

NVIS-antennák a gyakorlatban

Dr. Gschwindt András HA5WH, gschwindt@mht.bme.hu

A rövidhullámok általános használata ismét kezd előtérbe kerülni. A digitalizálódó műsorszórás (DRM) és a holtzóna nélküli, vészhelyzetekben is jól alkalmazható rádiós átviteli rendszerek felhasználása egyre szélesebb körű. A szerző az RT 2003/1. és 2. számában igyekezett meggyőzni a tisztelt olvasót a függőlegeshez közeli szögben sugárzott, holtzóna nélküli RH-átvitel (NVIS) előnyeiről. A jelen cikk pedig szeretne rámutatni azon jellegzetes antennamegoldásokra, melyek jól használhatók függőleges sugárzóként.

Az antennák az átviteli rendszereknek egy tekintélyes részét képezik. A legnagyobb nehézséget általában egy-egy adott környezethez, területhez alkalmazkodni tudó, telepíthető és ugyanakkor jól, jó irányba sugárzó megoldás megtalálása jelenti. Az antennák tápkábelhez illesztésével is kell foglalkoznunk, hiszen egy rosszul sikerült csatolóáramkör gyakran elemésztí az adó, illetve a vett jel teljesítményének jelentős részét.

Csak felfelé sugározzunk?

Az NVIS alapvető működése a közel függőleges kisugárzást kívánja. Hazai körülmények között, 70°-os elevációjú sugárzással – 300 km-es, F2-es ionoszféramagasságot feltételezve – a legnagyobb távolságot is áthidalhatjuk. Az NVIS haditechnikai alkalmazásakor gyakoriak az olyan antennamegoldások, melyek függőlegesen polarizáltak, a Föld felületén terjedő és NVIS-jellegű hullámok egyidejű sugárzására is alkalmasak. Ezeket használva, általában a gépjárművekkel történő összeköttetések biztosítása a cél. A gépkocsikon legegyszerűbb függőlegesen elhelyezni az antennát. Így könnyebb a mozgás akár erdős terepen is. A gépkocsi–gépkocsi közötti összeköttetésekben is egyszerűbb a felületi hullámú, függőlegesen álló antennát alkalmazó elrendezések megvalósítása. Mindezek előnyösen alkalmazhatók sík terepen. Erdőben, sűrű bokros terepen csak alig néhány km-en belül tudunk felületi hullámmal kapcsolatot létesíteni; a növények “megeszik” a teljesítményt. Az NVIS és a felületi hullámok együttes alkalmazásakor nagyon gondosan kell az átviteli rendszert megterveznünk. A felületi hullámú jel szintje a távolság növekedésével gyorsan csökken (gondoljunk a földveszteségre), míg az ionoszféráról reflektálódó jelünk szintje az adótól távolodva jóval lassabban csökken. A továbbiakban nem foglalkozunk vegyes, tér- és felületi hullámú összeköttetésekkel. Célunk a függőleges sugárzás növelése és a felületi hullámok elnyomása. Amennyiben gépkocsin elhelyezett rádióállomással kell kapcsolatot biztosítani, akkor a gépkocsi antennáját kell megfelelően kialakítani; függőleges sugárzásra alkalmassá tenni.

Melyik antennát kedveljem?

A választék meglehetősen nagy. Általában igaz, hogy a hullámhosszhoz viszonyítva alacsonyan, vízszintesen kihúzott huzalantennák felfelé sugároznak. Az NVIS-re vonatkozó első, pontosabb antennamérések 1964-ből származnak. Az ázsiai háborúk, a dzsungelrádiózás hozta igazán előtérbe a térhullámok alkalmazását rövid távolságra. Az interneten is találunk olyan katonai, rádiótechnikai rendszerismertetőt, melynek szerves

része az NVIS-technika (Tactical Single – Channel Radio Communication Technics –, a webcímzése: 155.217.58.58/cgi.bin/atdll/fm24-18/fm24-18.htm). Az angolul tudóknak érdemes átnézniük a meglehetősen vastag kézikönyvet; az *M* melléklet részletesen foglalkozik az NVIS katonai felhasználásával (Near-Vertical Incidence Sky – Wave Propagation Concept). Nagyon jó, összehasonlításokra alapozott, gyakorlati szemléletű antennamérésekkel találkozhatunk. Jelentős részük a rádióamatőrök frekvenciasávjaira készült (pl. 3,6 MHz-re is). A különböző méréseket összehasonlítva két nagy csoportot alakíthatunk ki: a “jó” és a “rossz” antennákat.

A jó csoportba tartozók: szimmetrikus, aszimmetrikus és hajlított félhullámú dipól, háromnegyed hullámhosszú, invertált L-antennák 2:1, 3:1 és 4:1 arányú vízszintes/függőleges résszel és a vízszintesen elfektetett, gépkocsira erősített antennák. A jó és rossz csoport átmeneti tagja az egyébként nagyon népszerű “Inverted V”. Előnye az egyetlen tartóoszlopot tartalmazó rögzítés, hátránya az egyidejű tér- és felületi hullámú sugárzás. Katonai használatban ez előnyös is lehet, hiszen így a gépkocsikról függőleges antennákkal viszonylag nagy távolságra is létrehozható rádiókapcsolat.

A meglehetősen rossz térhullámú jellemzőkkel sajnos, az egyszerűen telepíthető antennák rendelkeznek. A $\lambda/4$ hosszúságú, 30 vagy 60°-ban megdőntött ferde huzalok pl. 10...14 dB-lel kevesebbet sugároznak felfelé, mint a vízszintes, $\lambda/2$ -es dipól. A 3 m átmérőjű, függőlegesen állított mágneses hurok 2 m magasra helyezve –20, míg az 5 m-es, függőleges osztor –40 dB-lel sugároz kevesebbet függőlegesen, mint a fő sugárzási irányba (vízszintesen). Természetesen a vízszintes mágneses hurok kedvező NVIS-jellemzőkkel rendelkezik, bár a $\lambda/2$ -es dipólhoz viszonyított nyeresége kicsi.

A “jó” és “rossz” közül a legjobban kezelhető, megvalósíthatók a dipólok. Szeressük tehát a félhullámú dipólt! Baj csak a hosszal van: 160 m-re 80 m-est kellene kihúzni. Hová? Elkerülhetetlen, hogy rövidebb dipólokban is gondolkozzunk.

Félhullámú dipól, alacsonyan

Jól ismert a föld fölött elhelyezett dipól sugárzása. A középén gerjesztett sugárzó tere a két fél között zárul. A felső térféllel nincs is baj, az alsó azonban tartalmazza a földet. Így képződik a tükörkép, amely kialakítja az antenna eredő sugárzási terét. Ahogy közelebb kerül a dipól a földhöz, úgy játszik egyre nagyobb szerepet a talaj anyaga. Ha a föld jól vezető fémlémez lenne, akkor a dipólból kilépő tér “visszapattanna”, veszteség nélkül reflektálna a talajról.

A talaj nem jó vezető –, vesztesége van. Ez felemésztí a dipólból kilépő teljesítmény egy részét és dielektromos jellemzője is van, amely elhangolja az antennát. A dipólból betáplált teljesítmény – a magasság csökkenésével egyre nagyobb része – a talajt melegíti, amely csökkenti az antennák által felfelé, a hasznos irányba sugárzott teljesítményt. A föld minősége változó, nagyon nehezen írható le matematikailag. Jellemzői hely-, frekvencia- stb. függők. A talaj vezetőképessége időjárásfüggő is. A nagyobb sótartalmú jobban vezet (pl. tengerfelület); kisebb veszteségű reflektor. Régebben volt olyan hadsereg, ahol az RH-antennák alatt beszórták, majd belocsolták a talajt, hogy jobban vezessen. A készletben ott volt a só. ...

Végezzünk jelképes mérést, számításokat az előzőekben mondottak igazolására! Számításainkhoz az EZNEC 3.0-ás programot használjuk, amely “emberbarát” kezelőfelületet biztosít (www.eznec.com). Ennek ellenére érdemes minden antenna-modellező program leírását kezdés előtt részletesen áttanulmányozni, hogy a földjellemzők megválasztásakor ne essünk csapdába. Az EZNEC 3.0 a vízszintes

kiterjedésű elemeket tartalmazó, alacsony antennák esetén kifejezetten a Norton–Sommerfeld földmodellt ajánlja.

Az **1. táblázat** szerint egy 7 MHz-es, $\lambda/2$ -es dipólt mozgatunk 0,5 és 10 m között, függőlegesen. A tápponti sugárzási és földveszteségi ellenállásokat vizsgáljuk. A hatások NVIS-szempontról reálisak, hiszen $\lambda/4$ alatt maradtunk. Megközelíthetnénk elvileg a $\lambda/2$ -es (20 m-es) magasságot, de ott már fenyeget az iránykarakterisztika “beszakadása”, a függőleges sugárzás csökkenése. Egyébként sem egyszerű 20 m-re kifeszíteni egy dipólt.

A föld veszteségét az EZNEC 3.0 egy trükkös megoldással számolja ki, teszi érzékelhetővé. Egy gombnyomással ideális fémlamezt helyezhetünk az antennánk alá, így a tökéletes, veszteségmentes földre végezhetjük el a tápponti ellenállás (rezonancia!) számítását. Ez kisebb lesz, mint a valóságos földdel számolt. A kettő különbsége a föld vesztesége. Ez jól látható az 1. táblázatban.

Az antennánk rezonanciafrekvenciája a földhöz közelítve növekvő tendenciát mutat. Nő a betáplálási impedancia is, de ennek egyre jelentősebb része a földveszteség. Míg $\lambda/4$ magasságban a betáplált teljesítmény alig 3,5%-a vész el, addig 0,5 m-nél már csak 0,4% jut ki a szabad térbe, a többi szinte csak a földet melegíti! A veszteség 99,6%! Nem véletlen az NVIS-antenna telepítéseinek alapszabálya: ne telepíts dipólt $\lambda/8$ -nál alacsonyabba! (Vagy egy más szempontú megjegyzés: a földtől 30 cm-re helyezett antenna ideális műterhelés!)

Mit tehetünk 160 m-en? Ha 10 m-re emeljük a félhullámú dipólt, 160 m-en a betáplálási impedancia 36,94 Ω , melyből 27,8 Ω a föld vesztesége! 16 m-en kedvezőbb az arány; 41,2 Ω -ból 20,7 Ω reprezentálja a veszteséget. A betáplált teljesítmény fele elvész. Ha többsávú, szélessávú dipólelrendezésben gondolkodunk, akkor a 15...18 m-es magasság optimális. Ekkor már 160 m-en is elfogadható a veszteség és 40 m-en a kritikus $\lambda/2$ magasság alatt maradunk.

Tegyük jó vezetővé a földet, helyezünk vezetőhuzalt az antenna alá! Logikus ötlet; ha jól választjuk meg a magasságot, reflektorként is működhet a drót. Valóban ez jó gondolat, csak az a baj, hogy egy-egy huzallal a nagy, rosszul vezető földfelület kis részét tudjuk kizárni, az áramot a vezetőbe kényszeríteni. Csak nagy fémfelület, pl. rácsozat segíthetne. Nehezen járható út!

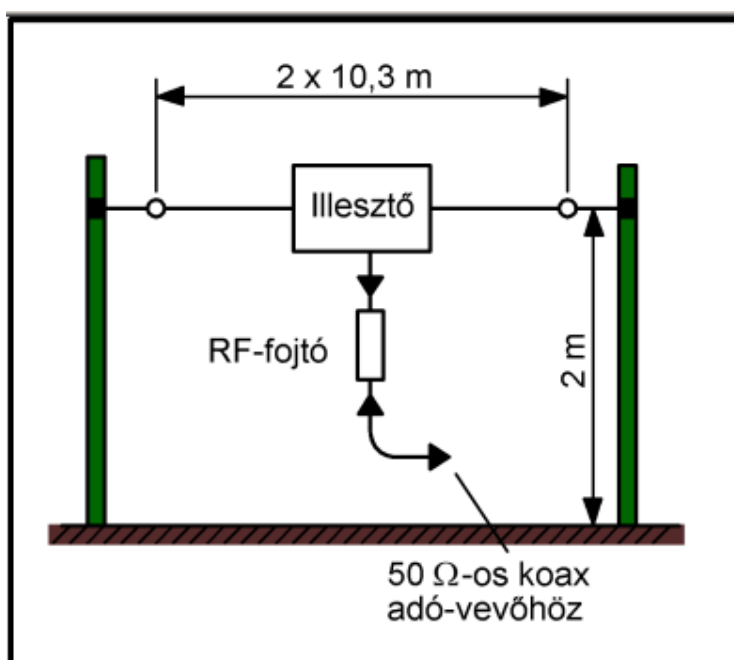
Az előző gondolatmenethez érdekes megfontolásokat, eredményeket találunk W4RNL-nek az interneten olvasható cikkében: Some Notes on NVIS Cloud Burners (Néhány megjegyzés az NVIS felhőégetőkről). Bármelyik kereső gyorsan megtalálja.

Az alacsonyan kifeszített dipólokat még egy fizikai hatás okozta veszteség terheli. Ez az ún. Beverage-módszer, mely a földhöz közeli, lezártalan tápvonalvégek sugárzását jelenti. Mintegy $0,05\lambda$ magasságnál ez 3 dB, 0,02-nél 6 dB járulékos veszteséget okoz. Ennél alacsonyabban a veszteség a magasság csökkenésével drasztikusan nő! Figyelem: $0,05\lambda$ alá ne tegyünk antennát! Ez 40 m-en 2 m-t, 160 m-en 8-at jelent! Természetesen az alacsony antenna nem csak sugározni, de venni is fog a végein (környezeti zaj!). Gondolkozzunk S-mérőben! Egy S-fok 6 dB változást jelent. Az 1. táblázat alapján, ha a 7 MHz-en antennánkat 10-ről 2 m-re helyezzük, akkor az állomások szintje kb. 2 S-fokkal csökken! Más szóval: több, mint 10 dB a veszteség –, a 100 W-os adóteljesítményből kevesebb, mint 10 W lesz hasznos “felhőégető”. A többi melegíti a földet. Természetesen kényszerhelyzetben nem tehetünk mást. Gyors telepítésnél meg kell elégedni a fára feldobott huzalantennákkal. Ha tudjuk, helyezzük minél magasabba, de lehetőleg párhuzamosan a föld felszínével!

Sávszélesség, illesztés

A sávszélesség tiszta ügy. Sajnos, azt jelenti, hogy az antenna tápponti impedanciája még rezonancián is csak ritkán 50Ω , nem beszélve a sávszélekről! A 40 m-es sávban legkönnyebb a helyzet: kicsi az engedélyezett sáv szélessége. A 80 és a 160 m szélein már baj van: az SWR nagyobb, mint 2. Ezt pedig az adó nem szereti. Jó esetben megszólal a védelem, csökken a kisugárzott teljesítmény, rosszabb esetben cserélhetünk végtranzisztort.

További gondot jelent a szimmetrikus táplálás megoldása. Használhatunk 1:1-es balunt, vagy kialakíthatunk a koaxiális kábelből pár menetes fojtót, mely megakadályozza a kábel felületén záródó, az iránykarakterisztikát megdőntő, jelentős köpenyáram kialakulását (**1. ábra**: 7 MHz-es $\lambda/2$ -es dipól). Az illesztést egy rezonáns, párhuzamos rezgőkörből kialakított transzformátor végzi).



1. ábra

Ha gyors, terepen történő telepítésre gondolunk, ahol az antennahuzalt bokrokon, fákön kell (ahogy sikerül alapon) elhelyezni, akkor felejtsük el a fixen beépített illesztőt! Ez az a pont, ahol a rádióamatőrök szakirodalmá megosztott. Van, amelyik azt ajánlja, hogy használjunk antennaillesztőt a betáplálás helyén, itt illesztjük 50Ω -ra az antennát, majd 50Ω -os kábellel jussunk el az adóhoz. Az adó "örömmel" adja le a teljes energiáját, hiszen az optimális terhelőimpedanciáját látja. Van, amely megenged 4-5-ös SWR-t és az adó-vevő előtt illeszt. Ez utóbbi esetben az antennát és az illesztőt összekötő kábel veszteséges transzformátorként működik. Jó, nem túl hosszú kábel esetén ez a veszteség meglehetősen kicsi lehet. Pl. legyen 7 MHz-en a 25 m-es kábel vesztesége illesztett lezárásnál 1,5 dB, az antenna tápponti SWR-je 5! A kábel teljes vesztesége 5-ös SWR mellett szintén 1,5 dB lesz. A teljes koaxcsillapítás 3 dB, vagyis az adó outputjának fele elvész, nem jut az antennába.

A dipól sávszélességével is baj van. Vegyünk egy 80 m-es példát! Az antennánk 3630 kHz-en rezonál, ha a körülmények ideálisak. Ez az, ami ritkán fordul elő, különösen

nem terepen, pl. 4 m magasan. A 3630 kHz-en rezonáló dipól 2-es SWR-hez tartozó sávszélessége alig 130 kHz. A sávszéleken 3,74, illetve 4,47 az állóhullám. A valóságban, változó telepítési körülmények között, szinte minden jellemző változik. A magassággal, környezettel a rezonanciafrekvencia és a tápponti impedancia is változik. Előzetes számításaink, megfontolásaink tájékoztató jellegűek!

7 MHz-en kisebb az engedélyezett sávszélesség, de itt is gondot okoz a rezonanciafrekvencia csúszkálása.

Elképzelhetetlen a probléma megoldása antennaillesztő nélkül. A legjobb a táppontban elhelyezni, de ekkor általában távvezérelt, automatikus megoldás jöhet számításba.

Drága és az alacsonyabb frekvenciákon “szenved”. Gyakran előfordul, hogy csak 2-es körüli SWR-ig tud illeszteni. Az illesztőben lévő induktív tagok 1,8...4 MHz körül nagyméretűek lennének, ezért igyekeznek a számukat minimalizálni.

Ha vásárlás mellett döntünk, akkor érdemes figyelni a hangoló térfogatára. Legyen kültéri üzemre alkalmas, lehetőleg nagyméretű és nagy teljesítményt kezelni tudó! A beépített induktívtagok nagyságára következtethetünk, ha megnézzük, hogy pl. 1,8 MHz-en mekkora lehet a legkisebb, még lehangolható huzalantenna hossza. Tipikus érték a 8...10 m 160 m-en ($0,05\lambda$). A hangolóban elvesző teljesítmény nagy része az induktív tagokban (tekercegekben) marad. Ha nagy méretű/teljesítményű illesztőt veszünk, akkor van esély a nagy jóságú, vasmag nélküli induktívtagokra. Sajnos, ezek ára általában magas. Óvakodjunk a toroidra tekert induktívtagoktól! Ezen illesztők mérete nagyon rokonszenves, ám nagyobb teljesítmény és SWR esetén a vasak könnyen telítésbe mennek és felforrósodnak.

Könnyebb a helyzet, ha beltéri illesztőben gondolkozunk. Ekkor a kábel hozzáférhető végére tehetjük, így megóvva az időjárás/villámok viszontagságaitól. Elmaradhat a kültéri tápláló/vezérlő többeres kábel is. A baj csak az, hogy az 1. ábrán láthatóan az antenna talppontja és az illesztőnk bemenete között reflektált jel lesz. Ez veszteséget okoz. Ha ferrites balunt (1:1) használunk, akkor nagyon vigyázni kell a ferrit telítésbe vezérlésének elkerülésére. Hiába reklámozzák a 200 W-ot is elbíró balunt; 4...6-os SWR mellett könnyen telítésbe juthat a ferrit, akár 20 W-os teljesítmény mellett is! A “jobb” gyártók megadják a balunra az adott teljesítmény mellett engedélyezett maximális SWR-t (pl. 200 W, SWR max. 3). Az amerikai hadsereg összehasonlító mérései alapján elmondhatjuk, hogy a balun elhagyása nem okoz lényeges, 1 dB-en belüli(!) NVIS-jellemző változást. Az iránykarakterisztika torzul, de nem lényegesen. A sorrenddel lehetne optimalizálni, először szimmetrikusan 50 Ω -ra transzformálni, majd a balunt 50 Ω -ok közé tenni és ezzel biztosítani a balun optimális, illesztett üzemét. Az utóbbi időben egyre több, hasonló felépítésű illesztő kerül forgalomba.

Az egyszerű, de hatásos megoldás a koaxilis kábelből kialakított fojtó alkalmazása. Nem kell bonyolult méretezés. Elég, ha 15...20 menetes, a koaxiátmérőtől függően 100...200 mm átmérőjű, egyrétegű tekercset alakítunk ki a betáplálási pontban. Ez kellően lecsökkenti a kábeláramot és megnyugtató a karakterisztika torzítását illetően. Egyébként, ha terepen feszítjük ki az antennát, a környező növényzet hatása lényegesen nagyobb lehet, mint amit az aszimmetrikus táplálás okoz. Ha mégis “égetne” az adóvevőnk doboza, akkor érdemes a készülék elé is kábeles fojtót (összesen kettőt) elhelyezni.

Meg kell szokni a gondolatot, hogy az antennaillesztő nélkülözhetetlen. Egyébként ezt az építőelemet magunk is el tudjuk készíteni. Az elemeket (a nagy légrésű kondenzátort, nagy teljesítményű, folyamatosan vagy lépésenként változtatható induktívtagot) némi utánajárással meg lehet venni. Az összerakás döntően mechanikai munkát kíván. Kitben is kaphatók illesztők.

Az illesztetlenség, aszimmetrikus táplálás miatt jelentkező, a koaxkábel külső erén (harisnyán) folyó áram jelenlétéről könnyen meggyőződhetünk. Ha az adó-vevőnk vagy az SWR-mérő dobozát megérintjük és ennek hatására változik a reflektált jel szintje, akkor baj van. Ha 100 W körüli adóteljesítménynél vizsgáljuk ezt a hatást (ne tegyük!) könnyebb égési sérülést is szenvedhetünk.

Drága lehet a melléillesztés, a jelentős – készülékdobozokon záródó – rádiófrekvenciás áram, ha számítógép is van a rendszerben. Szerencsésebb esetben a szoftver lefagy, vagy “megvadul”, soha nem látott funkciókat kezd produkálni. Rosszabb esetben a gép maradandó átalakulást szenved. Vihetjük a szervizbe. Tanuljunk meg tisztelni a rádiófrekvenciás teret, igyekezzünk a berendezésektől távol tartani az RF-áramokat! Illesztett antenna, átgondolt földrendszer a siker titka. Áram csak a koax belsejében folyék!

Kísérlet 7 MHz-en

A szerzőt mindig megragadta az alacsonyan kifeszített dipólok vételi jellemzői között a környezeti zaj csökkenéséről írt áradozás. A közeltéri zajkomponensek általában függőleges polarizációjúak, melyeket a vízszintes dipól elnyom –, szóval szép, csöndes vételre számíthatunk. A hasznos jel a fejünk fölül jut az antennára, öröm lesz az állomásokat 7 MHz-en hallgatni. Mégér egy kis munkát –, halljuk!

Felrúgva az előzőekben leírtakat, a félhullámú dipólt 2 m magasra (az 5 m-es $\lambda/8$ helyett) sikerült tenni. Ez még elfért a kertben. Alapelvként lett elfogadva a “faragás” nélküli telepítés. Levágva $2 \times 10,3$ m-es huzalt, a rezonanciára hangolás az illesztés feladata lett. Jó illesztő mindent tud; benne egy jól ismert, klasszikus építőelem van –, a párhuzamos rezgőkör. A várható tápponti impedancia nincs messze 50Ω -tól, a környezet okozta elhangolás helyrehozatala is az illesztő feladata. A 2 m-es magasság kényelmes, kézi beállítást tett lehetővé.

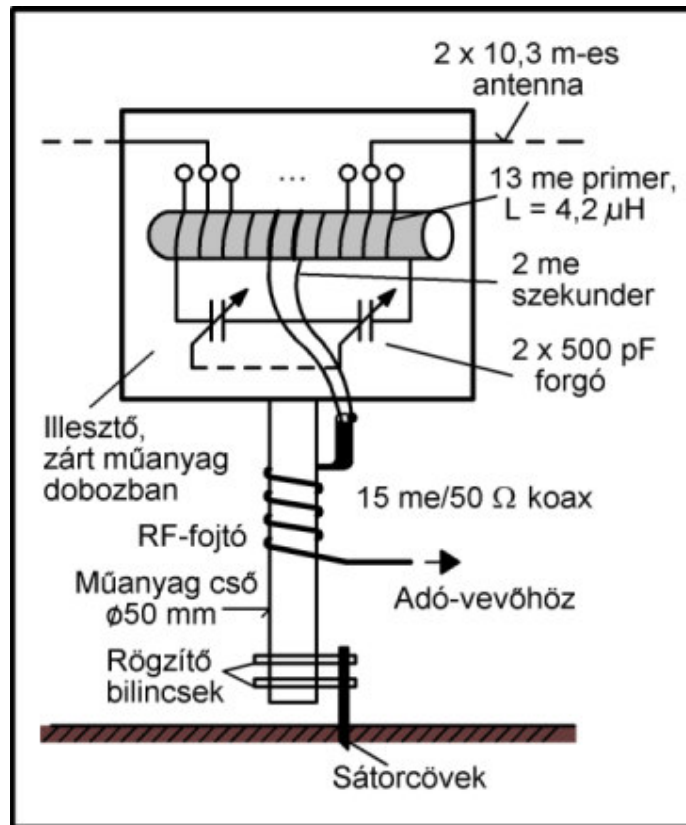
A 1. ábrán láthatjuk az elrendezést. Az 1. táblázatból pedig jól látszik, hogy a betáplált teljesítmény jelentős része a földet és nem a felhőket melegíti: 91% körül marad a földben! Azonnal 10 dB a veszteség! Nem baj, a kis zajú vétel majd kompenzálja.

Zavaró még, hogy a $0,05\lambda$ magasság miatt az antenna mint tápvonal kezd sugározni a végein. Újabb 3 dB veszteség, ráadásul a sugárzó végek vételnél veszik a környezet zajját! $10 + 3 = 13$ dB, több mint 2 S-fok romlás egy “tisztességes magasságú” dipólhoz képest! Egy profi itt hagyja abba, ám az amatőrt itt kezd érdekelni a téma. Hogyan is szól a felülről érkező jel ilyen alacsony antennán?

A 7 MHz-es dipól illesztőjének, szimmetrizálójának összehozása egyszerű feladat. (2. ábra)

Készítsünk egy rezgőkört, amely kb. 120 pF-dal rezonál 7 MHz-en! Legyen nagy Q-ja, hogy kicsi legyen a veszteség! A hangolókapacitást legegyszerűbben egy régi kettős forgó sorba kapcsolásával valósíthatjuk meg. A 2×500 pF körüli kondenzátor földje össze van kötve (közös test), a két állórészt kössük a rezgőkör végeire! Beforgatott állapotban az eredő így 250 pF. Ha az antenna tiszta ohmos impedanciát mutat, az illesztő induktivitása $4,2 \mu\text{H}$ kell hogy legyen, amely 120 pF-dal rezonál 7 MHz-en. Ha az antenna kapacitív jellegű, akkor ennél kisebb, ha induktív, ennél nagyobb kapacitásra van szükség a rezonanciához. Van tartalékunk; a 120 pF a forgónak kb. a középállásában helyezkedik el. Az illesztővel tehát az antenna esetlegesen reaktív (induktív vagy kapacitív) tápponti impedanciáját is ki tudjuk hangolni. Az illesztő rezonáns transzformátorként működik.

Az 50Ω -ra illesztéshez két szabad paraméterünk van. Az egyik a tekercs primér/szekunder csatolása. A csatolás változtatásával a rezgőkört, annak veszteségi



.2. ábra

ellenállását önmagában, antenna nélkül is leilleszthetjük 50 Ω -ra! Ekkor a rezgőkört melegíti a 100 W-os teljesítmény (gyakorlatilag az induktivitást, hiszen ennek vesztesége jóval nagyobb a kapacitásénál). Ezt elkerülendő, segíthetjük a hangolás, illesztés beállítását úgy, hogy a transzformátor primer (ez a hangolt induktivitás, erre csatlakozik közvetlenül az antenna) és szekunder oldala (erre csatlakozik az 50 Ω -os kábel) közötti csatolást állandónak tekintjük.

A részletes számítást mellőzve, a végső megoldás egy 13 menetes tekercset eredményezett, mely egy $\varnothing 50 \text{ mm}$ -es műanyag csévetestre került. A tekercs hossza 100 mm, a menetek egyenletes eloszlásban helyezkednek el. Az antenna "bizonytalan" talpponti impedanciáját a primer tekercs (a rezgőkör induktivitása) leágazásaira csatlakoztathatjuk. 11 ilyen leágazás lett kialakítva egy erősáramú sorkapocs felhasználásával. Az egymástól távol lévő menetekre könnyen forraszthatók a leágazások.

A szekunder tekercs 2 menet és a primer menetei között helyezkedik el (szoros csatolás). Két tagból álló sorkapocs szolgál a coax-szekundertekercs összekapcsolására. A tekercsek meneteit érdemes egy-egy pöttynyi pillanatragasztóval rögzíteni. A tekercstest a "Mester" sorozatból származó szilikon tömítő tubusa, melynek tartalmát kiválóan felhasználhatjuk pl. kültéri kábelcsatlakozó tömítésére. Semleges kötőanyagút vegyünk; az ecetsavas idővel megmarná a védendő vezetőket!

Kültéri mérés, tapasztalatok

Az antenna felállítására kertben, "valóságű" környezetben került sor. A kb. 2 m-es magasságba kihúzott, műanyag szigetelésű huzal nyomvonala: indul az orgonabokorról,

majd néhány méter után egy borostyánnal befuttatott, kiszáradt barackfa törzse szerepel tartóként. Ezután a táppont következett, a 2. ábrán látható kivittel. A műanyag tartórúd (szürkés színű vízvezetékcső) egy sátorcövekhez rögzítve tartja az illesztőt és a ráteker, aszimmetriát csökkentő, a koaxból kialakított 15 menetes RF-fojtót.

A másik oldal egy diófa alján “kúszik” végig, majd egy, a betonkerítésre felfutott vastag szederbokorág szerepel tartóként, belógás ellen madzaggal a diófa ágához rögzítve.

Életszerű elrendezés. A magasság kialakításakor alapvető szempont volt, hogy családom tagjai ne kerüljenek “összeütközésbe” az antennával. Ez a hosszú használhatóság egyik titka! A 2 m-es magasság a ruhaszáritással kapcsolatos gondolatokat is távol tartja.

A beállítás gyorsan ment. Egy-két leágazáscsere, optimalizálás és máris szinte nulla volt a reflektált jel 7050 kHz-en. A koaxiális kábel elegendően hosszú volt, elért a rádiós szobába, így az esetleges eső sem gátolta volna a kipróbálást.

Az összehasonlító mérésekhez a “jó” antenna egy “Inverted L” volt 11 m-es függőleges, 22 m-es vízszintes résszel. Az emelt ellensúlyt, a jó földet három szomszéd drótkerítése és egy 40 m-es huzal képviselte. Jól működött 40 m-en, több éve használatos, hely adta megoldás. Az EZNEC-et “nem engedtem” még rá, “jobb, ha nem látom az iránykarakterisztikát” elven. Felfelé biztosan sugároz.

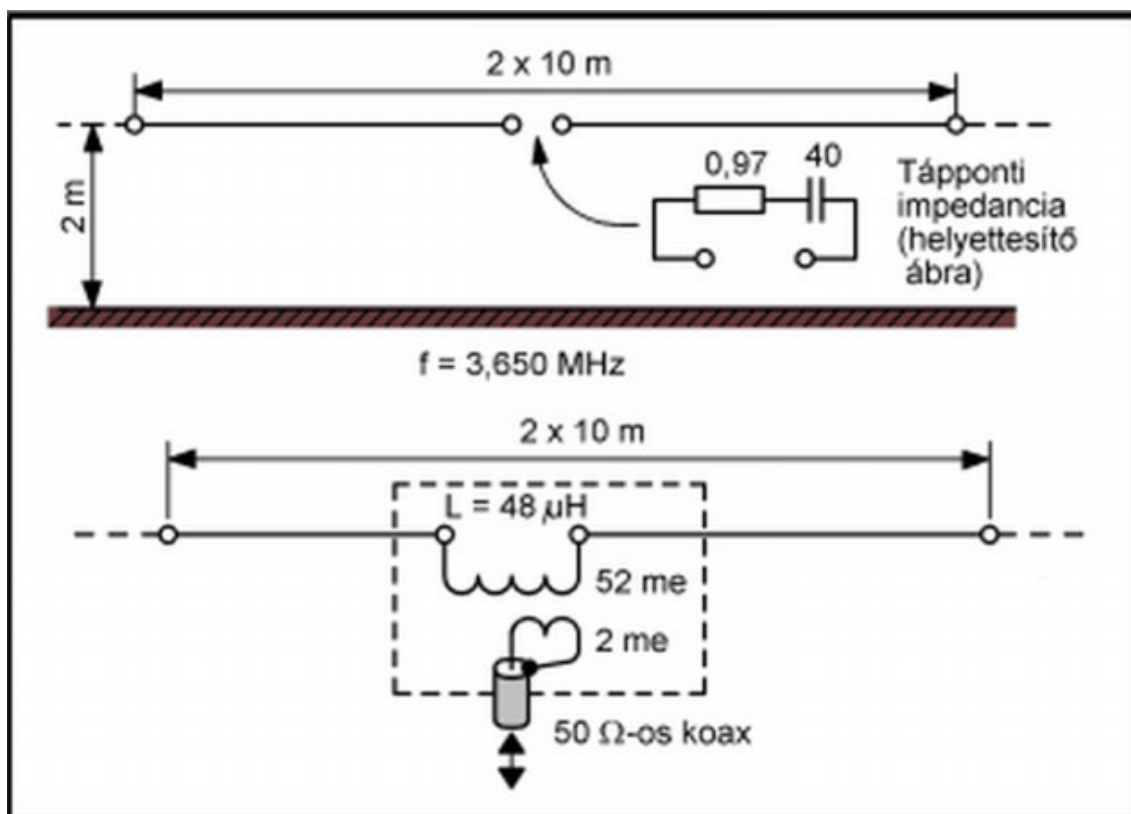
A jó öreg Drake adó-vevő alig várta, hogy egy alacsony fekvésű NVIS-antennát megtáplálhasson! Először az L-et kellett behangolni. Az automatikus illesztő némi küzdelem után 1,5 alá húzta az SWR-t.

Délután 2 óra. Sávzaj a szokásos. valahol S7 körül. Nézzük az új NVIS-t! Egy gyors átkapcsolás és az első meglepetés bejön: sávzaj alig. Az S-mérő 5-ös körül ugrál. Ez kell nekünk! Nézzük az állomásokat! 7095 kHz-en magyarok –, NVIS távolság. “Zuhannak” a jelek felülről az antennákba, az L-en S9 + 10 dB, az új, alacsony antennán szűk S9-es. Ismétlés többször, eredmény hasonló. Általában két S-fok hiányzik az NVIS antennánál az L-hez viszonyítva. Kísértetiesen ugyanaz, mint a háttérzajnál. Próba, összeköttetésre. Szerencsére vannak magyar partnerek, el kell ismerni, korrektek. Az eredmény megerősíti a várakozást: az “L” vezet kb. két S-fokkal. Csodák ritkán jönnek elő. A külvárosi, meglehetősen csendes környezet nem igazán alkalmas a környezeti zaj hiányának megfigyelésére. Egyébként sincs.

Tanulság: ha nincs más lehetőség, csináljunk NVIS adás-vételre alacsony antennát, de ha van lehetőség, ne menjünk túl közel a földhöz! Tartsuk a legalább $\lambda/8$ -as magasságot! A “perfekt”, ideális föld fölé kifeszített antennánk sugárzási ellenállása 5,12 Ω ! A földvesztességgel arányos tag 52,05 Ω ! Az antennába betáplált teljesítmény kevesebb, mint tizede kerül kisugárzásra (1. táblázat). A kísérlet igazolta az előzetes becsléseket.

Rövid dipól alacsonyan

A 3. ábrán láthatjuk az alacsonyan kifeszített, 3,650 MHz-re készített rövid dipól problémáit. A dipól 2×10 m hosszúságú, közel $\lambda/4$ -es. Természetesen nem rezonáns, a számolt tápponti impedanciája 40 pF és 0,97 Ω soros kapcsolásából áll. Addig, amíg a félhullámú dipólnál megengedhettük a távolban, a koax adó-vevőhöz közeli végén az illesztést, a rövid dipólnál ezt nem tehetjük, hiszen a táppontban az 50 Ω -on értelmezett SWR nagyobb, mint 100!



3. ábra

A tápponti ellenállás növelésének, 50Ω -ra illesztésének több útja van. Ezek közül a tápponti illesztő egy lehetséges megoldásával foglalkozunk. Gyakran a táppontban induktívan terhelt illesztési megoldásnak nevezik. NVIS-üzemben fontos, hogy lehetőleg csak egy helyen kelljen az antennaillesztés során beavatkozni. Ez elősegíti a gyors telepítést.

A 3. ábrán láthatóan a 40 pF -os kapacitív elemet tartalmazó soros RC-kört kell induktivitással kiegészíteni, rezonanciába hozni, hogy a sugárzással arányos $0,97 \Omega$ -ra a lehető legnagyobb teljesítményt (áramot, feszültséget) juttassuk. Ennek legegyszerűbb módja, hogy a 40 pF -os kapacitást egy paralel módon kapcsolt induktivitással rezgőkörre egészítjük ki. Az így létrehozott rezgőkör $3,650 \text{ MHz}$ -en rezonál.

Rezonancia esetén az induktív és kapacitív reaktancia megegyezik. Ennek alapján a kiszámolt induktivitás $48 \mu\text{H}$ -s kell, hogy legyen.

Adott kapacitás (40 pF) esetén az induktivitás Q -ja függ a rézvesztésőtől (vastag huzal) és a tekercs geometriájától. A 40 pF -hoz képest kis szórt kapacitással kell elkészíteni, különben a rezgőkör áramának egy része kikerüli a hasznos, sugárzó terhelést! A nagy Q megvalósításának alapszabályai: vastag huzal, nagytérfogatú tekercs, legalább egy huzalnyi térköz a menetek között. Előnyösebb az átmérőhöz viszonyított hosszú tekercs (4-5-szörös átmérő = hossz). Mindezek figyelembevételével készült el az illesztőtekercs, amely $\varnothing 55 \text{ mm}$ mellett 220 mm hosszúságú. Menetszáma 52, a menetek közötti távolság kb. huzalátmérőnyi, azaz 2 mm . A jóságát megmérve az 200 -ra adódott. A szekunder tekercs transzformálja a rezgőkör veszteségéből és az antenna tápponti ellenállásából álló primer oldali terhelést 50Ω -ra, hogy az adónk jól érezze magát. A részletes számítás eredményét 2 menetre kerekítve, az illesztőnk megvalósításra készen

áll. A 26-os áttétel ($52:2 = 26$) miatt az 50 Ω -os bementre jutó feszültség feltranszformálva jelenik meg a szekunder oldalon. Úgy is mondhatnánk, hogy az antenna “feszültségtáplált”. A valóságban természetesen nem kell a táppontba kondenzátor, ez maga az antenna (egy veszteséges kondenzátor). Csak párhuzamos induktivitás került a táppontba, mely hangolt, rezonáns transzformátorként működik. A pontos rezonanciára hangolást két úton valósíthatjuk meg: kevésbé könnyed az antenna hosszának változtatása, míg egyszerűbb a tekercsre leágazásokat készíteni és azokat változtatni. Készítsünk pl. 56 menetes tekercset és a két végétől 2 menetenként 4-6 leágazást!

Rövid dipól a gyakorlatban

A 2×10 m-es hossz 80 m-en rövidnek számít. Az NVIS-alkalmazást, gyors telepítési körülményeket figyelembe véve a föld fölötti magasság mindössze 2 m. Sajnos, ez azt jelentette, hogy a földben elvesző teljesítmény jelentős lesz.

A telepítésre a hátsó kertben került sor. A nyomvonal: orgonabokor, diófa alja, szederbokor. Középen egy műanyag csőre szerelve az illesztőkör, amely 58 menetes primer és 2 menetes, a tekercs közepére helyezett szekundert tartalmaz. Ide csatlakozik a koax, amely aszimmetrikusan táplálja a rendszert. Ez elvileg probléma lehet, de a valóságban meglehetősen nagy az aszimmetria a sugárzók környezetében is.

Kompromisszum: a 15 m-nyi koax nagy része a földre fektetve. Ez a megoldás csökkenti a koax felületén folyó áramot (sajnos, növelve a földben maradó teljesítményt).

A gyors ellenőrző mérés meglehetősen eltért a várakozástól. Rezonancia 3360 kHz-en, SWR: min. 2,5. Más szóval: semmi sem a tervezettnak megfelelő. Az antenna kapacitása nagyobb a várakozásnál, ami a fák, bokrok közelsége miatt érthető. A tápponti ellenállásról (rezonancia!) az SWR-méréssel csak azt tudjuk eldönteni, hogy mennyire tér el az 50 Ω -tól. Lehet kisebb vagy nagyobb. Tudjuk, az alacsony elhelyezés miatt (a magasság a hullámhossz negyvened része!) a talpponti ellenállás döntő része a föld veszteségéből származik. A kétmenetes csatolótekercset 3-ra növelve, az SWR 1-re csökkent. A rezonáns tekercs 58 menetéből 6-ot kikapcsolva (leágazás a két végtől 3-3 menetre), máris 3640 kHz-re nő a rezonancia és ide kerül az 1-es SWR is. Érdemes áttekinteni az SWR frekvenciafüggését a **2. táblázatban!**

Az antennánk sáv szélessége a 2-es SWR pontjai között mindössze 100 kHz (3,58-3,68 MHz). Ha a teljes 80 m-es sávban akarjuk használni, akkor az adó-vevő előtt, lehetőleg az antenna táppontjához közel, egy kézi vagy automatikus antennaillesztőt kell elhelyeznünk, amely mindig 50 Ω -ra, 1-es SWR-re teszi át a változó tápponti impedanciát. Természetesen a kézi beállítás, az illesztőtekercs menetszámának változtatása is számításba jöhet.

Az “üzemi próba” a vétellel kezdődött. Szerencsére 3640 kHz közvetlen környezetében több magyar állomás is forgalmazott. Az összehasonlítás ismét a 33 m hosszúságú, 12 m magasban lévő fordított L-lel (Inverted L) történt. Az L a táppontban automatikus módon 50 Ω -ra illesztve.

Az összehasonlítás eredménye elszomorító. Nem jött be az “alacsony antenna, kisebb háttérzaj” várakozás. Az alacsony antenna sokkal jobban vette a házakból, környezetből származó zajokat és sajnos, a felülről érkező jeleket jóval gyengébben! 6-8 állomás vételi szintjét sikerült összehasonlítani és az alacsony antenna “bó” 3 S-fokkal gyengébben vett, mint az L. Reális a 20 dB-es eltérés! Ez első hallásra elriasztó, de valóságos, hiszen ha a sugárzási és a földvesztési ellenállást hasonlítjuk össze, akkor

ez várható (rosszabb, mint 7 MHz-en, hiszen az antenna hullámhosszban mérve közelebb került a földhöz).

Következtetés: az NVIS ürügyén ne nyugodjunk bele az alacsonyan elhelyezett antennába! Terepen is keressünk valami megoldást, hogy legalább a hullámhossz tizedére (a szakirodalom nyolcadot ajánl!) emeljük meg az antennánkat. Kísérletünknel maradván ez 8...10 m-es magasságot jelent.

A dipól alkalmazásának előnye a kedvező sugárzás (NVIS – irány merőlegesen felfelé) és a földelési gondoktól való megszabadulás. A példánkban szereplő dipól természetesen keskeny sávú. A kísérlet alapvető célja annak a tévhitnek az eloszlatása, hogy az alacsonyan elhelyezett antennák alig rosszabbak, mint a magasabbról sugárzók. Óvatosan fogadjunk minden hasonló megjegyzést! Természetesen kényszerhelyzetben “jobb az alacsony, mint a semmi” elv érvényesülhet.

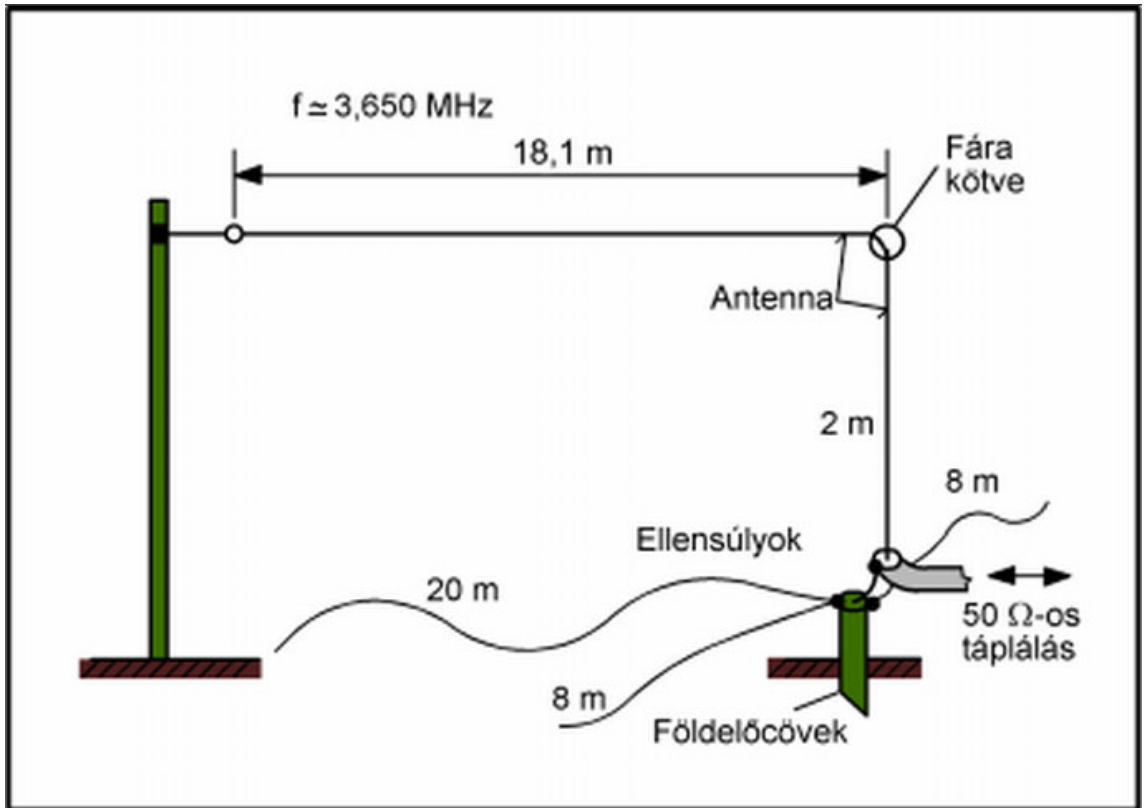
Aszimmetrikus huzalantenna alacsonyan

Automatikusan felvetődik a tisztelt olvasóban az egyszerűsítési javaslat: használjuk a 2×10 m-es huzalt egyetlen sugárzóként, melynek hossza 80 m-en eléri a negyedhullámot. Nem kell szimmetrizálni, egyszerűbb a táplálás. A cikk szerzője sem kerülhette el ezt a kísérletet. Az antenna tehát a földtől 2 m magasan kihúzott, eredetileg 20 m-es huzal volt, egyik végén táplálva. A táplálás a föld közelében történt, tehát teljes hossza kb. 22 m, melyből 20 m vízszintes, 2 m függőleges elhelyezésű.

Az első gond a jó földkapcsolat megvalósítása. Ideiglenes, gyors telepítésben gondolkozva, a földelőrúd 1 db, kb. 40 cm hosszúságú, felületkezelt vas sátorcövek volt. Messze van az ideálistól, de gyorsan megvalósítható.

A mérés rezonancia-kereséssel indult. Könnyebb mérni, mint a rövid dipólt, közvetlenül, aszimmetrikusan csatlakozhatunk a műszerre. Az első mérések 3200 kHz körüli rezonanciát mutattak 2,5-es SWR mellett. Más szóval: minden rossz. Ehhez járult még a “lebegő”, nem megfelelő földelés. Megfogva a mérőeszköz dobozát, az SWR rögtön csökkent. Ez az állapot minden rádióamatőr réme. Az RF-áram utat keres magának; a földkapcsolat rossz. A talaj sem igazán jó vezető, kötött, száraz föld, eső régen volt.

Az első lépés a földelés javítása. Talán az amerikai, klasszikus katonai rádiózás instrukciói segítenének. Locsold meg és sózd(!) be a földet! Na, ezt mégse! Marad a felületi huzalozás. Erre jók az elfekvő, már kiselejtezett koaxkábel-darabok: 8...10 mm átmérőjű *külső vezetőjük* (harisnyájuk) kiváló a rosszul vezető föld javítására. Jó lenne 5...10 cm mélyen a földben elhelyezni, de erre egy-egy ideiglenes, gyors telepítésnél (pl. bemutatásnál) nincs lehetőség. Fektessünk el a felületen több, a betáplálási pontban összekötött koaxdarabot! Ha van tápponti-impedancia mérési lehetőségünk, akkor követhetjük a föld „javulását”. A rezonancián mérhető 150...200 Ω -os tápponti ellenállás a koaxhuzalok elfektetésével arányosan fog csökkenni. A szerző ellensúlynak 3 db koaxkábelt alkalmazott, melyek közül egy, kb. 20 m-es, az antennahuzal alatt helyezkedett el. A másik kettő, egyenként mintegy 8 m-es, az antennahuzal irányával mintegy 30°-os szöget zárt be (**4. ábra**).



4. ábra

Ezzel az elrendezéssel sikerült 42Ω -ra, azaz 1,2-es SWR-re beállítani az antennát. A rezonancia beállítása az antenna *hosszának változtatásával* történt: 3650 kHz-es rezonanciához 18,1 m-es hossz tartozott. Érdeemes megjegyezni, hogy az antenna sávszélessége nagyobb, mint a közepén táplált rövid dipólé. A 2-es SWR-hez tartozó frekvenciatartomány 3520-3790 kHz. Az egyik ok a szelektív illesztés (rezgőkör) elmaradása.

A földhuzalokkal ellátott, üzemi frekvenciára hangolt antenna készen állt a megméretetésre. Szerencsére akadt közeli és távoli hazai állomás. Kitaró összehasonlítások után a végeredmény azonos az ugyanilyen feszávolságú dipóllal. Az L-hez viszonyítva több, mint 3 S-fok a különbség, azaz 20 dB. Csodák most sem segítettek.

Az aszimmetrikus táplálás kétségtelen előnye az egyszerűbb megvalósítás. Hátránya a járulékos földhuzalok használata, melyek akkor lehetnek kellemetlenek, ha egy bemutató során a potenciális támogató belekeveredik (esetleg elhasal) a földön fekvő huzalokba.

Tanulság

A két kísérletnek egyetlen tanulsága: emeljük meg az antennát, amennyire csak tudjuk, de célszerű $\lambda/10$ -nél magasabbra tenni. Ne higgyünk a lelkes rádióamatőrök írásainak, akik a földtől 30...40 cm-re kihúzott antennákkal értek el jó eredményeket! A trükk az összeköttetési tartalékban van. Gondoljunk arra, hogy 10...15 m magasságban lévő dipólok között 100 W betáplált teljesítménnyel (3,6 MHz) gyakran 59 + 10...20 dB-es riportot tudunk váltani. Legyen az egyik dipól alacsonyan (2 m)! Ekkor a partner 58-59-

es riportot fog adni (20 dB vételi jelszint-csökkenés). Mindenki boldog lesz és dicséri az alacsony antennát.

Próbáljuk ki úgy az átvitelt, hogy mindkét antenna alacsonyan van! 55-56-os riportokat váltanánk, ha éppen a csatornazaj, interferencia ezt lehetővé tenné. Hogyan növelhetnénk ilyen esetekben az összeköttetés megbízhatóságát? Úgy, hogy pl. PSK31-es, digitális jelátvitelt használnánk. Így már reális az alacsony antennák közötti kifogástalan összeköttetés!

Egy jó antennaillesztővel bármilyen huzalt egy adott frekvencián sugárzásra bírhatunk. A kisugárzott jel nagyságát (a vett jel szintjét) azonban a hullámhosszban mért föld fölötti magasság és huzalhossz alapvetően meghatározza. Lehetőleg ne használjunk $\lambda/4$ -nél rövidebb huzalt $\lambda/10$ -nél alacsonyabba téve!

Mindkét elrendezés, a dipól és a földdel párhuzamosan kihúzott huzal is, alapvetően felfelé, az NVIS-kapcsolatokhoz jól illeszkedően sugároz. Ha ferdén húzzuk ki azokat, a helyzet romlani fog, csökken a merőlegesen felfelé sugárzott jel nagysága. Lehetőleg ne döntsük meg az antennánkat $20...30^\circ$ -nál jobban!

Külön kell foglalkozni a mobil-összeköttetések antennáival, de ezekről majd máskor...

1. táblázat

| Magasság [m]; (λ) | Tápponti ellenállás [Ω] | | A valóságos föld veszteségét jellemző ellenállás [Ω] (B-A) |
|-----------------------------|--|-------------------------------|---|
| | Ideális (fém) föld (A) | Valóságos föld (B) | |
| 10 ($\lambda/4$) | 76,24 | 79 | 2,76 |
| 4 ($\lambda/10$) | 18,48 | 51 | 32,52 |
| 2 ($\lambda/20$) | 5,12 | 57,17 | 52,05 |
| 1 ($\lambda/40$) | 1,34 | 72 | 70,66 |
| 0,5 ($\lambda/80$) | 0,34 | 88 | 87,66 |
| | Ezzel arányos a kisugárzott teljesítmény | Ezt kell az adóhoz illeszteni | Ezzel arányos a földet melegítő teljesítmény |

2. táblázat

| | | | | | |
|------------------|-----|------|------|------|-----|
| Frekvencia [MHz] | 3,5 | 3,58 | 3,64 | 3,68 | 3,8 |
| SWR | 4 | 2 | 1 | 2 | 10 |