



M Ű E G Y E T E M 1 7 8 2

**Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem**  
Villamosmérnöki és Informatikai Kar  
Szélessávú Hírközlés és Villamosságtan Tanszék

Légrádi Máté

**KÖRPOLARIZÁLT  
PRIMERSUGÁRZÓ TERVEZÉSE  
PARABOLA TÜKÖRBE**

Önálló laboratórium 2 beszámoló

KONZULENS

**Szűcs László**

BUDAPEST, 2015

# Tartalomjegyzék

<b>1 Feladatkiírás</b> .....	<b>3</b>
<b>2 Bevezetés</b> .....	<b>4</b>
2.1 Parabola tulajdonságok.....	5
2.1.1 Fókusz távolság.....	5
2.1.2 Nyeresség.....	6
2.1.3 Nyalábszélesség.....	6
2.1.4 Megvilágítási függvény.....	6
2.2 Helix.....	7
2.2.1 Axiális mód.....	7
<b>3 Tervezés</b> .....	<b>9</b>
3.1 Tervezési megfontolások endfire helix esetén.....	9
3.1.1 Helix paraméterek.....	9
3.1.2 Backfire mód.....	10
3.2 Antennarendszer.....	12
<b>4 Mérés</b> .....	<b>15</b>
4.1 A primersugárzó.....	15
4.2 Terepi mérés.....	17
<b>5 Összegzés, továbbfejlesztési lehetőségek</b> .....	<b>20</b>
<b>Irodalomjegyzék</b> .....	<b>21</b>

# 1 Feladatkírás

Tervezzen körpolarizált primersugárzót az SMOG-1 műhold vételére szolgáló parabola tükörbe.

A tükör adatai:

- $D = 4,5 \text{ m}$
- $f/D = 0,4$

A tápfej tervezési adatai:

- $f = 438 \text{ MHz}$
- $BW > 5 \text{ MHz}$
- $Z_0 = 50 \Omega$
- Reflexiócsillapítás  $> 16 \text{ dB}$

Tervezze meg, építse meg és mérje meg az antennát.

## 2 Bevezetés

A félév során nem az Önálló Laboratórium 1 tárgy témáját folytattam, mivel az befejezésre került a nyári szakmai gyakorlat során. Helyette a BSc-s szakdolgozatom témájának továbbfejlesztésével foglalkoztam.

Már a szakirányválasztás óta tagja vagyok a SMOG-1 pikoműhold fejlesztőcsapatának, és az űrbéli kommunikáció megvalósítását vizsgáltam. A félévek során megterveztük, megépítettük és bemértük a műhold fedélzeti antennáit, valamint a földi állomás primer sugárzóit.

A pikoműhold szabvány egy 5x5x5 cm élhosszúságú kocka melynek tömege nem haladhatja meg a 180 grammot. Ez a méret azért kihívás, mert a MASAT-1 térfogatának nyolcada és felületének negyede, így sokkal kevesebb hely áll rendelkezésre a működtető (redundáns) elektronikának és az energiaellátásért felelős napelemeknek valamint akkumulátornak.

A projekt célja egy Föld körüli pályán történő elektroszmog mérő műszer beüzemelése (innét a név) és a mért adatok továbbítása. A vizsgált frekvenciatartomány a DVB-T állomások által használt UHF sáv (400-800 MHz), mivel itt kW-os adóteljesítménnyel üzemelő állomások is találhatóak. Megjegyzendő, hogy az ilyen állomások a Föld felszínétől felfelé irányítottak, kihasználva a hullámterjedési jelenségeket (elhajlás a légkörben). Így óhatatlan, hogy a teljesítmény egy része a világűrbe távozzon. Ilyen jellegű méréseket még nem végeztek, így a mérés elvégezhetőségének bizonyítására ballonos kísérleteket hajtottunk végre. A mérések igazolták a feltételezéseket, miszerint minél magasabban vagyunk, annál nagyobb kúpszögéből több adóállomás jele vehető.

A kommunikáció a 70 cm-es ISM sávban történik, míg a vizsgálat ennél jóval szélesebb tartományon. Ezeket a követelményeket egy antenna nem teljesíti, ezért az adóantenna egy hajlított dipólus (melynek előnye az egyszerű monopólhoz képest a sokkal kisebb nyereségfluktuáció, így a vett jel teljesítménye kevésbé irányfüggő), a vevőantenna pedig egy egyenes dipólus.

A földi állomáson eddig a MASAT-1 jelének a vétele egy 15-elemes kereszt-Yagi antennával történt, ami körpolarizáltan vesz, míg a hold függőleges polarizációval ad. Így elkerülhető volt a keresztpolarizációs csillapításból adódó extra csillapítás, és csak az

adóantenna nullhelye befolyásolta a kommunikáció minőségét. Az ötlet az volt, hogy egy két polarizációval venni képes antennával a vett jelszintek alapján becslés adható a hold orientációjára. A szakdolgozat során 2-2 páronként merőleges dipólusból álló primer tápfej készült egy 3 m-es parabolába, melynek két kimenete a két egymásra merőleges polarizáció.

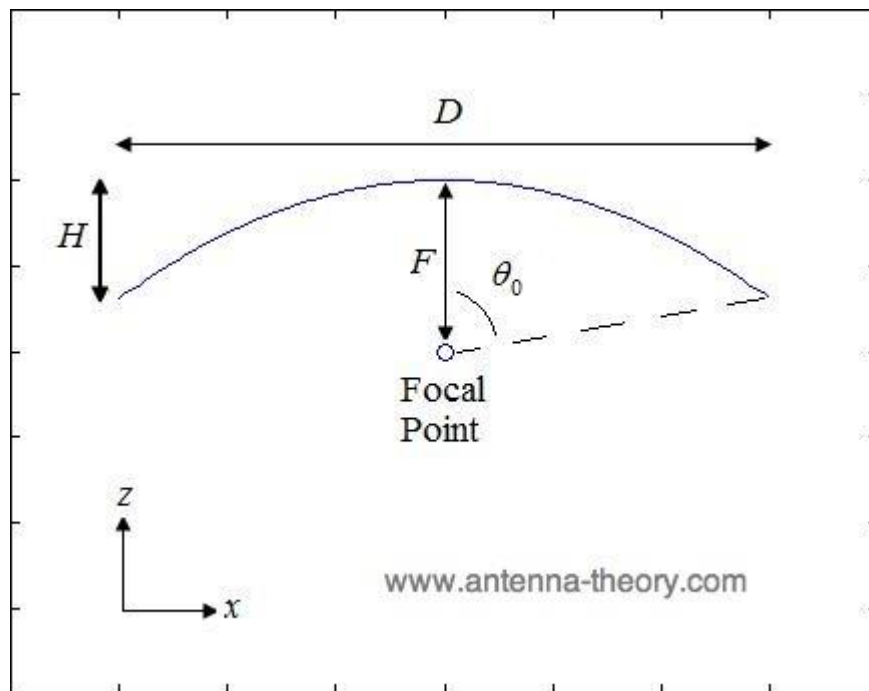
Az idei félévben egy új, 4,5 m-es parabolába készült egy szintén ISM sávú (434-437 MHz) hátrafelé sugárzó helix, amely a SMOG-1 műholddal való kapcsolattartásra hivatott.

## 2.1 Parabola tulajdonságok

A parabola definíciója: azon pontok mértani helye a síkban, melyek egyenlő távolságra vannak egy adott ponttól (fókuszpont, vagy gyújtópont) és egy ezen a ponton át nem haladó adott egyenestől (direktrix, vezéregyenes).

### 2.1.1 Fókusz távolság

A valós parabola véges, ezért jellemezhető a  $D$  átmérővel, a  $H$  mélységgel és az  $f$  fókusztávolsággal. Gyakran csak az  $f/D$  hányadost adják meg, és ebből a többi paraméter számolható.



1. ábra A véges parabola [1]

$$f = \frac{D^2}{16H} \text{ vagy } H = \frac{D^2}{16f}, \text{ esetünkben } f = 1,8 \text{ m}$$

### 2.1.2 Nyereség

A parabolával jóval nagyobb nyereségek érhetők el, mint más reflektorokkal, és ez a nyereség annál nagyobb, minél nagyobb a hullámhosszhoz viszonyított átmérője. Ezekből az adott parabolával elérhető maximális nyereség a következőképpen számolható [2]:

$$G = 10 \lg \left( k \left( \frac{\pi D}{\lambda} \right)^2 \right) = 26,23 \text{ dBi}$$

Ahol:

- G, az antenna nyereség dBi-ben
- k, az antenna hatásfok (a gyakorlatban 50% jó közelítés)
- D, az antenna átmérője méterben (4,5 m)
- $\lambda$ , az alkalmazott hullámhossz méterben (0,69 m)

A fenti 26,23 dBi 100%-os antennahatásfokra vonatkozik, 50%-kal számolva 3 dB csökkenést jelent, így az elérhető maximum jó közelítéssel 23,23 dB.

### 2.1.3 Nyalábszélesség

Az antenna iránykarakterisztikán definiálható a 3 dB-es (vagy 10 dB-es) irányélességi szög. Ez a maximumtól való  $\pm 3$  dB (10 dB) eltéréshez szükséges szög. Az irányélesség a következőképpen becsülhető (csak nagyságrendi becslésre alkalmazható) [2]:

$$\psi = \frac{70\lambda}{D} = 10,7^\circ$$

A primersugárzóra hasonlóan definiálható a nyalábszélesség, aminek jelentősége a megvilágítási függvényénél van.

### 2.1.4 Megvilágítási függvény

A parabola megvilágítási szöge egy szögtartomány, amin belül összpontosul a kisugárzott elektromágneses teljesítmény nagy része. Szemléletesen fogalmazva e szögtartományon kívül eső sugárzás már nem éri el a parabolát, hanem elhalad mellette.

Ahhoz, hogy a parabola felületét a lehető legjobban kihasználjuk a parabola megvilágítási szögének és a nyalábszélességnek közel azonos értéket célszerű választani. Mivel a parabola geometriai méretei adottak, ezért csak a primer sugárzó tervezésénél lehet ezt figyelembe venni.

Adott  $f/D$ -vel rendelkező parabola megvilágítási szöge [5]:

$$\alpha = 2 \arctan\left(8 \frac{\frac{f}{D}}{\left(\frac{4f}{D}\right)^2 - 1}\right)$$

Esetünkben  $f/D=0,4$ , azaz  $\alpha=128^\circ$ . A cél, hogy a primersugárzó 10 dB-s nyalábszélessége (lehetőleg) egyezzen meg ezzel az értékkel.

## 2.2 Helix

A helix antennák irodalma hasonlóan a Yagi antennákhoz meglehetősen kiforrott, főként a számítógépek elterjedése és a számítási kapacitás növelése miatt már sok újdonság nem mondható el. A mai napig a 80-as években publikált szerzőket és cikkeiket hivatkozzák a témában [9].

A helix antenna az átmérő, menetemelkedés és hullámhossz függvényében 3 módban működhet [3].

- Normál mód: ha az átmérő és a menetemelkedés sokkal kisebb, mint a hullámhossz. Ekkor a helix monopól antennaként viselkedik (iránykarakteristikáját és polarizációját tekintve) és méretcsökkenés érhető el vele a teljes negyedhullámú monopólhoz képest.
- Axiális mód: ha az átmérő és menetemelkedés közel azonos vagy nagyobb, mint a hullámhossz. Ekkor a helixen haladó hullám jön létre és a helix mindkét végén körpolarizáltan sugároz.
- (conical mode)

### 2.2.1 Axiális mód

A helixet parabola primer sugárzóként használva az axiális módú működés a kívánatos. Általában ekkor az irányítottság a fő szempont, ezért az egyik végen reflektorral veri vissza az elektromágneses hullámokat. Elméletileg a végtelen

síkreflektor volna az ideális, de a valóságban elegendő a hullámhossz átmérőjű fémfelület a kívánt irányítottság eléréséhez.

A helix antennák különösen „jól viselkedő” szerkezetek, talpponti impedanciájuk 100 és 200  $\Omega$  között alakul (kb.: 150  $\Omega$ ), sávszélességük akár 40-60 MHz. Ezen felül a konstrukciós hibákra is kevésbé érzékenyek (átmérő, menetszám, menetemelkedés). Ami további számítást igényel és főleg primersugárzóként fontos, az a kibocsátott elektromágneses hullámok fázisközéppontjának elhelyezkedése. A fáziscenterről a szakirodalomban is eltérő értékek szerepelnek, így ehhez valamilyen numerikus szimuláció szükséges.

Lehetőség van a reflektor méretének csökkentésével a sugárzás irányát megfordítani, ekkor a reflektor direktorrá válik és így az antenna hátrafelé fog sugározni [7].

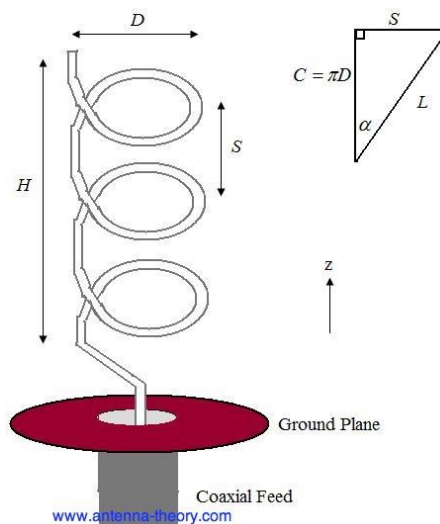


## 3 Tervezés

### 3.1 Tervezési megfontolások endfire helix esetén

A gyakorlatban legtöbbször alkalmazott konstrukció az axiális módban előre sugárzó antenna, így ennek a tervezési lépései a legszélesebb körben kidolgozottak és dokumentáltak. A tervezés menete során a szakirodalmi ajánlások kerültek felhasználásra és a konstrukció paraméterei ezek alapján lettek meghatározva. Ez némileg szokatlan a mai világban, ahol a számítás-, valamint kapacitásigényes szimulációs és optimalizációs szoftverek elérhetőek. Esetünkben csak az analitikusan nem, vagy nem egyértelműen meghatározható paraméterek számítására alkalmaztam.

#### 3.1.1 Helix paraméterek



2. ábra A helix paraméterei [4]

- $H$  – a helix hossza
- $D$  – a helix átmérője ( $\sim 1/3\lambda$ )
- $S$  – a menetek közötti távolság ( $\sim 1/4\lambda$ )
- $C$  – egy menet kerülete ( $3\lambda/4 < C < 4\lambda/3$ )
- $\alpha$  – a menetemelkedés ( $6-18^\circ$ )
- $n$  – a menetszám (4-)
- $d_{GP}$  – a földlap átmérője ( $0,8-1\lambda$  vagy backfire  $0,29-0,60\lambda$ )

$$\alpha = \arctan\left(\frac{S}{C}\right); H = nS; C = \pi D$$

Ezek a paraméterek döntően meghatározzák a helix impedanciáját és iránykarakterisztikáját, ezen felül érdemes még megjegyezni a  $\rho$  huzalátmérőt és a feeding gap-et, mint paramétert.

### 3.1.2 Backfire mód

A hátrafelé sugárzáshoz a földlap átmérőjén kívül minden paraméter változatlan. A fenti intervallumok alapján a választott értékek a következők:

$$H = 1 \text{ m}$$

$$D = 18 \text{ cm}$$

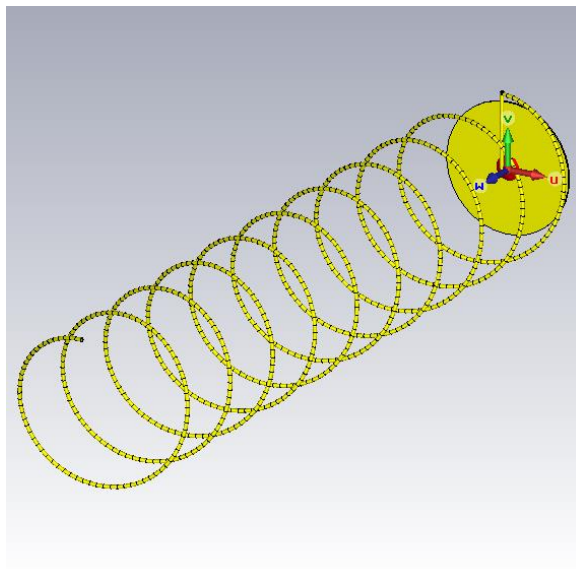
$$S = 10 \text{ cm}$$

$$n = 10$$

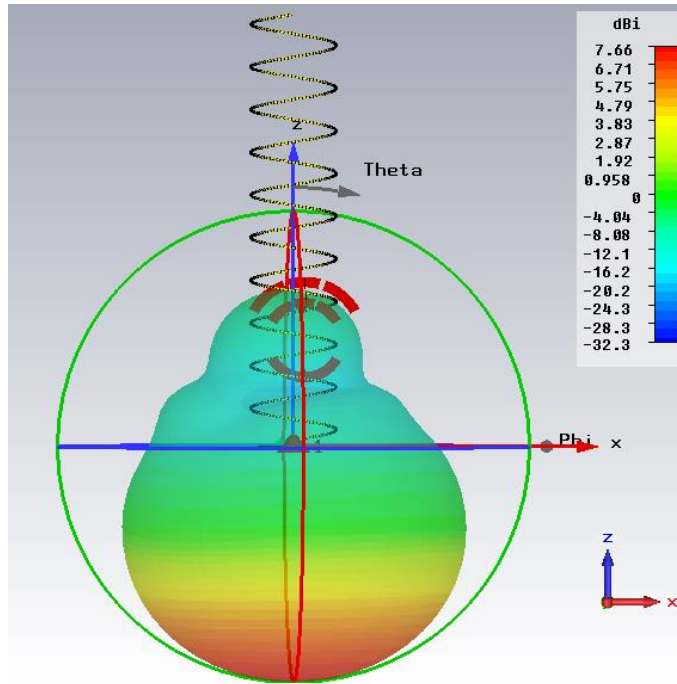
$$d_{GP} = 16 \text{ cm}$$

$$\rho = 5 \text{ mm (5 mm átmérőjű, 1 mm falvastagságú rézcső)}$$

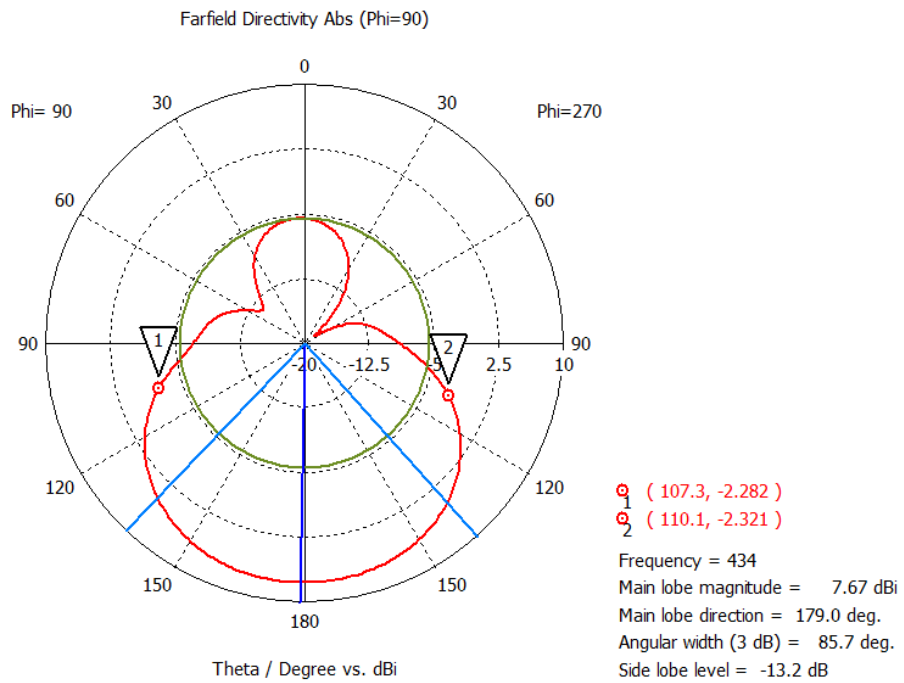
A primer sugárzó szimulációja CST-ben történt.



3. ábra A CST-beli modell



4. ábra A szimulált 3D iránykarakterisztika és fázisközéppont



5. ábra A szimulált iránykarakterisztika polárdiagramon

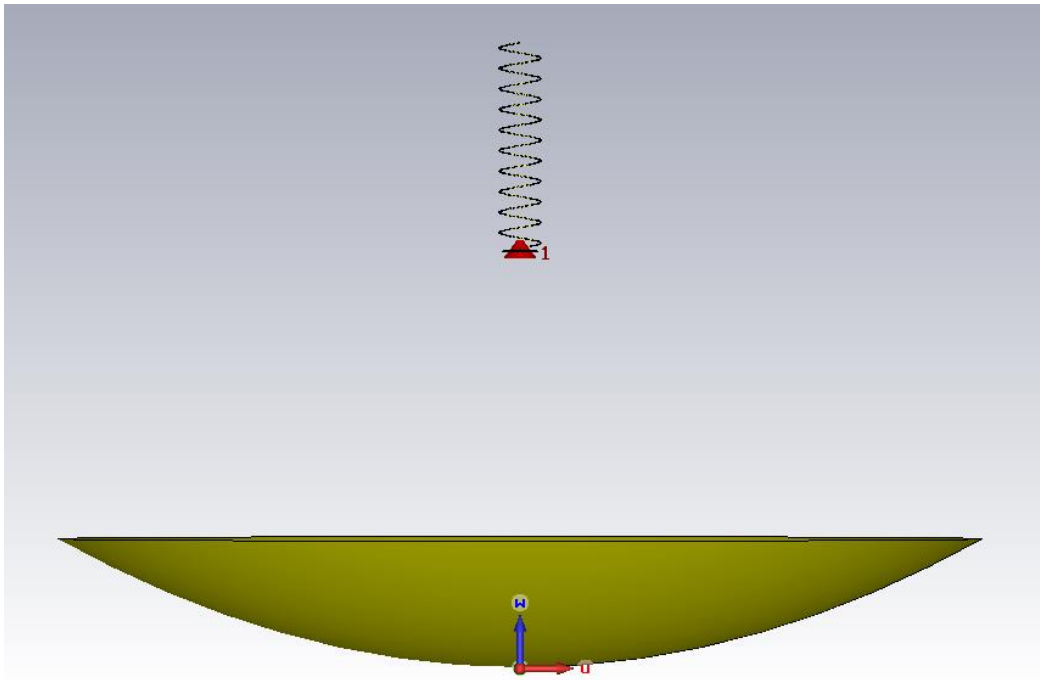
A szimuláció eredményei:

- Talpponti impedancia:  $Z_{\text{ant}}=(157+j0,006) \Omega$ , ami nagyon jó közelítéssel valós  $157 \Omega$
- Nyereség (főirányban): 7,66 dBi
- 3 dB-s irányélesség:  $85,7^\circ$
- 10 dB-s irányélesség:  $142,6^\circ$
- Fázisközéppont a földlaptól 25 cm-re

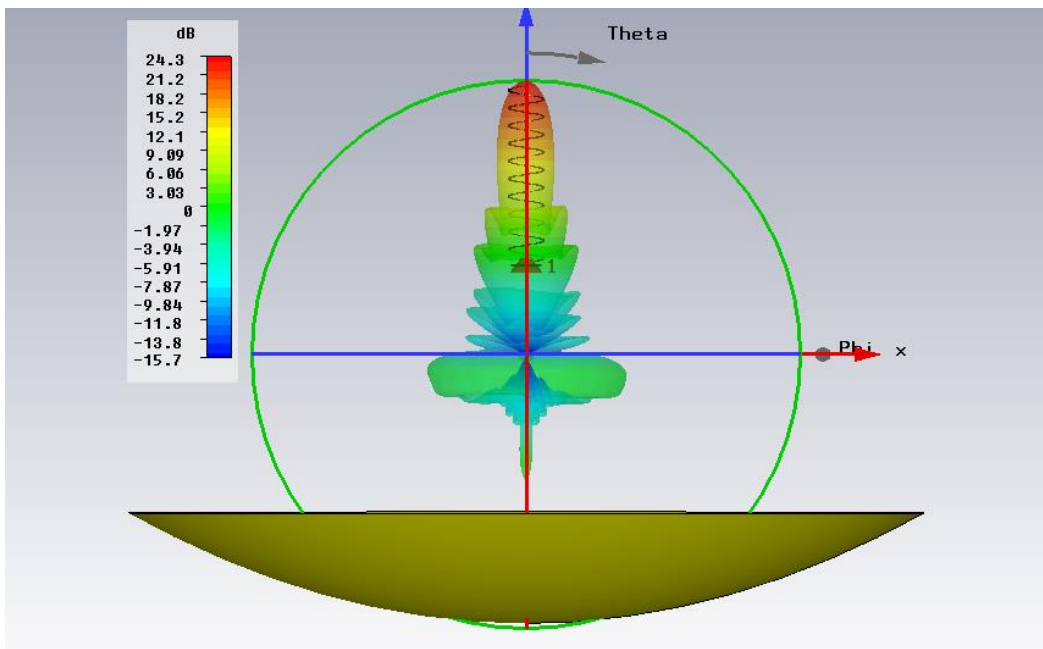
Az eredményekről elmondható, hogy meglehetősen jól közelítik az irodalomban említetteket ([6][7][8]). A  $\sim 150 \Omega$ -os talpponti impedancia egy  $\lambda/4$ -es impedancia transzformátorral illeszthető  $50 \Omega$ -ra. A nyereségre közvetlenül nincs kitétel, csak a nyalábszélességen keresztül. A cél minél nagyobb nyereség elérése kb  $128^\circ$ -os 10 dB-es nyalábszélesség esetén. Ez láthatóan nem teljesült, így a parabola mellett elsugárzott teljesítmény okozta veszteség megnő. Mint említésre került, a paraméterek nem függetlenek, ezért ezek az eredmények számos kompromisszum folytán alakultak ki. A szakirodalmak a fázisközéppont helyét a földlaptól 5 cm és a helix hosszának fele közé becsülik, a pontosabb meghatározás érdekében is volt szükség a szimulációra. A fázisközéppont helye szintén erősen függ a fizikai paraméterektől, de az E- és H-sík jó közelítéssel egybe esik. Megjegyzendő, hogy a valós telepített környezetben ezek bármely irányba eltolódhatnak, így a felszerelés során lehetőséget kell biztosítani ennek figyelembevételére.

## 3.2 Antennarendszer

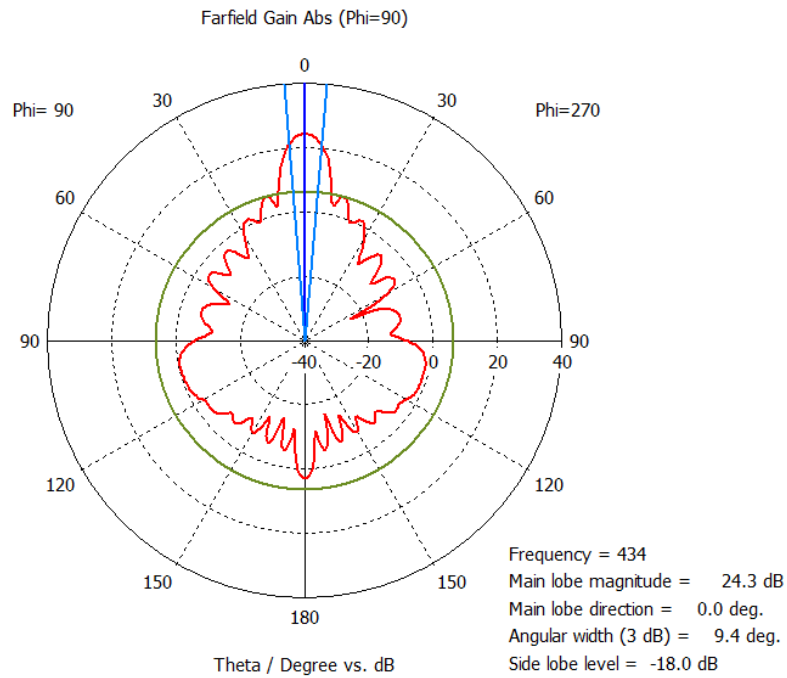
A primersugárzó és a parabolatükör együttese egy antennarendszert alkot, melynek főként az eredő iránykarakterisztikájára vagyunk kíváncsiak. Az összetett antenna szimulációja szintén CST-ben történt a számított  $\sim 25$  cm-es fázisközépponttal és a 1,8 m-es fókuszponttal.



6. ábra 4,5 m-es parabola fókuszában a korábban szimulált sugárzó



7. ábra A szimulált 3D iránykarakterisztika



**8. ábra A szimulált 2D iránykarakterisztika**

A szimulációkba nem került be az illesztő impedancia transzformátor, ezért a számított  $S_{11}$ ,  $Z+jY$  és VSWR nem a valóságot tükrözik. Itt csak a meghatározott iránykarakterisztika és a tulajdonságai fontosak számunka. Ezek a 8. ábra alapján:

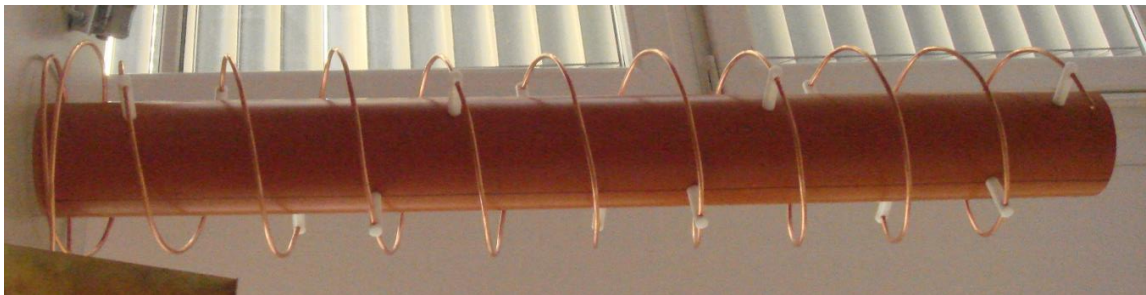
- Nyereség a főirányban: 24,3 dBi
- Melléknyalábelnyomás: -18 dB
- dB-s nyalábszélesség: 9,4 °
- Előre-hátra viszony: 21 dB

Az eredmények tekintetében az antennarendszer közelíti az elméletileg elérhető maximum nyereséget és a hozzá tartozó irányélességet. A -18 dB melléknyalábelnyomás az, amin esetleg további optimalizálással lehetne javítani, de a többi paraméterben jelentős változás már nem elérhető. Az antenna tervezési fázisa tehát lezárult, és kezdődhet a megvalósítás.

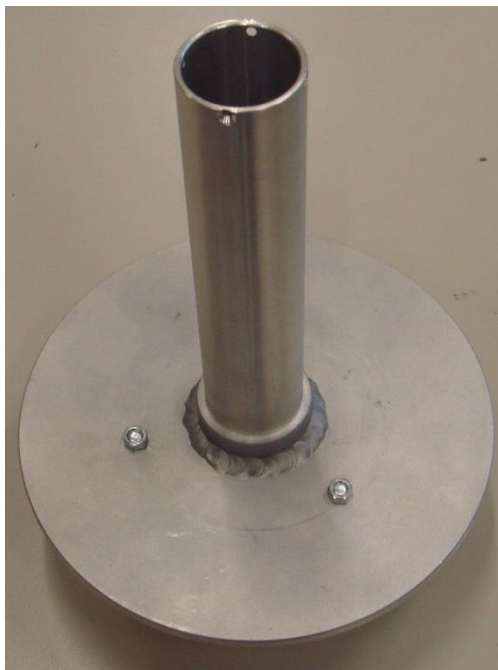
## 4 Mérés

### 4.1 A primersugárzó

A primersugárzó földlapja alumínium, míg a spirál vörösréz. A vörösréz meglehetősen lágy fém egy ilyen méretű antennához, mivel nem képes önhordásra. Emiatt egy közönséges csatornázásban használt PVC cső a váz, és POM rudak szolgálnak távtartóként.



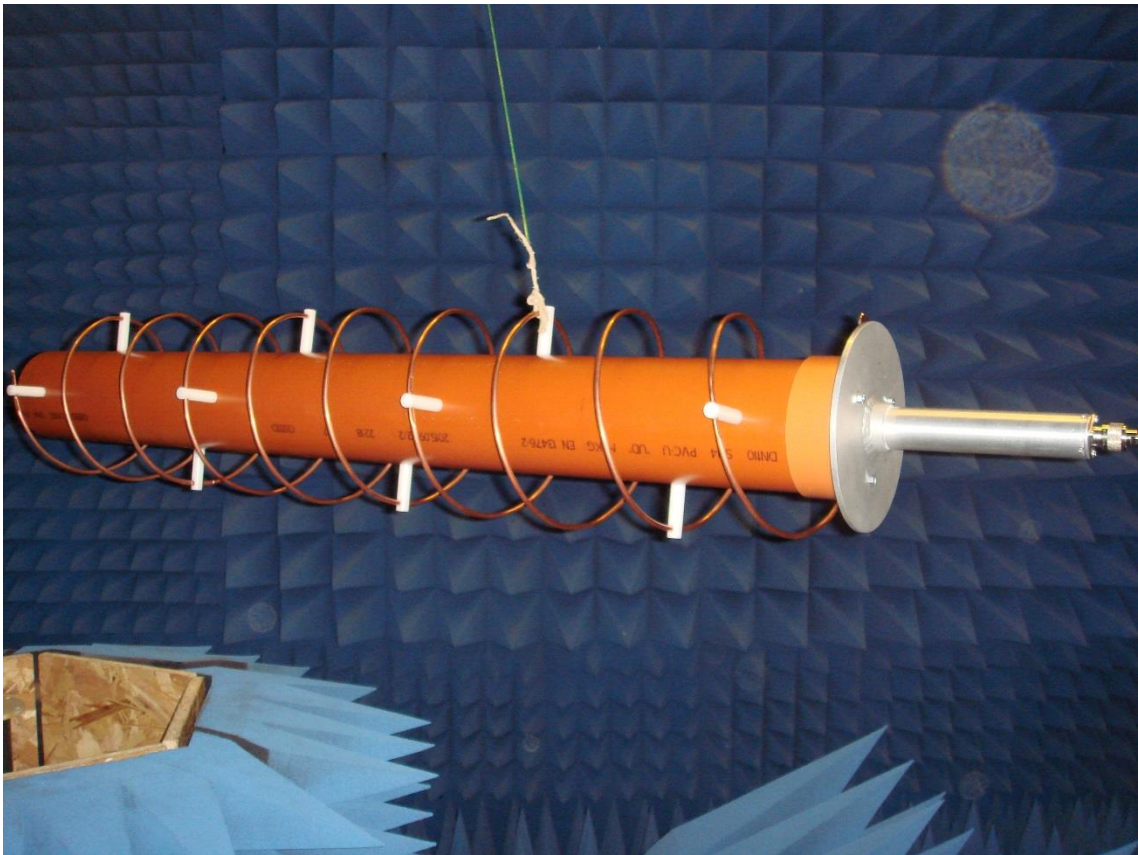
9. ábra A PVC váz a spirállal és távtartókkal



10. ábra A földlap és az illesztő koaxiális kábel a hozzá tartozó meleg érrel

A primersugárzó használhatóságának mérése egy hálózat analízátor segítségével történt, az antenna bemeneti reflexiójának  $-10$  dB alatti értéke már viszonylag jónak számít (a betáplált teljesítmény tizede reflektálódik a generátor felé). Azonban a laboratóriumi környezetben az  $S_{11}$  paraméter értéke nem határozható meg pontosan a

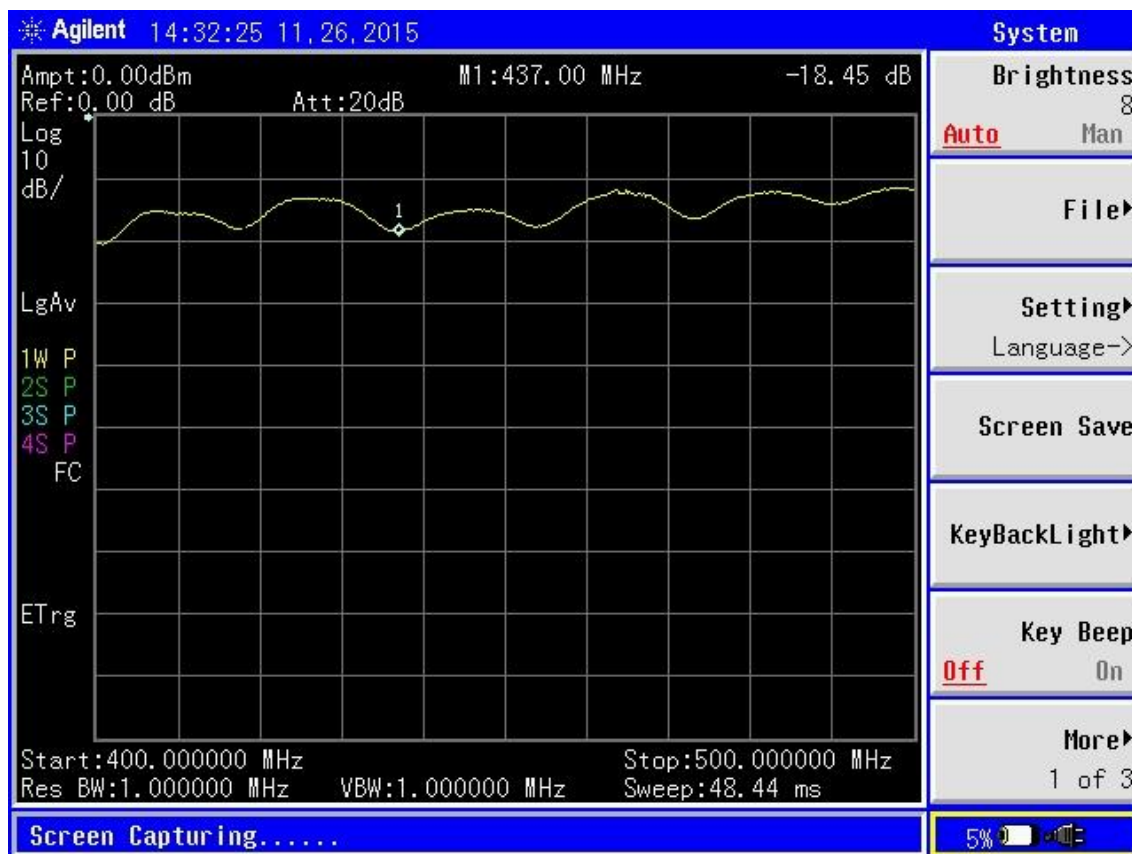
környező fémtárgyak, emberek stb. által okozott reflexiók miatt. A pontosabb mérési eredmény érdekében visszhangmentes kamra használata szükséges.



**11. ábra** Mérési összeállítás a visszhangmentes kamrában

A mérés során az antenna a kamra tetejéről függött és a fő sugárzási irány a falon található elnyelő kúpokra lett irányítva, így biztosítva a minimális reflexiót és az egyenletes távolságot minden kamrában található tárgytól. A 12. ábra a mért bemeneti reflexiót mutatja a frekvencia függvényében. Jól látható, hogy -18 dB a 430-440 MHz, tartományban lokális minimum, így az antenna a 70 cm-es ISM sávban használhatónak bizonyult.





12. ábra A mért bemeneti reflexió

## 4.2 Terepi mérés

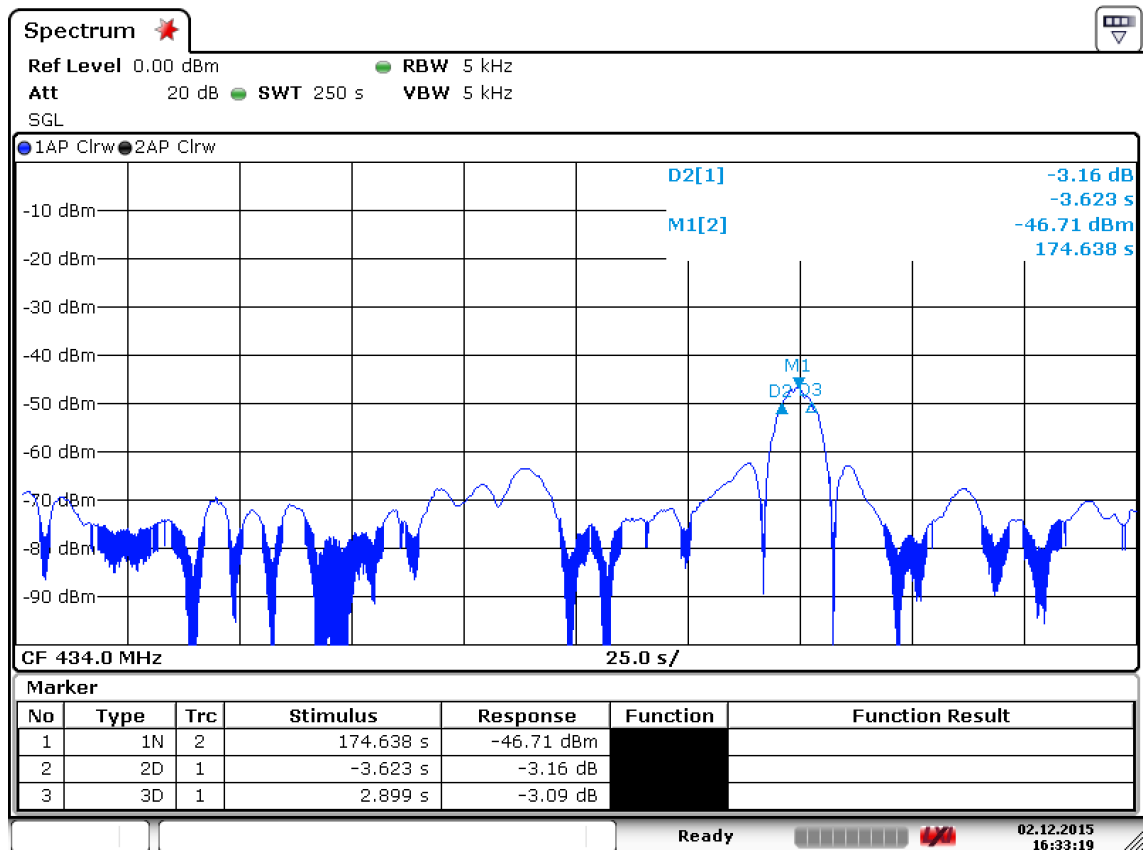
A parabola végleges helye az egyetem E épületének tetején a MASAT-1 földi vezérlőállomása. A terepi mérések során a szimulációk által szolgáltatott eredmények ellenőrzése a cél, főként az antennarendszer reflexiója, 3 dB-s irányélessége és a maximális nyereség megállapítása. A mérésekhez spektrumanalizátort valamint SWR-mérőhidat használtunk.

A bemeneti reflexió a primersugárzó helyzetének változtatásával sem változott -18 dB-ről, ezért adás irányban nem terheli a meghajtó végfokozatot. A mérések során csak a vételi irány került kipróbálásra, az adó irányban még további hardverelemek szükségesek.

Az antenna iránykarakterisztikájának méréséből meghatározható a 3 dB-s irányélesség. A mérések során egy referencia adót alkalmaztunk a Gellért-hegyről, ismert antennanyereséggel és adóteljesítménnyel. Ezen paraméterek ismeretében a parabola nyeresége számítható. Az adó pozíciója fontos, mert így biztosítható a közvetlen rálátás (mivel a parabola vízszintes alá nem dönthető). Meg kell jegyezni, hogy a méréseket az

alkalmazott frekvenciasáv miatt többutas terjedés, reflexiók valamint más forrásból származó zajok terhelik, így a mérésekben decibeles pontatlanságok is lehetnek.

Az iránykarakterisztika mérés során a spektrumanalizátor zero span üzemmódban üzemel, és a sweep time megegyezik a parabolatükör egy teljes körülfordulásának periódusidejével (esetünkben 250 másodperc).



Date: 2.DEC.2015 16:33:19

13. ábra A mért iránykarakterisztika

A 13. ábra alapján a 3 dB-s irányszög arányossággal számítható:

$$\frac{2,899 + 3,623}{250} = \frac{\alpha}{360}, \text{ amiből } \alpha \approx 9,4^\circ$$

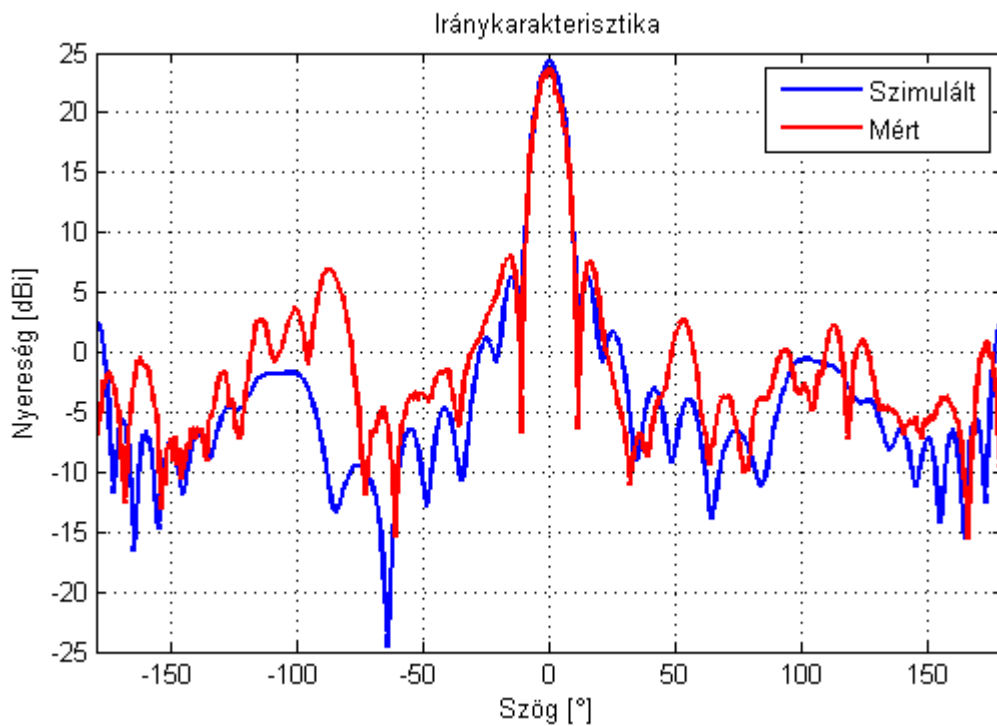
A nyereség kétféleképpen is számolható: az abszolút jelszintekből, valamint egy ismert nyereségű antennával helyettesítéses méréssel. A helyettesítéses mérés során viszont a vett jel akár 10 dB-t is fluktuált a környező fémtárgyak reflexiója miatt, így csak az abszolút jelszintekből lehetett nyereséget számolni. Ismert a vett jelszintekre vonatkozó képlet a szakaszcsillapítás felhasználásával, ezt átrendezve  $G_{RX}$ -re:

$$G_{RX} = P_{RX} - G_{TX} - P_{TX} - 20 \lg \left( \frac{\lambda}{4r\pi} \right) = 21,53 \text{ dBi}$$

Ahol:

- $P_{RX} = -46,7 \text{ dBm}$
- $G_{TX} = 2 \text{ dBi}$  (körsugárzó ground plane)
- $P_{TX} = 16,7 \text{ dBm}$
- $\lambda = 0,6913 \text{ m}$
- $r = 1222 \text{ m}$  (az E épület teteje és a Szabadság-szobor talpzata légvonalban)

A kiszámított nyereséghez még hozzá kell adni 3 dB-t, mivel az antenna körpolarizáltan veszi, az adó pedig lineárisan polarizáltan ad. Így összességében az elért nyereség 24,5 dBi.



14. ábra A mért és szimulált iránykarakterisztikák

## 5 Összegzés, továbbfejlesztési lehetőségek

Összességében a kitűzött célokat sikerült megvalósítani, az antenna a tervezett sávban kifogástalanul működik, és jól közelíti a szimulációs eredményeket. A melléknyaláb elnyomás az elméleti 18 dB-hez képest csak 15 dB, ami még mindig elfogadható.

További feladat még a vevőláncban található szűrők és kiszajú előerősítők beépítése, valamint az adóirányú tesztelés.



15. ábra A végleges antenna

## Irodalomjegyzék

- [1] <http://www.antenna-theory.com/antennas/reflectors/dish.php>
- [2] <http://www.radio-electronics.com/info/antennas/parabolic/parabolic-reflector-antenna-gain.php>
- [3] [https://en.wikipedia.org/wiki/Helical\\_antenna](https://en.wikipedia.org/wiki/Helical_antenna)
- [4] <http://www.antenna-theory.com/antennas/travelling/helix.php>
- [5] Légrádi Máté: UHF sávú primérsugárzó parabola reflektorhoz, Szakdolgozat 9-13. o., 2014
- [6] Paul Wade: The W1GHZ Online Microwave Antenna Book 1994-2006, Helical Feed Antennas
- [7] Hisamatsu Nakano, Junji Yamauchi, Hiroaki Mimaki: Backfire Radiation from a Monofilar Helix with a Small Ground Plane, IEEE TRANSACTIONS ON ANTENNAS AND PROPAGATION, VOL. 36, NO. 10, OCTOBER 1988
- [8] Seymour Sander, David K. Cheng: PHASE CENTER OF HELICAL BEAM ANTENNAS, 1958 IRE International Convention Record (Volume:6 )
- [9] Hisamatsu Nakano, Yuji Samada, Junji Yamauchi: Axial Mode Helical Antennas, IEEE TRANSACTIONS ON ANTENNAS AND PROPAGATION, VOL. AP-34, NO. 9. SEPTEMBER 1986