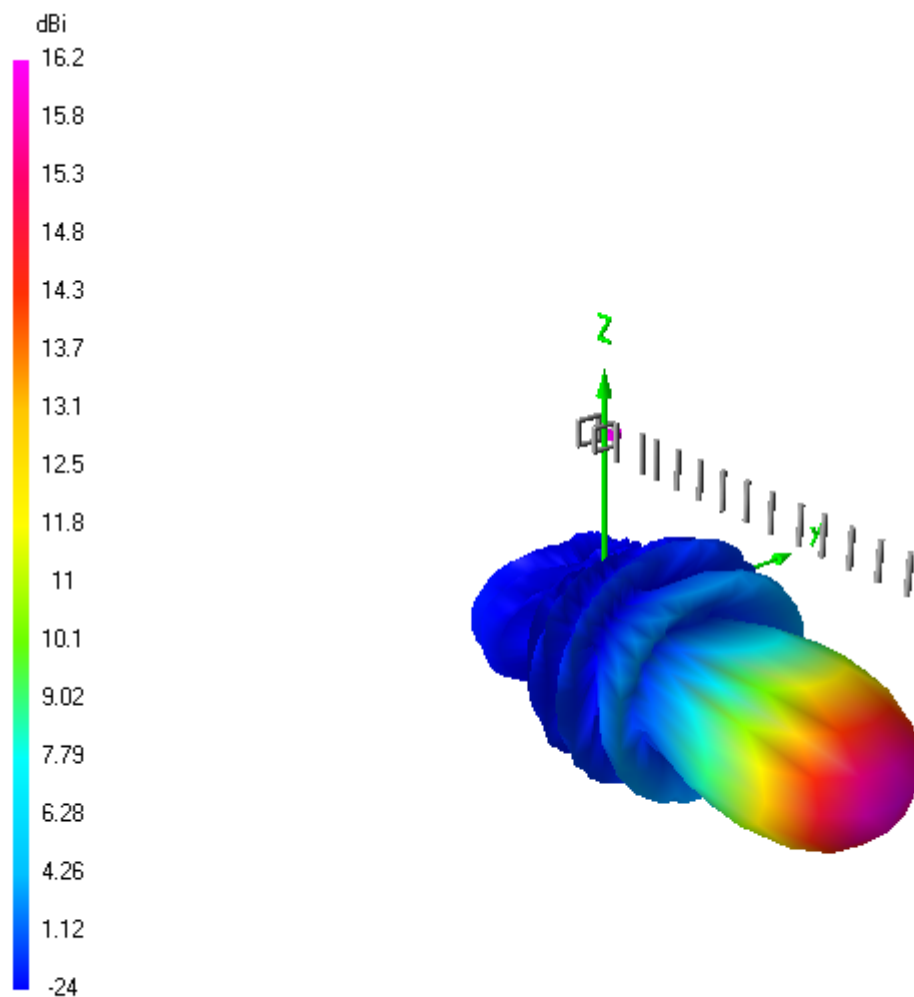


A quagi skálázhatósága

Az antenna viselkedése az elemek számának függvényében

A dokumentum utolsó módosításának időpontja: 2010.03.01.



Készítette: andorpapa

e-mail: mecsekpnr@freemail.hu

A dokumentumra érvényes licenz (kattints a lenti ábrára):



Bevezető

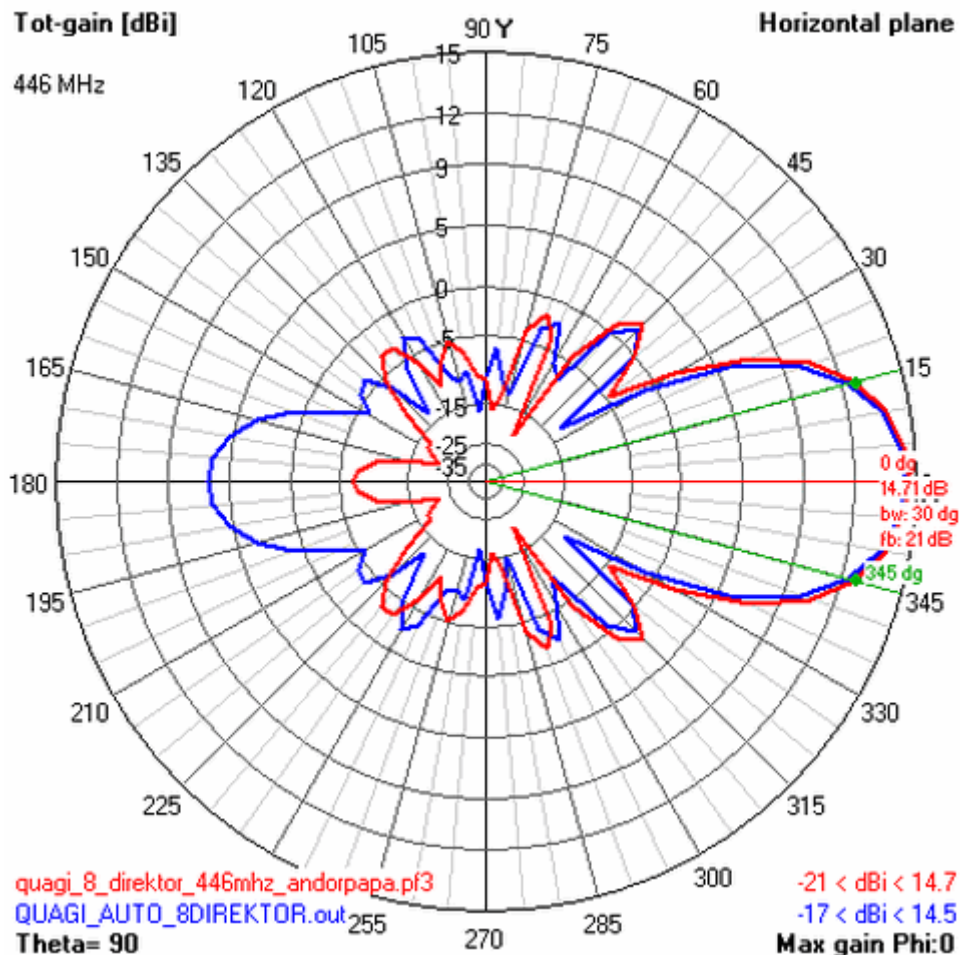
Legutóbbi írásomban ([6 elemes quagi PMR-hez](#)) bemutattam, hogyan lehet olcsón, nagy nyereségű irány szelektív antennát építeni a 446 MHz-es PMR sávra. A quagi antennát a '70-es években két rádióamatőr fejlesztette ki, a méretezés a mai napig az általuk megadott értékek alapján történik, én is ezeket vettem figyelembe, csupán az eltérő anyaghasználat miatt volt szükség egyéni méretek kikísérletezésére. Az igazsághoz hozzátartozik az a tény, hogy az eredeti méreteket 8 elemes quagira határozták meg, én praktikus okokból döntöttem a 6 elemes antenna mellett. Az általam épített verzió ennek ellenére jól működik, ami azt sejteti, hogy az elemszám bizonyos határok között szabadon variálható. Ebben az írásban tehát arra keresem a választ, hogy milyen mértékben változnak az antenna tulajdonságai a direktorok számának változtatásával. A legfontosabb paraméterek (nyereség, F/B arány, nyílásszög stb) vizsgálata egyben összevethetőséget is biztosít a hasonló elven működő egyéb antennák, jellemzően a yagik viselkedésével, továbbá segítene annak meghatározásában, hogy mely elemszámok esetén optimális a quagi kialakítása.

Figyelem! A most következő írás a gyakorlati méréseken (SWR mérés) túl jellemzően számítógépes modellezés eredményei alapján von le következtetéseket, így azok nem feltétlenül felelnek meg a valós körülmények között megfigyelhető jelenségeknek! Úgy is fogalmazhatnánk, hogy a következőkben a quagikkal kapcsolatos teóriámat fejtem ki, melynek igazolásához nagyon sok további mérésre lenne szükség. Ettől függetlenül remélem, hogy ez az elmélkedés hasznos lehet a quagik iránt komolyabban érdeklődő rádiósoknak. Először tehát megvizsgáljuk a quagi méreteit, majd az SWR alakulását az elemszám függvényében. Számítógépes modellezés segítségével megnézzük, hogy a direktorok száma hogyan befolyásolja a sugárzási karakterisztikát, majd a kapott eredményt összehasonlítjuk egy klasszikus yagi típusú antennával.

A quagi méreteiről

A quagi méretezését a 2 méteres és a 70 centis amatőrsávra adták meg, valamint 446 MHz-re is. Az eredeti leírás mindegyik esetben 8 elemes antennát említ, tehát a két quad elem mellett 6 direktorról van szó. Később meghatározták a 15 elemes quagi méreteit is, de ezt csak a 432 MHz-es és az 1296 MHz-es változatra tették meg. Szerencsére a 15 elemes, 432 MHz-es verzió méreteiből elég könnyen származtatható a 8 elemes, 446 MHz-es antennához hozzáadandó 7. és 8. direktor mérete és távolsága. A számítógépes szimuláció azonban azt mutatja, hogy az így előállított, PMR sávra szánt 10 elemes quagi sugárzási jelleggörbéje nagyon távol áll az optimálistól: sem a nyereség nem éri el a konstrukcióból kihozható maximumot, sem az F/B arány (előre-hátra viszony) nem üti meg az elfogadható szintet. Emiatt a 10 elemes quagi 7. és 8. direktorának távolságát magam határoztam meg, a 8 elemes quagi tulajdonságaiból kiindulva. A 8 elemes antennáról tudjuk, hogy minden direktor 1.5 mm-rel rövidebb az azt megelőzőnél, így ezt a tendenciát folytattam én is az utolsó 2 elem meghatározásában. Az is látszik az eredeti 8 elemes változat méretezéséből, hogy az utolsó 3 elem egyforma távol van egymástól, így ezt az elvet is megtarottam, tehát a saját 10 elemes verziómnál minden direktor 1.5 mm-rel rövidebb a megelőzőnél, valamint az utolsó 6 direktor (tehát a harmadiktól egészen a nyolcadikig) egyenlő térközzel követi egymást. Az ötlet nem saját, hasonló elgondolással találkozhatunk több yagi típusnál is, melyek jellemzően 10-18 elemmel rendelkeznek (az amatőrrádiós körökben elég sok ilyen yagi konstrukció ismert).

Az így méretezett quagi a számítógépes modellezés szerint jobb paraméterekkel bír: sokkal nagyobb az F/B arány (8 helyett 21 dB), és a nyereség is minimálisan ugyan, de nagyobb (0.2 dB). Az alábbi ábrán együtt látható az eredeti méretezés (kék színnel), valamint a saját méretezésem (piros színnel) alapján készült horizontális jelleggörbe. A továbbiakban mindig a saját méretek alapján modellezett antennát értem a 10 elemes quagi említésekor.



Az SWR és a direktorok számának kapcsolata

Az iménti bűvészkedés láttán jogosan teheti fel bárki a kérdést: teljesen szabadon lehet variálni a quagi direktorainak számát? A válaszhoz célszerű megvizsgálni az állóhullámarány, vagyis az SWR változását az elemszámok függvényében. Ehhez viszont nem árt tudni, hogy a yagi és quagi antennák 3 fő részre oszthatók: gerjesztési centrum, átmeneti zóna és hullámvezető-rendszer. A gerjesztési centrumot értelemszerűen a sugárzó és a reflektor alkotja, az átmeneti zóna pedig azokat a direktorokat tartalmazza, melyek a gerjesztési centrum és a sugárvezető-rendszer közötti sugárzási illesztést végzik. Röviden és tömören arról van szó, hogy a talpponti impedanciát elsősorban a gerjesztési centrum és az átmeneti zóna határozza meg, a hullámvezető-rendszer nincs hatással rá. Ebből az következik, hogy a hullámvezető-rendszert alkotó direktorok száma tetszőleges módon változtatható, az antenna illesztettségét nem befolyásolják, csak az elérhető nyereséget és a nyílásszöget (valamint a számítógépes modellezés szerint az F/B arányt). Az elemszám variálhatóságához tehát meg kell vizsgálni, hogy direktorok elvételével vagy hozzáadásával változik-e, és ha igen, milyen mértékben az SWR.

Az eljárás egyszerű: egy kész, SWR minimumra hangolt quagiról egyesével le kell szedni a direktorokat, és meg kell figyelni, hogy melyik direktor eltávolítása után ugrik meg jelentősen az SWR. Így meghatározható az is, hogy mely elemek eltávolítása nem befolyásolja még a talpponti impedanciát – ezek már nyilvánvalóan kívül esnek az átmeneti zónán, vagyis ezek után tetszőleges mennyiségű direktor adható a rendszerhez. Ez az elgondolás képezi a skálázhatóság alapját.

Az SWR méréshez egyelőre csak a korábban elkészített, mostanra pontosan 446 MHz-re hangolt, 6 elemes (4 direktoros) quagit tudtam felhasználni. A mérés során egyesével eltávolítottam a direktorokat. Minden felállásban vizsgáltam a PMR sávon mérhető értéket, valamint azt is, hogy melyik frekvencián minimális az SWR. Az alábbi táblázatban foglalom össze az eredményeket.

Direktorok száma	SWR (446 MHz)	SWR minimum (frekvencia)
0	2,3	435-438 MHz
1	1,3	447-449 MHz
2	1,4	449 MHz
3	1,2	449 MHz
4	1	446 MHz

1. táblázat - Az SWR és a quagi elemszáma közti összefüggés

Az mérésekből az látszik, hogy a 446 MHz-re hangolt antenna állóhullámaránya és rezonanciafrekvenciája már egyetlen elem eltávolításával is megváltozik, de nem nevezhető drasztikusnak a különbség az így kapott 3-6 elemes quagik között. A nagy ugrás az 1. direktor eltávolításakor következik be, ekkor az SWR is elfogadhatatlanul magas értéket vesz fel, valamint a rezonanciafrekvencia is 10 MHz-cel mászik el. Ahogy csökken a direktorok száma, egyre laposabb lesz az SWR görbe, vagyis egyre nehezebb megnevezni egy konkrét frekvenciát, ahol minimális az állóhullámarány. Az 1 direktoros és a csupasz quad sugárzó-reflektor páros esetében ez nem is lehetséges, több MHz-es tartományban nem változik az SWR. Fontos megemlíteni, hogy 2-4 direktor esetében még található 1.1 körüli SWR érték, a 0 és 1 direktoros felállásban már nem, így az utóbbi 2 variációról egyértelműen kijelenthető, hogy már nem alkotnak tökéletes quagi rendszert. Ebből két következtetést vonok le:

- Az eredeti méretezés alapján megépített quaginak legalább 4 elemesnek (2 direktor) kell lennie, de valószínűleg a 4 elemes változat sem tudja elérni a szimulációban meghatározott tulajdonságokat. A méretek variálásával azonban előállítható előnyös tulajdonságú quagi, hiszen a tisztán quad elemekből álló irány sugárzók (a direktorok is quadok) igen változatos elemszámmal készülnek és kiválóan teljesítenek.
- A quagi átmeneti zónája legalább a 3-4. direktorig tart. A vizsgálathoz jobb lenne egy 8-10 elemes quagi, mivel a yagiknál sokszor a 4. direktortól kezdve már a hullámvezetési-rendszerről beszélhetünk, de egy 4 direktoros quaginál ez nem állapítható meg egyértelműen. Annyi biztosan látszik, hogy a 4. direktor elhagyásával még mérhetően változik az SWR és a rezonanciafrekvencia is.

Az átmeneti zóna határának meghatározásában segítségünkre lehet az eredeti méretezés is: a quagi kifejlesztői a 15 elemes antennát úgy hozták létre, hogy a 8 elemes változatot megtoldották 7 darab direktorral, miközben az első 8 elem (sugárzó, reflektor és 1-6. direktor) semmit sem változtattak. Ebből arra lehet következtetni, hogy a 8. elem (6. direktor) után már garantáltan szabad a vásár, tetszőleges mennyiségű direktor illeszthető a quagihoz, tehát az átmeneti zóna határa valahol a 3. és a 8. elem között található. A további direktorok távolságának meghatározása azonban - ahogy az már az 1. ábrán is látható volt- nem mellékes.

A skálázhatóságról általában

A netes antennaépítő leírások általában fix elemszámmal dolgoznak, vagyis a készítők nem foglalkoznak az elemszám variálásával elérhető változásokkal. Minket azonban sokszor csak a konstrukció érdekel, az elemszámot praktikus okokból meg akarjuk változtatni, pl. kisebb, könnyen szállítható antennát szeretnénk, vagy ellenkezőleg, nagyobb nyereséget kívánunk elérni. Ilyenkor

nem árt tudni, hogy az adott konstrukció milyen skálázhatóságot biztosít, vagyis az elemszám (és ezzel az antennahossz) arányában hogyan változik a nyereség, vagy a másik irányból megközelítve: adott nyereség eléréséhez hány elemből kell megépíteni az antennát. Ezekre a kérdésekre adhat választ a skálázhatóság, amit számítógépes modellezés útján tudunk részletesen megismerni. Az elemszám-nyereség függvényen kívül nem árt figyelembe venni az elemszámmal együtt változó sugárzási jelleggörbét is, hiszen olyan fontos paraméterek változnak a direktorok számának variálásával, mint az F/B arány és a nyílásszög.

Aki már nézegette a kereskedelmi forgalomban kapható yagi antennák adatlapjait, valószínűleg nem lepődik meg azon, hogy a nyereség nem egyenesen arányos az antennahosszal, tehát kétszer nagyobb antennához nem tartozik kétszer akkora nyereség. Emiatt minden konstrukciónak van egy észszerű határa, amely fölött már nem érdemes tovább bővíteni az antennát, mivel a nyereség csak nagyon kis mértékben nő, a boomhossz viszont kezelhetetlenül nagy lesz. Ez a határ is jól meghatározható az elemszám-nyereség függvény segítségével. Yagi típusú antennáknál 20 elemnél többet ritkán alkalmaznak, de a hétköznapi felhasználási területeken maximum 10 körül van az elemek száma. Természetesen ez a kijelentés csak a 70 centis hullámhosszra, vagyis a 400 MHz-es tartományra érvényes. A skálázhatóságot részletesen a 10 elemes határig vizsgáljuk, e fölött csak szemléltető jelleggel nézzük meg, hogyan változik a nyereség.

A quagi skálázhatósága

A quagi építését bemutató írásból láthattuk, hogy olcsón lehet kis elemszámú, nagy nyereségű antennát építeni, azt azonban nem vizsgáltuk, hogy hol a határ, mekkora quagit érdemes építeni, illetve mely elemszámok esetén optimális a nyereség/antennahossz arány. Ráadásul azt is célszerű megnézni, hogy nem kínálnak-e más antenna konstrukciók jobb skálázhatóságot. Az összehasonlítás alapja a nagyon elterjedt DL6WU yagi lesz, melyet long yagiként is emlegetnek, mivel a konstrukció elsősorban a nagy elemszámú, hosszú antennák esetében optimális, de a hétköznapi tapasztalat azt mutatja, hogy kisebb méretben is megállja a helyét. A DL6WU egyebek mellett annak köszönheti népszerűségét, hogy a névadó rádióamatőr konkrét formulákat adott meg a kialakítást illetően, így külön szoftver és internetes kalkulátor is rendelkezésre áll a yagi tervezésében. A számítógépes modellezés során mindkét antennát 446 MHz-es frekvenciára méreteztem, a quaginál pedig a saját kísérletezésem során megállapított méreteket használtam.

Direktorok (darab)	Quagi			DL6WU yagi		
	Nyereség (dBi)	F/B arány (dB)	Nyílásszög (Hor/Ver)	Nyereség (dBi)	F/B arány (dB)	Nyílásszög (Hor/Ver)
1	9.7	13.1	70° / 60°	7.7	21.7	110° / 60°
2	11.2	18.1	60° / 50°	9.5	11.5	80° / 60°
3	11.6	13.8	50° / 50°	10.3	20.8	70° / 50°
4	12.5	11	50° / 40°	11.4	12	60° / 50°
5	13.3	19.1	40° / 40°	12.3	22.2	50° / 40°
6	13.7	18.6	40° / 40°	12.8	15.9	50° / 40°
7	14.1	12.7	40° / 30°	13.5	14.1	40° / 40°
8	14.7	21	35° / 30°	14.1	23.2	40° / 40°

2. táblázat - A quagi és a DL6WU yagi paraméterei az elemszám függvényében

Mielőtt kielemeznénk a szimulációk eredményét, fontos megjegyezni, hogy a táblázatban szereplő adatok nem veszik figyelembe az SWR változását, így pl. a nyereséget csak elméleti maximumként kezelhetjük, a valóságban ettől jelentősen eltérő eredmények várhatók, hiszen a saját SWR mérés is kimutatta, hogy az elemszám nem csökkenthető tetszőleges mértékben, az átmeneti zóna megbolygatása az SWR növekedéséhez vezet. Ez nem csak a quagira igaz, a legtöbb hosszú yagival kapcsolatban is azt mutatja a tapasztalat, hogy az átmeneti zóna kb. a 4. direktorig tart, csak az ezután hozzáadott direktorok nem befolyásolják az állóhullámarányt. A szimuláció segítségével egyből több dolog is jól látható:

- A konstrukciós leírásban már említettem, itt most elméleti bizonyítást is nyert: a sok helyen olvasható kijelentéssel ellentétben az azonos elemszámú quagi és yagi antennák közül nem feltétlenül hoz érezhető nyereségtöbbletet a quagi. A táblázat alapján mindig a quagi vezet egy hajszállal, de a 10 elemes konstrukció 0.6 dB előnye a gyakorlatban érzékelhetetlen különbség. Ennek ellenére a quagi jól teljesít, a modellezés rámutat arra, hogy simán hozza azt a nyereséget, amit egy yagitól várhatunk, ráadásul az 50 Ω-os talpponti ellenállás miatt nincs szükség impedancia-transzformációra, tehát könnyebb kivitelezni.
- A DL6WU yagi főleg nagy elemszám, jellemzően 2λ antennahosszúság fölött teljesít optimálisan, ez pedig a szimulációból is kimutatható: a 10 elemes változat már alig marad el a quagitól. Az a gyakorlati tapasztalat is igazolódni látszik, hogy az átmeneti zóna valahol a 4. direktor táján lehet, hiszen ennél tovább csökkentve az elemszámot rohamosan megnő a horizontális és vertikális nyílásszög is, és nő a hátránya a quagi nyereségével szemben, vagyis messze nem optimális a sugárzási jelleggörbe.

Most már ismerjük az elemszám és a nyereség összefüggését, az eltérő konstrukcióból adódóan azonban az antennák tényleges hosszát nem. A házi antennaépítés során a skálázhatóság pedig elsősorban nem az elemszámtól függ, hanem a megépítendő antenna fizikai méreteitől, hiszen egy adott boomhossz fölött az időjárásálló kivitel és rögzítés kérdése komoly kihívás elé állítja az antennaépítőt. A következő táblázat tehát a quagi és a DL6WU yagi hosszát mutatja be az elemszámok fényében. Fontos megemlíteni, hogy ezek az értékek nem tartalmazzák a rögzítéshez szükséges helyet, tehát ha a boom végén szeretnénk rögzíteni az antennát, legalább 10 centit ajánlott hozzászámolni a hosszhoz.

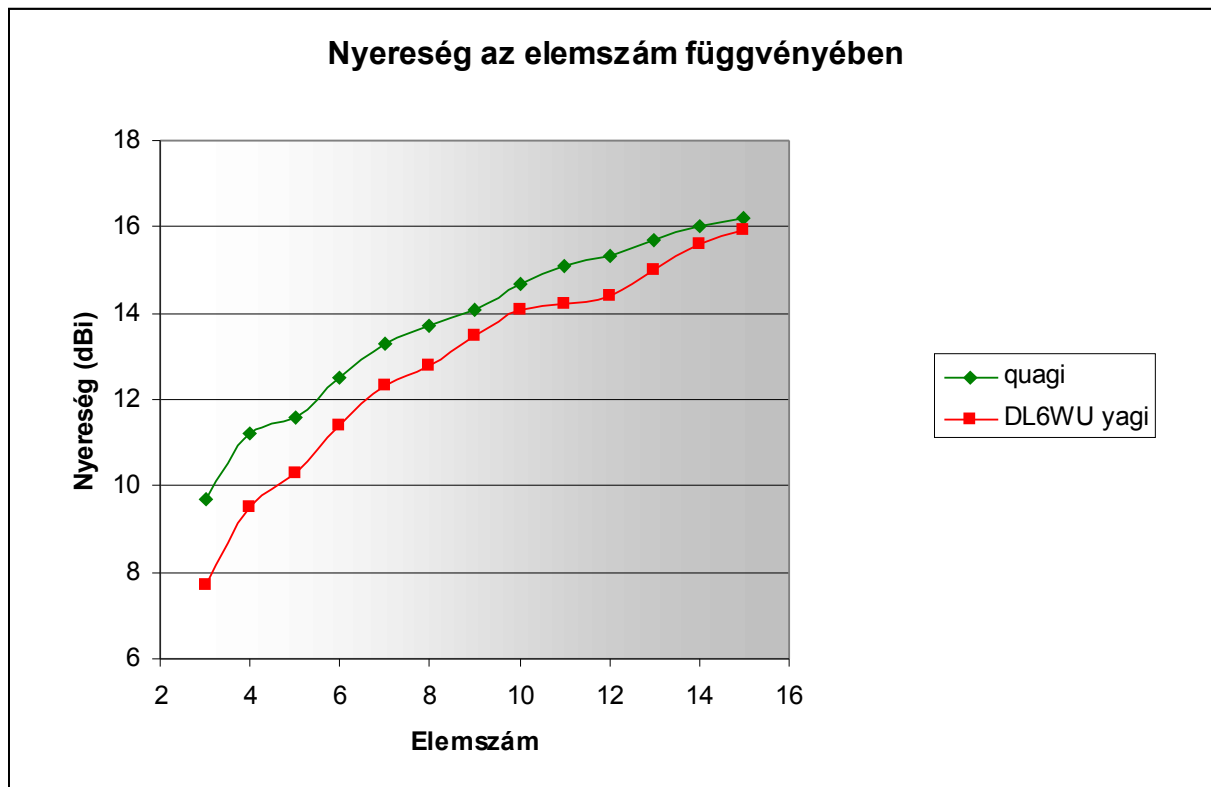
Direktorok (darab)	Quagi		DL6WU yagi	
	Nyeresség (dBi)	Antennahossz (mm)	Nyeresség (dBi)	Antennahossz (mm)
1	9.7	303	7.7	185
2	11.2	575	9.5	306
3	11.6	719	10.3	450
4	12.5	934	11.4	618
5	13.3	1149	12.3	807
6	13.7	1364	12.8	1008
7	14.1	1579	13.5	1220
8	14.7	1794	14.1	1442

3. táblázat - A quagi és a DL6WU yagi nyereségének alakulása az antennahossz függvényében

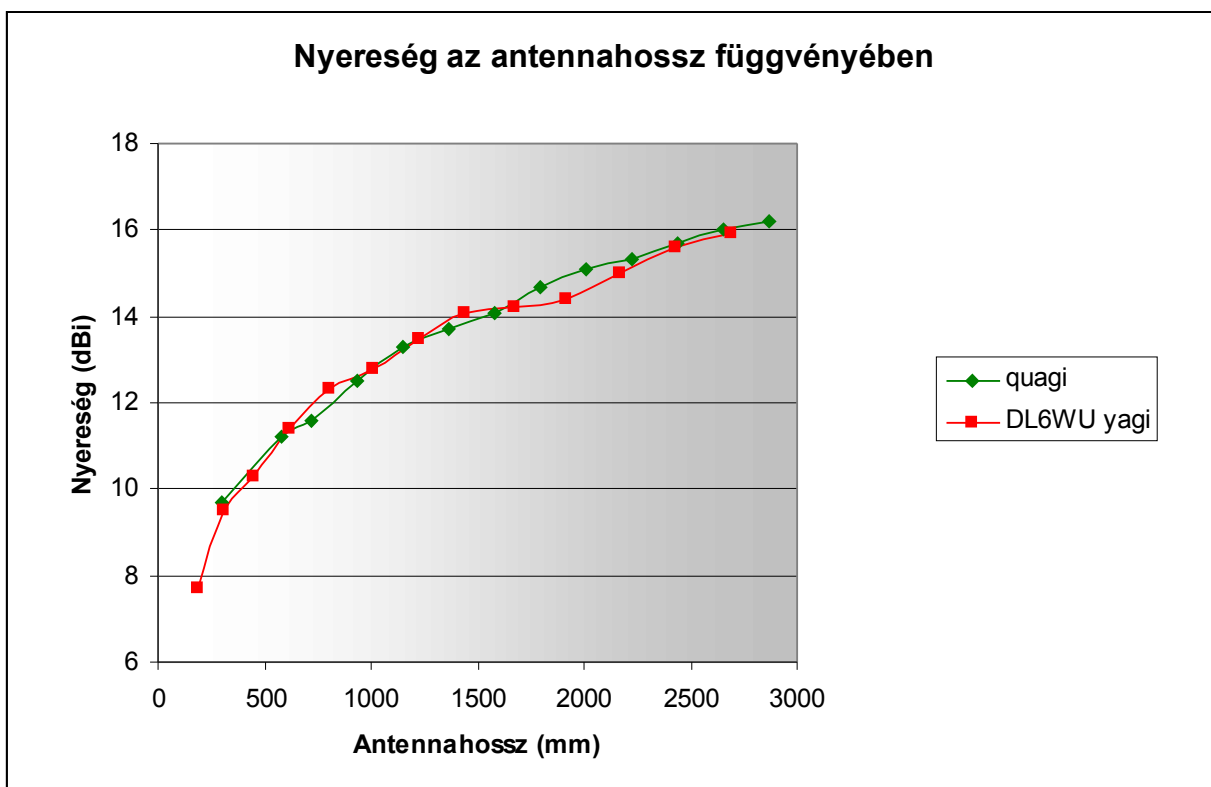
Az iménti táblázatból jól látszik, hogy a quagi hol csal: bár az elemszám függvényében vizsgált nyeresége rendre nagyobb volt a DL6WU yagiénál, ezt csak úgy tudta elérni, hogy a fizikai hossza

is nagyobb. A közel azonos méretű, tehát azonos boomhosszal rendelkező quagi és yagi között már nincs kimutatható különbség a nyereség tekintetében.

A skálázhatóságot célszerű grafikonon ábrázolni, hiszen abból nagyon jól látszik a trend, vagyis az elemszám-nyereség illetve a boomhossz-nyereség összefüggés. Az elemszámot egészen 15-ig növeltem: a DL6WU yagi esetében az eredeti konstrukciót követve, a quaginál pedig a méretezésnél már tárgyalt elv alapján. Tehát a quaginál látható értékek saját méretezésből születtek, más quagi paraméterezés esetén enyhén eltérő eredményeket kaphatunk.



2. ábra - A quagi és a DL6WU yagi nyeresége az elemszám függvényében



3. ábra - A quagi és a DL6WU yagi nyeresége az antennahossz függvényében

A két diagramról nagyon jól látszik a quagi skálázhatósága: szinte ugyanúgy változik a nyereség az elemszám vagy antennahossz növekedésével, mint a DL6WU yagi esetében. Azonos boomhossz esetén a quagi ugyanakkora nyereséget produkál, mint a yagi, a gyakorlatban pedig ez az információ lehet a legfontosabb az antennaépítők számára. Mivel a szimulációs eredmények azt mutatják, hogy a DL6WU yagi az elemszám növekedésével egyre inkább megközelíti a quagi nyereségét, ezért elképzelhető, hogy nagyobb elemszám esetében már a yagi jelenti az optimális megoldást, de a különbség nem lehet túl nagy, ráadásul az otthoni barkácsolás szempontjából szinte lényegtelen, hiszen a vizsgált 15 elemes antennák is megközelítik a 3 méteres hosszúságot, ennél nagyobb antennát pedig ritkán építenek házi körülmények között a 70 cm-es hullámhosszra.

A diagramok segítségével azt is el lehet dönteni, hogy mely elemszámig vagy boomhosszig érdemes növelni a quagit. Átlagos felhasználási célra nagyjából a 8. elemig (6. direktor) van értelme a fejlesztésnek, előlött már nagyon lelassul a nyereség növekedése. Számokkal illusztrálva: míg a 8 elemes quagi elméleti nyeresége 13.7 dBi és hossza kb. 1.4 méter, addig a mindössze 1 dB-lel nagyobb nyereséget nyújtó 10 elemes változat hossza már 1.8 méter, vagyis egyetlen dB nyereségért 30%-kal meg kell növelni az antenna hosszát. A 12 elemes verzió 2 dB-es nyereségtöbbletért pedig már 70%-kal hosszabb boomot kell készíteni, vagyis 2.4 méteres lesz a quagi! Természetesen előfordulnak olyan esetek, ahol a maximális nyereség elérése a cél, ilyenkor jó tudni, hogy nincs akadálya a quagi bővítésének, de ugyanazok a korlátok vonatkoznak rá (lásd fenti diagram), mint a legtöbb yagira.

Összefoglalás

Az SWR mérések és a számítógépes modellezés alapján azt a következtetést lehet levonni, hogy a quagi skálázhatósága nagyon hasonló a yagiknál tapasztaltakhoz. Ebből adódik az, hogy a quagik hossza is tetszőleges elemszámig bővíthető, az elemszám növekedésével pedig nagyjából hasonló nyereségnövekedésre számíthatunk, mint pl. a DL6WU yaginál. A „másik irányban” is a yagikra emlékeztető viselkedést tapasztalunk: az elemszám csökkentése egy bizonyos határ, az átmeneti zóna átlépése után felborítja az antenna viselkedését, megnő az SWR és a modellezés során kapott elméleti nyereség nem érhető el a valóságban, legalábbis az eredeti méretezés alapján épített quagival nem. A rövid quagik valószínűleg áttervezett méreteket igényelnek, ezek kikísérletezése érdekes projekt lenne, hiszen a kis elemszámú quagik nagyon olcsón és egyszerűen állíthatók elő, a kis méretük és alacsony súlyuk miatt pedig kiváló kitelepülő DX antennának számítanak.

Tapasztalatom szerint a 6 elemes quagi jól teljesít, 1 méteres hossza és könnyű kialakítása pedig még a hordozható kategóriába sorolja. A 12.5 dBi elméleti nyereségnek köszönhetően mind kitelepülő DX-elés céljából, mind otthoni, fix telepítésű antennaként megállja a helyét. A quagi hosszát maximum a 10. elemig érdemes növelni, előlött már túl sok problémát okoz a rögzítés és a szélterhelés kérdése, hiszen a boomot fából vagy üvegszál anyagból építjük. A nyereség mellett egyéb paramétereket is figyelembe lehet venni a tervezés során, mivel a számítógépes modellezés szerint a hullámzó F/B arány miatt vannak jobb, és kevésbé szerencsés elemszámú változatok is. Ha számít az előre-hátra viszony, akkor a 7, 8 és 10 elemes quagi tűnik optimális választásnak. Ez a kijelentés azonban csak erre a konkrét, saját méretezésre érvényes, mivel más quagi megvalósítások eltérő eredményt produkálhatnak: a 446 MHz-es PMR sávra nem definiáltak 8 elemesnél hosszabb antennát, így az antennaépítőre van bízva a megfelelő tulajdonságú antenna kifejlesztése.

Az F/B arány azonban sokszor nem tükrözi a teljes valóságot: néha a fő sugárzási iránytól 180°-ra valóban kicsi az érzékenység, de hátrafelé olyan melléknyalábok lehetnek a sugárzási jellegzőrben, melyek erősen lerontják az antenna irányítottságát. Ezt modellezéssel vagy még inkább térerősségmérővel lehet ellenőrizni.

Most már nincs más hátra, mint megépíteni az igényeknek megfelelő quagit. Jó rádiózást!