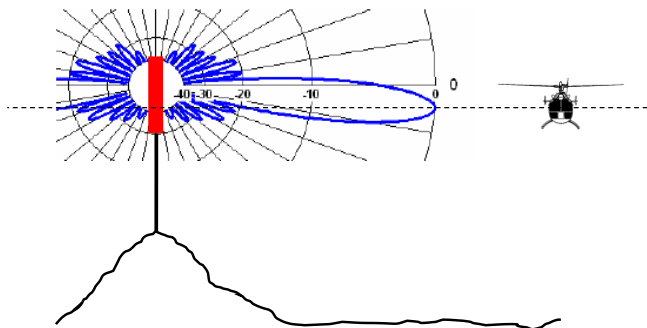
h_{antenna} (m)	CH22	CH48
3	30	40
6	115	165
12	463	662
16	822	1177



A helikopteres mérés sajátosságai

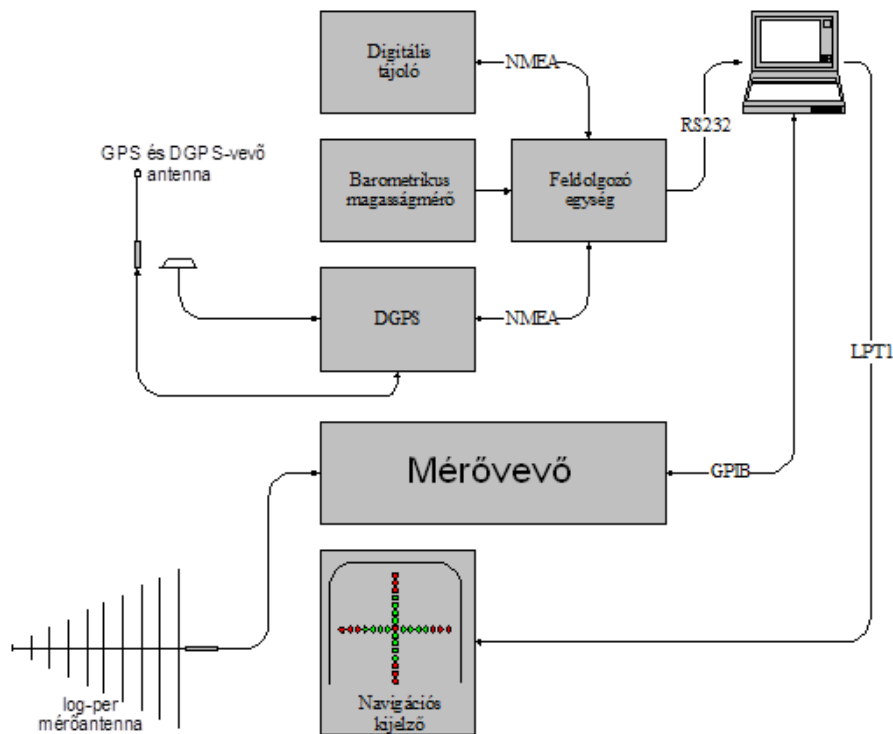
- A stabil körpályán történő repüléshez és pályatartáshoz 15 – 25m/s minimális sebesség szükséges.
- A mérések során több frekvencia mérése időosztásban lehetséges (80ms-os mintavétel, 2 frekvencia esetén 160ms/frekvencia) kb. 0.05fok felbontásban.
- A fentiek alapján az ideális távolság 2000m körüli érték.
- A pályahibák hatása a mérésre alacsonyabb (1fok eleváció 2000m-en kb. 34m).
- Az ideális pályától való sugár irányú eltérés mért RF szintre gyakorolt hatása: $20 \cdot \log_{10}[d_t/d_i]$
- 2014-ben az **ITU-R SM.2056-1** anyagban részletes leírás jelent meg a helikopteres mérési módszerről.

A helikopteres mérés sajátosságai



- Helikopter esetén a pályatartás és a vevő-antenna megfelelő orientációjának folyamatos biztosítása a pilóta feladata. A pályatartásban a mérőrendszer részét képező navigációs kijelző segíti a pilótát.
- A horizontális karakterisztika mérése problémásabb az elevációs ingadozás miatt (horizontális és vertikális kilengések).
- Nem szokványos manőverek a mérés során. A legtapasztaltabb pilótának is gyakorlásra van szüksége.

Az Antenna Hungária által alkalmazott mérési módszerek.

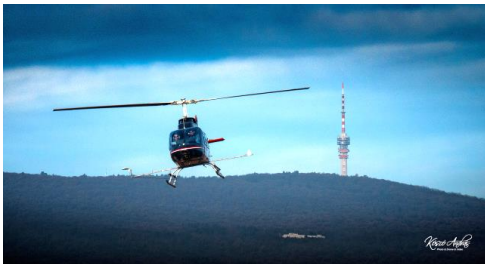


A helikopteres mérőrendszer funkciói:

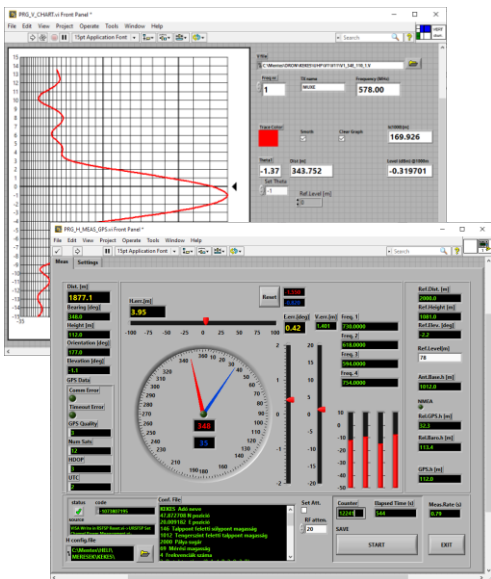
- Pillanatnyi pozíció mérése (földrajzi koordináta, magasság).
- Vételi szint mérése (antenna + mérővevő) adott frekvencián(kon).
- A mérési röppálya követésének elősegítése.
- R&S ESVN és R&S FSP



A helikopteres mérés folyamata



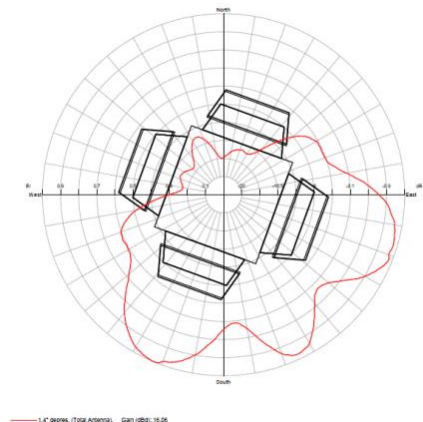
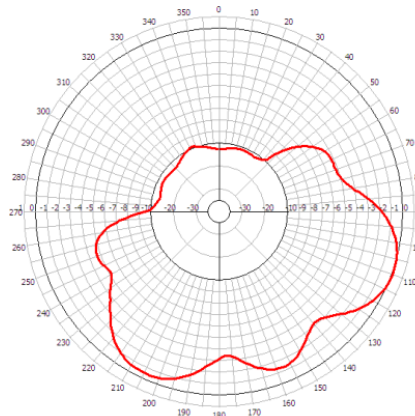
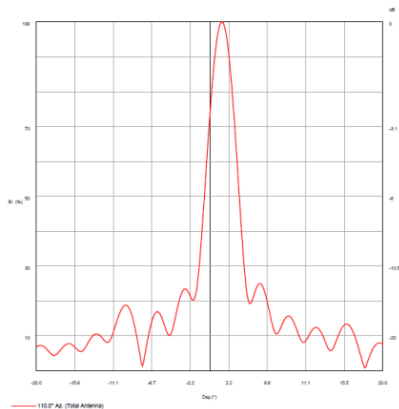
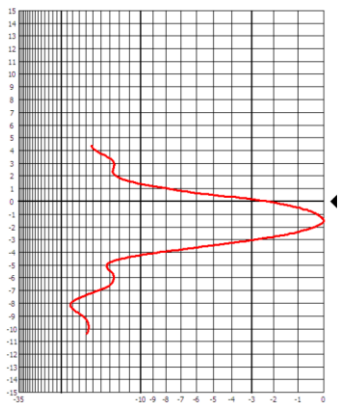
- Mérési terv készítése.
- Előzetes egyeztetés a helikopteres személyzettel.
- Konfigurációs fájlok létrehozása.
- Vertikális mérések végrehajtása és kiértékelése, körpálya magasságok meghatározása.
- Horizontális mérések végrehajtása.
- Adatok feldolgozása és kiértékelése, jegyzőkönyv elkészítése.



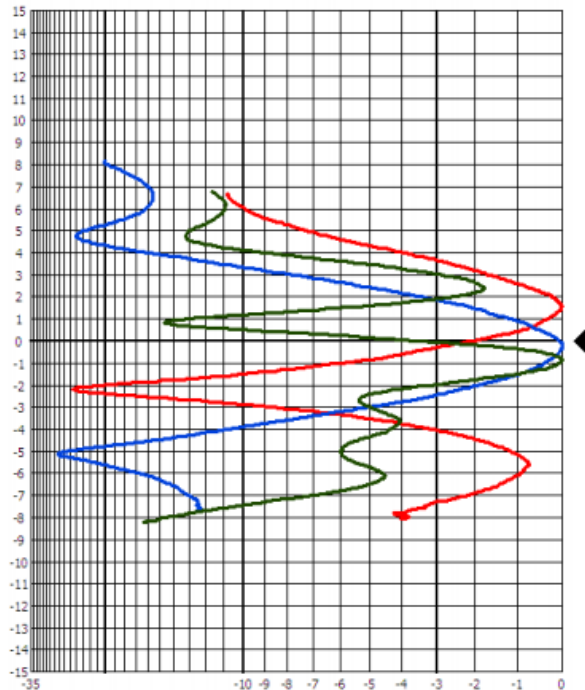
Mérési eredmények

Kékes új UHF antennarendszer mérése 2014-ben:

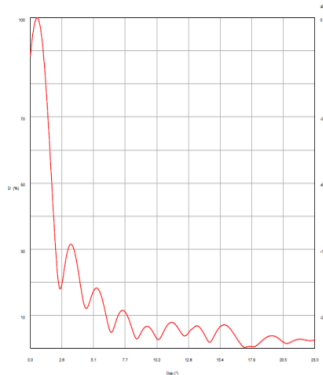
A vizsgált antennarendszer paraméterei megfelelnek a terveknek



Mérési eredmények



Mérési eredmények



Elméleti karakterisztika

Teljes antennarendszer
elevációs karakterisztikája.
Felső-félantennarendszer
karakterisztikája.
Alsó-félantennarendszer
karakterisztikája.

Újronnan üzembehelyezett UHF 12 emeletes antenna-rendszer, 2010-es mérés:

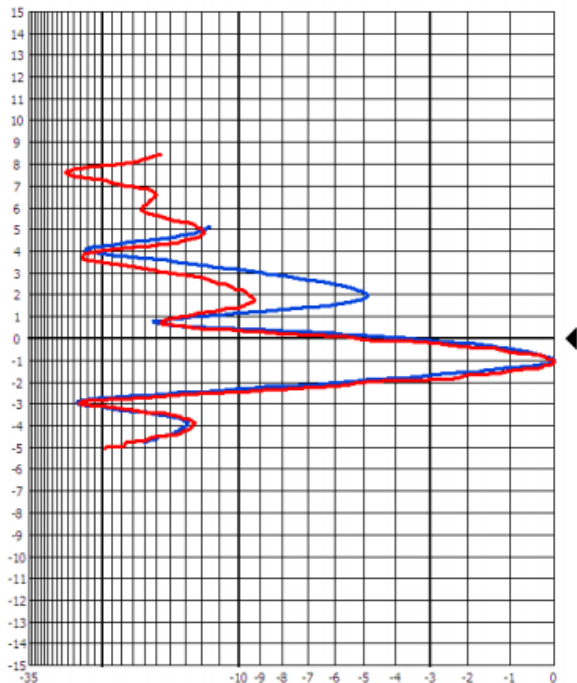
Jelentős eltérés a tervezett és a mért vertikális karakterisztika között.

Gyártó válasza:

“Thank you for forwarding measuring diagrams yesterday. Our engineers have made a simulation in order to repeat the diagram of upper half of the system. We established that such measuring is possible to achieve only with changing cables K-55, K-56, K-57 with K-58, K-59 and K-60 or power dividers D5 and D6 (see attachment 1 - scheme).

If we insert changed cables K-55 to K-60 or dividers D5 and D6 we get the same mistake (see attachment 2 and 3), like in your measurements. Mistake could come up during the installation, but it's also possible that the labels on dividers or cables were not fixed here in our company on correct type of cable or divider. In any case it will be necessary to change cables or dividers.”

Mérési eredmények



Javítás utáni állapot
Javítás előtti állapot

Újonnan üzembehelyezett UHF 10 emeletes antenna-rendszer. 2010-es mérés:

A felső elevációs tartományban a melléknyaláb relatív szintje túlságosan magas.

A jelenség oka:

Az alsó és felső félantennarendszerek főkábeleinek elektromos hossza nincs megfelelően kiegyenlítve.

A drónos mérési módszer megvalósítása

GIGAROTOR6

EXTRA TEHERBÍRÁSÚ HEXAROTOR
UAV RENDSZER



EXTRA TEHERBÍRÁS

A 12 kg tömegű maximális hasznos teherhordó képesség az alkalmazások széles körét teszi lehetővé, akár szállítást, vagy nagy súlyú szenzorok hordozását is.

INTEGRÁLT PAYLOAD

A kiválasztott hasznos terhet szakembereink segítenek integrálni, hogy végeredményként egy komplex tevékenységre is alkalmas, optimalizált légi-jármű rendszer szolgálja tevékenységét.

HORDOZHATÓ KIVITEL

A lecsatolható karok lehetővé teszik a viszonylag kis helyen történő szállítást és a gyors üzembe helyezést.

BVLOS MŰKÖDTETÉS

A nagy hatótávolságú irányítás, valamint a fedélzeti automatikus légiforgalomészlelő és -elkerülő rendszer lehetővé teszi a látótávolságon kívüli üzemeltetést.

IP55 VÉDETTSG

Csapadék és por ellen védett kivitel. Szinte minden időjárási körülmény között használható.

ISM/SRD rádió

Az SRD irányító és telemetriás rádió megoldás biztosítja a zavarmentes működést, városi környezetben is, és megfelel az EU követelményeinek. Katonai alkalmazás esetén elérhető NATO kompatibilis kivitelben is.

MULTIFUNKCIÓS PLATFORM

A modulokból álló felépítés biztosítja a feladathoz optimális rendszert, ipari és mezőgazdasági felmérések, térképészeti vagy rendvédelmi alkalmazások esetében is.

EGYSZERŰSÍTETT ÜZEMELTETÉS

A teljes repülési folyamat a felszállástól a leszállásig automatizált. A felmérendő terület alapján a repülési tervet automatikusan készíti el a rendszer.

UAV paraméterek

hatótáv	maximum 10 km
repülési idő	25-45 perc
hasznos teher	maximum 12 kg

OPCIONÁLIS KOMPONENSEK

Fedélzeti biztonsági rendszerek

Tápellátás

Kommunikációs rendszerek

Földi állomás

PPK/RTK rendszer

Kiegészítők

Rotors&Cams Zrt.
1106 Budapest, Fehér út 10/a-b

sales@rotorsandcams.com
www.rotorsandcams.com

A drónos mérési módszer kifejlesztése

A helikopteres mérés során használt mérőeszköz:



Rohde & Schwarz FSP spektrum analizátor

Méreték (W × H × D): 412 × 197 × 417mm

Tömeg: 10.5 kg

CHP mérési ütem: 80ms/frekvencia (időosztásos mérés, gyors áthangolás)

A drónos méréshez alkalmas mérőeszköz jellemzői:



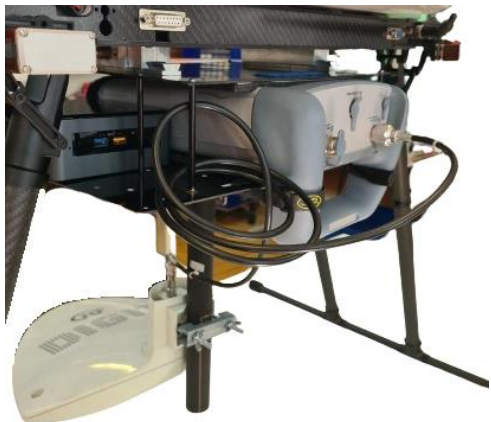
Kisebb méretek (W × H × D) $\leq 300 \times 150 \times 200$ mm

Tömeg ≤ 3.5 kg

CHP mérési ütem: ≤ 80 ms/frequency (azonos idejű mérés legalább öt különböző frekvencián)

A drónos mérési módszer megvalósítása

Az első próbálkozás a R&S ETH típusú kézi spektrum analízátorral:



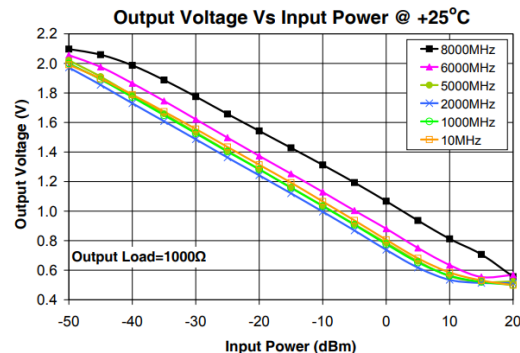
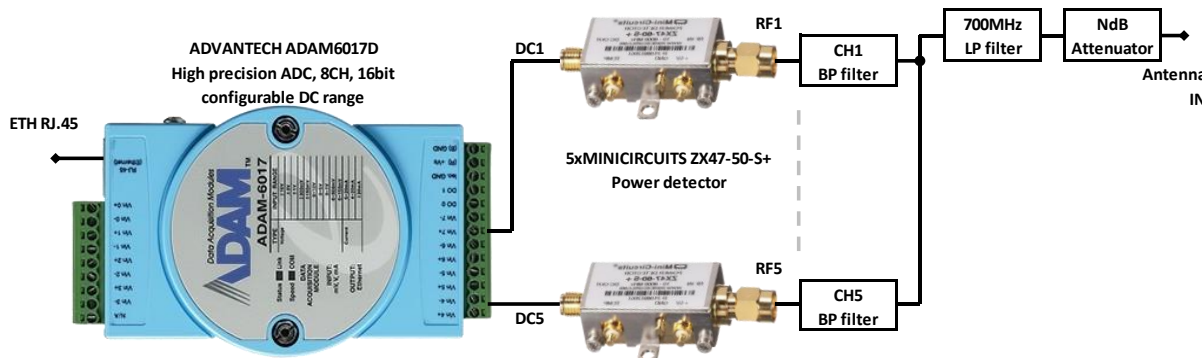
A méretei és a tömege alapján használható de nem az ideális mérőeszköz.
Egy frekvencia CHP értéke mérhető kb. 80ms-os ütemben.

Több ismert és neves Gyártó drága eszközéből kértünk demó példányt, de sajnos nem találtunk minden szempontból ideális mérőeszközt.

A drónos mérési módszer megvalósítása

Saját mérőeszköz építése:

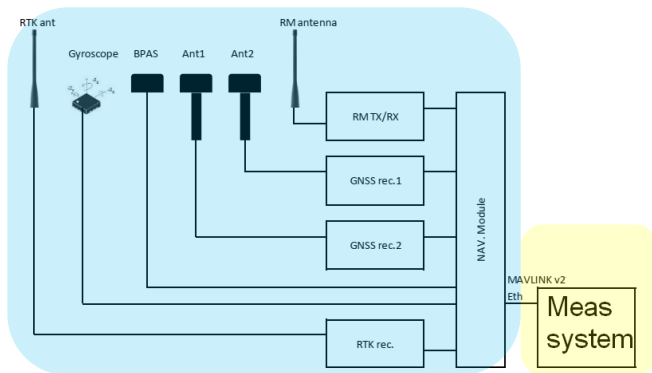
- Alkalmas maximum 8 (esetünkben öt) különböző frekvencia egyidejű, 80ms-os ütemű CHP mérésére.
- A mért értékek Ethernet interfészen keresztül olvashatók ki, TCP MODBUS protokoll használatával.
- A frekvenciaszelektív mérés egy a TREDESS adógyártó cég kompakt csatornaszűrő moduljának beiktatásával van megoldva.
- Beépítés mechanikai védelmet és elektromos árnyékolást biztosító öntött alumínium műszerdobozba: NORDTECHNIK KFT.



A drónos mérési módszer megvalósítása

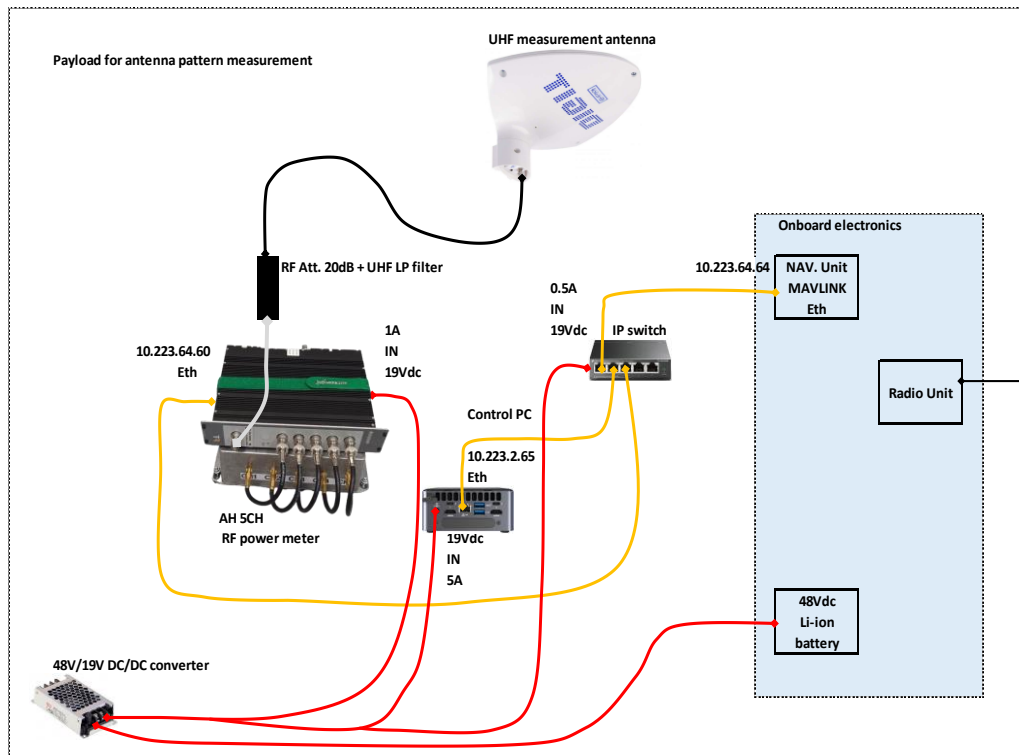
Az alkalmazott drón beépített komplex, precíziós navigációs rendszerrel rendelkezik:

- Ez a rendszer teszi lehetővé az autonóm repülést az előre felprogramozott vertikális és horizontális röppályákon.
- Az autonóm repülés során, a nagy pontosságú (deciméter alatti) pályatartás mellett az állandó, előre beállított repülési sebesség és a pontos orientáció tartása is biztosítva van.



- Az antenna iránykarakterisztika méréshez szükséges pillanatnyi, korigált és szűrt pozíció adatok kiolvashatók a drón navigációs rendszeréből.
- Ezek az adatok Ethernet interfészen keresztül olvashatók ki 5Hz-es ütemben MAVLINK v2 protokoll használatával.

A drónos mérési módszer megvalósítása



A végleges rendszertechnika:

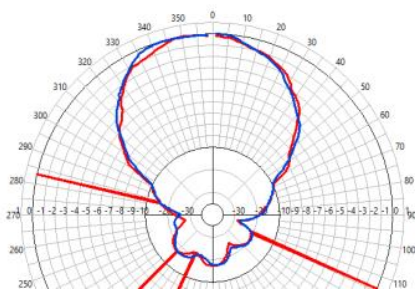
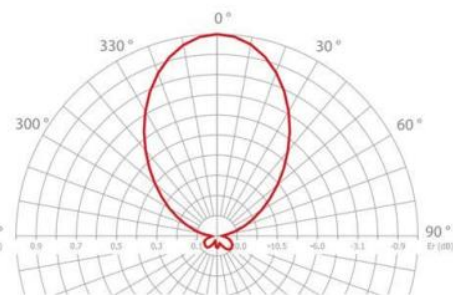
- 400 – 700MHz log-per antenna
 - INTEL NUC mini PC a fedélzeti adatgyűjtésre.
 - A drón irányítására szolgáló rádiócsatonán egy transzparens IP összeköttetés áll rendelkezésre a mérőrendszer repülés közbeni felügyeletére.
- A mérőszoftver saját fejlesztés. Az adatfeldolgozó szoftver a helikopteres megoldásnál használt.



A drónos mérési módszer megvalósítása

Az első tesztmérés:

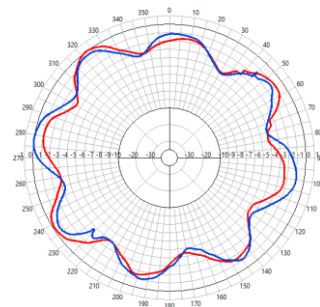
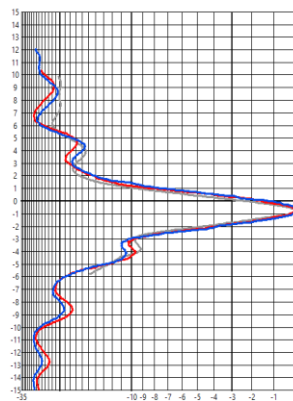
- A mért panelantenna a mérőautó 10m-es magasságú árbocán volt elhelyezve.
- Csak horizontális mérés történt, 20m-es sugarú körpályán.
- Az egymást követő mérések eredményei fedik egymást.
- A mért karakterisztika, enyhe asszimmetriája a középpont pontatlan megadása miatt látható.
- Ennek a tesztnek a során a R&S ETH mérőeszközt használtuk.



A drónos mérési módszer megvalósítása

A második tesztmérés:

- Mért rendszer: Szentes, N46.623825, E20.282440
- Antenna rendszer magassága: 230m torony talppont felett, 12 emeletes antenna rendszer.
- Vertikális mérés: kék és piros görbe azonos irányban és frekvencián két független drónos mérés, szürke görbe 2020-ban végrehajtott helikopteres mérés.
- Horizontális karakterisztikák: piros görbe, 554MHz, kék görbe, 642MHz.
- Mérési távolság: 200m
- Ennek a tesztnek a során a R&S ETH mérőeszközt használtuk.



A drónos mérési módszer megvalósítása

A projekt befejezése éles mérés végrehajtásával:

- Állomás: Kékes, N47.872883; E20.009367
- Torony talppont magasság: 1012m
- Antenna súlypont magasság: 146m (torony talppont felett)
- 8 emeletes UHF antenna rendszer
- Ez a mérés az ötcsatornás szintmérővel történt.
- Mérések:
 - Mind az öt üzemi frekvencián megtörtént a mérés.
 - Négy irányban vertikális mérés
 - Három különböző magasságú körpályán horizontális mérés (1 kör -2fokon, 2 kör - 1.4fokon és 1 kör -1fokon)

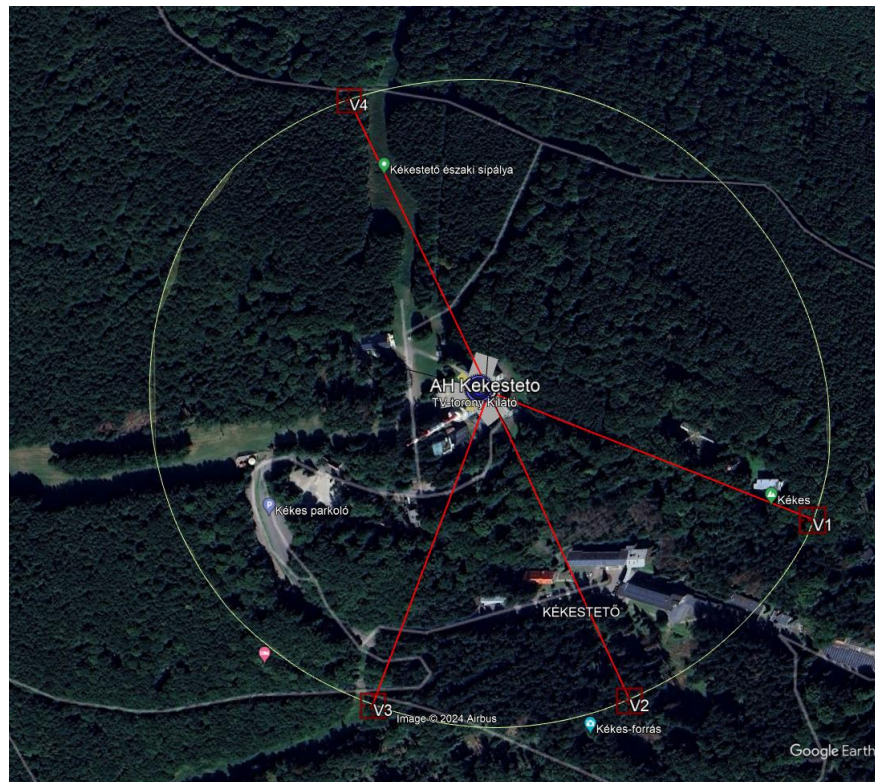


© <https://szallas.hu/>

A drónos mérési módszer megvalósítása

A vertikális mérések távolsága 350m volt. A horizontális mérés körpályájának sugara 650m.

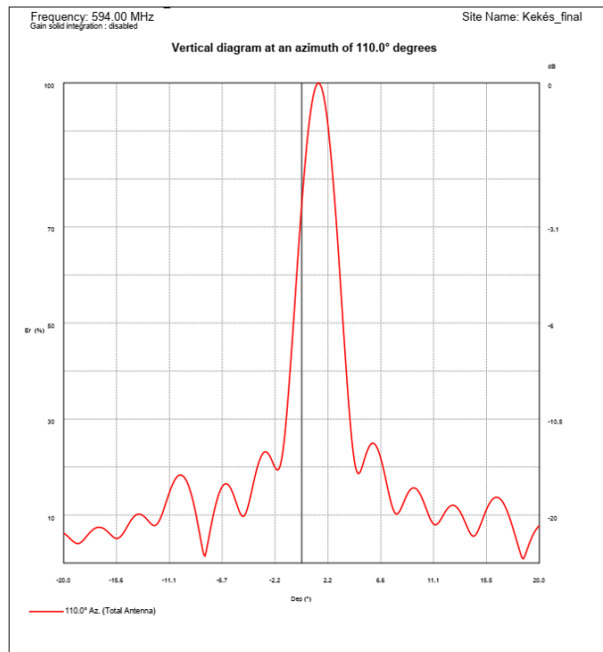
CH	Frekv.(MHz)	Lambda(m)	Fraunhofer distantie(m)
39	618	0.49	316
36	594	0.51	304
44	658	0.46	336
46	674	0.45	345
34	578	0.52	296



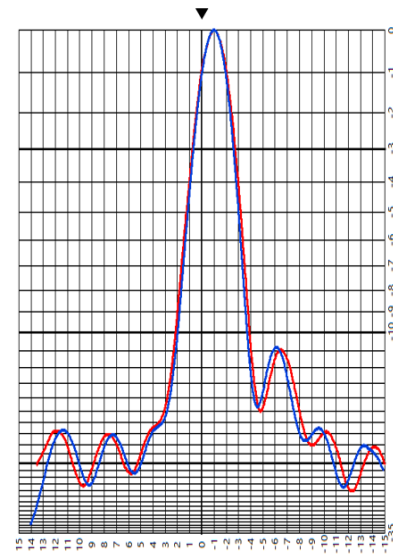
A drónos mérési módszer megvalósítása

Az elméleti és a mért V-karakterisztikák összehasonlítása:

- A mért karakterisztika két független mérés eredményét tartalmazza.
- A kis mértékű aszimmetriát a melléknyaláb tartományban nagy valószínűséggel a két félantenna főkábeleinek méréshatár közeli elektromos hossz eltérése okozza.



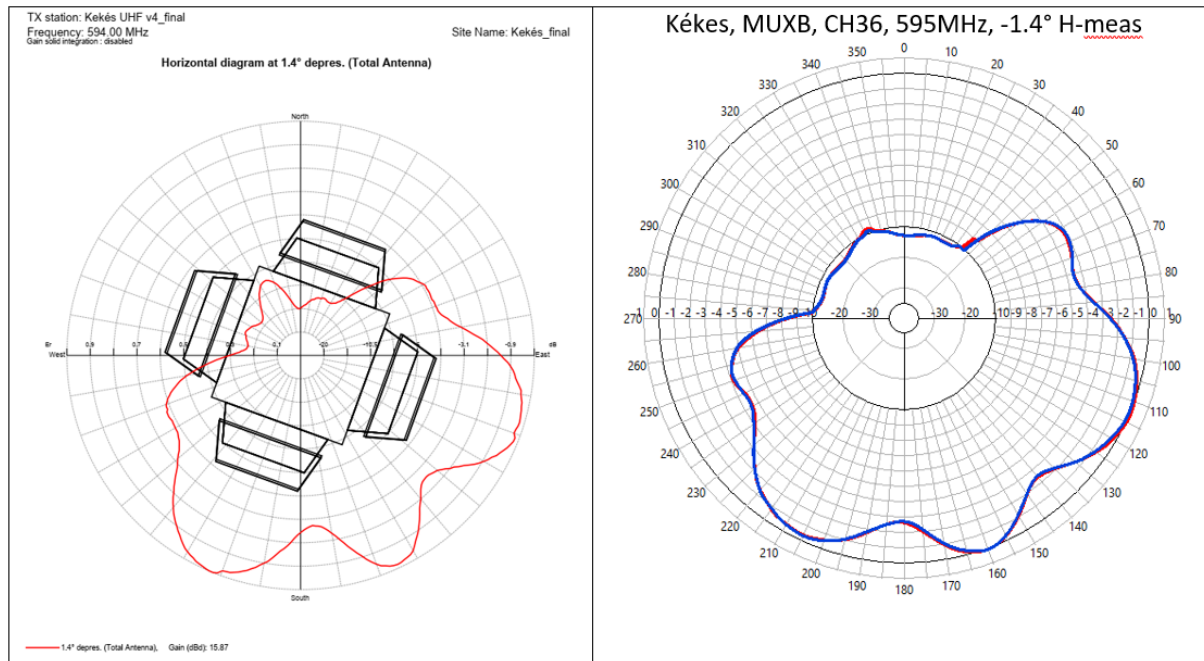
Kékes, MUXB, CH36, 595MHz, 110° V-meas



A drónos mérési módszer megvalósítása

Az elméleti és a mért H-karakterisztikák összehasonlítása:

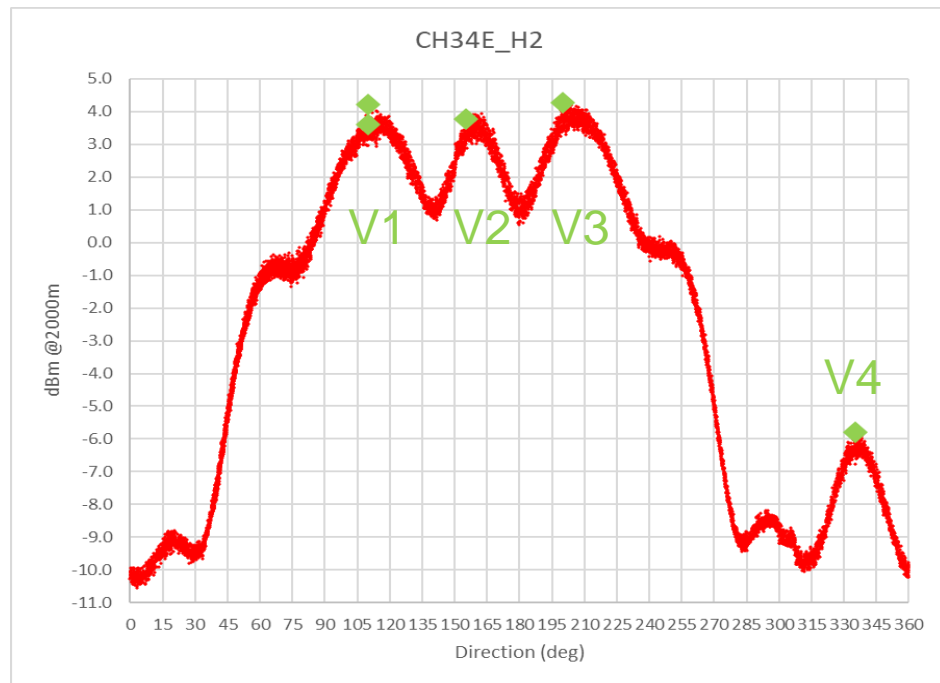
- A jobb oldali diagram két független körpályán, -1.4° elevációs magaságban mért görbét tartalmazza (teljes átfedés tapasztalható).
- Az elméleti és a mért karakterisztikák mérési hibahatáron belül azonosak.



A drónos mérési módszer megvalósítása

A vertikális és a horizontális mérések összehasonlítása:

- A piros színű görbe a -1.4° -os horizontális mérés „nyers” eredményeit tartalmazza (abszolút jelszint értékek dBm-ben, 2000m-es távolságra normalizálva).
- A zöld értékek a különböző irányokban mért vertikális karakterisztikák maximális értékei (abszolút jelszint értékek dBm-ben, 2000m-es távolságra normalizálva).



A helikopteres és a drónos módszer összehasonlítása

Téma	Helikopteres módszer	Drónos módszer
Légtér használat	Átfutási idő, 1-2nap. Lakott terület feletti repülés nem okoz problémát	Átfutási idő másfél hónap. Lakott terület fölötti repülés elvileg lehetséges, de a gyakorlatban inkább nem.
Mérési távolság	Ideális távolság 1000-2000m. Magasabb talajreflexiók hatás, főleg sík telephelyeken. Kisebb vertikális eleváció mérhető.	Ideális távolság 300m. Fraunhofer határsértés UHF antennák esetén. Korlátozott repülési idő (akku kapacitás). Több állomásunk esetén a nagyobb mérési távolság problémás a lakott területek miatt.
Navigáció	A pilóta a pályakövetést a mérőrendszer részét képező kijelző alapján végzi. A mérőantenna helyes orientációja vizuális módszerrel történik. A mérés sikeressége és pontossága nagyrészt a pilóta gyakorlatán múlik.	A pályakövetés és az orientáció rögzítése autonóm repülési üzemmódban történik nagy pontossággal. Ez a képesség jelentősen javítja a mérés pontosságát is a helikopteres módszerhez képest.
Mérhető antennák	Csak nagy tornyok antennái mérhetőek (gerincadók, KH tornyok)	Minden antenna mérhető, toronymagasságtól függetlenül.
Mérés időtartama	Egy antennarendszer, összes frekvencián 2-2.5h	Egy antennarendszer, összes frekvencián 8h (3h)
Költség	2020-as áron a repülési óradíj 360eFt. Az oda- és visszautat is ki kell fizetni.	A mérés időtartama hosszabb, nagy létszámú földi személyzet szükséges. Előzetes bejárás és felmérés szükséges. Jelenleg kis mértékben drágább mint a helikopteres módszer.
Összesítés	A jövőben nem célszerű a helikopteres mérési módszert használni.	A fent felsorolt problémák ellenére a drónos módszer jövőbeli alkalmazása javasolt. További fejlesztések és műszaki megoldások keresése szükséges a problémák kiküszöbölése céljából.

A mérési módszer kifejlesztésben és alkalmazásában résztvevő vagy azt felettesként támogató kollégák:

Szili Csaba, Tósaki László, Koncz Miklós, Narancsik Mihály,
Csősz Jenő, Árki Zsolt, Szabó Erik

An aerial photograph of a city, likely Budapest, with a prominent radio tower on a hill in the foreground. The city is densely packed with buildings, and the surrounding landscape is hilly and forested. The sky is blue with some clouds.

Köszönöm a figyelmet!

Cser Zsolt
Mail: cserz@ahrt.hu
Tel. +36 70 3324654

Köszö Antenna
Photo & Drone & Video