

Yagi antenna szimulációja

Nyiri Levente

2026. január

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés	2
2. Elméleti ismeretek összefoglalása	3
3. Tervezés	4
4. Összefoglalás	10

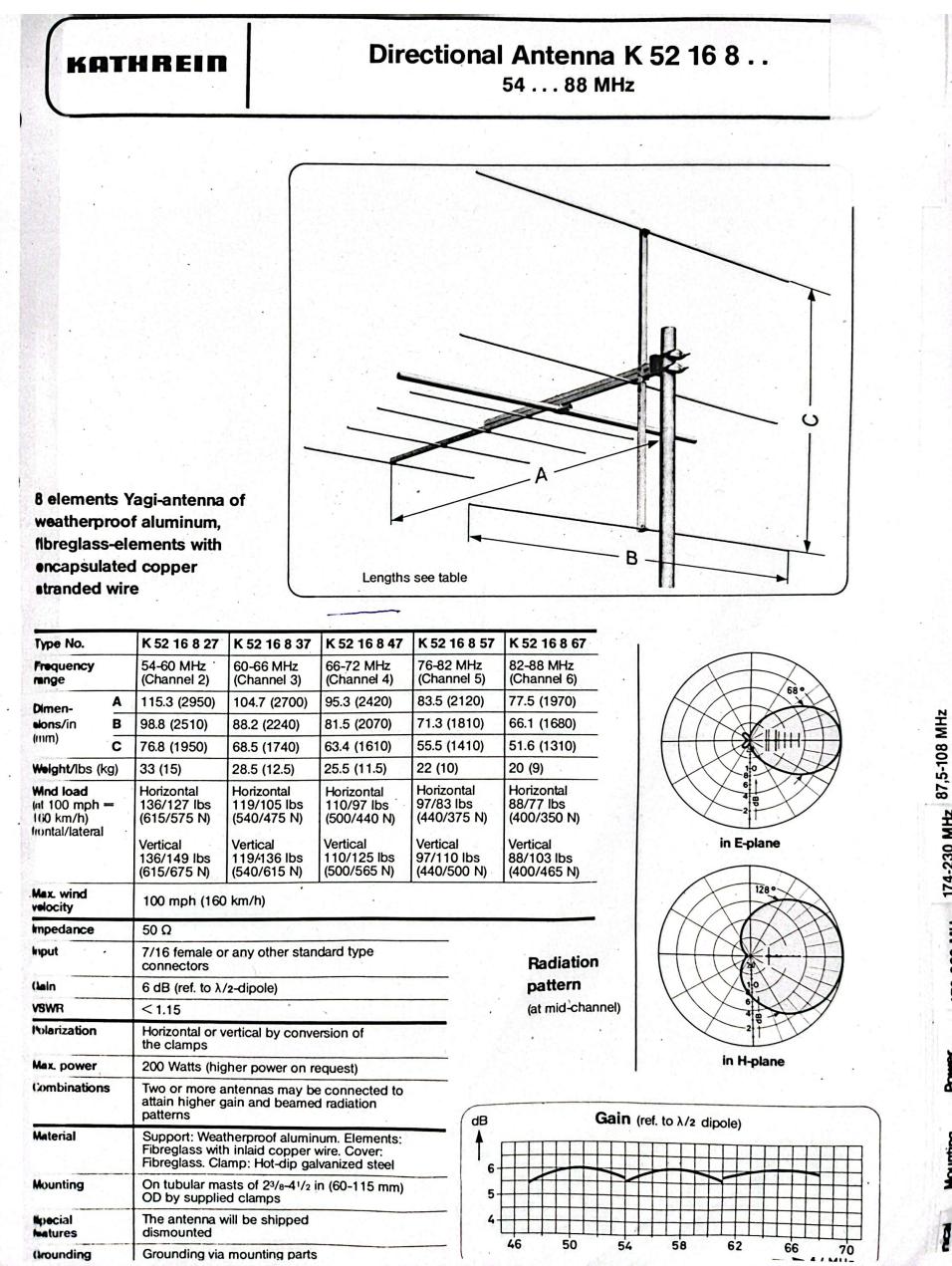
1. Bevezetés

A Yagi-Uda antennát Shintaro Uda és Hidetsuru Yagi találta fel az 1920-as években. Uda Yagi asszisztense volt, eredetileg eredményeiket japánul dokumentálta, így a világ többi részén csak akkor lett ismert, amikor Yagi leírta azokat angolul is. Annak ellenére, hogy kreditálta Uda munkáját, az antennára leggyakrabban csak Yagi antennaként hivatkoznak.

Ez egy antennarendszer, amelyben egy dipólantennát vesznek körül parazita elemekkel, hogy jobb irányítottságot érjenek el.

Az elmúlt évtizedekben ez lett a legelterjedtebb antenna TV vételére VHF és UHF sávokon.

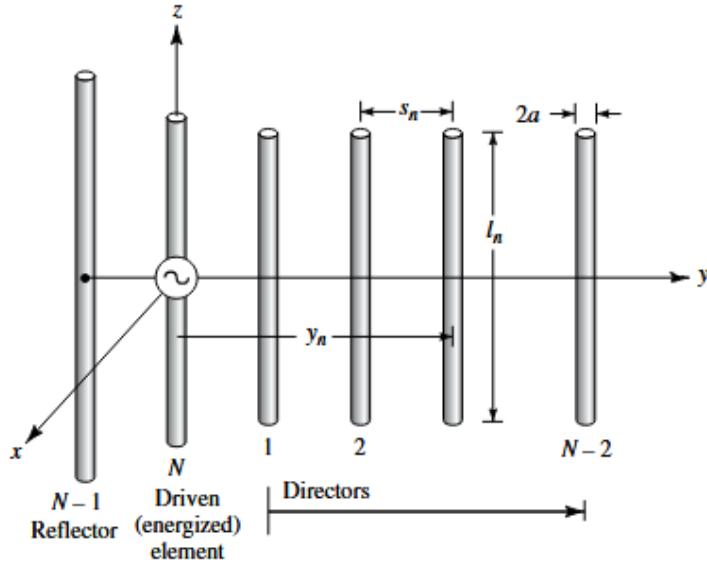
A feladatomhoz kaptam egy dokumentumot, amelyben különböző Yagi antenna dimenziók vannak megadva VHF sávon, ebből fogok kiindulni, egy 58 MHz-es antennát fogok tervezni a K 52 16 8 27-es oszlop alapján.



1. ábra. Antenna dimenziók

2. Elméleti ismeretek összefoglalása

Egy Yagi antenna 3 részből áll: egy reflektorból (ritkán alkalmaznak többet, mivel jelentősen nem javítja az irányítottságot az elemszám növelése, jelen esetben 3 elemből áll), egy táplált félhullámú dipólból (a továbbiakban DE, mint driven element-ként fogok rá hivatkozni) és egy vagy több direktorból. A felépítést a 2. ábra mutatja. A DE leggyakrabban egy hajlított dipólus, én a szimulációban egyszerű vezetéket alkalmaztam.



2. ábra. Yagi antenna általános felépítése [1]

A reflektor valamivel nagyobb, mint a DE, a direktorok pedig valamivel kisebbek.

A sugárzási irány a direktorok irányába mutat, és minél több direktort használunk, annál jobb az irányító hatás, bár egy bizonyos szám fölött már elhanyagolható a javulás, inkább több Yagi antenna egymás mellé rakásával szoktak függönyantennát létrehozni.

Mivel a reflektor hosszabb mint a DE, ezért az impedanciája induktív lesz, a direktoroké (mivel ők pedig rövidebbek) kapacitív. Ez egy fázisprogresszióhoz fog vezetni az antenna mentén, amely hasonló lesz egy haladóhulláméhoz, a DE terét a direktorok irányába fogja erősíteni.

A Yagi antennarendszerre tekinthetünk egy olyan struktúraként, amely egy haladóhullámot támogat, amelynek a teljesítménye az egyes elemek árameloszlásán és a fázissebességen múlik [1].

3. Tervezés

A tervezés során a céлом, hogy eredményképpen egy olyan antennát kapjak, amely tükrözi a(z) 1. ábrát, tehát:

- **VSWR:** < 1.15 .
- **Gain:** Legalább 6 dBi.
- **Bemeneti impedancia:** 50Ω .
- **Iránykarakterisztika:** A 1. ábrához hasonló.

Az adott értékek:

Szimbólum	Leírás	Érték[m]
A	Reflektor és utolsó direktor távolsága	2.95
B	Reflektor hossza	2.51
C	Reflektorok távolsága Z síkban	1.95

1. táblázat. Az adott dimenziók

A szimulációt szabadtérben végeztem, a vezető anyagának rezet adtam meg, a kábelek sugarát 0.0025λ -nak választottam.

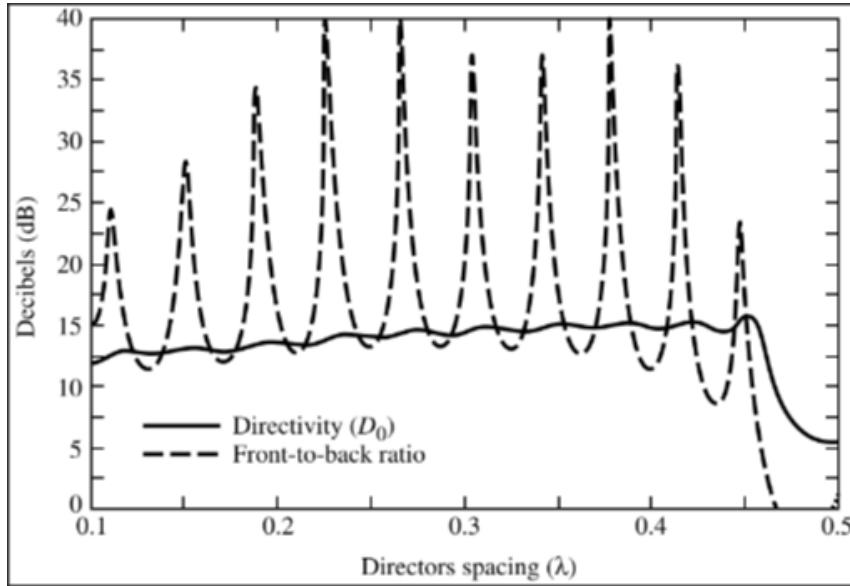
Parazitikus elemek jelenlétében a DE optimális hossza nem pontosan 0.5λ , hanem valahol $0.45\text{-}0.49\lambda$ között van [1].

Bár az "Antenna Theory Analysis and Design" könyv azt írja, hogy tipikusan a direktorok között $0.3\text{-}0.4\lambda$ hely van, ez jelen esetben nem megvalósítható, mivel a reflektor és az utolsó direktor közti távolság adott, és túl nagy lenne a lépésköz. Más forrásokban azt találtam, hogy $0.25\text{-}0.05\lambda$ között távolságokat gyakran alkalmaznak [2].

Az optimális tervhez a direktorok közötti távolság nem konstans. Kiindulásképpen beállítottam ezeket a távolságokat megfelelő kompromisszumnak tünnő értékekre.

A Chen és Cheng által publikált optimalizálási eljárását látva [3], illetve figyelembe véve, hogy a front-to-back ratio milyen érzékeny a direktorok távolságára (lásd 3. ábra), a 4nec2 optimizer használatával finomhangoltam ezeket a paramétereket. Először csak az SWR-re és a reaktanciára egyenlő súlytalannal futtattam csak a direktorok távolságára. A következő futtatásnál megadtam paraméternek a DE és a direktor hosszát is, a DE és a reflektor távolságát, és a DE-direktor illetve a direktorok távolságát. Ezúttal előre-hátra viszonyra, SWR-re és reaktanciára egyenlő súlyokkal optimalizáltam.

Az eredeti és az optimalizált értékeket a 2. táblázat mutatja.



3. ábra. Front-to-back ratio érzékenysége a direktorok távolságaira [1]

Paraméter	Eredeti érték	Optimalizált érték
Sugárzó hossza (DE)	0.48λ	0.48λ
Direktorok hossza	0.45λ	0.45λ
Reflektor-DE távolság	0.15λ	0.2λ
Sugárzó-D1 távolság	0.15λ	0.15λ
D1-D2 távolság	0.1λ	0.083λ
D2-D3 távolság	0.08λ	0.054λ
D3-D4 távolság	0.06λ	0.062λ

2. táblázat. A Yagi antenna eredeti és optimalizált paraméterei

Optimalizálás előtt a VSWR 4.45 volt, utána 1.14, tehát jelentősen javult a geometriának az enyhe módosításával, anélkül, hogy a nyereséget negatívan befolyásolta volna. Az is látszik, hogy a DE és a direktorok hossza nem változott (illetve csak olyan csekély mértékben, hogy λ -ban kifejezve elhanyagolható).

A reflektor és a DE távolsága főként az előre-hátra viszonyra és a bemeneti impedanciára van hatással [1], szóval kíváncsiságból minden mást változatlanul hagyva megváltoztattam a reflektor-DE távolságot 0.2λ -ra, és már így is 2.4-re javult a VSWR.

A következő ábrákon a frekvenciafüggvényében látható az SWR (5. ábra), a nyereség, front-to-back és front-to-rear ratio (6. ábra), valamint az impedancia (7. ábra).

A 8. ábrán látható az iránykarakterisztika.

Az utánuk következő ábrákon pedig az antenna 3D modellje, az egyes szegmenseken folyó áramok nagysága és fázisa (9. ábra), valamint a távoltér 3D reprezentációja látható (10. ábra).

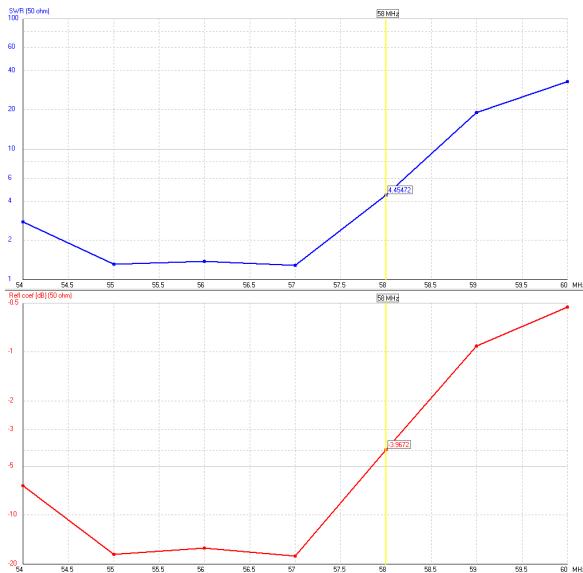
Filename	Yagi_Nyiri-Levente_E	Frequency	58	Mhz
Voltage	$57.9 + j0 \text{ V}$	Current	$1.73 - j2.24 \text{ A}$	
Impedance	$12.5 + j16.2$	Series comp.	169.4	pF
Parallel form	$33.5 // j25.8$	Parallel comp.	106.4	pF
S.W.R.50	4.45	Input power	100	W
Efficiency	99.3 %	Structure loss	695.8	mW
Radiat-eff.	98.98 %	Network loss	0	uW
RDF [dB]	9.47	Radiat-power	99.3	W

(a) Eredeti adatokkal mért eredmények

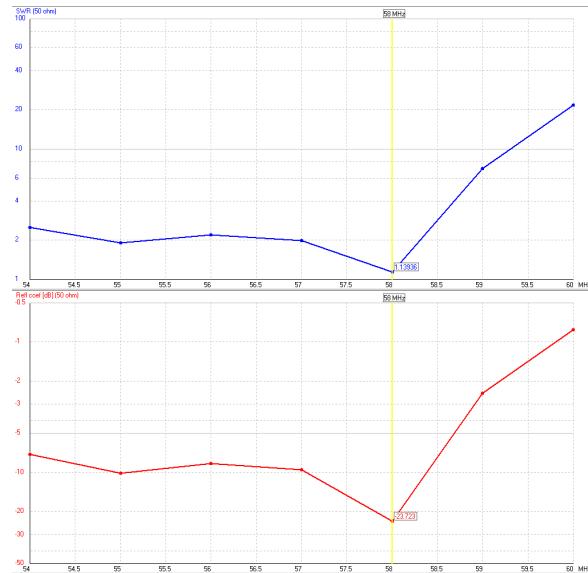
Filename	Yagi_Nyiri-Levente_O	Frequency	58	Mhz
Voltage	$66.2 + j0 \text{ V}$	Current	$1.51 - j6e-3 \text{ A}$	
Impedance	$43.9 + j0.17$	Series comp.	15750	pF
Parallel form	$43.9 // j1.e4$	Parallel comp.	0.248	pF
S.W.R.50	1.14	Input power	100	W
Efficiency	99.59 %	Structure loss	406.4	mW
Radiat-eff.	99.27 %	Network loss	0	uW
RDF [dB]	9.5	Radiat-power	99.6	W

(b) Optimalizált adatokkal mért eredmények

4. ábra. Eredeti és optimalizált állapot

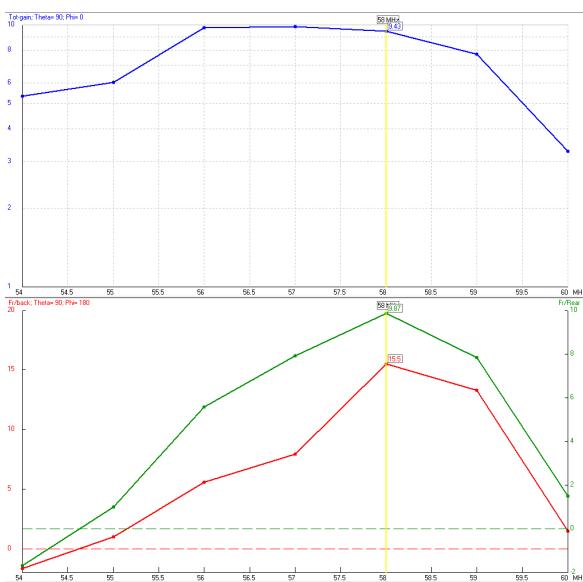


(a) Eredeti

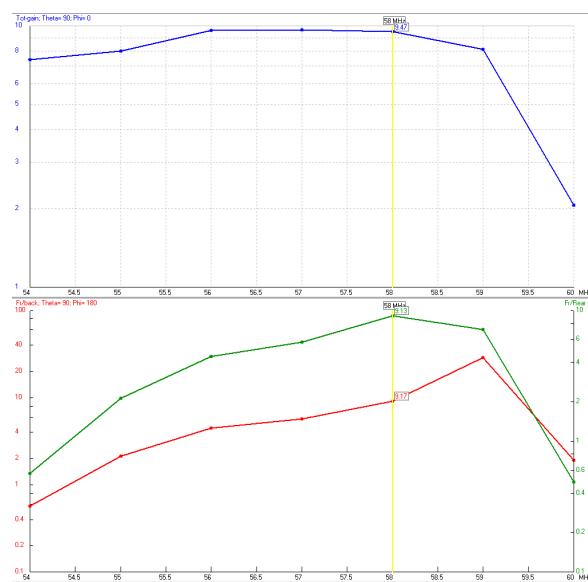


(b) Optimalizált

5. ábra. Eredeti és optimalizált SWR és reflexiós tényező frekvencia függvényében

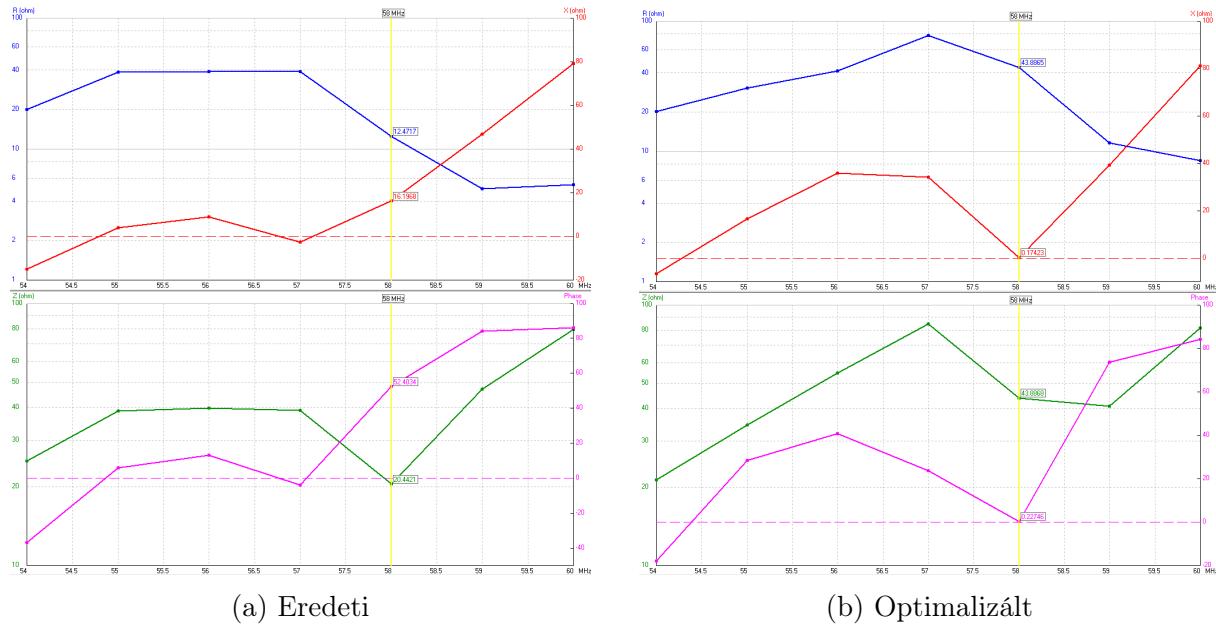


(a) Eredeti

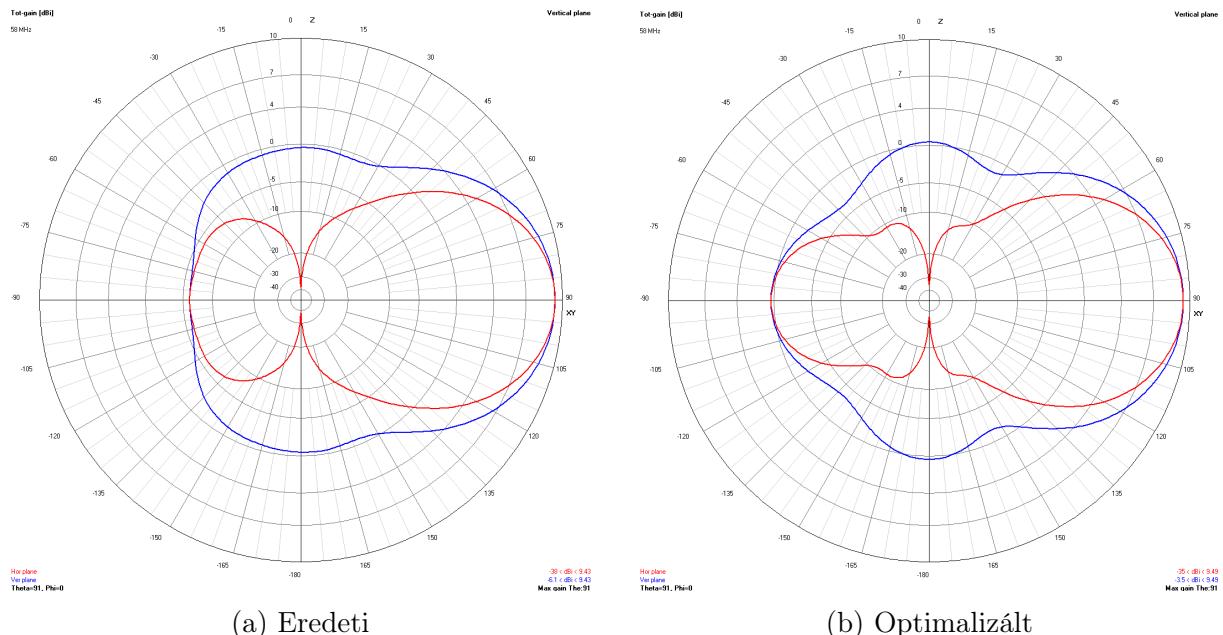


(b) Optimalizált

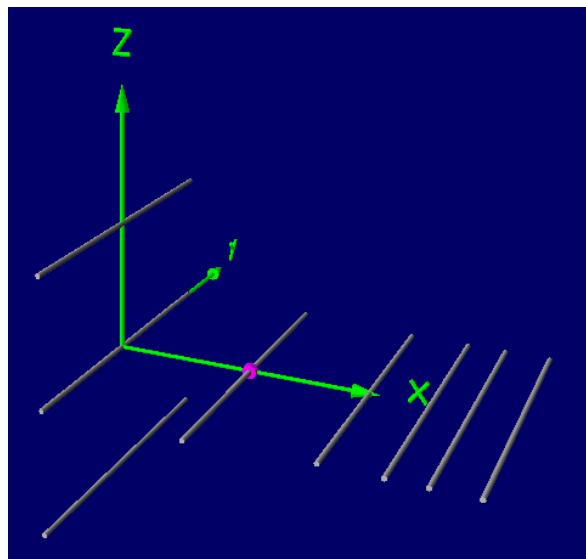
6. ábra. Eredeti és optimalizált nyereség és F/B valamint F/R



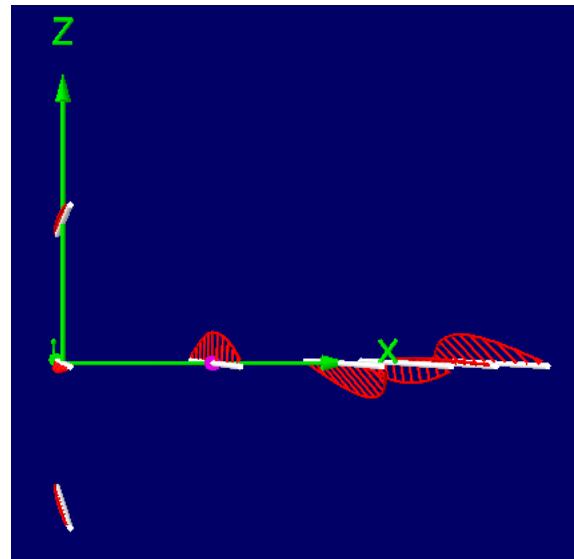
7. ábra. Eredeti és optimalizált ellenállás, reaktancia, impedancia és fázis



8. ábra. Eredeti és optimalizált iránykarakterisztika

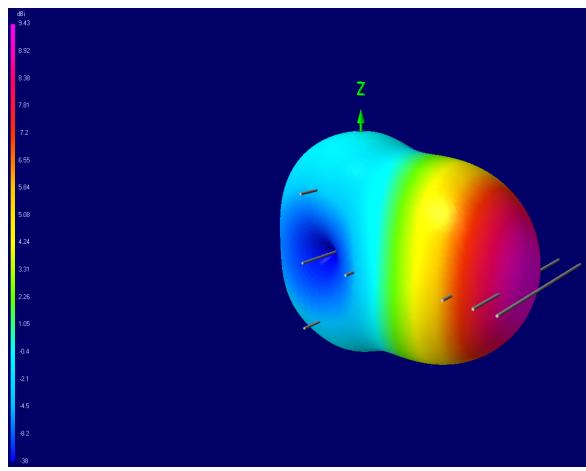


(a) 3D modell

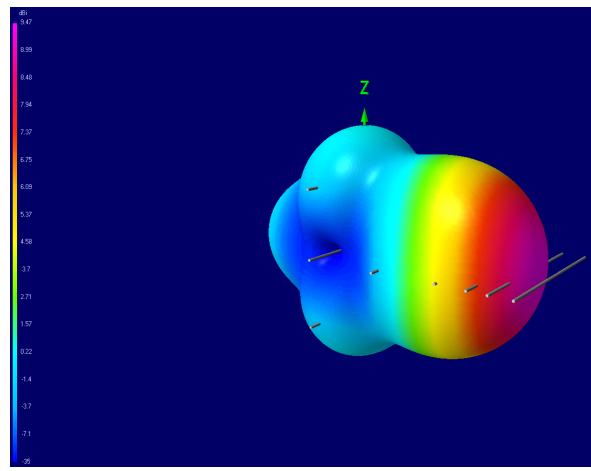


(b) Áram nagysága és fázisa

9. ábra. 3D modell és a szegmenseken folyó áramok



(a) Eredeti



(b) Optimalizált

10. ábra. Távoltér 3D szimulációja

Eredmények értékelése

Az 6. és 8. ábrán látszik, hogy az optimalizálás során romlott az előre-hátra viszony, 15.5dB-ről 9.17dB lett. Ez sajnos egy kompromisszum amit el kell fogadnunk az SWR javulásáért cserébe.

A 9b. ábrán jól látszik, hogy a reflektoron $\sim -120^\circ$ a fázis, az első direktoron pedig $\sim 120^\circ$, tehát a reflektornak induktív, a direktornak kapacitív az impedanciája.

A célkitűzés az volt, hogy a VSWR legyen kisebb mint 1.15, a Gain nagyobb mint 6dBi, bemeneti impedancia 50Ω és az 1. ábrához hasonló legyen az iránykarakterisztika.

A kitűzött és az elért értékeket a következő táblázat mutatja.

Paraméter	Kitűzött érték	Elért érték
VSWR	<1.15	1.14
Gain	>6dBi	9.47dBi
Bemeneti impedancia	50Ω	43.89Ω
Θ_E	68°	62°
Θ_H	128°	50°

3. táblázat. Eredmények

A nyereség és a VSWR kiváló lett, a főnyalábszélességekkel is elégedett vagyok (hacsak nem kifejezetten cél, hogy H síkban nagyobb legyen), az előre-hátra viszony nem éri el a várt értéket.

4. Összefoglalás

A projekt során egy 58 MHz-es Yagi-Uda antenna tervezését és szimulációját végeztem el a 4nec2 szoftver segítségével. A tervezési folyamat során egy gyári specifikáció (Kathrein) adataiból indultam ki.

Először irodalomkutatást végeztem, olvastam az "Antenna Theory Analysis and Design 3rd edition" c. könyv releváns szekcióit és egyéb online elérhető forrásokat a Yagi-Uda antenna tervezéséről. Utánanéztem a feltalálásának a történelményeket.

Mikor úgy éreztem, hogy megfelelően utánajártam, elkészítettem 4nec2-ben egy kezdeti geometriát, majd ezt a beépített lehetőségek segítségével optimalizáltam.

Összességen elégedett vagyok az eredményekkel, az előre-hátra viszonytól eltekintve, ami egy 8 elemes Yagi antennához képest jelentősen elmarad a várt értéktől.

Hivatkozások

- [1] C. A. Balanis, *Antenna Theory: Analysis and Design*, 3rd. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2005, ISBN: 978-0471667827.
- [2] Telecom Training, *Yagi-Uda Antenna Design: Steps by step guide*, YouTube videó, Közzétéve: 2024. október 23. Megtekintve: [Dátum], 2024. okt. cím: <https://www.youtube.com/watch?v=PglR3pEFdDk>.
- [3] D. K. Cheng és C. A. Chen, „Optimum Spacings for Yagi-Uda Arrays”, *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 21. évf., 5. sz., 615–623. old., 1973. szept. DOI: 10.1109/TAP.1973.1140561.