

Dr. Balajti István

Hatásos radarcéltárgy-keresztmetszet növelési lehetőségek **II. rész**

A 7. ábra az F-117-es első generációs „Lopakodó” repülőeszköz RCS frekvencia és RF jel besugárzási irány függését vizsgáló szimuláció eredménye. Megállapítható, hogy a repülőgép alakja és az RF energiaelnyelő anyagok jelentősen csökkentik az RCS felületét szemből $\pm 70^\circ$ tartományban és hátulról érkező radarimpulzusok ellen. Ugyanakkor a „VHF” („m”-s) hullámtartományban és 400 MHz környékén még a legfontosabb irányban, szemből is 6-10 dBm² a hatásos radarkeresztmetszet. Ezt ismertre fel és használta ki a szerb légvédelem a balkáni légitámadások alatt, amikor a P-18-as rádiólokátort 139,5 MHz-n üzemeltették, ezáltal láthatóvá téve a lopakodó F-117-est. [4]

A különböző átmérőjű és egymástól különböző távolságban elhelyezett gömbök RCS szimulációs értékeiből követ-

keztetések vonhatók le a radarrendszerek ígéretes fejlesztési irányairól. A 8-9. ábrák és az 1. táblázat a különböző üzemi frekvenciák azonos térszben való alkalmazásának sajátosságait, és ezáltal a radar hatótávolság növekedési lehetőségét szemlélteti. A módszer két területen fejti ki kedvező hatását. Az első, hogy különböző egymáshoz közeli frekvenciákon a céltárgy fluktuáció egyenletesebbé válik, így megnő az RCS, melyet frekvencia diverzitás-erősítésnek nevezünk. A másik tényező a céltárgy fluktuációs veszteségek csökkenése, ha a különböző frekvenciákon vett jeleket egymástól függetlenül mintavételezzük.

Drónazonosítás sajátosságait szemlélteti 8. ábrán bemutatott szimuláció, amely adott VHF frekvenciákon öt (3 kicsi és 2 nagy) gömbbel jellemzett céltárgy alakjára vonatkozó beszívások helyeit és a szemből érkező radarimpulzusok (90°-nál) egybeeső RCS maximumok értékeit mutatja.

A 9. ábra a 8. ábra kiindulási adatainak felhasználásával képzett kompozit értékeit jeleníti meg, Gaussi-monostatikus radar kompozit jelfeldolgozása esetén. A céltárgy-felület RCS-fluktuációja 60 dB-ről 7 dB-re csökken és az RCS erősítés, a vizsgált konfigurációban eléri a 7-8 dB-t. Gyakorlati tapasztalatok szerint az RCS erősítés értéke veszteségekkel, frekvencia-párokként átlagban 2.8 dB-lel nő.

Megállapítható, hogy a különböző egymáshoz közeli frekvenciák alkalmazásával a RCS-re jellemző beesési szögek eltérnek egymástól, még a nagy, összetett céltárgy RCS értékei is alig fluktuálnak a VHF frekvencia-tartományban.

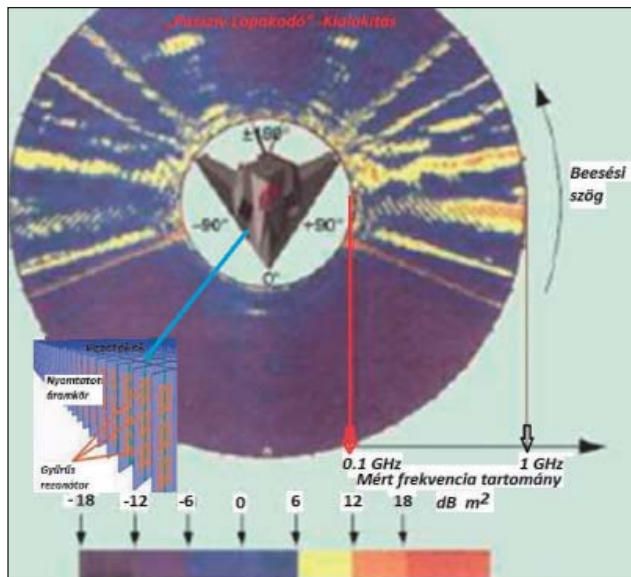
Az 1. táblázat Blake Chart számításainál a különböző egymáshoz közeli frekvenciákon („VHF”, „L”, „S”, és „X”) üzemelő radarok azonos műszaki paraméterekkel rendelkeznek és minden esetben azonos környezeti paraméterek jellemzik a szabvány céltárgyat: RCS= 1 m², Sw1, P₀=0.9, P_v=10⁻⁶. [5] Természetesen 34 dB antenna nyereség elérése a „VHF” frekvencia tartományban rendkívül nagy antennaméreteket eredményez, amely nehezen kivitelezhető, míg ugyanez a követelmény szinte irreálisan kis antennákat feltételez az „X” frekvenciasávban. [6] Ugyanakkor az elvárásokban jelentkező ellentétek gazdaságosan feloldhatók Gauss-féle monostatikus konfiguráció és kompozit koherens jelfeldolgozás alkalmazásával. A céltárgy szempontjából nincs elvi akadálya a módszer hatékony megvalósításának, ha a bázisvonal értéke kicsi és alig változik a céltárgy irányához viszonyítva.

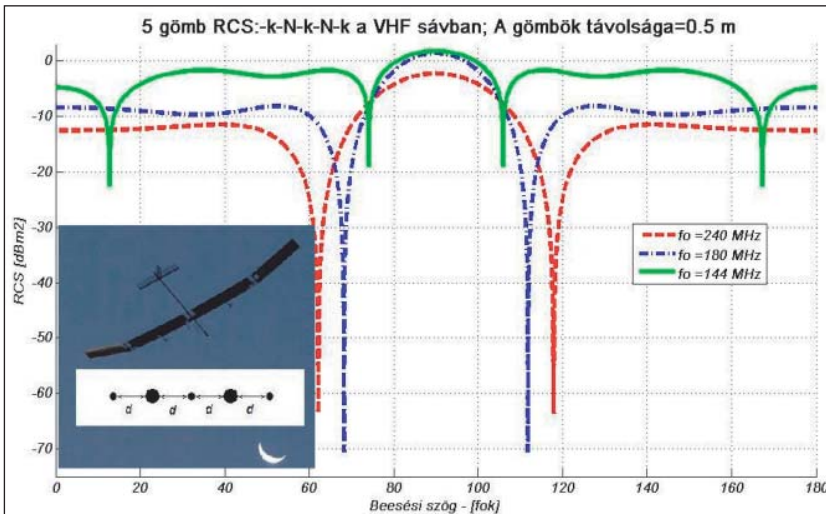
A VHF frekvenciasáv nyújtotta előnyök kihasználására jó példa a 10. ábrán látható radar. A radar neve, „Resonance”. Működéséről nagyon kevés adattal rendelkezünk, és amit ismerünk, azokban a performanciákban sem lehetünk biztosak. A gyártó által közölt maximális céltárgy-detektálási távolság 1100 km, 100 km repülési magasságig, szokatlan értékek, de megvalósításuk megfelelő antenna irány-karakterisztika, nagy antennanyereség és adóteljesítménnyel lehetséges. Az előzőekben bemutatott elemzések igazolják, hogy bár a képen látható antennák mérete ismeretlen és az átlag adóteljesítményről sincs adatunk, a radar kihasznál-



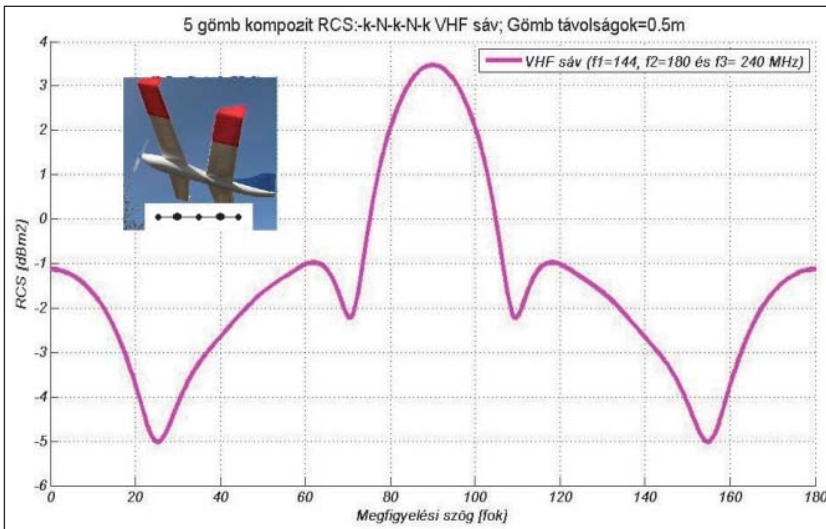
6. ábra. T-50-es, többfeladatú „lopakodó” technológiával épült katonai repülőgép egyik prototípusa

7. ábra. Az F-117 RCS szimulációval készült vizsgálat eredményei [3]





8. ábra. Számított RCS a 144, 180 és 240 MHz frekvenciákon



9. ábra. Kompozit RCS a 144, 180 és 240 MHz frekvenciák jelösszegzésével

hatja a több vivőfrekvencia, polarizáció és a céltárgyról visszaverődő jelek hosszú időn keresztül történő koherens jelintegrálás nyújtotta előnyöket. Így megoldható a kis RCS-sel rendelkező céltárgydetektálás mellett a céltárgyak útvonalba fogása, követése és felismerése is. A kérdés csak az, hogyan lehet ezt költséghatékonyan elérni? Az antennarendszerről levonható az a következtetés, hogy a radar 50 és 150 MHz frekvenciatartományban üzemelhet és nagyon valószínű, hogy ez a radar többet tud az egyszerű saját adójelre való jelintegrálás képességénél. Ez a radar típus a fentiekben felsorolt lehetőségeken túl, szinte biztosan alkalmaz úgynevezett „időlegesen nem publikus műszaki megoldásokat” is.

Haditechnikai Intézet 2007-ben megszűnt. Ezzel a Magyar Honvédség gyakorlatilag elvesztette a haditechnikai eszközökben rejlő költséghatékony, a hazai tudományos és ipari lehetőségeket, ötleteket ötvöző, a világgiacon is gazdaságosan kihasználó „meglepetés faktort” maximalizáló, a külföldi haditechnikai eszközök performanciáit szakavatott módon értékelő képességét. Ezért napjainkban már rendkívül nehéz megítélni, hogy milyen jövőbeni kihívások előtt állnak a hatásos radarcéltárgy-keresztmetszet vizsgálatával foglalkozó radarszakemberek, fizikusok. A HTI égisze alatt gyorsan és rendkívül kis költségekkel lehetett tanulmányozni a médiában felröppető új haditechnikai eszközök, eljárások harctéri hatékonyságát, rá lehetett mutat-

A legegyszerűbben realizálható képesség a passzív koherens rádiólokáció megvalósítása az antennarendszer által lefedett frekvenciasávban. Ez lehetőséget ad az 1000 km-en belül található elektromágneses jelforrások, pl. TV-/rádióadók, a távoli Nap vagy krízishelyzetben a szembenálló fél nagyteljesítményű zavaradóinak rejtett felhasználására. További „hozzáadott érték”, azaz tulajdonság lehet az „S” vagy „C” sávú több frekvenciát alkalmazó radarok jel-előállításával való jelszinkronizálás. Gauss-féle monostatikus üzemmód alkalmazása esetén, a radarok számára közös alapelvből előállított KF jelet a „VHF” radar sugározza ki, majd az ebből képzett „S” illetve „C” sávú jelek a rendszer részét alkotó radarral szintén kisugárzásra kerülnek, majd a céltárgyról visszaverődött impulzusokat a „VHF” „S” illetve „C” sávhoz tartozó kompozit jelfeldolgozás kiértékeli. Rejtett üzemmód esetén kihasználható, hogy az „S” illetve „C” sávban üzemelő radarok adójelrei 56 vagy 112 MHz-s elkülönítéssel a céltárgy felületét, mint nem lineáris keverőket alkalmazva verődnek vissza a céltárgyról és a „lekevert” impulzusokat a „VHF” radar érzékeli és integrálja. A felsorolt módszerek hátránya, hogy a vett jelek vételi csatornáinak száma és a jelfeldolgozás komplexitása jelentősen megnő, ugyanakkor az impulzusok integrálási nyeresége bőven kompenzálhatja a szoftver radar elvárta befektetéseket.

A TÁVOLABBI JÖVŐ RCS KIHÍVÁSAI

A magyar katonai kutatás-fejlesztés önálló intézménye, az 1920-ban alapított

1. táblázat. Céltárgy detektálhatóság növekedése több frekvencia alkalmazásával

Alkalmazott frekvenciák száma	VHF frekvencia sáv -0,2 GHz	L frekvencia sáv -1,3 GHz	S frekvencia sáv 3,3 GHz	X frekvencia sáv -9,5 GHz
1	455 km	193 km	121 km	71 km
2	575 km	242 km	152 km	89 km
3	622 km	262 km	164 km	96 km
4	647 km	272 km	170 km	100 km



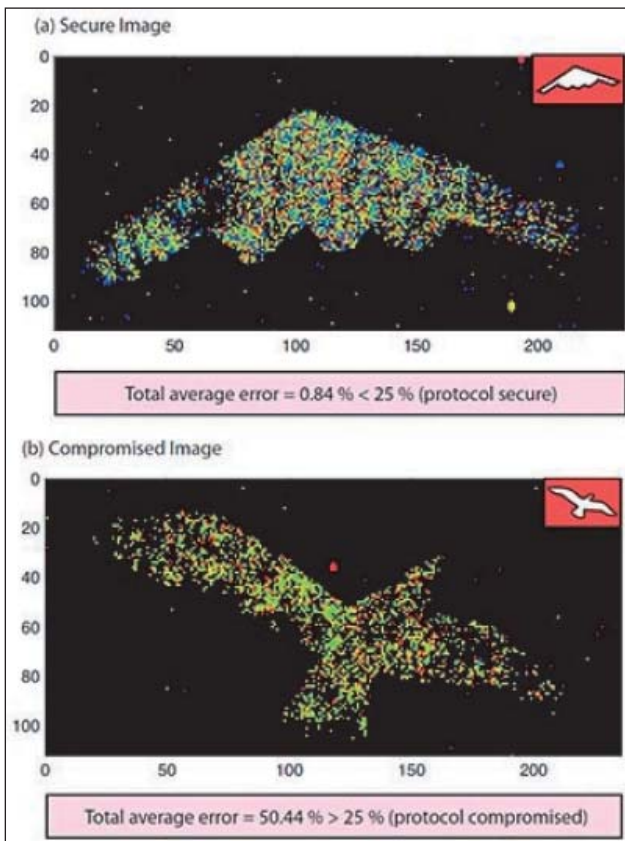


10. ábra. A RESONANS orosz távolfelderítő VHF radar [8]

ni azok nem publikus hiányosságaira, illetve előnyeire. Pl. jelen cikk témakörében nagy valószínűséggel jelezhető, hogy a kvantumfizika jelenségeit kihasználó radarok fejlesztésének tanulmányai kidolgozás alatt vannak. [9]

2016-ban kínai tudósok közzétették, hogy 100 km hatótávolsággal rendelkező kvantum radart építettek, amely a B-2 „lopakodó” technológiával épült repülőgépeket is de-

11. ábra. Laborkörülmények között mért kínai kvantum radar céltárgydetekció [10]



(Fotók a szerző gyűjteményéből.)

tektálni képes. Ezeket a híreket viszont nagyon kritikusán kell kezelnünk, hiszen a témakör kiemelten fontos kérdése, hogy a kvantum radar számára a repülő eszközök, milyen „hatásos céltárgy-keresztmetszettel” rendelkeznek. Napjainkban még nem tisztázott a kvantum háttér „zajsztíjtje” és ezen elhelyezkedő különböző céltárgyak viselkedése földközeli és közepes repülési magasság tartományokban. Hogyan kell a mintavételezett jeleket egymáshoz hasonlítani, illetve elkülöníteni? Az interneten bemutatott kép (11. ábra), inkább furnér időmon megjelenő fénypontokat, mintsem valós mérési eredményeket ábrázol, amelyeket csak felülről történt megvilágítás esetén lehetne valóságnak tekinteni. [10]

További kérdések: Milyen anyagokon hatol át, vagy nyelődik el a légteret szondázó kvantum, hiszen a lopakodó repülőket fedezve, pl. dipól visszaverődések mögött közelítik meg céljaikat? A hírt bejelentő oldalon miért találunk egy a Lockheed Martin TPY-X radarjára hasonlító, kiterjesztett frekvencia-tartományban üzemelő radart?

A kérdések izgalmasak, és a műszakilag bizonyítható válaszokra még várunk kell néhány évet.

IRODALOM

1. I. Balajti, F. Hajdú: Surprising findings from the Hungarian radar developments in the era of the second world war, Radio Science Bulletin 358: (September) pp. 82-108. dokumentum típusa: Folyóiratcikk/Szakcikk nyelv: angol, http://www.ursi.org/content/RSB/RSB_358_2016_09.pdf.
2. E. Istvánffy, „Radarkészülékek elméleti és gyakorlati problémái”, Elektrotechnika, 1948, Vol. 40, Nr. 8, August, pp. 167-184. (Theoretical and Practical Problems of Radar).
3. H. Kuschel: 'VHF/UHF radar, part 1: characteristics; part 2: operational aspects and applications', Electronics and Communications Journal, Vol.14, No.2, pp 61-72, April 2002, and Vol.14, No.3, pp 101-111, June 2002.)
4. I. Balajti; Gy. Kende, Ed. Sinner : Increased importance of VHF radars in Ground – Based Air Defense, IEEE Aerospace and Electronic SYSTEMS Magazine, Januar 2012 p. 2-18.
5. D. K. BARTON, (2005): Radar system analysis and modeling. Boston, Artech House. 545 p. ISBN 1-580536-81-6.
6. <https://www.magyar-elektronika.hu/34-tartalom/tartalom/1545-a-radartechnika-alapjai-3-resz-a-radar-hatotavolsaga>.
7. <http://www.radartutorial.eu/01.basics/Frequency%20Diversity%20Radar.en.html>.
8. <http://www.roe.ru/catalog/protivovozdushnaya-oborona/rezonans-ne/>.
9. https://en.wikipedia.org/wiki/Quantum_radar.
10. <http://www.dailymail.co.uk/sciencetech/article-2249392/The-unjammable-quantum-radar-make-present-generation-stealth-technology-obs>.
11. <http://www.kbctv.co.ke/blog/2016/09/23/china-says-it-has-a-new-ghostly-quantum-radar-that-can-spot-us-stealth-aircraft/>.