

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

hvt. 

Körpolarizált Yagi antenna építése 437MHz-es sávra

Házi feladat

Kiss Ádám

2019

Tartalomjegyzék

1. Yagi antenna	3
1.1. Bevezetés	3
1.2. Antenna működésének kísérleti bizonyítása	3
1.3. Tervezés	3
1.4. Körpolarizáció	4
1.5. Gamma-illesztés	4
1.6. Wilkinson-híd	4
2. Tervezés	5
2.1. Mechanikai méretek	5
2.1.1. DL6WU-féle internetes tervező	5
2.1.2. Antennakönyv	9
3. Építés	12
3.1. Anyagok	12
3.2. Megmunkálás	12
3.3. Illesztés	13
3.4. Első mérés és további módosítások	13
3.5. Körpolarizáció előállítása	14
3.6. Körpolarizáció ellenőrzése	16
4. Éles próba	18

Kivonat

Magyarország második és harmadik műholdjának a fellövését 2019 novemberére terveztek előre. Rádióamatőrként szerettem volna az elsők között lenni, akik veszik a SMOG-P és az ATL-1 jeleit, ezért elhatároztam, hogy építék ehhez egy antennát, majd az RTL-SDR eszközömmel feldolgozom az adatokat.

1. fejezet

Yagi antenna

1.1. Bevezetés

A Yagi-Uda antennák síkpolarizált és irányított antennák. Megkülönböztető jelük a klasszikus dipólhoz képest, hogy több rezgőelem található benne. Általában egy pálcára több darab dipolt helyeznek el a sugárzó elem környezetébe. A sugárzó elem mögött található egy vagy több ún. reflektor vagy tükrök, ami a jelet előre tereli. A sugárzó elem előtt található a rögzítő pálca ún. direktor vagy irányító, ami szintén előre tereli a jelet. Összességében a Yagi antennák az orruk fele sugároznak abban a polarizációs síkban, amelyikben a betápláló dipól fekszik.

1.2. Antenna működésének kísérleti bizonyítása

Vegyünk egy kézi rádiót, hangoljuk egy tetszőleges frekvenciára, én 450 MHz-et használtam. Ezt követően egy – ezen a frekvencián rezgő – dipolt helyeztem a rádió közelterébe. A dipól közepébe ellenpárhuzamosan kötöttem két Schottky diódát, valamint az egyikkel nyitóirányban sorba egy LED-et. A rádiót adásra kapcsolva azt tapasztaltam, hogy a detektorom jelzi a közeltér jelenlétét, világít a LED.

Amennyiben egy megfelelő hosszúságú dipólnál hosszabbat lógattam be a rádió mögé, úgy csak akkor működött a kísérlet, ha reflektor–rádió–detektor sorrendben helyeztem el őket egy síkba.

Amennyiben egy megfelelőnél rövidebb darabbal torzítottam a teret, úgy csak akkor világított a LED, ha rádió–direktor–detektor sorrendben helyeztem el őket egy síkba.

1.3. Tervezés

Alapvetően nincs kész recept adott paraméterű Yagi-antenna építésére, de tudunk használni tapasztalati úton leírt elrendezéseket. Ilyet találhatunk például a Rothammel-féle antennakönyvben vagy az interneten.

Az elredenzésekben általában közös, hogy az első direktor negyedhullámnál közelebb helyezkedik a meghajtott elemhez, míg a többi elem között körülbelül negyed hullámhossz távolság van.

1.4. Körpolarizáció

Egy műholdat tervezek fogni, aminek a helyzete ismeretlen lesz a vétel pillanatában. Lineáris polarizációval folyamatosan forgatni kellene az antennát, keresni a helyes polarizációt. Ezt elkerülendő körpolarizációs antennát terveztem. Ehhez nem legendő csupán egy függőleges és egy vízszintes polarizációjú antennát egymás mellé tenni, hiszen ekkor egy 45 fokos polarizációjú antennát kapnánk. A két megtáplált ágat 90 fokban fázisban eltolva kell megtáplálni, így szabad térben a téterősségvektor egy időpillanatban fényképezve egy csavarvonal különböző pontjaira fog mutatni. Amennyiben egy lineárisan polarizált antennát vizsgálnánk így, úgy egy síkra fektetett szinuszfüggvény lenne a téterősségvektorok burkolója.

1.5. Gamma-illesztés

A dipól antennákat szimmetrikusan kell megtáplálni első közelítésben, ami nem illeszkedik közvetlen koaxiális tápvonalhoz. További probléma, hogy mivel nincs földpont egy dipól antennán, ezért az nem is tudja védeni a rádióberendezésünket egy esetleges dipólba csapódó villámtól. Egy lehetséges megoldás a Gamma-illesztés, amikor a dipól közepét földeljük, a betáplálást pedig a dipól egyik száránál végezzük aszimmetrikusan. Ezzel behozunk egy hurkot a rendszerbe, ami egy induktív tagot hoz az impedanciába. Ezt azzal hangoljuk ki, hogy egy kondenzátort kötünk sorba az illesztéssel, ezzel is galvanikusan leválasztva a koax melegerét az antennáról. Egy jellemző megvalósítás, amikor egy cső belséjébe helyezzük a koax melegerét, majd a csövet egy állítható helyzetű szalaggal rögzítjük az antennánkhoz.

1.6. Wilkinson-híd

Tegyük fel, hogy két terhelés között kell szétosztanunk (vagy összegeznünk) a teljesítményt egy impedanciaillesztett rendszerben (mindenhol Z_0 forrás-, lezáró és hullámimpedanciák vannak). Ekkor egy adott f_0 frekvencián tudunk veszteségmentesen összegezni/szétosztani úgy, hogy egy $\sqrt{2}Z_0$ hullámimpedanciájú és negyedhullámosszú tápvonalat iktatunk be a közvetlen a párhuzamba kapcsolás elé. Ekkor a negyedhullámú tápvonal a Z_0 impedanciát annak kétszeresére emeli, amiből kettőt párhuzamba kapcsolva pont Z_0 impedanciát kapunk.

2. fejezet

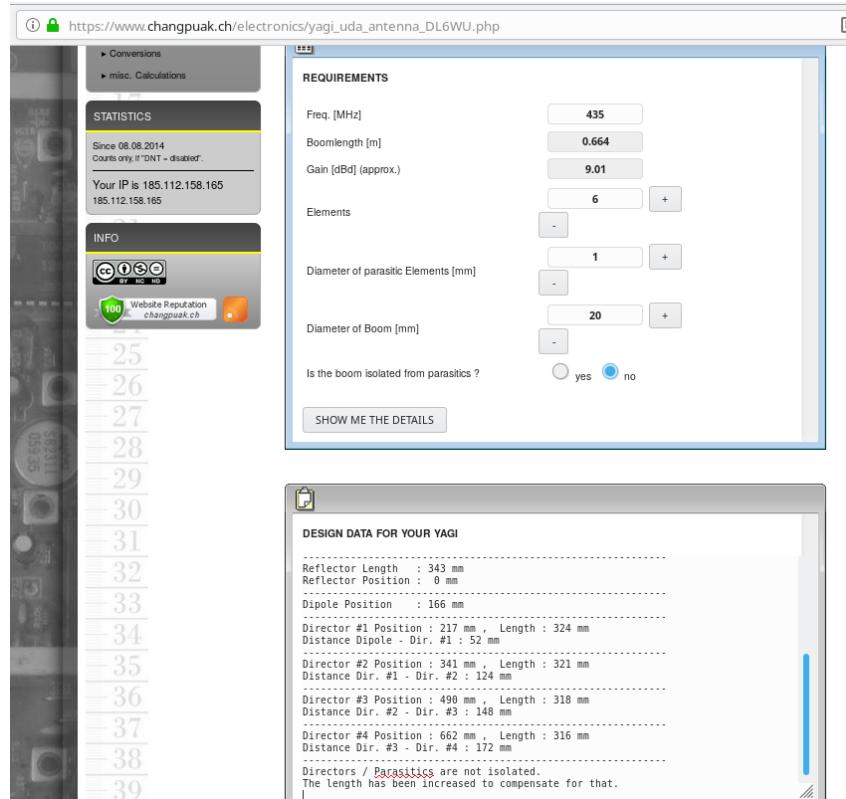
Tervezés

2.1. Mechanikai méretek

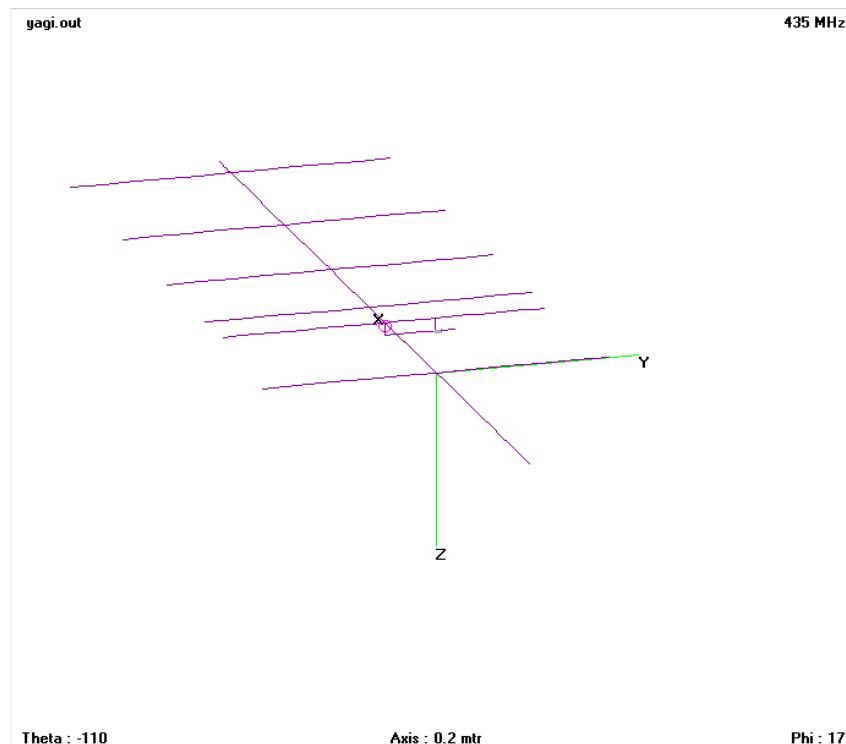
A tervezéshez első lépésben két elrendezést hasonlítottam össze. Egyszer a Rothammel-féle antennakönyvben található Yagi antennát 435 MHz-re, másrészről a https://www.changpuak.ch/electronics/yagi_uda_antenna_DL6WU.php oldalon található elrendezést.

2.1.1. DL6WU-féle internetes tervező

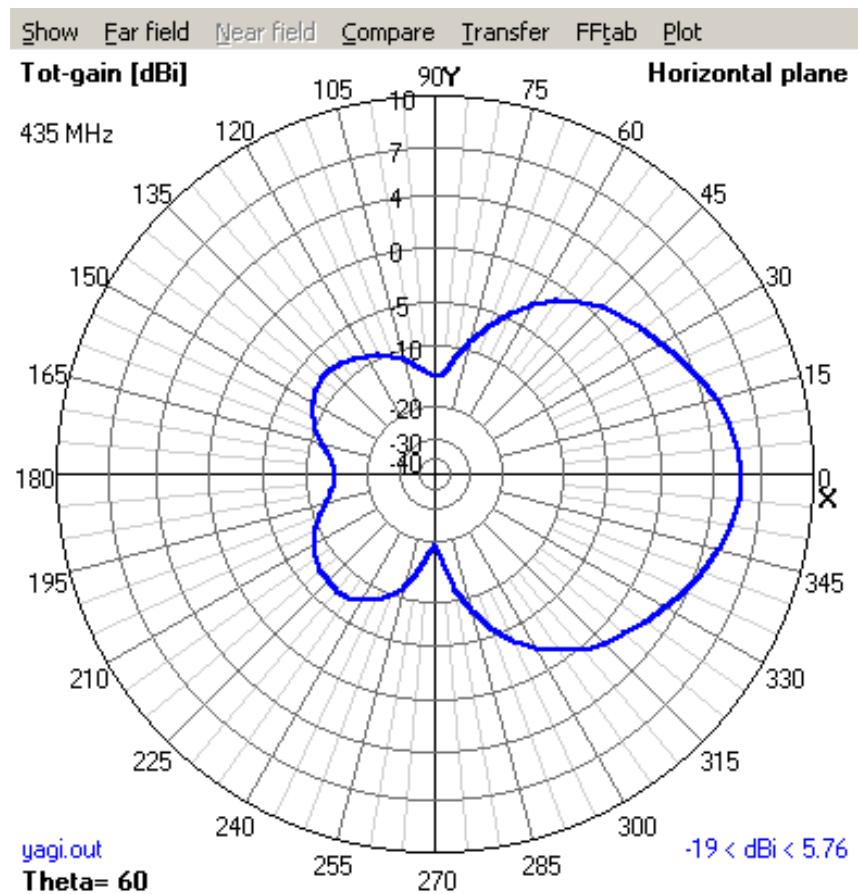
A tervező nem szolgált adatokkal a meghajtott elemről. Saját magam egy félhullámú dipólterveztem számolva a rövidülési tényezővel. Az általam használt elemek átmérője 6mm; így 0.92-es szorzót adtam hozzá a szabadtéri negyedhullámhoz. A hossz így 217mm-re adódott.



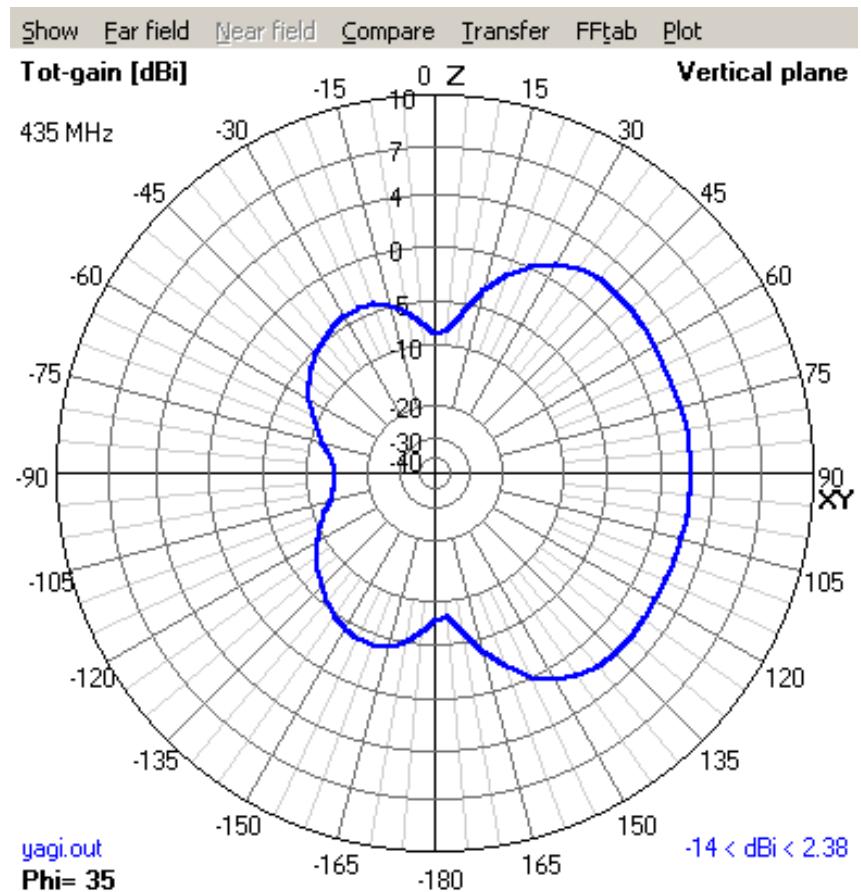
2.1. ábra. A DL6WU-féle internetes tervező értékei



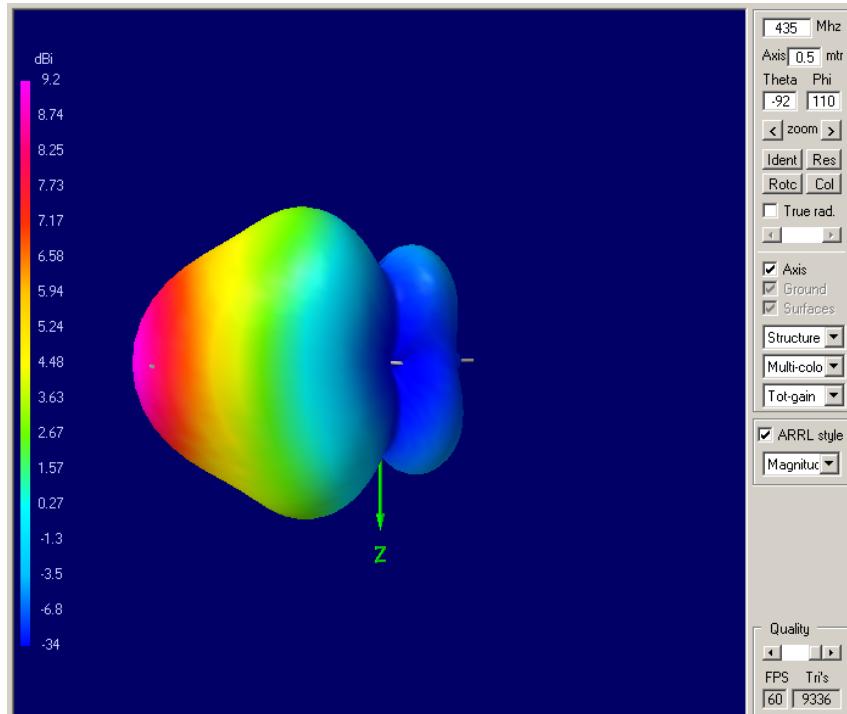
2.2. ábra. A DL6WU-féle internetes tervező geometriája



2.3. ábra. A DL6WU-féle antenna iránydiagramja vízszintes síkban



2.4. ábra. A DL6WU-féle antenna iránydiagramja függőleges síkban

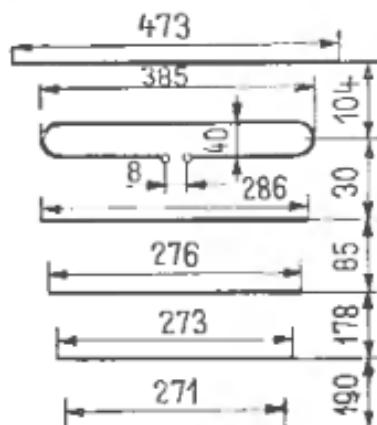


2.5. ábra. A DL6WU-féle antenna iránykarakterisztikája

2.1.2. Antennakönyv

24.3. Egy hatelemes Yagi-antenna 435 MHZ-re

Ez a hatelemes antenna az átmenet a hosszú Yagi-antennák felé. A kereken 9 dB antennanyereség nagyon kedvezővé teszi az anyagszükséglet és a teljesítőképesség arányát. A helyhez kötött állomásokon koaxiális kábellel érdemes táplálni. Ennek megvalósításához egy félhullámú kerülővezetéket kell csatlakoztatni a tápponthoz, ahogy a 24.1. alfejezetben már elmondottuk. A méretezésre vonatkozólag a 24.4. ábrán találjuk meg az adatokat.



24.4. ábra. Hatelemes Yagi-antenna a 70 cm-es sávra

Mechanikai és elektromos adatok

Az antennaclemek átmérője 6...10 mm

Az antenna hossza 590 mm

A táplált antennaelem kivitelezésére vonatkozólag lásd a 24.7.(b) ábrát

Talpponti ellenállása kb. 240Ω , szimmetrikus

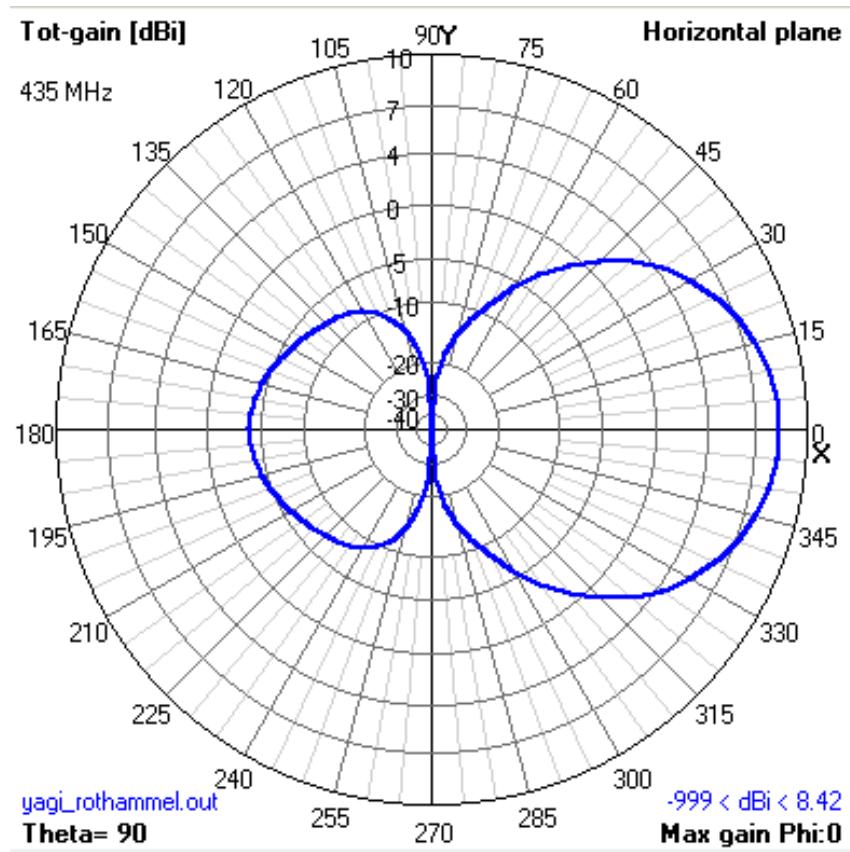
Az antennanyereség kb. 9 dB

A hátrasugárzási csílapítás kb. 15 dB

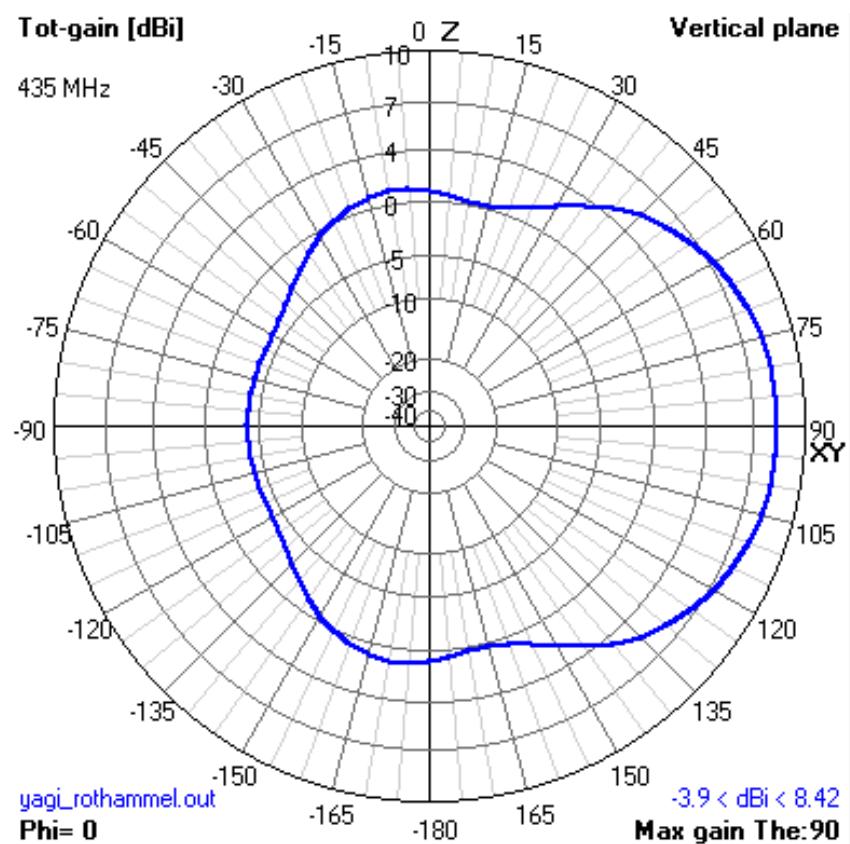
Vízszintes nyílásszög, $\alpha_E \approx 50^\circ$

Függőleges nyílásszög, $\alpha_H \approx 63^\circ$

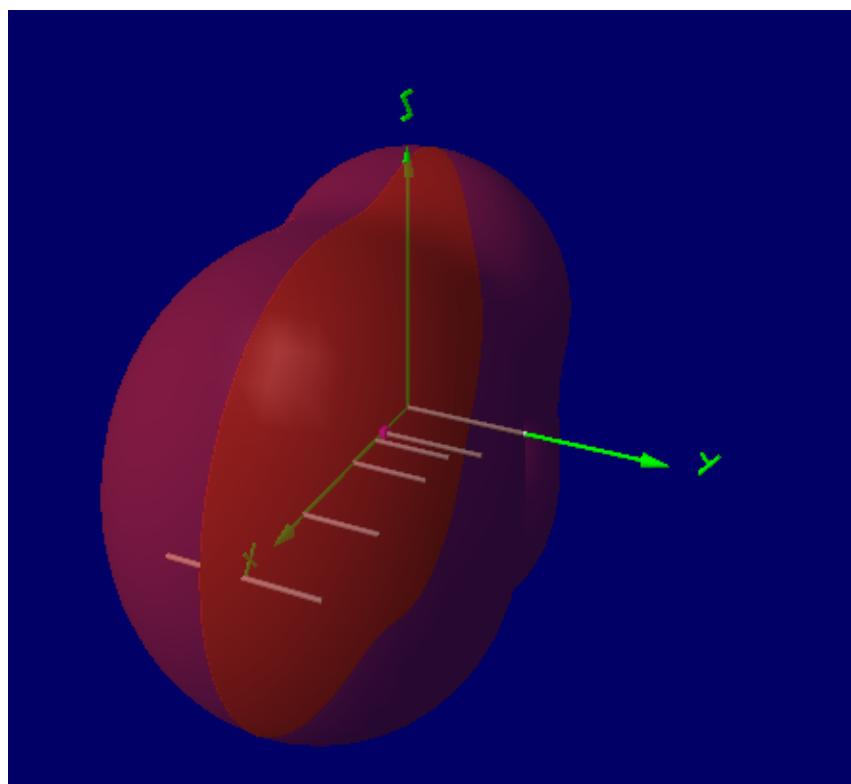
2.6. ábra. A Rothammel-féle könyvben található specifikáció



2.7. ábra. A Rothammel-féle könyvben található antenna horizontális iránydiagramja



2.8. ábra. A Rothammel-féle könyvben található antenna vertikális iránydiagramja



2.9. ábra. A Rothammel-féle könyvben található antenna iránykarakterisztikája

3. fejezet

Építés

Végül a DL6WU antenna mellett döntöttem, mert ahhoz rendelkezésre állt elegendő anyag.

3.1. Anyagok

Az építéshez a kollégiumban fellelhető 2cm élhosszúságú alumínium zárszelvényt használtam, valamint 6mm átmérőjű alumíniumcsöveket.

3.2. Megmunkálás

A zárt szelvényre két oldalról felmértem és pontoztam a méreteket, majd hármás fűrészárral egy oszlopos fűróval átfűrtam a zárt szelvényt. Amikor ezzel végeztem, akkor hatos fűrészárral pontosan kifúrtam minden két oldalról a furatokat. Ezekbe elhelyeztem a fűrésszel méretre vágott és reszelővel lesorjázott elemeket egyesével. A középreigazítás után pontozószerszámmal harmadkörívente körbepontoztam az elemeket minden két oldalról, ez mechanikailag jó rögzítést adott az antennának.



3.1. ábra. Kép az egyik direktor rögzítéséről



3.2. ábra. Kép az elkészült antennáról

3.3. Illesztés

Az illesztéshez Gamma tagot használtam. Az 50 ohmos koax kábelt (RG-58-as kivitelt) megcsupaszoltam. A köpenyt összesodortam, majd egy szemessaruba forrasztottam. A szemessarut egy menetvágóval megmunkált 3,5mm-es furatra helyeztem, majd M4-es csavarral rögzítettem. A meleg eret a dielektrikummal együtt egy alumíniumcsőbe helyeztem, amely megegyezett a tápláló dipól anyagával, azaz 6mm külső átmérővel és 3,75mm belső átmérővel rendelkezett. Távtartásra először a legkisebb Hilti-szalagot használtam, de ez nagynak bizonyult; végül lyukszállaggal rögzítettem a Gamma-tagot a meghajtott elemhez. A Gamma-tag szélességét úgy választottam meg, hogy a zártszelvényből kilógó rész feléig érjen.

3.4. Első mérés és további módosítások

Az első mérés során kiderült, hogy az antenna rezonanciája túl magas frekvencián van; Gamma-tagokkal nem tudtuk kihangolni az üzemi frekvenciára. Ez azt jelentette, hogy

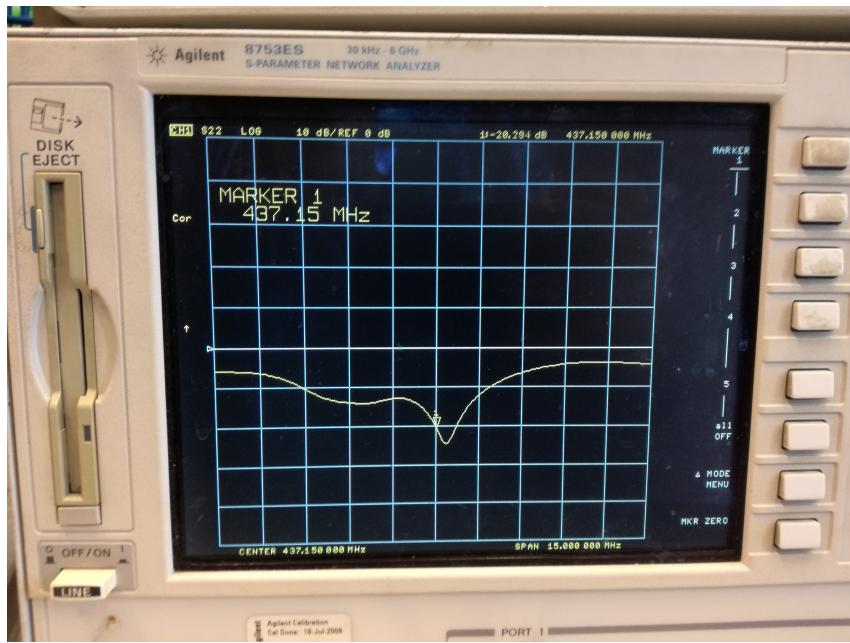


3.3. ábra. Kép a gamma-tag megvalósításáról

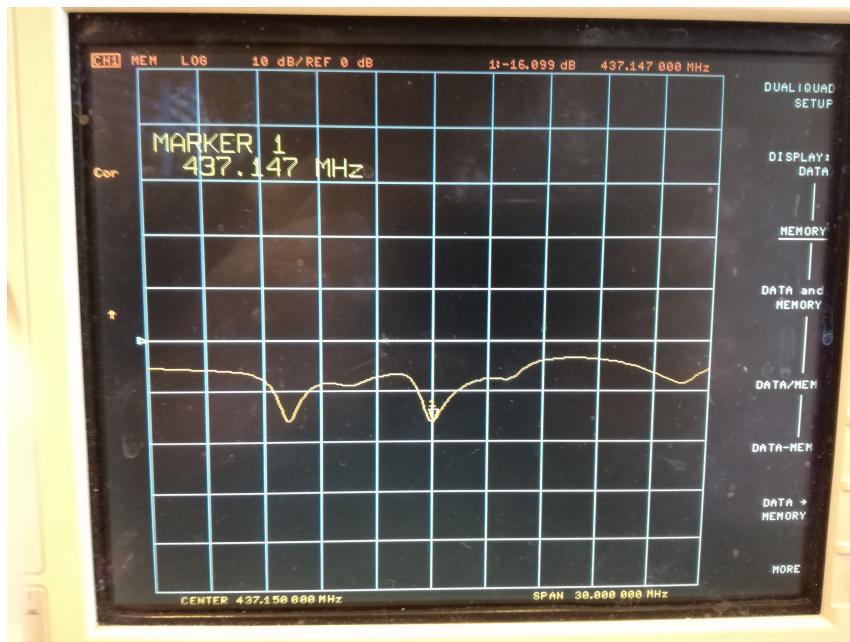
a meghajtott elem túl rövid lett. Orvoslásként menetet vágtam a dipól két végébe, majd hangolócsavarokat helyeztem oda. A hangolócsavarokkal egy hálózatanalizátor segítségével behangoltam a két oldal rezonanciáját, majd a Gamma-tagokkal megvalósítottam az illesztést.

3.5. Körpolarizáció előállítása

Az építés során két egymásra merőleges dipólt is elhelyeztünk a zártszelvényen, melyeket negyed hullámhosszal, valamint 1cm-rel tolunk el egymástól. Ezeket a tagokat egy egész hullámhosszú, illetve egy másfél hullámhosszú RG-58-as kábellel tolta el egymástól (számolva azzal, hogy a fény terjedési sebessége az RG-58-sa kábelekben 0,66 szorosa a szabad térben való terjedésnek), illetve itt a kábel hosszával visszakompenzáltam a szabad térben történő egy centiméteres ráhagyást. Amennyiben párhuzamba kötöttem volna a két kábel, úgy pontosan körpolarizációt kaptam volna főirányba (idális kisugárzást feltételezve), azonban a bemeneti impedancia 25 ohmra csökkent volna. Az energiaszétosztásra nem egy egyszerű párhuzamos kapcsolást használtam emiatt, hanem egy Wilkinson-hidat,



3.4. ábra. Vízszintes ági Yagi S11 görbéje hangolás után; a jelölő -20dB-en áll, a függőleges osztás 10 dB, a vízszintes 1,5 MHz

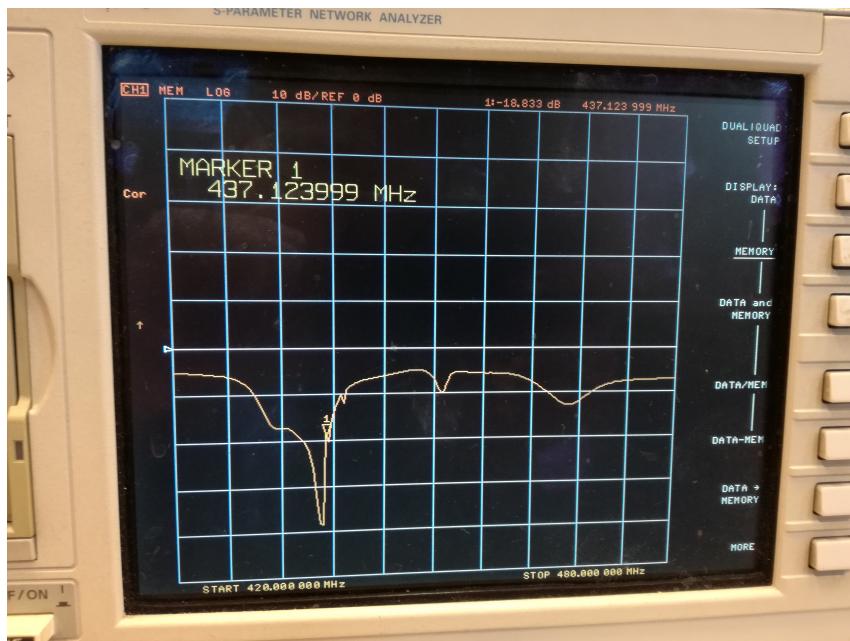


3.5. ábra. Függőleges ági Yagi S11 görbéje hangolás után; a jelölő -16dB-en áll, a függőleges osztás 10 dB, a vízszintes 1,5 MHz

amit 75 ohmos RG-59 kábelból valósítottam meg. Mivel a 75 nem pont $\sqrt{2}$ -szerese az 50-nek, ezért nem biztosított ez a megoldás tökéletes illesztettséget, a Gamma-tagokkal után kellett hangolni. Végül rövid játszás után sikerült kihangolni az energielosztó hálózattal együtt az antennámat.



3.6. ábra. Kép a Wilkinson-híd megvalósításáról



3.7. ábra. Körpolarizált Yagi S11 görbüje; a jelölő -18dB-en áll, a függőleges osztás 10 dB, a vízszintes 6 MHz

3.6. Körpolarizáció ellenőrzése

Szűcs tanárúrral kimentünk a V1 épület erkélyére, ahol egy spektrumanalizátorral és egy lineárisan polarizált dipóllal vettük az vizsgált antenna által kibocsájtott teljesítményt, amit egy Baofeng UV-5R kézirádióval tápláltam meg. 10 decibel eltérést tapasztaltunk a két polraizáció között, de nem volt negyvenöt fokonál minimum, azaz a megtáplálás közel körpolarizációt hoz létre, de van egy domináns lineáris komponens is, az antenna elliptikus polarizációjú.

Megjegyzem, hogy egy egyszerű detektorral (dipól közepébe helyezett LED) is próbáltuk ellenőrizni a polarizációt, azonban nem jártunk sikerrel. A két antennát eltoltuk

térben egymástól negyed hullámhosszal, emiatt a közelterük se került teljes fedésbe. Mivel nem volt közös közeltér, ahol tudtunk volna mérést végezni az említett detektorral, ezért nem tudtuk ezt a mérési formát használni.

4. fejezet

Éles próba

2019. december 6. este hét órakor kimentem az antennával és egy RTL-SDR rádióval a Gellért-hegyre, azonban nem sikerült vennem a SMOG-P első Magyarország feletti áthaladását, mert valószínű egyéb jelekkel túlvezéreltem a szoftverrádióm előfokozatát. Másnap reggel is megpróbáltam lekövetni, ekkor egy T elosztóval negyedhullámú tápvonalból egy rövidzárat kapcsoltam az antenna koaxkábelével párhuzamosan – mint sáváteresztő szűrőt –, de ekkor se sikerült a vétel. Egy jobb szűrő, és egy jobb LNA fejlesztése megoldja valószínű a problémát a közeljövőben.



4.1. ábra. Kép a negyedhullámú szűrőtagról

Köszönetnyilvánítás

Szeretném hálámat kifejezni a kollégiumi HA5KFU rádióamatőr kör tagjainak, amiért segítő kezet nyújtottak a mechanikai megmunkálás során, Szűcs László tanár úrnak a polarizáció megmerésében nyújtott segítésgéért, valamint Dudás Leventének a kivitelezéshez biztosított ötletekért, valamint az illesztéshez adott segítségéért.