

261 sz. példány

Katonai Logisztika

(Anyagi-technikai Biztosítás)



1996/3.sz. 1. füzet

A MH ATFCSE-ség belső kiadványa

ANYAGI-TECHNIKAI BIZTOSÍTÁS

KORSZERŰSÖDIK A RÁDIÓTECHNIKAI RENDSZERÜNK?

II. RÉSZ

Csikesz Ferenc¹

Bevezetés

A cikk első részében (a *Katonai Logisztika* 1995/4. számában jelent meg) az aktív zavarás alatti performanciával ismerkedtünk meg, a jelen második rész a radar ECCM képességeinek szerves részét képező passzív zavar elnyomó technikákkal foglalkozik. A szakirodalom helyenként minden felszíni és térbeli elhelyezkedésű visszaverő felületről származó, zavaró rádiólokációs visszhangot passzív zavarként értelmez, szűkebb értelemben a dipólfelhőt tekinti passzív zavarnak. Megkülönböztetésül az előbbieket clutternek, a dipólfelhőt chaffnak nevezi.

Mielőtt részletes elemzésekbe bocsátkoznánk nem árt utalni arra, hogy rádiótechnikai rendszerünk korszerűsítését célzó fejlesztés keretében, első fázisként, két nagy hatótávolságú, három koordináta mérésére alkalmas radar beszerzésére kerül sor, nemzetközi pályázat útján. **A távolfelderítő radarok az L (NATO D) és az S (NATO E/F) sávban üzemelnek.** Egyes források szerint napjainkban világszerte 473 korszerű 3D, S sávú radart üzemeltetnek; a 3D, L sávú radarok száma 169. A kereső radar egyenletéből adódik, hogy a felderítési távolság elsősorban az átlag teljesítmény-vételi antenna felület szorzattól függ, amit legkönnyebben az alacsonyabb frekvenciákon lehet elérni. A magasabb frekvenciák irányában, az S sávtól kezdődően a meteorológiai képződmények csillapítása, a VHF sávban és az alatta lévő frekvenciákon a galaktika zaj hatása csökkenti a felderítési távolságot. Az alsó sávokban a több utas terjedés korlátozza a kis magasságú fedést. **Az USA és a NATO előjelző, nagy hatótávolságú radarjai az UHF és L sávban, a volt szovjet gyártmányúak pedig a VHF sávban üzemelnek.**

A pályázat műszaki követelményeinek összeállításakor nem közböbs, hogy melyik radar sávot fogja terhelni a beszerzendő radar, a

¹ Csikesz Ferenc mk. ezredes, MH Haditechnikai Csoportfőnök-helyettes

kérdés így merül fel: S, vagy L sáv? A kérdés eldöntése alapos elemzést igényel, amelynél figyelembe kell venni, hogy a radar által szolgáltatott információt hol fogják felhasználni, milyen pozíció mérési és felbontóképességi követelményeket támasztanak vele szemben, valamint a már meglévő radar környezetet. **Az összehasonlítást célszerű az alábbi területeken elvégezni:**

- zavarmentes környezetbeni performancia,
- aktív zavarás alatti performancia,
- clutter és chaff viszonyok közötti performancia,
- túlélőképesség,
- technológia.

Az egyszerűség kedvéért, ahol ez szükséges, a számításokat az L sávban 1300 MHz, az S sávban 3000 MHz frekvencián végeztük el.

1.) Zavarmentes környezetbeni performancia

Bármely radar zavarmentes környezetbeni performanciáját a lokátor egyenlet alapján számítható felderítési távolságával és a célpozíció meghatározási pontosságával lehet jellemezni. Ezen paramétereket befolyásoló mennyiségek közül az antenna nyereséget, az irányélességet, a szabadtéri csillapítást és az atmoszféra csillapítást tekintjük át a frekvencia függvényében.

Az antenna elméletből ismert, hogy az antenna nyeresége az alábbi összefüggés alapján számítható:

$$G = 4 \pi \times k_a \times A / \lambda^2 \quad (1)$$

- ahol: - λ az RF hullámhossz,
 - A az antenna geometriai felülete,
 - k_a az apertúra hatásfok.

Az S sávú távolfelderítő radaroknál szokásos maximális antenna méretet (6m x 4.3m) és 50% apertúra hatásfokot feltételezve, az antenna nyereségek mindkét sávra:

$$G_L = 4 \pi \times 0.5 \times 6 \times 4.3 / 0.23^2 = 34.9 \text{ dB}$$

$$G_S = 4 \pi \times 0.5 \times 6 \times 4.3 / 0.10^2 = 42.1 \text{ dB}$$

Az antenna nyereség és az irányélességi szög között az alábbi összefüggés áll fenn:

$$G = 4 \pi \times k_r / (\theta_{az} \times \theta_{el}) \quad (2)$$

- ahol: - k_r az antenna sugárzási hatásfoka,
 - θ_{az} a vízszintes irányélességi szög,
 - θ_{el} a függőleges irányélességi szög.

Az (1) és (2) egyenletek jobb oldalait egyenlővé téve:

$$\theta_{az} \times \theta_{el} = k_r \lambda^2 / (k_a A) \quad (3)$$

A (3) egyenletből levezethető:

$$\theta_{az} = \lambda / L_w \times (k_r/k_a)^{1/2} \quad (4)$$

$$\theta_{el} = \lambda / L_h \times (k/k_a)^{1/2} \quad (5)$$

ahol: - L_w az antenna szélessége,

- L_h az antenna függőleges mérete.

A (4) és (5) kifejezések segítségével, az előbbi antenna méretek és $k_r=0.8$ esetén az L sávú radar irányélességi szögei, radiánból fokba átszámítva:

$$\theta_{az} = 0.23 / 6 \times (0.8/0.5)^{1/2} = 2.8^0$$

$$\theta_{el} = 0.23 / 4.3 \times (0.8/0.5)^{1/2} = 3.9^0$$

Az irányélességi szögek az S sávú radarnál:

$$\theta_{az} = 0.1 / 6 \times (0.8/0.5)^{1/2} = 1.2^0$$

$$\theta_{el} = 0.1 / 4.3 \times (0.8/0.5)^{1/2} = 1.7^0$$

A szabadtéri csillapítás a radar és a céltárgy közötti szabadtéri-szakasz által okozott terjedési veszteséget adja meg. Emlékeztetjük az olvasót, hogy a céltárgyról visszaverődött, a radar által vett, teljesítmény:

$$\begin{aligned} P_H &= P_R \times G_R \times \sigma \times A_R / [(4\pi)^2 \times R^4] = \\ &= [P_R \times G_R \times \sigma / (4\pi R^2)^2] \times I^2 G_R / 4\pi = \\ &= P_R \times G_R^2 \times [\lambda^2 / (4\pi R)^2]^2 \times 4\pi \times \sigma / \lambda^2 \quad (6) \end{aligned}$$

ahol: - P_R a radar impulzus teljesítménye,

- G_R a radar adóantenna nyeresége,

- R a radar és a céltárgy közötti távolság,

- A a radar vevőantenna hatásos felülete,

- σ a céltárgy hatásos visszaverő felülete,

- λ az RF jel hullámhossza.

A szögletes zárójelben szereplő törtkifejezés a szabadtéri-szakasz csillapítása, értéke logaritmikus léptékben:

$$L = 32.4 + 20 \times \lg f_{[MHz]} + 20 \times \lg R_{[km]} \quad (7)$$

A (7) összefüggés felhasználásával számítható az S és az L sávok szabadtéri csillapítása közötti különbség: $L_S - L_L = 20 \lg 3000 - 20 \lg 1300 = 69.54 - 62.28 = 7.26$ dB.

Az atmoszféra abszorpció miatti csillapítás az L sávban kisebb, mint az S sávban. Barton adatai szerint a tenger szinten vett kétutas csillapítási tényező 1300 MHz frekvencián 0.012 dB/km, 3000 MHz esetén pedig 0.015 dB/km.

Az eddig elmondottakból érdemes néhány, a sáv választásával kapcsolatos, következtetést levonni.

- Azonos antenna méret esetén az S sávban megközelítőleg 7.3 dB-el nagyobb a nyereség, mind adáskor, mind vételkor, viszont a szabadtéri csillapítás is 2.23-szor nagyobb. Azonos adási teljesítményt és azonos nagyságú rendszer veszteségeket feltételezve, az S sávú radar zavarmentes környezetbeni felderítési távolsága mintegy 10-20 százalékkal nagyobb lehet. Még akkor is, ha figyelembe vesszük, hogy a következő pontban tárgyalt nagyobb irányélességi szög miatt elvileg az L sávú radar több impulzust tud integrálni.

- Azonos antenna méret esetén az S sávú radar antenna nyalábszélessége mindössze 43%-a az L sávúéénak. Ismeretes, hogy alapvetően a nyalábszélesség, s így közvetve az antenna mérete határozza meg az irány szerinti felbontóképességet és mérési pontosságot. Azonos mérési eljárás során a hullámhosszhoz viszonyított nagyobb antenna méret ad pontosabb irányt. Nem szabad azonban elfelejteni, hogy a monopulzus rendszerek a szög koordináták pontosabb becslését teszik lehetővé. Ennek az a magyarázata, hogy a visszavert jel amplitúdó alacsony frekvenciás fluktuációja nem okoz járulékos hibát az irány megállapításakor. Következésképpen -bármelyik sávban- a nagyobb antenna méret által biztosított mérési pontosság érhető el monopulzus eljárással kisebb lineáris méretek mellett.

- Azonos nyereség és irányélességi szögek esetén ugyanakkora zavarmentes környezetbeni felderítési távolság eléréséhez az L sávú radarnak kisebb adó teljesítményre van szüksége. Az (1) összefüggés felhasználásával becsülhető meg az S sávú antennával ekvivalens L sávú antenna felülete:

$$G = 4 \pi \times A_S \times k_a / 0.1^2 = 4 \pi \times A_L \times k_a / 0.23^2$$

$$A_L = A_S \times 0.23^2 / 0.1^2 = 5.3 \times A_S$$

- **A gyakorlatban minden katonai radar mobil, vagy legálábbis szállítható kivitelű.** Ez a tény korlátozza a radar súlyát és méreteit. Ezért az L sávú radarok antennájának felülete, a választott monopulzus, vagy centroid iránymérési eljárásnak megfelelően, kétszer, legfeljebb háromszor haladja meg a példaként vett S sávú méretet. Ez esetben, még elfogadható iránybecslési pontosság romlás mellett, azonos zavarmentes környezetbeni felderítési távolságot tudnak biztosítani kisebb adó teljesítmény felhasználásával. A piacon ajánlanak olyan L sávú radart is, amelynek antenna felülete a példánkban vett érték közel ötszöröse.

Bár a felszín zavaró hatásával a clutter környezetbeni performancia tárgyalásakor foglalkozunk, lényeges megemlíteni, hogy a felszínről történő visszaverődés következtében fellépő többbútas terjedés miatt a radar folytonos letapogatási zónája helyszögben felszakadozik. A terjedési tényező által determinált maximum helyek és beszívások keletkeznek.

Maximum alakul ki, amikor: $4h_a h_t / \lambda R = 2n + 1$ és minimum keletkezik, ha $2h_a h_t / \lambda R = n$, ahol n egész szám, h_a az antenna magasságot, h_t a cél magasságát, R a cél távolságát jelöli.

Az első maximum helyszöge megközelítőleg $\lambda / 4h_a$ radián. Ha alacsony helyszögű fedés szükségeltetik, vagyis kis magasságú célok felderítése a kívánalom, akkor, vagy az antenna magasságot kell növelni, vagy a hullámhosszt csökkenteni. Ugyanazon helyszögű maximum eléréséhez az L sávú radart 2.3-szer magasabb toronyra kell telepíteni, mint az S sávút. Az 6.-9. oldalakon lévő grafikonok az iránykarakterisztika alakulását szemléltetik a függőleges síkban, 12 m és 50 m antenna magasság esetén. Érdeemes megfigyelni a beszívások számának, mélységének és szélességének alakulását a két vizsgált frekvencián. Hasznos kiegészítő információval szolgál a visszavert jel szintjének alakulása a távolság függvényében, kis magasságú cél esetén (10.-13. oldalak).

2.) Aktív zavarás alatti performancia

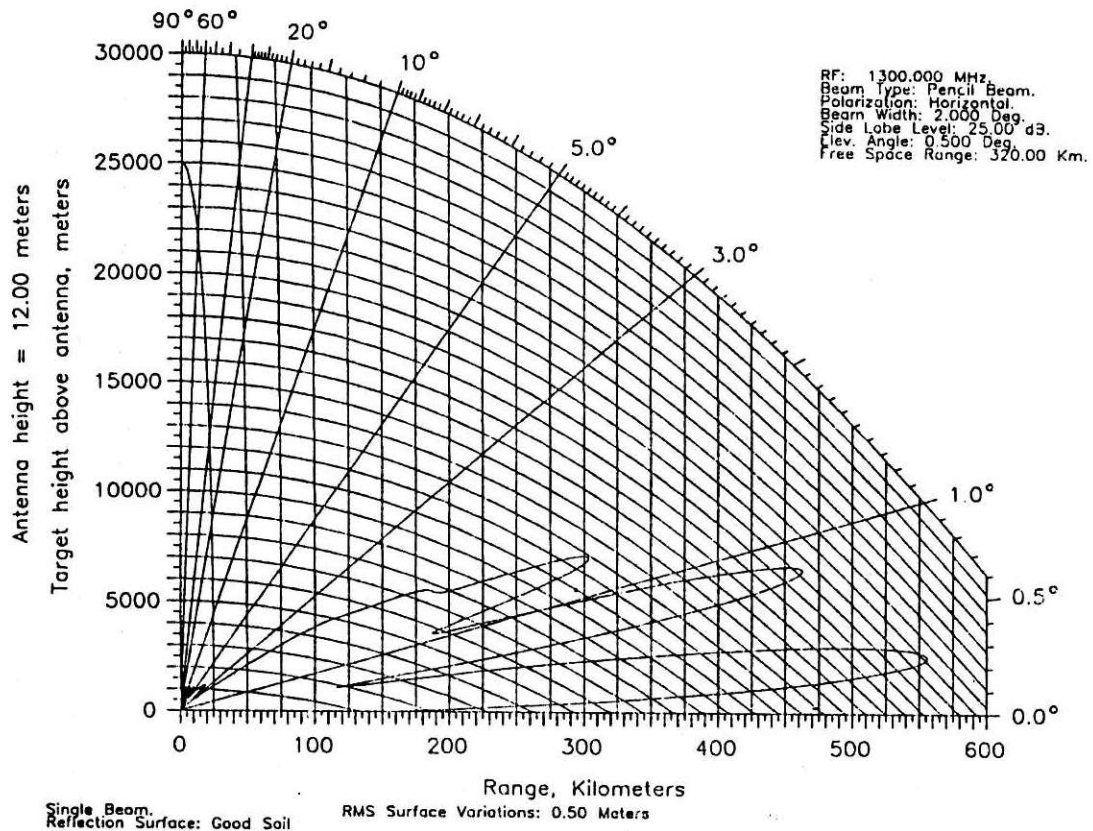
A radarok aktív zavarás alatti performanciájával a cikk első része foglalkozott, jelenleg csak a két sáv közötti különbségekre kívánok reflektálni, ezek az alábbi területeken jelentkeznek meghatározóan.

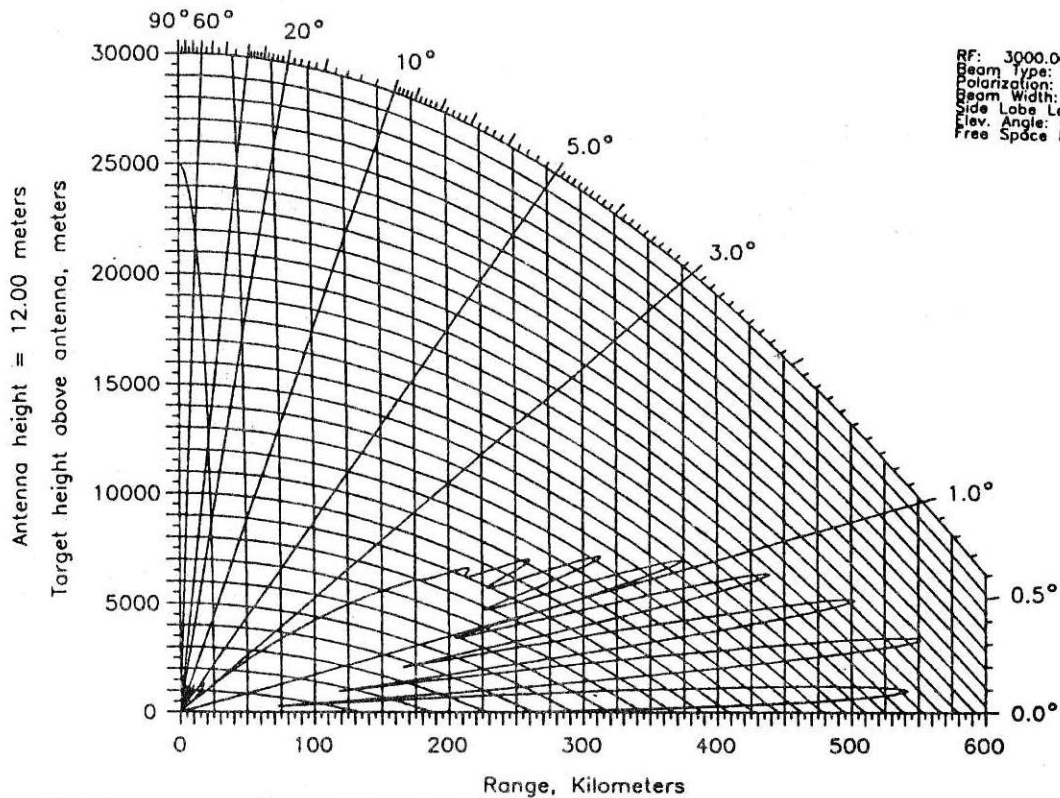
- A vételi antenna karakterisztika irányélességi szöge, ami a hatásosan lefogott szektor szélességét determinálja, az L sávban - a korábbiakban elmondottak miatt - szélesebb.

- Ugyancsak a vételi antenna karakterisztika keskenyebb irányélességi szöge miatt az S sávú radar a zavaró szöghelyzetét pontosabban tudja megállapítani.

- Amíg az S sávban az üzemi frekvencia tartomány általában 400 MHz széles - az utóbbi NATO beszerzések esetében 500 MHz -, addig az L sávú radarok 185 MHz szélességű sávban képesek frekvencia manővert végezni. A nagyobb manőver sáv szélesség előnyét a 4. ábra (I. rész) meggyőzően szemlélteti. A szélesebb sávban rendelkezésre álló nagy mennyiségű diszkrét frekvencia véletlenszerű alkalmazása arra kényszeríti a zavarót, hogy széles sávú üzemmódra áttérve csökkentse a hatásosan kisugárzott teljesítmény sűrűségét. A tartalék frekvenciák számával kapcsolatban a NATO egyértelmű követelményeket fogalmaz meg, igazán kár, hogy a tender szövegében eszközölt módosítás következtében egy elkent, **a rendelkezésre álló frekvencia számot nem tükröző megfogalmazás született meg a kompromisszum keresés égisze alatt.**

- Önrávezető rakéták (ARM) esetében a rakétatest térfogata behatárolja az antenna lineáris méreteit is. Emiatt az L sávban kisebb lesz az antenna nyeresége, és kiszélesedik az iránykarakterisztika. Mindkettő a rávezetés hibáját növeli.



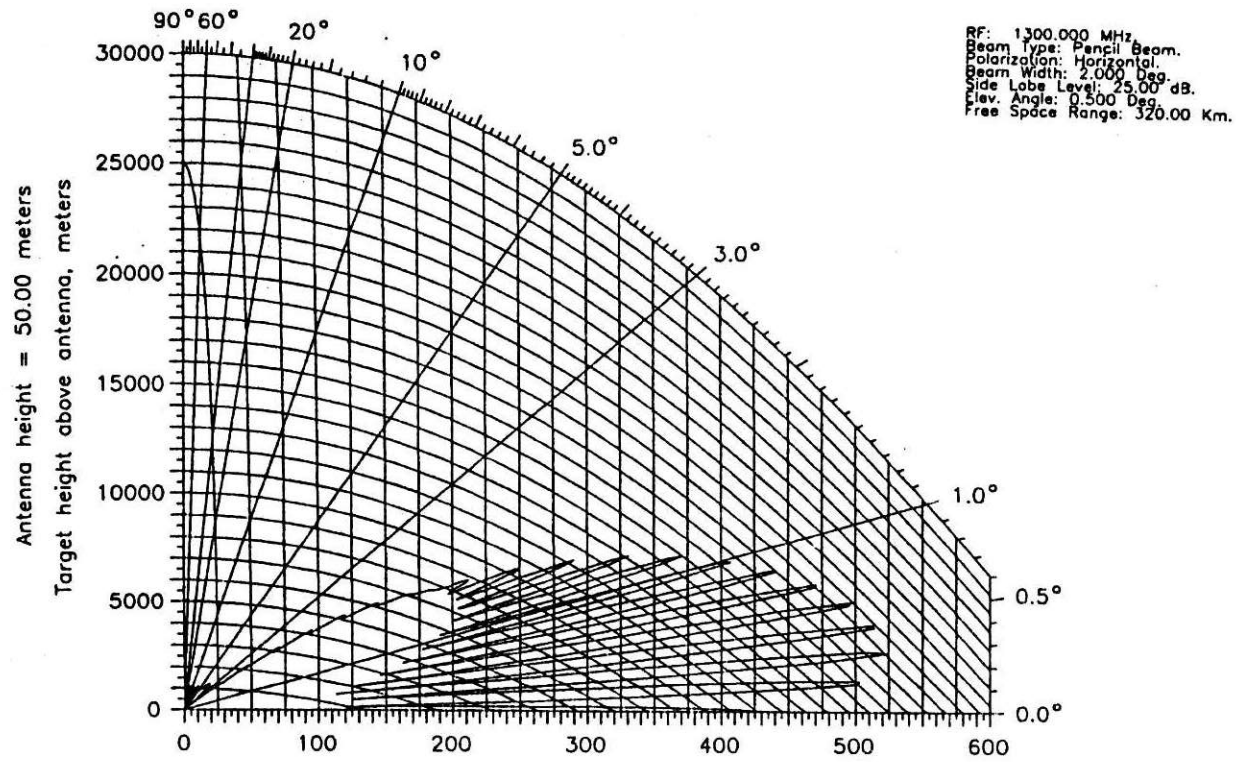


RF: 3000.000 MHz
 Beam Type: Pencil Beam.
 Polarization: Horizontal.
 Beam Width: 2.300 Deg.
 Side Lobe Level: 25.00 dB.
 Elev. Angle: 0.500 Deg.
 Free Space Range: 320.00 Km.

Single Beam.
 Reflection Surface: Good Soil

RMS Surface Variations: 0.50 Meters

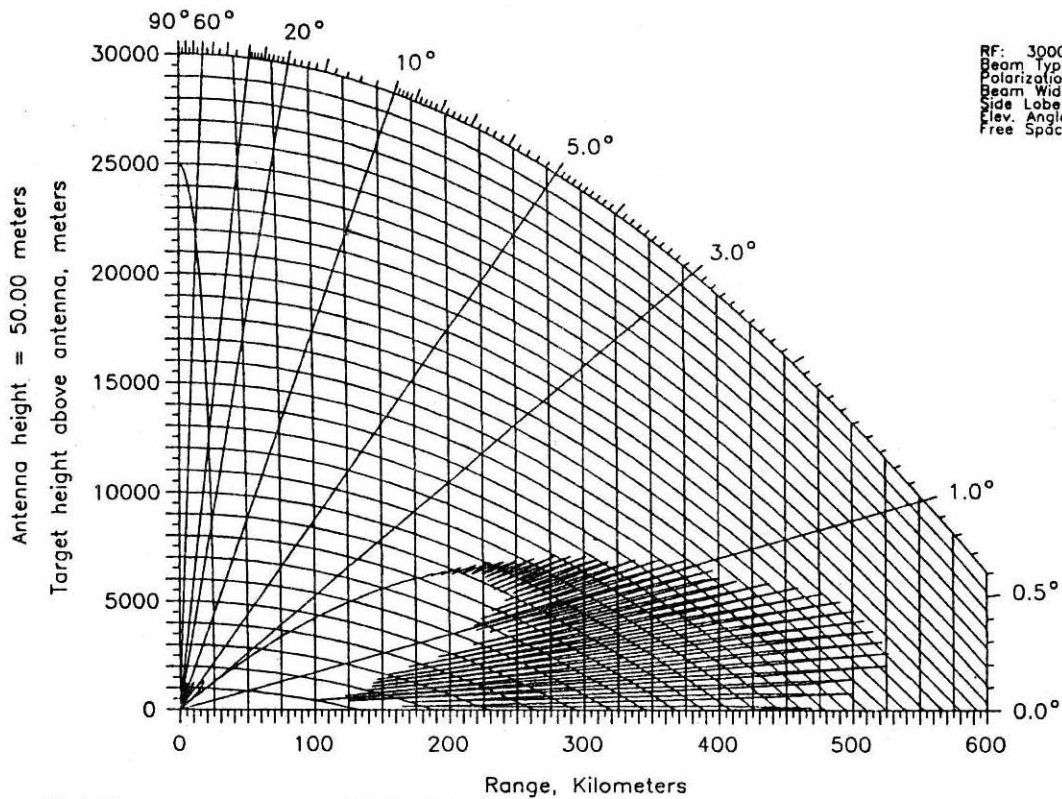
8



RF: 1300.000 MHz.
Beam Type: Pencil Beam.
Polarization: Horizontal.
Beam Width: 2.000 Deg.
Side Lobe Level: 25.00 dB.
Elev. Angle: 0.500 Deg.
Free Space Range: 320.00 Km.

Single Beam.
Reflection Surface: Good Soil

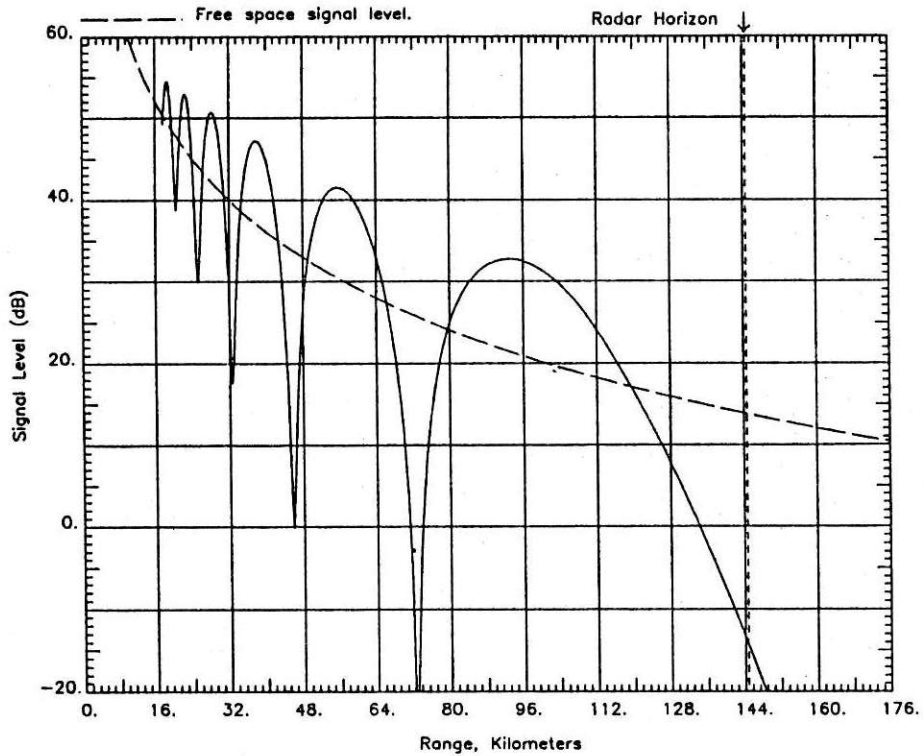
RMS Surface Variations: 0.50 Meters



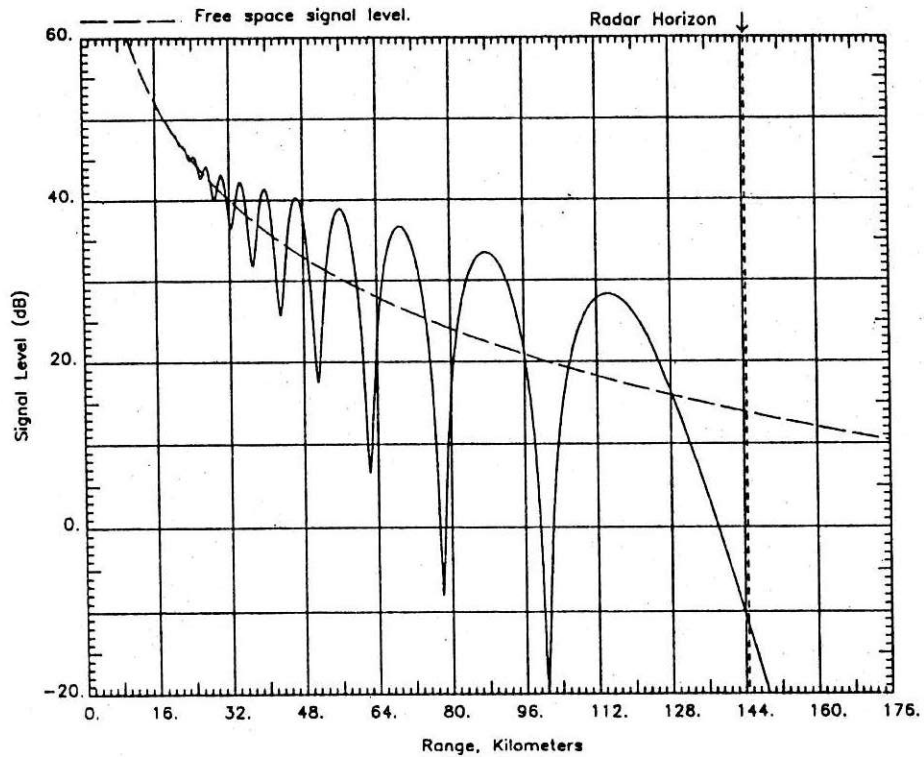
RF: 3000.000 MHz
 Beam type: Pencil Beam.
 Polarization: Horizontal
 Beam Width: 2.500 Deg.
 Side Lobe Level: 25.00 dB.
 Elev. Angle: 0.500 Deg.
 Free Space Range: 320.00 Km.

Single Beam.
 Reflection Surface: Good Soil

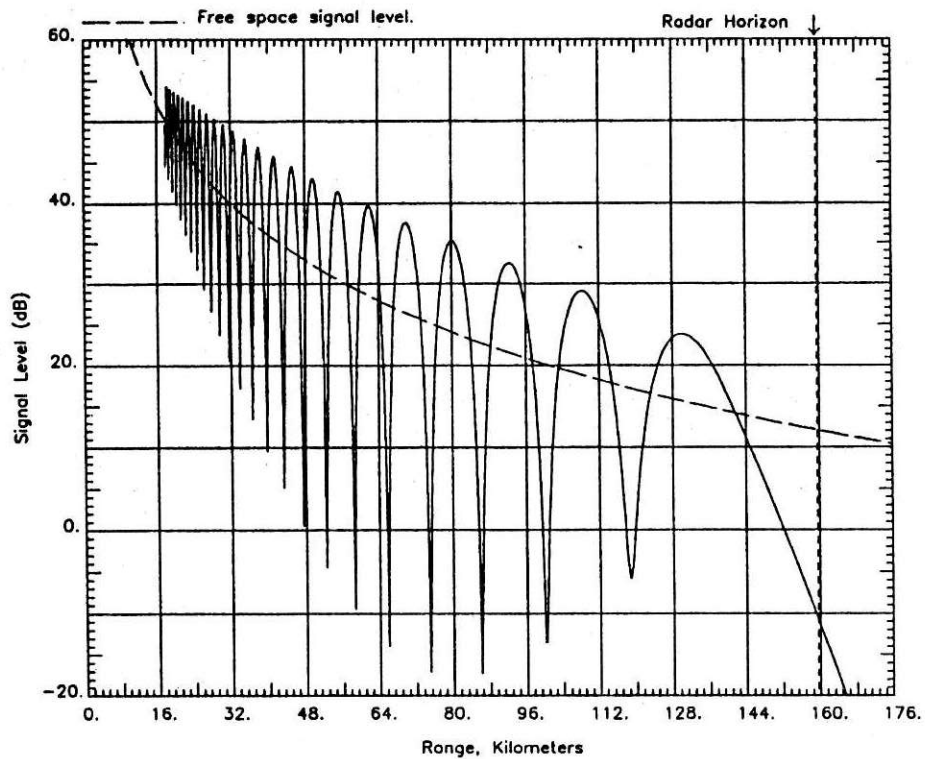
RMS Surface Variations: 0.50 Meters



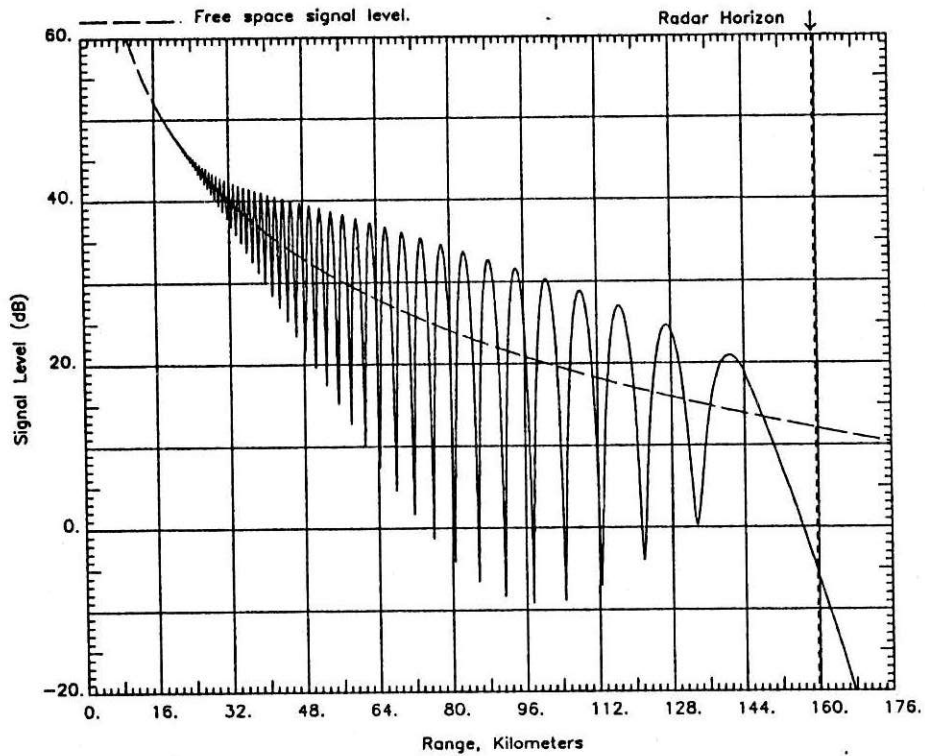
RF: 1300.000 MHz
Poi: Horizontal
Free Space Range: 320.00 Km.
Antenna Height: 12.00 Meters
Target Height: 1000.00 Meters
Reflection Surface: Good Soil
RMS Surface Variations: 0.50 Meters



RF: 3000.000 MHz
 Pol: Horizontal
 Free Space Range: 320.00 Km.
 Antenna Height: 12.00 Meters
 Target Height: 1000.00 Meters
 Reflection Surface: Good Soil
 RMS Surface Variations: 0.50 Meters



RF: 1300.000 MHz
Pol: Horizontal
Free Space Range: 320.00 Km.
Antenna Height: 50.00 Meters
Target Height: 1000.00 Meters
Reflection Surface: Good Soil
RMS Surface Variations: 0.50 Meters



RF: 3000.000 MHz
 Pol: Horizontal
 Free Space Range: 320.00 Km.
 Antenna Height: 50.00 Meters
 Target Height: 1000.00 Meters
 Reflection Surface: Good Soil
 RMS Surface Variations: 0.50 Meters

- A sávra jellemző nagyobb hatásos antenna felület miatt az L sávú radar által vett zavar teljesítmény nagyobb, mint az S sávúé, de ez igaz a célról visszaverődött hasznos jel teljesítményre is. Az előírt minőségű céldetektáció mindannyiszor létrejön, valahányszor a jel-zavar viszony meghaladja a detektálhatósági tényező értékét.

- Az L sávban némileg nagyobb radar keresztmetszetűek a lopakodó technológiával készült repülő eszközök és többek között az ön-
rávezető rakéták is.

- Az L sávban könnyebb létrehozni az antenna iránykarakterisztikában éles null helyet, csökkentve a melléknyalábi zavaró hatásosságát. Ugyanis alacsonyabb frekvencián könnyebben kézben tartható az abszolút fázis.

Mindkét sáv vonatkozásában kiemelten kell kezelni a monopoluzs szögmérési eljárást alkalmazó radarokat, melyek kevésbé érzékenyek a zavarásra. Mint minden összehasonlítás, az S, vagy L sáv kiválasztása is annál bizonytalanabb, minél általánosabb feltételekből indulunk ki. A tisztelt olvasó számára valószínűleg már az eddig elmondottak alapján is világosan kirajzolódik, a feltett kérdésre adott válasz nem fogja mentesíteni a kérdés feltevőt a döntés felelősége alól. Lesz olyan terület, ahol az L sávú radar nyújt jobb teljesítményt és lesz, ahol az S sávú performanciája a kedvezőbb. Az alkalmazónak kell meghatároznia, hogy mely felhasználási területeket tekinti magasabb prioritásúnak, nyilvánvalóan Magyarország földrajzi viszonyai között a tengeri clutterrel szembeni jobb peformance nem szerepelhet döntést meghatározó szempontként, bár a közelmúlt nagy-nagy vitatkozásainak tükrében ezen sem lehetne csodálkozni. Mindezek mellett a két sáv általános jellemzői csak mint potenciális lehetőségek léteznek, a gyakorlati megvalósítás befolyásolhatja a választást, elég utaltanom arra, hogy a cikk előző részében szerepelt S sávú **B** radar csak 200 MHz széles manőver sávval rendelkezik. Sajnálatos, hogy ennek ellenére az alkalmazó főszemléltőség úgy ítélte meg, hogy a **B** radart gyártó cég radarjai „szélesebb körű harci alkalmazási lehetőségeket kínálnak”, továbbá, „ szakmailag - elsősorban a NATO és más nemzetközi szabványoknak való jobb megfelelés alapján - a **B** radart gyártó cég ajánlata támogathatóbb.” **Roppant érdekes, egyszer a NATO szabványt mindent eldöntő követelmény minimumként kezeljük, máskor meg úgy térünk el tőle, ahogy úri kedvünk kívánja. Még szomorúbb, hogy NATO szabványként tüntetünk fel olyan paraméter értéket, amely messze nem elégíti ki sem a NATO, sem a közelebről nem definiált más nemzetközi követelményeket. Úgy tűnik napjainkban megszorodott a radar szakértők száma, akik sajtóságos szemüvegen keresztül értelmezik a radar paramétereket, teljesen demokratikus módon, szavazás útján döntenek el, hogy a NATO előírásokat**

kielégítő radar ötöt is fordulhat percenként. Igazán örvendetes, hogy a HM és az MH illusztris személyiségeiből verbuvált grémium sebészeti konzíliumon még nem kíván résztvenni.

3.) Clutter és passzív ECM viszonyok közötti performancia

A radar clutter alatti felderítési távolsága a radar jelfeldolgozó rendszerének struktúrájától függ, ismerete elengedhetetlen a radar, clutter viszonyok közötti performanciájának vizsgálatakor. Általában a tenderek megfogalmazzák az alapvető alkalmazói igényeket és az ajánlattevőt felszólítják, hogy a radarnál alkalmazott jelfeldolgozó rendszerre prezentálják a radar clutter viszonyok közötti performanciáját bizonyító számításokat, valamint valamely kormányzati szerv és/vagy a hadsereg által elvégzett mérések dokumentumait. A számítások természetesen gyártó specifikusak lesznek, de feltétlenül tartalmazni fogják az alábbi lépéseket.

1. A clutter modell leírását:
 - a clutter típusát (föld, eső, chaff),
 - az egyes clutter típusok visszaverőképességét,
 - a clutter sebesség spektrumát.
2. A mozgó tárgy indikátor (MTI) javulási tényező (I) korlátokat.
3. A felderítési távolsághoz tartozó jel-zaj(SNR), clutter-zaj(CNR) és a jel-interferencia (SIR) viszonyt.
4. A számított jel-interferencia viszonyhoz tartozó detekciós valószínűséget.

3.1. A clutter modell kijelölése

A clutter modell meghatározása kiemelt fontosságú a radar specifikációjának összeállításakor, hisz azt a környezetet jelöli ki, amelyben a radarnak a meghatározott jellemzőkkel kell üzemelnie. **A modellek egyértelmű előírása azért is lényeges, mert csak azonos alapról indulva lehet majd a jelentkezők produktumait érdemben összehasonlítani.**

3.1.1. Föld clutter

A leggyakrabban használt modellt D. Barton publikálta 1967- ben. Modelljében a clutter a radartól mért 30 km. távolsáig terjed ki, ami az optikai átlátás alapján számolva (cikk első részében szereplő (2) egyenlet), a felszínhez képest kb. 50 m antenna magasságot tételez fel. A nagy hatótávolságú radarokat mindenütt uralgó magaslati pontra telepítik. A

300 ÷ 600m magas csúcson lévő radar számára a horizont 70 ÷ 100km távolságon helyezkedik el. Az uralgó magaslati pontok általában hegyes terepen találhatóak, ezért hasonló magasságú csúcsokról származó visszaverődéssel 140 ÷ 200km távolságig kell számolni.

A clutter kiterjedése mellett lényeges meghatározni a visszaverő felületét. Barton lognormál amplitúdó eloszlást specifikál -48.6dB medián értékkel (σ_{50}), viszont nem határozza meg az aktuális szórás értéket. A clutter sebesség spektruma Gauss jellegű, a tipikus szórás érték 0.3m/s.

A lognormál eloszlás jellegzetessége, hogy a megfelelően léptékezett koordináta rendszerben egyenes vonallal írható le, a 84%-os valószínűséghez tartozó értékkel adják meg az egyenes egy pontját. Az 1. ábra, amely a 84% valószínűségű értéknek a medián értékhez képesti 10, illetve 20dB-es változását szemlélteti, alkalmas a clutter maradványok által okozott hamis célok detekciós valószínűségének a számítására. Ehhez ismerni kell a radar cella méretét. Tételezzük fel, hogy az antenna karakterisztika félteljesítményű szélessége (θ_{az}) azimutban 2^0 , a távolsági cella mérete (ΔR) 150m és a föld clutter kiterjedése 150km. A radar által megvilágított terület mérete kis érintő szög esetén:

$$A = R \times \theta_{az} \times \pi \times \Delta R / 180 = \quad (8)$$

$$= 150\text{km} \times 2^0 \times \pi \times 150\text{m} / 180 = 5236 \times R \text{ [m}^2\text{]}$$

A clutter effektív visszaverő felülete a (9) összefüggés segítségével határozható meg:

$$\sigma_C = \sigma_0 \times A \quad (9)$$

- ahol: - σ_C a clutter hatásos radar keresztmetszete,
 - σ_0 a clutter fajlagos visszaverő felülete,
 - A a radar által megvilágított terület.

Az 1. táblázat távolság függvényében tartalmazza a radar cella méretét és a benne lévő föld clutter radar keresztmetszetének medián értékét. A táblázat adatainak felhasználásával új eloszlás görbe szerkeszthető, amely megmutatja annak a valószínűségét, hogy a vizsgált távolságon a clutter amplitúdója túllépi az adott medián értéket.

Legyen a vizsgált távolság 150km. Az eloszlás görbét a 2. ábra szemlélteti. Könnyen belátható, hogy a bemeneti jel-clutter viszony, SCR_i , a cél és a clutter hatásos visszaverő felületeinek aránya: σ_t / σ_C . A doppler processzálás után a kimeneti jel-clutter viszony, logaritmikusan léptékben:

$$SCR_o = \sigma_t - \sigma_C + I \quad (10)$$

- ahol: - I a clutter javulási tényező.

1. táblázat

R [km]	A [m ²]	A [dBm ²]	C ₅₀ [dB]
30	157.079	51.96	3.36
60	314.159	54.97	6.37
90	471.239	56.73	8.13
120	628.319	57.98	9.38
150	785.398	58.95	10.35
180	942.477	59.74	11.14
210	1.099.557	60.41	11.81
240	1.256.637	60.99	12.39
270	1.413.717	61.50	12.90
300	1.570.796	61.96	13.36

Tekintsük át a példaként vett clutter eloszlásból adódó, lehetséges hamis célok arányát. A korábban elmondottaknak megfelelően a doppler jelfeldolgozás 150 km távolságig terjed, egy azimut letapogatás alatt (150km / 150m) × (360° / 2°) = 180000 esetben kell dönteni. Ha a radar az előírt valószínűségű felderítéshez pl. 17.8 dB jel - clutter viszonyt követel meg ($P_d = 0.8$, $P_{fa} = 10^{-6}$, $N = 1$, $SW I$) és 50 dB javulási tényezővel rendelkezik, akkor minden, az 50-17.8 = 32.2dB szintet meghaladó clutter hamis jelentést fog generálni.

A 2. ábra alapján ennek valószínűsége az A görbe esetén 2%, a B görbénél pedig 15%, vagyis az egyik esetben egy körül fordulás alatt 3600, a másik esetben 27000 hamis cél keletkezhet. Nyilvánvaló, hogy ezeket valamilyen módon a továbbiakban el kell nyomni.

A fentiekben ismertetett föld clutter modell Barton szerint az USA hegyvidéki tájaira jellemző, az USAF mérései az északi radar övben azt mutatták, hogy a clutter amplitúdó eloszlása Weibull jellegű, az említett -48.6dB medián értéknél 12-24dB-el magasabb medián értékkel. Midenképpen megjegyzendő, hogy S sávban a clutter válasz amplitúdója 3-5dB-el meghaladja az L sávú szintet.

A clutter amplitúdója mellett a spektruma a másik befolyásoló tényező, amelyet figyelembe kell venni a radar frekvenciájának kiválasztásakor. A clutter mozgási sebességének szórása a frekvencia síkban spektrum szórásaként jelentkezik:

$$F_d = 2 \times v_r / \lambda \quad (11)$$

- ahol: - F_d a doppler frekvencia,
 - v_r a clutter radiális sebessége,
 - λ a radar RF jel hullámhossza.

A Barton által sugalmazott 0.3 m/s sebesség szóráshoz L sávban 2.6 Hz, S sávban 6 Hz doppler szórás tartozik. Az eltérés nem nagy, ahogy a későbbiekben látni fogjuk egyik sávban sem okoz problémát. Egyes mérések tapasztalatai azt mutatják, hogy esetenként nagyobb sebesség szórást kell figyelembe venni, az említettnek akár a többszörösét.

3.1.2. Meteorológiai clutter

A meteorológiai környezet kétféle módon gyakorol hatást a radarra: egyrészt az eső, hó, felhők és maga az atmoszféra csillapítja a radarjeleket; másrészt ugyanezekről relatíve nagy amplitúdójú jelek verődnek vissza. Az okozott csillapítás frekvencia függő. Amíg az L sávban csak a legnagyobb intenzitású (100mm/óra) csapadék képes az atmoszféra csillapítást elérő nagyságú csillapítást kiváltani, addig az S sávban ez már 10mm/óra csapadék sűrűségnél bekövetkezik. A katonai felderítő radarokat 1-4mm/óra csapadék intenzitás mellett akár több száz kilométeres csapadék kiterjedésre specifikálják, a 16mm/óra intenzitást néhányszor tíz kilométeres körzetre írják elő. A csapadék maximális magassága általában 3-7 km közé tehető, vihar esetén elérheti a 10 km-t is. Ez a következmény összhangban van Schleher által közzétett modellel:

Eső intenzitása [mm/óra]	Átmérője [km]	Magassága [m]
kis intenzitású (0÷1)	több száz	3000
közepes intenzitású (4)	50÷100	3000÷4600
nagy intenzitású (16)	40	6100
intenzív (50)	4	12200

A meteorológiai képződményekről visszaverődő jelek szintjét a képződmény hatásos radar keresztmetszete határozza meg, melyet a térfogat egységre számított fajlagos visszaverő felülettel jellemezzük. Esőre vonatkoztatott értékét a (12) összefüggés alapján lehet becsülni:

$$\eta = 6 \times 10^{-14} \times r^{1.6} / \lambda^4 \quad (12)$$

ahol: - η a fajlagos visszaverő felület [m^2/m^3],

- r a csapadék intenzitása [mm/óra].

A különböző csapadék intenzitáskor keletkező fajlagos visszaverő felületet az L és S sávokban a 2. táblázat tartalmazza. Látható, hogy az S sávban mintegy 15dB-el nagyobb szintű clutterrel kell számolni.

2.táblázat

	1mm/óra	4mm/óra	8mm/óra	16mm/óra	100mm/óra
L [dBm ² /m ³]	-106.69	-97.5	-92.24	-87.42	-74.69
S [dBm ² /m ³]	-92.22	-82.58	-77.77	-72.95	-60.22

A hatásos visszaverő felület nagysága mellett lényeges eltérés tapasztalható a csapadék sebességének szórása által előidézett spektrum szórásban is. A sebesség szórás alapvető okai a következők:

- a szél sebessége változik a magasság függvényében (σ_{shear}). Nathanson szerint értéke alacsony helyszögeknél 4 m / s / km, nagyobb függőleges kiterjedés esetén 5 m / s / km.

- a szél sebessége fluktuál az átlag értéke körül. A jelenséget turbulenciának (σ_{turb}) nevezik. Gyakorlati tapasztalatok alapján 1.5km magasságig 1 m/s, magasabban 0.6 m/s turbulenciával lehet számolni.

- az antenna nyaláb véges szélessége miatt a tangenciális irányú szél radiális összetevője (σ_{beam}) -a nulla átlag érték körül- szóródik. 110 km/óra szél sebesség és 2⁰ nyaláb szélesség esetén maximális értéke 0.5 m/s.

- az eső cseppek méretének szórása miatt az esési sebességük fluktuál, a sebesség szórás függőleges összetevője (σ_{fall}) 1 m/s. Kis intenzitású esőben az átlag esési sebesség 4÷6 m/s, míg erős intenzitás esetén 9 m/s.

Az eredő szórás a szórás komponensek négyzetes középértéke lesz:

$$\sigma_v^2 = \sigma_{\text{shear}}^2 + \sigma_{\text{turb}}^2 + \sigma_{\text{beam}}^2 + \sigma_{\text{fall}}^2 \quad (13)$$

A fentiekben ismertetett szórás adatok felhasználásával egy 3km magasságig terjedő eső felhő eredő sebesség szórása: $\sigma_v^2 = (3 \times 4)^2 + 0.6^2 + 0.5^2 + 1 = 144.61$, $\sigma_v = 12.02$ m/s. Az eső clutter spektrum szórása az L sávban: $2 \times 12.02 / 0.23 = 105$ Hz, az S sávban: $2 \times 12.02 / 0.1 = 240$ Hz.

A szél átlag sebessége meghatározó jelentőségű a radar működése és a clutter elnyomás vonatkozásában, az átlag doppler eltolás ismerete nélkülözhetetlen a doppler, vagy az MTI processzor tervezésekor. A gyakorlat azt mutatja, hogy a szélesebb, a magasság függvényében, erőteljesen változik a földrajzi helytől, az évszaktól és a napszaktól függően. Nathanson javasolja egy olyan modellnek az alkalmazását, amely felszinközeli átlag sebességgel és a maximális magassághoz tartozó maximális átlag értékkel operál. A szél sebesség változékonyságának illusztrálására ismerteti a közép-atlanti körzetben, januárban mért átlag sebesség adatokat: 15 m/s felszín közelben, 20 m/s 3 km és 40 m/s 12 km magasságban.

3.1.3.Chaff

A passzív ECM legáltalánosabb, legrégebb formája a chaff. Alumínium fólia, vagy alumíniummal borított üveg csík, amelynek hosszát úgy választották meg, hogy a zavarni kívánt radar számára félhullámú vibrátorként viselkedjék. A hazai szakzsargon ezért dipólfelhőként emlegeti. Távfelderítő radarok ellen általában álcázási céllal alkalmazzák, fedve a dipólfelhőben, vagy amögött repülő harci gépeket. A felhőt dipólkötegek nagy magasságból történő szórásával hozzák létre. A köteget különböző hosszúságú dipólokból készletezik, hogy egyidőben több radar sávot is lefogjanak. A dipólfelhőt alapvetően a szél alakítja ki, szét-szórva vízszintes síkban a dipólokat. A függőleges szóródást a dipólok különböző mérete és a véletlen orientációja miatti eltérő esési sebesség határozza meg. A chaff dipólok lineáris polarizációjuk, orientációjuk a térben véletlenszerű, ezért az esőtől eltérően körpolarizáció alkalmazásával nem szűrhetők ki. A civil és a katonai radar közötti különbség - az aktív zavarás elleni védelem mellett - a passzív ECM területén jelentkezik igen élesen, ugyanis a civil radarok nincsenek felkészítve a chaff elleni tevékenységre. Általában csak azon védelmi eljárásokkal rendelkeznek, amelyek az eső ellen is alkalmasak. A **körpolarizáció alkalmazásával szembeni érzéketlenség, a felső troposzférában jelentkező nagy mozgási sebesség, a nagy fajlagos visszaverő felület, a széles spektrum és nem utolsósorban az aránylag alacsony előállítási költségek miatt a chaff preferált ECM eljárás.** A katonai radarok tervezői számára a legnagyobb kihívások közé tartozik. Elengedhetetlen a lehetséges legnagyobb indítási frekvencia és hullámhossz alkalmazása.

A chaff magassági kiterjedésének felső határát a szórást végző repülőgép gyakorlati repülési magassága határozza meg, ez lényegesen magasabb, mint az előző pontban körvonalazott eső felhőé. A radar doppler processzor konfigurációjának alakulása a helyszög függvényében megmutatja, hogy a radar tervezésekor mennyire vették figyelembe a katonai szempontokat. Hisz gondoljunk csak bele, a közeli (kb.100 km távolságon), de nagy magasságban (15 km) lévő chaff elnyomásához szükséges, hogy a felső nyalábok is doppler processzorral legyenek felszerelve. A dipólfelhő vízszintes kiterjedését a repülési útvonal, a kiszórás óta eltelt idő és a szél sebessége határozza meg.

Az egyedi dipólok átlag radar keresztmetszete $0.15 \lambda^2$. A korszerű chaff kötegek visszaverő felülete, két oktávnyi sáv szélességben:

$$\sigma_c = 2.2 \times 10^4 \lambda W \quad (14)$$

ahol: - W a köteg súlya,

- λ a radar RF jelének hullámhossza.

Barton szerint egy kilógrammnyi mennyiségű chaff az (1÷10) GHz sávban, $\eta = 10^{-7} \text{ m}^2/\text{m}^3$ térfogat egységre vonatkoztatott fajlagos visszaverő felületet hoz létre mintegy 32 km^3 nagyságú térrészben. A magas intenzitású chaff körzetek fajlagos visszaverő felülete $10^{-6} \text{ m}^2/\text{m}^3$. A (14) összefüggés alapján könnyen belátható, hogy azonos súlyú chaff 2.3-szer nagyobb radar keresztmetszettel rendelkezik az L sávban az S sávhoz képest. Figyelembe véve a chaff könnyű súlyát, a keresztmetszetek közötti különbség nem szignifikáns. Lényegesen súlyosabb problémaként jelentkezik, hogy ekkora nagyságú fajlagos visszaverő felülettel csak a legintenzívebb csapadék rendelkezik (lásd 2. táblázat).

A chaff doppler spektruma a csapadékhoz hasonlóan négy komponensre bontható, értékük az esési sebesség kivételével megegyezik az ott vázoltakéval. Jóval lassúbb esési sebességgel kell számolni chaff esetén, Barton adatai alapján 0.6 m/s 12 km magasan és 0.3 m/s a tenger szinten. Ezen adatok figyelembe vételével a lehullási idő, 12 km magasból mintegy nyolc óra.

Áttekintettük a szóba jöhető, legfontosabb felszíni és térbeli eloszlású cluttereket, nem került szóba a tenger felszín. Bízom benne, mielőtt lesz tengerünk e hiányosságát rögvest pótolni tudom.

3.2.MTI javulási tényező

A kereső radar letapogatási sebességét a korrekt track képzéshez szükséges idő és az egy letapogatási ciklus alatti pontos helyzet becsléséhez szükséges impulzusok száma határozza meg. Míg az előbbi a céltárgy repülési dinamikájától és manőver tulajdonságaitól függ, addig az impulzus mennyiséget a szükséges jel-zaj(clutter) viszony határozza meg. A tender tárgyat képező nagy hatótávolságú radarok a 360° azimut tartományt mechanikus forgatással tapogatják le. A track képzés szempontjából ez a letapogatási típus alacsony hatásfokú, hisz a radar energiáját egyformán sugározza ki a nagy cél sűrűségű és a céltárgyat egyáltalán nem tartalmazó térrészbe. Nem veszi figyelembe, hogy a nagy távolságú, egyenletes célpályák képzéséhez alacsonyabb adatfrissítési sebesség szükséges, mint a közelebbi manőverező célok esetén. A felvetett problémák megoldása az elektronikus nyaláb eltérítésű antennák (ESA) további elterjedésétől várható. A rács antennák, korlátozott letapogatási tartományuk miatt ($\pm 60^\circ$), a nagy távolságú 3D radaroknál csak a helyszög fedés kialakításában nyertek alkalmazást.

A helyszög értékének meghatározása, illetve a helyszög szerinti letapogatás megvalósítása szempontjából két alapvető típus különböztethető meg:

- monopulzus szkennelő tűnyaláb,

- vételi szimultán több csaorna un. stacked beam (SB).

A két letapogatási mód komplex összehasonlítása meghaladja e cikk kereteit, ezért röviden utalunk rá, hogy a cikk első részében szereplő radarok e két típust képviselték. Aktív zavar viszonyok közötti performanciájukat ott elemeztük, clutter alatti képességeik értékelésekor abból kell kiindulni, hogy amíg a SB radar egy azimut pozíción tartózkodik és minden szimultán nyalábjával az irányélességi szög, a forgási sebesség, valamint az indítási frekvencia által meghatározott impulzus mennyiséget produkálja, addig a tűnyalábbal a teljes helyszög tartományt le kell tapogatni. A két letapogatási módhoz, a rendelkezésre álló impulzusok mennyiségének megfelelően a mozgó tárgy detektor (MTD) és a mozgó tárgy indikátor (MTI) clutter szűrési technikák terjedtek el. Az MTD processzor eredetileg a polgári légi-forgalom irányítás 2D radarjaihoz lett kifejlesztve és jó minőségű, interferencia mentes adatokat biztosít erős clutter környezetben. Azonban amiatt, hogy működéséhez legalább 8 impulzust kell kisugározni azonos frekvencián és azonos indítási periódussal, a katonai radarokban nem terjedt el, mind a szkennelő tűnyaláb, mind az SB radarok az adaptív MTI eljárást alkalmazzák. Hisz gondoljunk csak bele, az ismétlődő hamis célok elleni legfontosabb védekezési eljárás az impulzusenkénti jitter. Ezért a továbbiakban csak az MTI processzorral foglalkozunk.

Az MTI javulási tényező (I) legáltalánosabb formájában a cél lehetséges sebesség tartományára átlagolt kimeneti és a bemeneti jel-clutter viszony arányát ($I = SCR_o / SCR_i$) jelenti. Értékét, Barton után az alábbi összefüggések alapján számítják:

$$I_2 = 2 \times [F / (2 \pi \times \sigma_F)]^4 \quad (15)$$

$$I_3 = 4/3 \times [F / (2 \pi \times \sigma_F)]^6 \quad (16)$$

ahol: - I_2 a kétszeres kioltású (3 impulzusú) MTI javulási tényezője,
- I_3 a háromszoros kioltású (4 impulzusú) MTI javulási tényezője,
- σ_F a clutter teljesítmény spektrumának szórása, Hz,
- F a radar ismétlődési frekvenciája, Hz.

A clutter belső mozgásán kívül a radar egyes elemeinek működése is kiválthatja a clutter frekvencia szórásának következtében előálló javulási tényező romlást. Az MTI teljes javulási tényezője a rendszer korlátozó hatások figyelembe vételével:

$$1/I_{TOTAL} = 1/I_{STABILITY} + 1/I_{SCAN} + 1/I_{INTERNAL} + 1/I_{STAGGER(SCAN)} + 1/I_{STAGGER(CL)} \quad (17)$$

A továbbiakban a korlátozó hatásokat tekintjük át, hogy egyértelműen tudjuk megállapítani az L és S sávú performancia különbségeket. Az $I_{STABILITY}$ konstrukciós paraméter, az adó/vevő lánc realizálásának

függvénye, értéke korszerű radaroknál 50 és 60 dB közé tehető. A számításoknál 56 dB-t vettünk figyelembe.

Az antenna forgása következtében fellépő spektrum szélesedés okozta korlátozást a (18), (19) kifejezések határozzák meg.

$$I_{SCAN2} = N^4 / 3.84 \quad (18)$$

$$I_{SCAN3} = N^6 / 16 \quad (19)$$

- ahol: - I_{SCAN2} a kétszeres kioltású MTI javulási tényező korlátja,
 - I_{SCAN3} a háromszoros kioltású MTI javulási tényező korlátja,
 - N a célról visszaverődött impulzusok száma.

A clutter belső fluktuációja miatti restriktiót, a spektrum szórás értékének behelyettesítésével, a (15), (16) egyenletek alapján lehet kiszámítani:

$$\sigma_F = 2 \sigma_v / \lambda \quad (20)$$

- ahol: - σ_v a clutter sebességének szórása.

Lépcsős indítás alkalmazásakor a clutter mintavételezése nem azonos intervallumonként történik. Ez mind az antenna forgás, mind a clutter belső mozgása vonatkozásában további javulási tényező csökkenést okoz. Az elérhető javulási tényezőt a (21), (22) összefüggések alkalmazásával lehet meghatározni:

$$I_{STAGGER(SCAN)} = 20 \times \lg [2.5 \times N / (\gamma - 1)] \quad (21)$$

$$I_{STAGGER(CL)} = 20 \times \lg (0.33 \times \lambda \times F / [(\gamma - 1) \times \sigma_v]) \quad (22)$$

ahol: - N az egyutas félteljesítményű nyaláb szélességhez tartozó impulzusok száma,

- γ az indítási intervallumok aránya, maximális periódus/minimális periódus,
 - F az adó indítási frekvenciája,
 - λ az RF jel hullámhossza,
 - σ_v a clutter sebesség szórása.

Az elérhető MTI javulási tényezők meghatározásához célszerű a radar piacról kiválasztani egy-egy illusztris példányt, méghozzá úgy, hogy tükrözzék a 3D fedés terén létező két megközelítést. Az L sávú radar szkennelő tűnyaláb architektúrájú, 150 km távolságig magas ismétlődési frekvenciájú jelalakot alkalmaz intenzív clutter környezetben. Az S sávot a cikk első részében említett B radar képviseli, vételkor szimultán több csatornás, adáskor koszekáns négyzet karakterisztikát alkalmazva. A teljes felderítési távolságú doppler jelfeldolgozás miatt az alkalmazott jelalak, a maximális hatótávolságnak megfelelően, alacsony ismétlődési frekvenciájú. A számításához szükséges adatokat a 3. táblázat foglalja össze. A 2° szélességű nyaláb, a 36 fok/s forgási sebesség és a 920 Hz indítási frekvencia 51, a 330 Hz pedig 18 visszavert impulzust határoz meg az L sávú radarnál, a keskenyebb nyaláb és az alacsonyabb indítási frekven-

cia miatt az S sávban csak 12 impulzus áll rendelkezésre. A (18), (19) összefüggések alapján számolt, az antenna forgása miatti javulási tényező korlátozottságot a 4. táblázat összegzi. A tűnyalábot alkalmazó radaroknál az alacsonyabb ismétlődési frekvenciájú jelalakot nagy hatótávolságúnak (long range), a magasabbat rövid hatótávolságúnak (short range) nevezik. A továbbiakban az angol elnevezésből származó rövidítéseket alkalmazzuk.

3. táblázat

Radar paraméterek	L sávú radar	S sávú radar
Vivő frekvencia [MHz]	1300	3000
Hullámhossz [cm]	23	10
Forgási sebesség [fok/s]	36	36
Nyaláb szélesség Az [fok]	2.0	1.6
Nyaláb szélesség El [fok]	2.0	2.3
Névleges indítás [Hz]	900-950/315-335	275
Távolsági cella mérete [m]	150	75

A keskenyebb nyaláb és az alacsonyabb ismétlődési frekvencia korlátozza a javulási tényezőt. Ennek oka az, hogy minél nagyobb a nyaláb szélességre jutó impulzusok száma, annál kisebb a nyaláb mozgása által okozott clutter változás. A két radar közötti különbség független a frekvencia sávától, az elérhető magasabb javulási tényezőt egyértelműen az alkalmazott jelalak biztosítja az L sávú radar javára. Hasonló jelalakal operál a cikk első részében tárgyalt A radar is.

4. táblázat

	L sáv, LR jelalak	L sáv, SR jelalak	S sáv	S sáv, SR jelalak
I _{SCAN2}	44dB	62 dB	37dB	59dB
I _{SCAN3}	63dB	90 dB	53dB	85dB

Az összehasonlíthatóság érdekében a számításokat elvégeztük SR jelalakot alkalmazó S sávú radarra is. Az SR jelalakot alkalmazó S sávú radar performanciáját a táblázatok hasonló feliratozású oszlopai tartalmazzák. Az antenna forgása miatti javulási tényező korlátot, a célról visszavert impulzusok számának függvényében a 3. ábra demonstrálja kétszeres, illetve háromszoros kioltás alkalmazásakor.

A clutter belső mozgása által determinált javulási tényezőket az 5. táblázat foglalja össze a sebesség szórás függvényében, számításuk a

(15), (16) egyenletek alkalmazásával történt. Néhány következtetést érdemes a táblázat adatai alapján levonni:

- minél nagyobb a clutter sebesség szórása, annál szegényesebb az MTI performanciája,

- a többszörös kioltású MTI nagyobb javulást biztosít,

- minél alacsonyabb a vivő frekvencia és magasabb az adó indítási frekvenciája, annál jobb az MTI performanciája. Az eltérő indítási frekvenciáktól eltekintve, a kisebb frekvencia szórás miatt az L sávban nagyobb javulási tényező érhető el. Azonos indítási frekvenciák esetén az elérhető javulási tényező alakulását kétszeres kioltáskor az 4. ábra, háromszoros kioltáskor a 5. ábra szemlélteti a sebesség szórás függvényében.

- S sávban a 3 m/s sebesség szórás már akkora doppler frekvencia szórást okoz, hogy a B radarnak megfelelő architektúrával javulási tényező nem érhető el. A 6. ábra az SR jelalak és az L sáv előnyét demonstrálja a clutter belső mozgásának viszonylag nagyobb sebesség szórása esetén.

5. táblázat

σ_v [m/s]	L sáv, LR jelalak		L sáv, SR jelalak		S sáv		S sáv, SR jelalak	
	I_{INT2} [dB]	I_{INT3} [dB]	I_{INT2} [dB]	I_{INT3} [dB]	I_{INT2} [dB]	I_{INT3} [dB]	I_{INT2} [dB]	I_{INT3} [dB]
0.3	55	80	73	106	38	53	59	84
0.6	43	61	61	88	25	35	46	66
1.0	34	48	52	75	17	22	38	53
3.0	15	20	33	46	0	0	19	24
5.0	6	6	24	33	0	0	10	11

A lépcsős indítás hatásának becsléséhez $\gamma = 1.1$ értéket tételezzünk fel! A (21) egyenletbe behelyettesítve:

$$I_{STAGGER(SCAN)L} = 20 \times \lg(2.5 \times 51 / 1.1 - 1) = 62 \text{ dB}$$

$$I_{STAGGER(SCAN)S} = 20 \times \lg(2.5 \times 12 / 1.1 - 1) = 50 \text{ dB}$$

A különbség az eltérő jelalakok és nem a frekvencia sáv következménye. A cikk első részében szereplő S sávú A radar, miután szintén tűnyaláb architektúrájú, erős clutter környezetben magas indítási frekvenciájú jelalakat alkalmaz, a B radarnál magasabb értékű javulási tényező komponenssel rendelkezik. A 7. ábra a javulási tényező antenna forgása miatti korlátozottságát szemlélteti különböző lépcsőzési arányok mellett, az impulzusok számának függvényében.

A lépcsős indításnak a clutter belső mozgásával kapcsolatos hatását a 6. táblázat foglalja össze.

6.táblázat

σ_v [m/s]	L sáv, LR [dB]	L sáv, SR [dB]	S sáv [dB]	S sáv, SR [dB]
0.3	58	67	50	60
0.6	52	61	44	54
1.0	48	57	39	50
3.0	38	47	30	40
5.0	34	43	25	36

Az impulzus számtól függetlenül az L sáv kevésbé van korlátozva, mint az S sáv, ahol is a nagyobb sebesség szórás kisebb javulási tényezőzt eredményez. A 8.ábra a javulási tényezőnek a clutter belső mozgása miatti korlátozottságát szemlélteti $\gamma = 1.1$ lépcsőzési arány esetén a sebesség szórás függvényében, különböző indítási frekvenciákra. A 9.ábra mindent $\gamma = 1.2$ lépcsőzési arány mellett mutatja be. A 10.ábra az L sáv és az SR jelalak előnyét demonstrálja.

A továbbiakban a (17) egyenlet alapján számítsuk ki a négy impulzusú MTI rendszer eredő javulási tényezőjét, I_{TOTAL} . A könnyebb áttekinthetőség kedvéért a javulási tényező korlátokat és az eredő javulási tényezőket a 7. táblázatban foglaltuk össze, a nem szórásfüggő komponenseket a sebesség szórás oszlopokban megismételtük. A 0.3 m/s sebesség szórás a föld clutterre, a 3.0 m/s szórás esőre és chaffra jellemző érték. Mindkettő igen szolidan specifikált, a 3.1.1.-3.1.3. pontokban említettük, hogy ennél nagyobb szórás értékek is előfordulhatnak. A táblázat tartalmazza a 0.6 m/s, illetve az 5 m/s szóráshoz tartozó javulási tényezőket és komponenseiket is. Az adatok alapján megállapítható, hogy az L sávú tűnyalábos alkalmazó radar az S sávú SB felépítésű radarral szemben föld clutter vonatkozásában (4÷10)dB előnnyel rendelkezik, szélesebb spektrum esetén ez az előny tovább növekszik, 0.6 m/s belső sebesség szórás esetén már (14÷20)dB a különbség. Sokkal kritikusabb a helyzet eső és chaff esetén, gyakorlatilag az S sávú SB radar képtelen az ilyen típusú clutterek elnyomására. Az adatokat analizálva ennek alapvetően két oka van, az alacsony impulzus/nyalábszélesség viszony és az S sávra jellemző szélesebb clutter spektrum.

A 7.táblázat S sáv SR jelalak feliratú oszlopában a "katonásított", az előbbi S sávú radarral minden paraméterében megegyező (lásd 3.táblázat), de magas ismétlődési frekvenciájú jelalakat alkalmazó radar MTI performanciáját tüntettük fel. A megnövelt impulzus szám következtében a föld clutter környezetbeni javulási tényező eléri az L sávú radarét. Az S sávra jellemző szélesebb spektrum miatt eső és dipól felhőben elma-

rad ugyan az L sávától, de a szimultán több csatornás felépítéshez képest lényegesen jobb performanciát nyújt.

7. táblázat

σ_v [m/s]	L sáv, LR jelalak					L sáv, SR jelalak				
		0.3	0.6	3.0	5.0		0.3	0.6	3.0	5.0
I STABILITY	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56
I SCAN	63	63	63	63	63	90	90	90	90	90
I INTERNAL	-	80	61	20	6	-	106	88	46	33
I STAGGER SC	53	53	53	53	53	62	62	62	62	62
I STAGGER CL	-	58	52	38	34	-	67	61	47	43
I TOTAL		50	48	20	6		55	54	43	33

	S sáv					S sáv, SR jelalak			
	0.3	0.6	3.0	5.0		0.3	0.6	3.0	5.0
56	56	56	56	56	56	56	56	56	56
53	53	53	53	53	85	85	85	85	85
	53	35	0	0		84	66	24	11
50	50	50	50	50	60	60	60	60	60
	50	44	30	25		60	54	40	36
	45	34	0	0		53	51	24	11

A teljes hatótávolságú doppler fedés és a gyakoribb indítás közti ellentmondás feloldására a koherens jelfeldolgozást 300 km távolságig követelik meg, emlékezzünk csak a 3.1.1.pontban, a föld clutter kiterjedéséről mondottakra. Egyébként ilyen "katonásított" radar a cikk első részében említett A radar.

3.3. Jel-clutter viszony számítása

Az eddigi számítások eredményeinek felhasználásával határozzuk meg a be- és a kimeneti jel-interferencia viszonyt. A kimeneti jel/clutter arány alapján lehet eldönteni, hogy a kívánt paraméterű felderítés az elérhető javulási tényező mellett kielégítő-e, vagy sem. Ezt későbbiekben a 3.4. pont összegzi.

3.3.1.Föld clutter

A felszíni visszaverődésekről elmondottak alapján tételezzük fel, hogy a clutter 300km távolsáig terjed, a sebesség szórás 0.3 m/s, az MTI processzálás után legfeljebb 1% clutter maradvány viselhető el és clutter szűrésre a radarok háromszoros kioltású MTI-t használnak. Az 1.ábra A görbéjéről leolvasható, hogy a clutter fajlagos visszaverőképességének 1 százaléka túllépi a $-26 \text{ dBm}^2/\text{m}^2$ értéket, vagyis az L sávban $\sigma_0 = -26 \text{ dBm}^2/\text{m}^2$, az S sávban $\sigma_0 = -23 \text{ dBm}^2/\text{m}^2$. A clutter radar keresztmetszetének kiszámításához meg kell állapítani a radarok által megvilágított föld felület nagyságát. A (8) képlet felhasználásával:

$$A_L = 300 \times 10^3 \times 150 \times 2 \times \pi / 180 = 61.96 \text{ dBm}^2$$

$$A_S = 300 \times 10^3 \times 75 \times 1.6 \times \pi / 180 = 57.98 \text{ dBm}^2$$

Vegyük észre, a keskenyebb nyaláb és a rövidebb impulzus miatt az S sávú radar kisebb területet világít meg. A (9) összefüggés alapján az L sávban $\sigma_{CL} = 61.96 - 26 = 35.96 \text{ dBm}^2$ és $\sigma_{CS} = 57.98 - 23 = 34.98 \text{ dBm}^2$ az S sávban. A bemeneti jel-clutter viszonyok 1m^2 hatásos visszaverő felületű, szabvány célra:

$$\text{SCR}_{IL} = 0 \text{ dBm}^2 - 35.96 \text{ dBm}^2 = -35.96 \text{ dB}$$

$$\text{SCR}_{IS} = 0 \text{ dBm}^2 - 34.98 \text{ dBm}^2 = -34.98 \text{ dB}$$

A kimeneti jel-clutter viszony számításához használjuk fel a 7.táblázatban rögzített MTI javulási tényezőket:

$$\text{SCR}_{oL} = -35.96 \text{ dB} + 50 \text{ dB} = 14.04 \text{ dB}$$

$$\text{SCR}_{oS} = -34.98 \text{ dB} + 45 \text{ dB} = 10.02 \text{ dB}$$

Ez az erősen egyszerűsített példa, még a névleges föld clutter esetén is, az L sáv előnyét demonstrálja.

3.3.2.Eső clutter

Az előző pontban kifejtettekhez hasonlóan végezzük el a számítást. Tételezzük fel, hogy az eső felhő 150 km távolsáig terjed, a névleges sebesség szórása 5 m/s, a csapadék intenzitása 8 mm/óra. Elsőként határozzuk meg a radarok impulzus térfogatát, a 3.táblázat adatainak felhasználásával.

$$V = R^2 \times \theta_{az} \times \theta_{el} \times \Delta R \times (\pi / 180)^2 \quad (22)$$

$$V_L = (150 \times 10^3)^2 \times 2 \times 2 \times 150 \times (\pi / 180)^2 = 96.14 \text{ dBm}^3$$

$$V_S = (150 \times 10^3)^2 \times 1.6 \times 2.3 \times 75 \times (\pi / 180)^2 = 92.77 \text{ dBm}^3$$

Jegyezzük meg az S sávú radar jobb térszelekcióját, a különbség $96.14 - 92.77 = 3.37 \text{ dBm}^3$ az S sáv javára. Ugyanakkor a 2.táblázat adatai alapján a 8 mm/óra csapadék intenzitás $92.24 - 77.77 = 14.47 \text{ dBm}^2/\text{m}^3$ -el kisebb fajlagos visszaverőképességet eredményez az L sáv javára. Az im-

pulzus térfogatban lévő csapadék radar keresztmetszete az L sávban $\sigma_{CL} = 96.14 - 92.24 = 3.9 \text{ dBm}^2$, az S sávban $\sigma_{CS} = 92.77 - 77.77 = 15 \text{ dBm}^2$. Az L sáv teljes előnye $14.47 - 3.37 = 11.1 \text{ dB}$. Vegyük észre, az eső radar keresztmetszete kisebb a föld clutterénél!

A bemeneti jel-clutter viszonyok szabvány célra:

$$\text{SCR}_{iL} = 0 \text{ dBm}^2 - 3.9 \text{ dBm}^2 = -3.9 \text{ dB}$$

$$\text{SCR}_{iS} = 0 \text{ dBm}^2 - 15 \text{ dBm}^2 = -15 \text{ dB}$$

A kimeneti jel-clutter viszony számításához használjuk fel a 7. táblázatban összefoglalt javulási tényezőket:

$$\text{SCR}_{oL} = -3.9 \text{ dB} + 33 \text{ dB} = 29.1 \text{ dB}$$

$$\text{SCR}_{oS} = -15 \text{ dB} + 0 \text{ dB} = -15 \text{ dB}$$

A kapott eredmény egyértelművé teszi, hogy a példaként választott S sávú radar a meghatározott eső modell esetén nem tudja a szabvány célát 150 km távolságon detektálni, erre még a "katonásított" változata sem képes: $-15 \text{ dB} + 11 \text{ dB} = -4 \text{ dB}$. A civil radaroknál gyakran alkalmaznak körpolarizációt a meteorológiai cluttererek elnyomására. Barton szerint a körpolarizáció alkalmazásával mintegy 17 dB-el csökkenthető az esőről visszavert jel, miközben a céljel 3 dB-el csökken. Skolnik bizonyítja, hogy nagy intenzitású esőben az elnyomási tényező 5 dB alá is eshet. Katonai radarokban nem ajánlott az alkalmazása, mivel a rakétákat és egyéb henger alakú tárgyakat a rakétafej gömb szimmetriája miatt az eső csepphez hasonlóan elnyomhatja. Mindenesetre a példaként felhozott S sávú radarunkon az előírt eső modell esetén még a körpolarizáció alkalmazása sem segít: $-15 \text{ dB} + 14 \text{ dB} = -1 \text{ dB}$. Érdeemes megvizsgálni, vajon az L sávú radar és a körpolarizációt alkalmazó, SB felépítésű S sávú radar megbirkózik-e a 300 km kiterjedésű, 4 mm/óra intenzitású, 3 m/s sebesség szórású esővel. Ezen a távolságon a radar cella térfogata:

$$V_L = (300 \times 10^3)^2 \times 2 \times 2 \times 150 \times (\pi / 180)^2 = 102.16 \text{ dBm}^3$$

$$V_S = (300 \times 10^3)^2 \times 1.6 \times 2.3 \times 75 \times (\pi / 180)^2 = 98.79 \text{ dBm}^3$$

A radar cellányi eső visszaverő felülete:

$$\sigma_{CL} = 102.16 \text{ dBm}^3 - 97.50 \text{ dBm}^2/\text{m}^3 = 4.66 \text{ dBm}^2$$

$$\sigma_{CS} = 98.79 \text{ dBm}^3 - 82.58 \text{ dBm}^2/\text{m}^3 = 16.21 \text{ dBm}^2$$

A bemeneti és kimeneti jel/clutter arány szabvány célhoz viszonyítva:

$$\text{SCR}_{iL} = 0 \text{ dBm}^2 - 4.66 \text{ dBm}^2 = -4.66 \text{ dB}$$

$$\text{SCR}_{oL} = -4.66 \text{ dB} + 20 \text{ dB} = 15.34 \text{ dB}$$

$$\text{SCR}_{iS} = 0 \text{ dBm}^2 - 16.21 \text{ dBm}^2 = -16.21 \text{ dB}$$

$$\text{SCR}_{oS} = -16.21 \text{ dB} + 14 \text{ dB} = -2.21 \text{ dB}$$

3.3.3. Chaff

Tételezzük fel, hogy a radarral szemben $10^{-7} \text{ m}^2/\text{m}^3$ fajlagos visszaverő felületű dipólfelhőt alkalmaznak 150 km távolságon. A chaff sebesség szórása 3 m/s. A két radar összevetését számítások nélkül is elvégezhetjük, hisz az előzőekben már láttuk, az S sávú radar ekkora szórás értékénél nem tud javulási tényezőt produkálni. Tekintsük át, mire képes az L sávú radar. A radar cellában lévő chaff hatásos radar keresztmetszete:

$$\sigma_{CL} = -70 \text{ dBm}^2/\text{m}^3 + 96.14 \text{ dBm}^3 = 26.14 \text{ dBm}^2.$$

Emlékezzünk rá, a 8 mm/óra intenzitású eső által létrehozott visszaverő felület 3.9 dBm^2 volt, vagyis a dipólfelhő radar keresztmetszete ugyanazon felbontási cellában $26.14\text{dB}-3.9\text{dB} = 22.24\text{dB}$, azaz 167-szer nagyobb. A be- és kimeneti jel-chaff viszonyok szabvány cél esetén:

$$\text{SCR}_{II} = 0 \text{ dBm}^2 - 26.14 \text{ dBm}^2 = -26.14 \text{ dB}$$

$$\text{SCR}_{oL} = -26.14 \text{ dB} + 43\text{dB} = 16.86 \text{ dB}$$

3.4 A jel/interferencia arány és a detektálhatósági tényező viszonya

A radarok clutter viszonyok közötti performanciájának specifikálásakor a szokásos detekciós paraméterek ($P_d = 0.8$ és $P_{fa} = 10^{-5}$) által meghatározott detektálhatósági tényező szintje monopulzus iránymérést alkalmazó tűnyaláb esetén lényegesen magasabb, mint a több impulzus integrálásából származó előnyt kihasználó szimultán több csatornás radaroknál. A tűnyalábos megoldások a szükséges szint csökkentése érdekében általában frekvencia diversity jelalakkal párosulnak, 12.2dB jel/clutter arányt követelve (SW II, N=2) szubimpulzusonként, míg az SB felépítés 9.2 dB impulzusonkénti arányt tesz szükségessé (SW I, N=12). Amennyiben az előzőekben számított, az elérhető javulási tényező melletti jel/interferencia arányok magasabbak az említett értékeknél, úgy az adott clutter modellel specifikált performanciával a radar rendelkezik. A 3.pontban eddig elvégzett számítások eredményeit a 8.táblázat foglalja össze.

8.táblázat

Sáv	Jelalak	SCR _i [dB]	SCR _o [dB]	I [dB]	V _o [dB]	SCR _o - V _o [dB]
Föld clutter						
L	LR	- 35.96	14.04	50	12.2	1.8
S	SB	-34.98	10.02	45	9.2	0.82
Eső, R=150 km, r=8 mm/óra, $\sigma=5$ m/s						
L	SR	-3.9	29.1	33	12.2	16.9
S	SB	-15	-1	14	9.2	-10.2
S	SR	-15	-4	11	12.2	-16.2
Eső, R=300 km, r=4 mm/óra, $\sigma=3$ m/s						
L	LR	-4.66	-15.34	20	12.2	3.14
S	SB	-16.21	-2.21	14	9.2	-11.41
Chaff						
L	SR	-26.14	16.86	43	12.2	4.66
S	SR	-22.77	1.23	24	12.2	-10.97

A táblázat utolsó oszlopában alászínezéssel jelöltük azon letapogatási mód és jelalak kombinációkat, amelyek nem biztosítják a specifikált detekciót. **Az adatok meggyőzően bizonyítják nagy sebesség szórás esetén az L sáv előnyét, különösen ha az a magasabb indítású frekvenciájú jelalakkal párosul.** Az SR jelalak alkalmazása erős clutter környezetben mindkét sáv vonatkozásában elterjedt.

Az SB radarok némelyike képes az indítási frekvenciájának növelésére (legfeljebb kétszeresére), a tűnyalábot alkalmazó radarok az elektronikus nyaláb kitérés következtében igen flexibilis impulzus szám változtatási és ebből fakadó clutter kezelési képességgel rendelkeznek. Amíg az SB radarok a teljes felderítési távolságra kiterjedően, de általában csak korlátozott helyszög tartományban rendelkeznek meghatározott szintű javulási tényezővel, addig a tűnyaláb letapogatású radarok a clutter környezethez alkalmazkodva, adott nyaláb pozícióban lényegesen nagyobb javulási tényezőt tudnak produkálni, természetesen rövidebb távolságra. Mindehhez persze szükséges, hogy más nyaláb pozícióban viszont minimális mennyiségű impulzus alapján legyenek képesek a célt detektálni. Az utóbbi időben megjelentek a szimultán és egymástól független nyaláb eltérítésű, eltérő frekvenciájú tűnyalábokat alkalmazó radarok, egyesítve az előbbi megoldások előnyeit. Egyik európai ország harcászati felderítő radar megjelöléssel kifejlesztette a **B** radar SR jelalakat is

alkalmaó változatát. Az eddig elmondottakon túlmenően a két megközelítési mód értékelésekor ajánlatos figyelembe venni a következőket:

- az SB megoldásnál a cosec^2 alakú adó oldali iránykarakterisztika magasabb melléknyaláb szinttel párosul, amellet, hogy az adási antenna nyereség kisebb, mint a tűnyaláb esetén. A tűnyaláb maximalizálni tudja a céltárgyra kisugárzott energiát, miközben képes minden egyes nyaláb pozícióban a helyszög fedéshez illeszteni az indítási frekvenciát, következésképpen optimalizálni tudja az impulzus számot. Az egyes nyaláb pozíciók elfoglalása történhet véletlenszerűen, megnehezítve a radar paramétereinek felderítését, illetve a főnyalábon keresztüli intervenciót.

- az SB megoldásnál, elsősorban a magasabb helyszög tartományokban, a vételi tűnyalábban lévő céltárgyat csak egy-utas melléknyaláb szint szeparálja el a cluttertól, a tűnyaláb letapogatásnál a clutter redukciót két-utas, az adási és a vételi, melléknyaláb szint közösen határozza meg,

- az SB megoldásnál a helyszög tartomány $6\div 10$ vételi szimultán nyalábbal van lefedve, a tűnyalábos letapogatás $12\div 18$, esetenként még több nyaláb pozícióval manipulál. A keskenyebb nyaláb jobb térszelekciót biztosít, csökkentve a radar cella és vele együtt a clutter radar keresztmetszetét. Ez különösen hatványozottan jelentkezik a legfelső helyszögeknél.

- az SB megközelítés nagy számú impulzust szolgáltat, hisz a teljes elevációs tartományt szimultán fedi le. Ez a megoldás kompatibilis az MTD processzálassal, amely közel optimális performanciát biztosít clutter környezetben. A tűnyaláb letapogatásnál az egyes nyaláb pozíciókban rendelkezésre álló impulzusok száma korlátozott, ezért az MTD processzort legfeljebb az SR jelalagnál alkalmazzák. A szkennelő tűnyalábú megoldásnál elérhető impulzus mennyiség becslése érdekében tekintsük át egy L sávú, nagy hatótávolságú 3D radar néhány letapogatási sablonját.

A példaként választott radar antenna forgási sebessége 6 fordulat/perc, az iránykarakterisztika szélessége vízszintes síkban 2.6° . Egy azimut cella letapogatási ideje: $10 \text{ s} / [360^\circ / 2.6^\circ] = 72.22 \text{ ms}$. Ezen idő alatt a radar a $0^\circ\div 20^\circ$ elevációs szögtartományt 16 véletlen kitérítésű tűnyalábbal tapogatja le, amelyek közül 5 LR, 11 pedig SR jelalakot használ. A jelalakok illeszkednek a radar felderítési zónájához, a detekció egy frekvencia-diversity impulzus pár alapján történik. Az alap variánst a 9. táblázat tartalmazza.

9.táblázat

Pozíció szám	Elevációs szög	Jelalak	Detekciós távolság [km]	Megvilágítási idő [ms]
1	0.45 ⁰	LR	450	3.3
2	0.75 ⁰	SR	180	1.33
3	1.70 ⁰	LR	450	3.3
4	2.50 ⁰	SR	180	1.33
5	2.60 ⁰	LR	450	3.3
6	3.90 ⁰	SR	180	1.33
7	4.00 ⁰	LR	350	2.6
8	5.30 ⁰	SR	180	1.33
9	6.15 ⁰	LR	300	2.15
10	6.75 ⁰	SR	180	1.33
11	7.90 ⁰	SR	180	1.33
12	9.60 ⁰	SR	200	1.47
13	11.45 ⁰	SR	165	1.21
14	13.65 ⁰	SR	150	1.10
15	16.15 ⁰	SR	120	0.88
16	18.80 ⁰	SR	100	0.8
Az azimut cella letapogatására felhasznált idő				28.09

Az alap variáns nem számol clutter elnyomó technikával, csupán azt fejezi ki, hogy a $0^0 \div 20^0$ helyszög tartomány letapogatása 28ms időtartamot vesz igénybe és bármiféle clutter elnyomáshoz a maradék idő, $72.22\text{ms} - 28.09\text{ms} = 44.13\text{ms}$, által meghatározott impulzus mennyiség áll rendelkezésre. A maradék idő felhasználása rendkívül flexibilisen, a clutter környezethez alkalmazkodva történhet, elsősorban az SR jelalakokra támaszkodva. Például a kettes számú nyalábpozícióban 2×9 impulzus felhasználásával igen hatékony együttes föld és meteorológiai clutter elnyomás valósítható meg 3 impulzusú MTI és 6 szűrőből álló DFB bázisán 180 km távolságig. Némely oldalszögön 180 km távolságon túl is előfordulhat eső clutter, ellene hatásos lehet az egyes sorszámú nyaláb pozícióban, 180 és 300 km között alkalmazott 3 impulzusú MTI. A négyes pozíció számú SR nyalábot is érintheti eső, indokolt a 3 impulzusú MTI használata. A fentebb vázoltak alapján a clutter szűrés idő igénye:

- SRMTD	$18 \times 1.33\text{ms} = 23.94\text{ms}$
- LRMTI-3	$6 \times 2.60\text{ms} = 15.60\text{ms}$
- SRMTI-3	$3 \times 1.33\text{ms} = 3.99\text{ms}$
	43.53ms

Az azimut cella letapogatására felhasznált idő $28.09\text{ms} + 43.53\text{ms} = 71.62\text{ms} < 72.22\text{ms}$.

Közeli eső clutter esetén a letapogatási sablon a 10. táblázat szerint alakulhat. Ennél a variánsnál az azimut cella letapogatási ideje $71.60\text{ms} < 72.22\text{ms}$.

10. táblázat

Pozíció szám	Elevációs szög	Jelalak	Detekciós távolság [km]	Megvilágítási idő [ms]
1	0.50^0	LR	450	3.3
2	0.75^0	SRMTD	180	23.94
3	1.60^0	LR	450	3.3
4	2.50^0	SRMTI-4	180	5.32
5	2.60^0	LR	450	3.3
6	3.70^0	SRMTI-4	180	5.32
7	4.00^0	LR	350	2.6
8	5.30^0	SRMTI-3	180	3.99
9	6.15^0	LR	300	2.15
10	6.75^0	SRMTI-3	180	3.99
11	7.90^0	SRMTI-3	180	3.99
12	9.60^0	SRMTI-3	200	3.99
13	11.45^0	SRMTI-3	165	3.99
14	13.65^0	SR	150	1.10
15	16.15^0	SR	120	0.88
16	18.80^0	SR	100	0.8
Az azimut cella letapogatására felhasznált idő				71.60

4.) Túlélőképesség

A katonai radarok tervezésekor **kiemelt figyelmet fordítanak a földi és légi alkalmazású pusztító eszközök hatásának minimalizálására.** Követelményként támasztják a radartól 70 m távolságra robbanó 1000 kg töltetű, nagy energiájú robbanófej által kiváltott 335Ns/m^2 túlnyomás impulzus lökéshatásának és 0.21 bar statikus túlnyomásának el-

viselését. A magas légköri atomrobbantás elektromágneses impulzusa (EMP) sem okozhat tartós károsodást, legfeljebb 60 másodperces üzemi kiesést. A fenti előírások az üzemi frekvencia tartománytól függetlenek, egyaránt érvényesek mindkét vizsgált sávra. A nagyobb fizikai méret alapvetően befolyásolja a radar mobilitását, **általában az S sávban tudják kivitelezni a valódi mobil radarokat, egy óránál nem hosszabb bontási és telepítési idővel.** Ezek zömében önjáró alvázon nyernek elhelyezést. A szakirodalom említést tesz hasonlóan rövid telepítési idejű L sávú radarról is, természetesen kompromisszummal a szöghelyzet mérési pontosság vonatkozásában. A transzportábilis kivitelű radarok több órás bontási és telepítési időt kívánnak meg. Mindkét sávban vannak reprezentánsaik.

Azt hiszem az utóbbi időben kissé félreértelmeződtek bizonyos dolgok, elfeledkeztünk harcászati alapelvekről, például arról, hogy a csapásvédettség elérésének egyik legbiztosabb eszköze a mobilitás. Még akkor is, ha léteznek az önravezető rakéták. A NATO terminológia csak mobil és transzportábilis kivitelű radart ismer, fix telepítésűt nem. A transzportábilis kivitelűt alkalmazza toronyra helyezve, illetve silóba telepítve. Ez utóbbira szokták a fix telepítés elnevezést használni. Míg az előbbit bármikor át lehet telepíteni, függetlenül attól, hogy tornyon - esetleg radom alatt - nyert elhelyezést, addig a fix telepítésű radar csapás elleni védelmét a silóba történő leeresztéssel érik el. Mindkét kiviteli formával kapcsolatban elvárják a kettős fémfalú szabvány konténerbe történő beépítést, így biztosítva az EMP elleni védelmet. Ami pedig az ARM-ok elleni védelmet illeti, a telepítési változattól függetlenül ARM csapdák alkalmazásával kívánják elérni. Erre azért van szükség, mert mobilitás ide - transzportabilitás oda, ha látni akarunk, bizonyos mennyiségű radart be kell kapcsolni. **Csak az nem közömbös, hogy a leendő két legdrágább, nagy hatótávolságú radarunkból akarunk céltáblát csinálni alkalom adtán valamelyik szomszédunk vadász pilótái számára.** Különösen érdekessé válik az ügy, ha melléjük képzeljük radar rendszerünk korszerűsítésének későbbi fázisában beszerzésre tervezett *ballon radarokat is.*

5.) Technológia

Egy radar technológiájának korszerűségét leghívebben az élet ciklus költsége (LCC) fejezi ki. A félvezető eszközök kiterjedt alkalmazása, a beépített redundancia és a moduláris felépítés az LCC csökkentése és az alkalmazási megbízhatóság irányába hatnak. Az U.S. Defense Systems Management College (Fort Belvoir) által alkalmazott költség analízis - Cost Analysis Strategy Assesment (CASA)- a meghibásodás közti átlá-

gos tényleges működési időnek (MTBF) az élet ciklus költségekre gyakorolt hatását értékeli.

**Az L sávban szinte kizárólagosan a félvezetős adókat alkalmaz-
zák, emiatt igen magas, 1000 óra feletti MTBFC értéket tudnak pro-
dukálni.** Az S sávban még nem terjedtek el a félvezetős adók, általában kísérleti stádiumban vannak. Bár a későbbiekben említésre kerülő ERIEYE AEW radar teljes egészében tranzisztorizált és egy európai gyártó is eljuttatta hozzánk földi telepítésű félvezetős S sávú radarját reklámozó prospektusát. Zömében Twystron, vagy TWT csöves végfokozatokat használnak. Ezen végfokozatok jellemzői -a magas (több 10 kV) tápfeszültség, a folyadékos kényszer hűtés, a tápvonal rendszer túlnyomása- a megbízhatóság csökkenésének irányába hatnak. Az S sávú radarok MTBFC értékét 600 óra környékére szokták felvállalni, noha a végerősítő csövek élettartama 8 ezer és 30 ezer óra közötti tartományban változik. Ez utóbbi érték csak a TWT erősítőkre vonatkozik.

A javítás átlagos időtartamát (MTTR) mindkét sávban 0,5-1 óra között adják meg. Az említett megbízhatósági adatok alapján számított készenléti tényezőt, az átlagos meghibásodási távolság függvényében, a 11. ábra szemlélteti.

A korszerű radaroktól magas készenléti tényező várható el, nem ritka a szigorú három kilences követelmény. Miután a két sáv között lényeges különbség MTBF vonatkozásában jelentkezik, érdemes áttekinteni a túlélési valószínűség alakulását az átlagos tényleges működési idő függvényében, különböző igénybevételi -1 nap, 1 hét, 2 hét, 1 hónap- időtartamra. A 12. ábra alapján az L sávú radar 1000 óra meghibásodási távolság esetén 20%, 1500 óra esetén pedig 30% sikeres feladat végrehajtási valószínűség előnnyel rendelkezik az S sávúhoz képest 1 hónapos folyamatos igénybevétel alatt.

Az elmondottak aláhúzzák a megbízhatósági mutatók fontosságát. **A vásárló számára különös jelentőséggel bír a telepített és szolgálatba állított radarok adatai alapján összeállított üzemeltetési statisztika, hisz az érett konstrukció bizonyítéka épp az a tény, hogy a tervezett megbízhatósági mutatókat alátámasztja a széles körű üzemeltetési tapasztalat. Ezen indokok alapján teljes egészében megkérdőjelezhető a tender referencia helyszínekre és a szolgálati időre vonatkozó kitételei.**

Az rt. rendszer fejlesztési koncepciójának előterjesztésekor nagy súllyal estek latba az rt. dandár költségei, remélve, hogy a korszerűsítés kapcsán felszabaduló létszám és eszköz mennyiség pénz vonzata legalább részben fedezi a modernizációt és hosszú távon mindenképpen csökkenti a ráfordításokat. Egy fajta, távolról sem teljes költség balansz (11. táblázat) remélhetőleg megmutatja, milyen kiadásokkal kell számolni

a korszerűsítés végrehajtása során. A táblázatban feltüntetett költségek az U.S. Customs, DoD adatain alapszanak és egy berendezésre vonatkoznak. A beszerzési költségeknél figyelembe vettem a számunkra átnyújtott ajánlatok tartalmát, ezek általában lényegesen magasabbak a DoD beszerzési árainál. Az éves költségek egységesen 60%-os rendelkezésre állást tükröznek. **Ezt az indokolta, hogy tíz radar helyszín üzemeltetési adatai alapján a ballon radarok rendelkezésre állása mindössze 61.85% volt.** Az üzemeltetési költséget kedvezőbb karbantartási szerződések megkötésével kívánják csökkenteni, ezért tartalmaz a táblázat aerostat oszlopa két üzemeltetési költséget.

Az rt. dandár '95 évi költségvetése, beleértve a központilag finanszírozott fenntartási anyag ellátást és javítást is, nem érte el a 2.5 milliárd forintot. Ennek tetemes része bér és a hozzácsatolódó kiadások. Bár ekkora összegből két év alatt már lehetne egy korszerű radart venni, de hát ennélfogva azért többről van szó. A légvédelem - s benne az rt. rendszer- fejlesztéséért felelős döntéshozók valószínűleg megfogják határozni a kialakítandó radar fedéssel kapcsolatos elvárásaikat, amelyek alapján a szükséges radar mennyiséget az alkalmazó már szinte játszi könnyedséggel tudja számvetni.

Ha a követelmények maradnak az eddigiek, akkor pontosan annyi folyamatosan üzemelő földi telepítésű radarra van szükség, ahány helyszínről történik jelenleg is a grafikon szolgálat biztosítása, ehhez esetenként többletként jelentkezhet a repülő, vagy a légvédelmi rakéta kiképzés extra igénye.

11.táblázat

Jellemzők	Földitelepítésű L sáv	Földi S sáv	Aerostat	E-3 Awacs	E-2C Hawkeye	ERIEYE
Primer radar típusa			L-88 TPS-63	APY-1	APS-125 APS-138	ERIEYE
Hatótávolság [km], $\sigma = 1 \text{ m}^2$	320	320	235	310	250	290
Folyamatos üzem	30 óra leálás évenként	30 óra leállás évenként	2-3 hét	11 óra	7 óra	6 óra
Beszerzési költség MFt	2500-2800	1700-2500	6100	31000	7700	5800
Üzemóra költség Ft	3800 - 4300	4100 - 4500	46000; 76500	1 270 000	410 000	92 000
Éves költség A=60%,MFt	20	24	242; 402	6700	2200	484

Repülő eszköz fedélzetére telepített radarok alkalmazásakor lényegesen kevesebb egyidejűleg üzemelő berendezésre van szükség, ballon radar esetében kettőre, csak így alakítható ki a szükséges fedés, a holt kúpjuk lefedésére és a fedési zónájuk felső határa feletti repülések felderítésére még legalább két földi telepítésű eszközt szükséges üzemeltetni. **Miután az aerostat radarok csak két dimenziójúak, további problémákat vet fel az elvárt magassági fedés kialakítása. Emellett karbantartáskor, vagy meghibásodáskor a keletkezett hézagot földi telepítésű eszközzel le kell fedni.** Megfelelő útvonal esetén egy repülőgép fedélzeti radar is képes lefedni az országot, de a folyamatos szolgálat fenntartásához 4-5 gépből álló repülő park szükségeltetik.

Az eddig elmondottak némileg módosulnak konfliktus esetén: földi telepítésű eszközökből -a várható veszteség, a szükséges fedési korrekció és a csapás alóli kivonások függvényében- megnő az igény. **A ballon radarok földi telepítésű eszközökkel történő pótlásáról idejekorán gondoskodni kell, hisz a fix telepítési módú földi radarokhoz hasonlóan elsődleges célpontot jelentenek és a mobilitás teljes hiánya, valamint amiatt, hogy települési helyük pontosan ismert, igen sebezhetőek.** Nagy fokú mobilitásuk miatt a repülőgép fedélzeti telepítésű radarokat lehet a legkönnyebb kivonni a csapás elől, mindazonáltal az ellenség számára a legértékesebb célpontok közé tartoznak, ha védelmükre a szükséges vadász oltalmazással nem rendelkezünk, beszerzésükről polemizálni akadémikus jellegű.

Áttekintve a meghatározó területeket végül is állást kellene foglalni: **L, vagy S sáv ? Azt hiszem akkor járunk legközelebb az igazsághoz, ha azt mondjuk mindkettő. Ugyanis harcászati lag előnyösebb, ha ugyanazon földrajzi területen mindkét frekvencia sávot igénybe vesszük, így is beszűkül a rendelkezésre álló frekvencia tartomány a jelenlegihez képest.** A probléma legfeljebb azért bonyolult, mert a vásárláshoz szükséges anyagi fedezettel nem rendelkezünk. Ezért elkerülhetetlen a hitelre épülő, ütemezett beszerzés. Emiatt a kérdés is némiképp módosul: az L, vagy az S sávú radarokat vegyük meg először ?

A választ elsősorban az a radar környezet határozza meg, amelyben alkalmazni akarjuk őket és nem az azonos kategóriájú, de eltérő frekvenciájú radarok performanciája közötti különbség. Közismert, hogy rt. rendszerünkben nincs L sávú radar, 2D változatát a polgári légi-forgalom irányítás használja. Katonai 2D VHF és UHF radarjaink, mint az L sávhoz legközelebbiek, nem a nemzetközileg elfogadott frekvenciákon üzemelnek. A sáv jogosult használóival állandó a konfrontáció. Az alacsony frekvencia sávok minden előnye ellenére - előbb, vagy utóbb-, de le kell mondani még az átmeneti időre kijelölt frekvenciák igénybevételéről is. Kiváltásuk L sávú radarral tűnik célszerűnek.

Másfelől ugyancsak sürgetően jelentkeznek az S sávú katonai radarjaink cseréjének igénye. Az állandósult üzembentartási gondok mellett ezt az is indokolja, hogy alkalmatlanok folyamatos üzemeltetésre. Miután nemzetközileg elfogadott frekvenciákat használnak - tekintettel egy részük csaknem 2 évtizedes korára - szóba került esetleges modernizálásuk. Sajnos erről korrekt megvalósíthatósági elemzés nem készült. Ennek ellenére néha az S sávú radarok beszerzésének ellenérveként emlegetik.

6.) Egy tender felhívás margójára

A tisztelt Olvasó már bizonyára konstataulta, a cikk két részének megírása között eltelt időben, többé-kevésbé megfogalmazódott a radar tender. Én pedig tévedtem, sajnálatos módon többszörösen tévedtem! **A közbeszerzési törvénynek egyáltalán nem lett olyan hatása, mely az érdemi műszaki analízist előtérbe helyezné, sőt e cikk írója helyes kis orrocskát kapott, miközben eléggé megalázó módon kioktatták, tudomására hozva, hogy akár műszaki kérdésekben is az alkalmazó véleménye a mérvadó. Még akkor is, ha az a nagy nehezen összehozott NATO konzultáción elhangzottaktól is eltér. Talán cikkemben sikerült rámutatnom, -az első részben már vázolt aktív zavarással kapcsolatos néhány szemponton túl is-, hogy a radar tender követelmény rendszerének szakszerű összeállítása a győztes kiválasztásának csak első lépcsője! Semmivel sem kisebb jelentőségű az objektív értékelési szempontok kidolgozása. **Az egyértelműen megfogalmazott követelmény rendszer, a következetesen végigvitt objektív értékelés teszi mindenki számára elfogadhatóvá a tender-győztes terméket.****

Ma már nem mondhatjuk, hogy tapasztalat nélkül vágunk bele egy nagy volumenű tenderbe, mögöttünk van az eléggé visszhangos IFF beszerzés. Illene tanulnunk akkor elkövetett hibáinkból. Mindenek előtt rá kellene döbbenünk, még egyszer nem állíthatunk össze olyan pongyola, alacsony színvonalú és helyenként kifejezetten hibás műszaki követelmény rendszert, mint ami az IFF pályázati felhívásban sikeredett. Talán a legfontosabb tanulásként mégis az állapítható meg, hogy sürgősen gyarapítani kell ismereteinket. Meg kell ismerni a leendő partnereink gondolkodás módját, el kell sajátítani az általuk használt terminológiát, meg kell tudnunk, hogyan látják ők radaros szemmel a világot. Számomra elszomorító volt, hogy a légvédelemtől nyugállományba vonult magas beosztású mérnök tábornok nemes egyszerűséggel túl tudományosnak nevezte a műszaki követelmény rendszert. Talán mert a honi légvédelemnél kevés időt töltött el.

Főtanácsos úr! Javaslom, ha drága ideje megengedi és alkalom adtán hozzájut egy NATO radar tenderhez, ne habozzon, olvastassa el! Rá

fog jönni, az általam összeeszkábált anyag csak azon lényeges szempontokat tartalmazta, amit egy NATO tender tartalmazni szokott, legalábbis a műszaki része. Mindezt a meghívott NAMSA munkatársak által átadott un. referencia tabló és más anyagok megerősítették. Jobban örültem volna, ha értékes tanácsaival a paraméter rendszer pontosítását segítette volna elő, hisz abban azt hiszem megegyezhetünk, **nem lehet számunkra közömbös, mennyire lesz szakszerű és egyértelműen feldolgozható - ha úgy tetszik megemészthető - leendő üzleti partnereink számára az általunk kibocsátott tender.**

Az eszközölt változtatás, amely megengedi az ötös fordulatot is, de minden fordulatszámától függő paramétert hatos fordulatra átszámolva kéri megadni, nem szakszerű, nem egyértelmű, és inkább a dilettantizmusunkat fejezi ki, bár tiszteletreméltó törekvés a hatos fordulat visszacsempészésére. Ugyebár annak a radarnak a 10 másodperces letapogatási időre átszámított paramétereivel, amelyik a valóságban 12 másodperc alatt tapogatja le a felderítési zónáját, nem sokat tud kezdeni a tisztelt értékelő, hisz a fiktív paramétereket soha nem tudja ellenőrizni. **Kivéve persze, ha az értékelés a cikk első részében már említett "alaposággal és szakszerűséggel" történik, dehát ilyen alapon már a tendereztetés is felesleges, ami egyébként teljes egészében összhangban lenne a légvédelem hosszú távú fejlesztési koncepciójáról 1994-ben kidolgozott elképzelésekben rögzítettekkel!**

A helyzet ellentmondásosságát pregnánsan jellemzi az a tény, hogy az ajánlati felhívás véglegesnek tűnő változatát interpretálók egyrésze nem érti a fordulatszám körüli hűhót, mondván a tenderben kőkeményen megfogalmazódott az igény, a radar fordulhat akár ötöt is, de az adat frissítés 10 másodpercenként történjen meg. Hivatkozási alapul az A radar look-back képessége szolgál. Először is, a tender I/2.5.4.1. pontja csupán azt írja elő, hogy a pozíció és magasság információ frissítése letapogatásonként legalább egyszer történjen meg. Ez az én olvasatomban azt jelenti, hogy az öt fordulat/perc forgási sebességű radar 12 másodpercenként, a hatos forgású pedig 10 másodpercenként szolgáltat információt a cél tartózkodási helyéről. A tender felhívás egy korábbi megfogalmazásában valóban szerepelt a tíz másodperces előírás, de hol van már a tavalyi hó? Másodszer pedig igen gazdag fantáziával áldotta meg a teremtő azt, aki el tudja képzelni, hogy a 12 s. körülfordulási idejű radar 2 másodperccel korábban jelenti a cél pozícióját, mintsem detektálta azt. Az A radar visszapillantó képessége a burn-through eljárás egy fajtája, amelynek során a radar az adott térrészbe kisugárzott energiát növeli meg. **Az A radart gyártó cég műszaki ajánlatában megfogalmazott mondat, „Data renewal rate 6 rev/min”, egyértelműen rávilágít, mily botor dolog az**

antenna forgási sebességét elszakítani az adatfrissítés gyakoriságától. A tender tárgyát képező radaroknál jelenleg csak a helyszög tartományban szokásos eljárás az elektronikus szkenneltetés.

E kérdésben szaktekintély is megnyilatkozott, kijelentve: „szakemberek körében komoly vita árán eldöntöttük, hogy kompromisszumot köthetünk az ötös fordulatúban is”. Ennek ellenére mégiscsak azt mondanám, felesleges bonyodalmakat és indokolatlan nehézségeket vállal az fel, aki az öt fordulat/perc forgási sebességű radar performanciáját akarja korrekt módon összevetni egy hat fordulat/perc letapogatási sebességű radaréval. Bár azt továbbra sem tudom elképzelni, hogy az alkalmazónak milyen indokok alapján jobb az alacsonyabb adatfrissítési sebesség, ha mondjuk egy kis magasságon manőverező MiG-29 típusú vadászgéppel gyúlik meg a baja. Lenyűgözve olvastam, hogy az említett szaktekintély a szerkesztő gárdával először csinált ilyen nagy horderejű tendert és maga is követett el olyan számvetéseket, amelyek alapvetően nem voltak helyesek. Nos, **a tender műszaki követelményeinek, 1996 01.12.-i dátummal a HM munkatársának, általam átadott változatát összehasonlítva a végleges változattal, néhány apróbb változtatástól eltekintve, csak a korábban is kifogásolt, részben a NATO ajánlásoktól, vagy ha úgy tetszik, szabványoktól eltérő részeket konstatáltam a szerkesztő gárda tevékenységének eredményeként. Ezért tisztelettel kéretik mindenki, aki ilyen-olyan szintű meghallgatásokon, előadásokon reklámozza önmagát, ne ékeskedjen idegen tollakkal és szíveskedjék illő szerénységet tanúsítani.** A tender műszaki részének összeállításába, legalábbis az eredetiébe - leírhatom, mert felvállalta - dr. Balajtin kívül csak a HTI, az Rt. főnökség és a VK HIRICSF-ség egy-egy munkatársa vett részt. Véleményt természetesen többen is nyilvánítottak, amit ezúton is megköszönök. **Igazán sajnálom, hogy az LRI szekunder radar paraméterekkel kapcsolatos álláspontját nem ismerhettem meg.**

Külön köszönettel tartozom dr. Bozsóki István docens úrnak a pályázati felhívás műszaki részének összeállítása során adott értékes tanácsaiért, hasznos észrevételeiért. Néha pironkodva gondolok a NAMSA itt járt munkatársaira, sok mindent elmondtak, amire illene figyelniük, számos hasznos anyagot adtak át, amiből lenne mit tanulnunk, jó párat már most kellene kamatoztatnunk.

Ami pedig a számvetéseket illeti, őszintén szólva zavarban vagyok, mert nem tudom, hogy a tender melyik részével kapcsolatban követték el és miután nem voltak helyesek, hol és miben erősítették meg a tenderben előírt paramétereket. A gyakoribb adatfrissítéssel kapcsolatos számításokhoz, hogy segítsék a hibákat elkerülni, a szakértő urak figyelmébe

ajánlom az alábbi, e téren kiindulási alapul szolgáló és alapvető szakirodalomnak számító műveket:

- **SHAPE Military Operational Requirements for Transportable and Mobile Radar, 65.40.02.01/SHCCC/93, NATO-Confidential, dated 13.10.1993.**

- **ACCS Criteria and Standards, ANNEX A, Enclosure 1, MOR for Transportable and Mobile Radars, NATO-Conf. Dated 19.8.95.**

- **A. Farina, F.A. Studer: Radar Data Processing. Volume I,II. Research Studies Press Ltd.1986.**

A radar adat feldolgozást tudományos igényességgel a hadseregben Dr. Ósz foglalta össze „A rádiólokátorok által felderített célok adatainak feldolgozása integrált automatikus rádiólokációs-információs rendszerrel (különös tekintettel a real-time adatfeldolgozás kritériumaira).” című doktori értekezésében. **Hasznos olvasmány lehet mindenki számára, aki meg akarja ítélni a 10 és 12 másodperces adatfrissítési ráta közötti különbséget.**

Az eszközölt változtatások indokálul úgymond az szolgálta, hogy már a „kezdet kezdetén” (értsd: a tender kiadásakor) ne adjunk támadási területet senkinek. Tetszetős indoklás, de sántít egy kicsit. Gondoljuk csak végig, mi lesz a finisben, ha már a startnál néhány paraméterben engedményt teszünk, mert úgy tudjuk, hogy W, vagy X,Y cég radarja a NATO ezen követelményét nem tudja kielégíteni. Közben épületes módon még filozófiát is kovácsolunk hozzá: nem is biztos, hogy számunkra fontos ezen paraméter kielégítése, a NATO kompatibilis radarnak nem feltétlen kell kielégítenie a MOR előírásait, mi egyébként is a radar rendeltetéséből indulunk ki, rendszer szemlélettel, rendszerbe integrálva nézzük a radar specifikációkat és vezetési rendszer szintjén kívánunk NATO kompatibilissé válni. Vajon garantálható, hogy a kis magasságon manőverező, támadó célt állandóan több radar fogja látni? Azt gondolom, ha már nem kis pénzért radart veszünk, az mégis csak NATO szabványú legyen. Az Észak-Atlanti Szövetség is rendszerbe integrálva alkalmazza a radarjait, ennek ellenére az itt járt NAMSZA szakemberektől kapott információ szerint az utóbbi évek NATO radar beszerzései rendre hatos fordulatúak voltak. Szeretném a szakértő urak figyelmét arra is felhívni, hogy a NADGE déli szárnyának korszerűsítése során csakis olyan radarokat szereztek be, amelyek magasabb forgási sebességük folytán kielégítették a NATO megnövelt adat frissítési ráta iránti igényét. A szövetség légvédelmi rendszerének további fejlesztését célzó ACCS program valószínűleg módosul és továbbra is a déli, esetleg a dél-keleti szárny modernizálása kerül szóba. Ez adott esetben

már érinthet bennünket is. Többek között emiatt is, a felszólaló szaktekin-téllyel ellentétben, „aki ezt a kérdést vizsgálta anélkül, hogy a szakértő bizottságba behívták volna” én bizony nem aludnék nyugodtan, ha a korszerű radarunk csak öt fordulattal tudna üzemelni. Ami pedig NATO kompatibilis vezetési rendszerünkkel kapcsolatos elképzeléseket illeti, a tisztelt olvasó figyelmébe ajánlom Balajti dr. „Valóban korszerűsödik rádiólokációs információs rendszerünk?” című cikkét, mely a következő számban jelenik meg. (1996/4. sz. 2.füzet).

Attól miért nem tartunk, hogy a kezdet kezdetén általunk összeku-szált kiindulási alap miatt, a kiértékeléskor ér bennünket támadás, pedig az lesz csak a kacifántos. Most még egyszerűen kivédhető, csak utalni kell a MOR-ra, de végig gondolta már valaki a nagy kompromisszum ke-resők közül, hogyan fogják objektíven eldönteni, hogy két különböző le-tapogatási sebesség esetén melyik radar nyújtja a jobb performanciát? Az RF sáv 80 százalékos manőver foglaltsága esetén, melyik radar a nyerő, ha az egyik ezt 74 frekvenciával oldja meg, 2 MHz szélességű belső mo-duláció esetén, vagy ugyanezt 57 frekvencia párral éri el, de 1.3 MHz pillanatnyi sáv szélesség mellett? Készen van már az objektív értékelési rendszer, amely alapján támadás mentesen lehet eldönteni mennyivel ér-tékelendő magasabbra a 20 %-al gyorsabb adatfrissítés, mint az 5 %-al nagyobb felderítési távolság, vagy fordítva?

Bízom benne, a cikkben foglaltak, ha többet nem is, de annyit leg-alább bebizonyítottak, hogy **a radarok performanciájának összehason-lításakor azonos feltételekből kell kiindulni.** A radar forgási sebessége két vonatkozásban is rendszer paraméter, egyrészt meghatározza az igen sok, más paramétert befolyásoló impulzus számot, másrészt önmagában is kiemelt jelentőségű, hisz ekvivalens a katonai radaroknál oly nagy fontosságú értékelési szempontként szereplő adatfrissítési sebességgel.

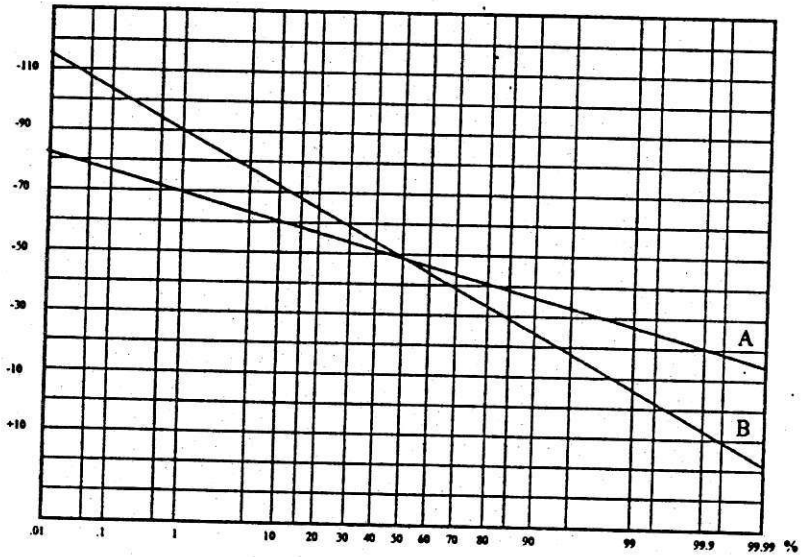
Van a problémának egy másik oldala is! A műszaki követelmények között szerepel jó néhány olyan is, amit legalább egy cég eleve nem tud teljesíteni, többek között például nem mindegyik potenciális jelöltünk rendelkezik félvezető adóval. Megalkuvásunk erre miért nem terjedt ki, úgy gondoljuk ez már nem ad támadási felületet, **vagy egyszerűen csak arról van szó, hogy szelektív kompromisszum készséggel áldott meg bennünket a teremtő?**

Irodalom jegyzék:

- 1.) *M.I. Skolnik*: Radar Handbook. 1970. McGraw - Hill, Inc.
- 2.) *M.I. Skolnik*: Radar Handbook. 1990. McGraw - Hill, Inc.

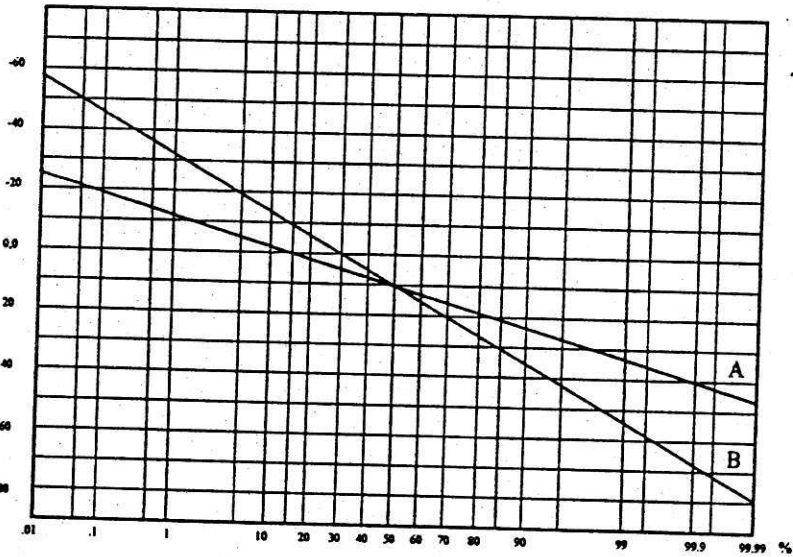
- 3.) *F.E. Nathanson*: Radar Design Principles. 1991. McGraw - Hill, Inc.
- 4.) *D.K. Barton*: Radar Evaluation Handbook. 1991. Artech House, Inc.
- 5.) *M.W. Long*: Airborne Early Warning System Concepts. 1992. Artech House, Inc.
- 6.) *P.L. Bogler*: Radar Principles with Applications to Tracking Systems. 1990. John Wiley & Sons, Inc.
- 7.) *G. Galati*: Advanced radar techniques and systems. 1993. Peter Peregrinus Ltd.
- 8.) *J.A. Scheer and J.L. Kurtz*: Coherent Radar Performance Estimation. 1993. Artech House, Inc.

dB

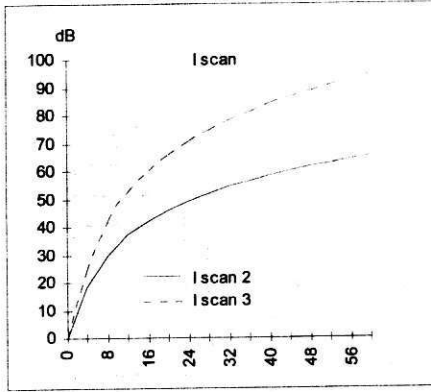


1. ábra

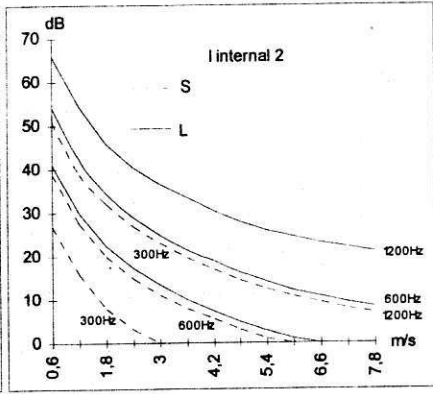
dB



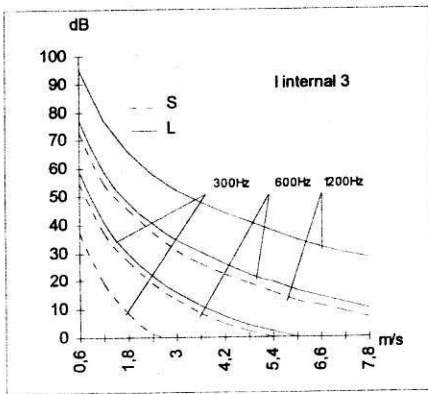
2. ábra



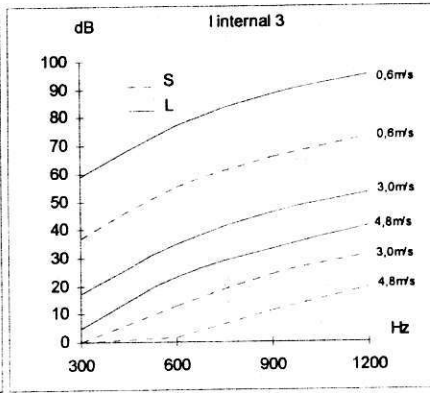
3. ábra



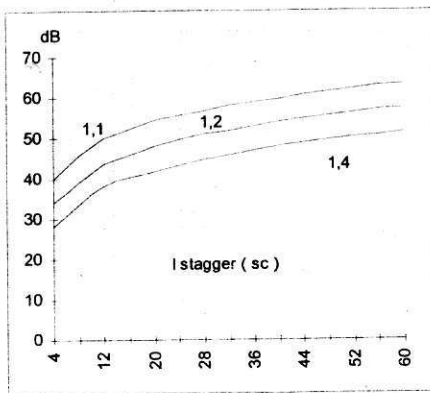
4. ábra



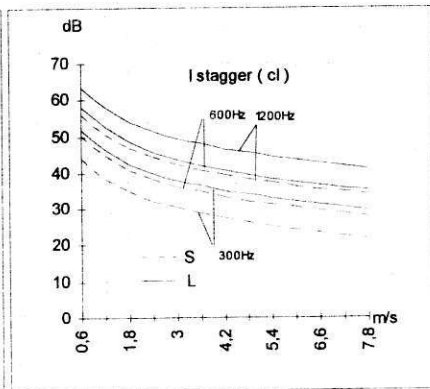
5. ábra



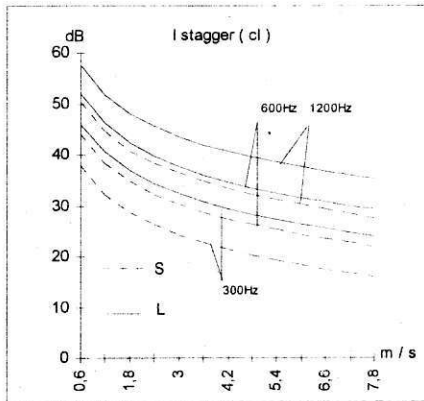
6. ábra



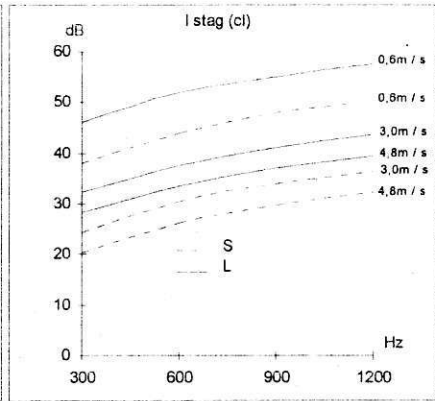
7. ábra



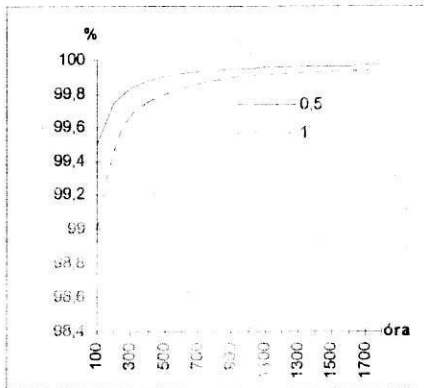
8. ábra



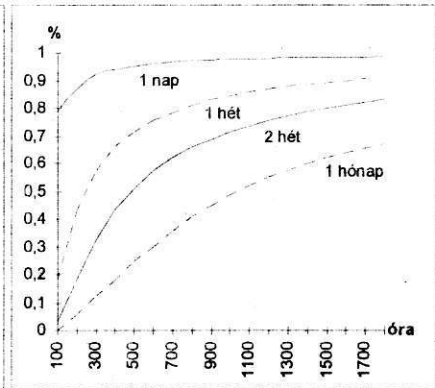
9. ábra



10. ábra



11. ábra



12. ábra

Szerkesztőség: 1395. BP., Lehel u. 41.

BP. Pf. 423. (Felelős szerkesztő)

Telefon: HM: 56-88, 66-14

Szedés: MH Anyagi-Technikai Informatikai Központ

Kiadja: MH Hadtáp Szolgáltató Központ