

6. Előadás KJIT LÉGIR-I.





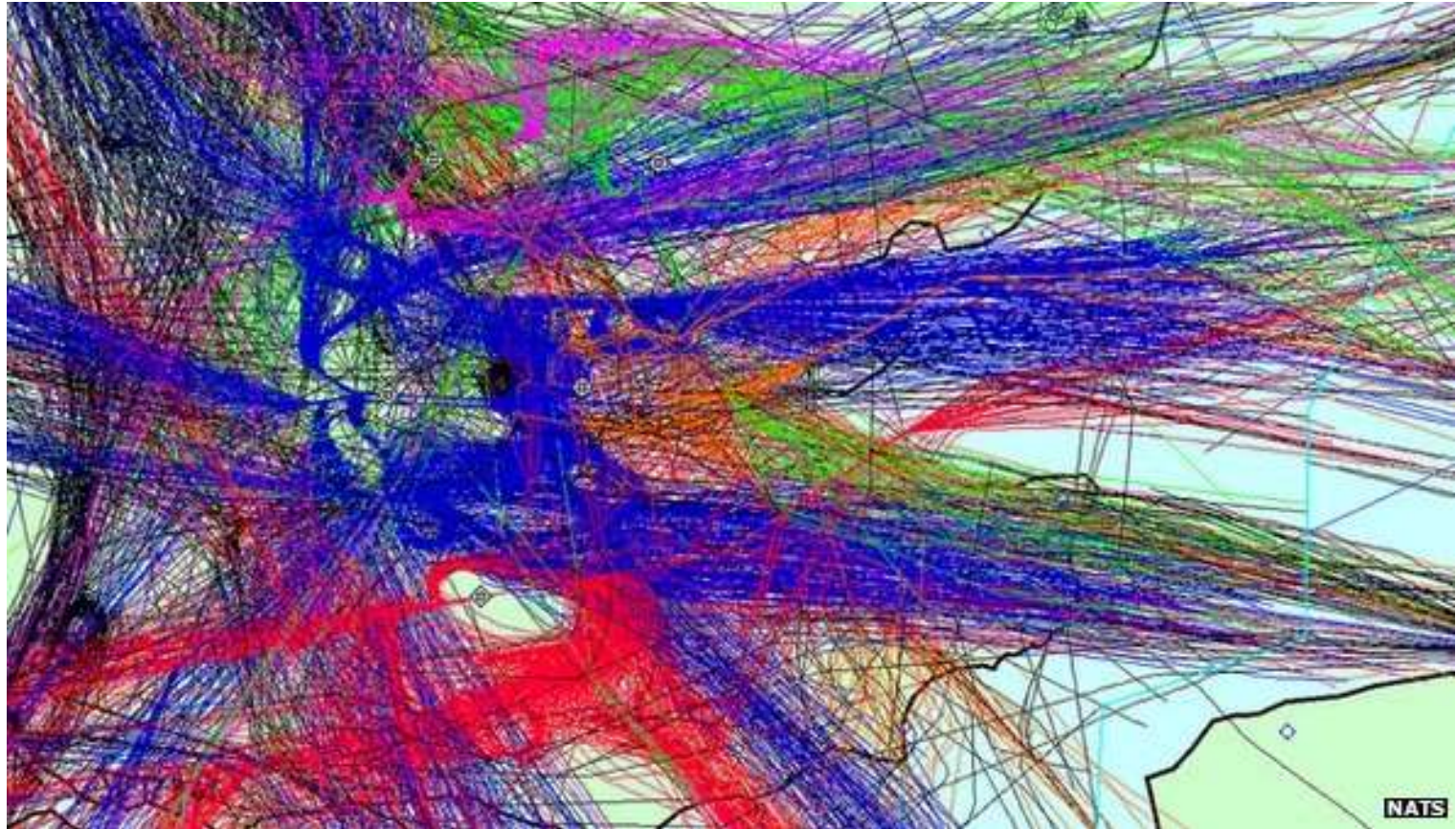


Photo by Louis Nguyen

1.2



Mi a probléma? Miért kell a radar?



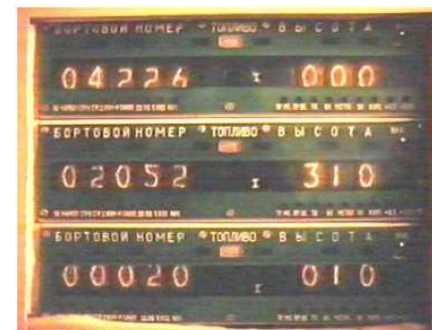
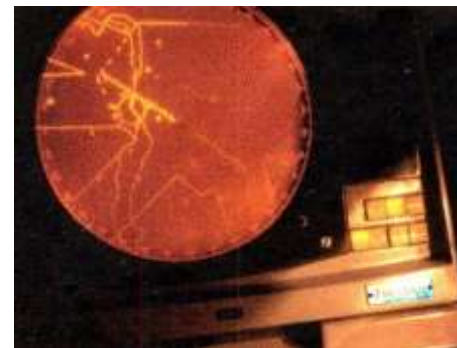
Egy átlagos londoni nap, DK-Anglia, 2011.

Indok: pl. a magyarországi légiforgalom fejlődése



Légtér-használat és ellenőrzése

- Kezdetekben: semmi,
- Rádiók megjelenésével:
 - Rádió iránymérés
 - Position reporting-alapú követés
- Távolságmérés eszközei alapján
- Radarberendezés (elsődleges - passzív)
 - Kezdetben: elsődleges visszaverődés
 - Kiegészítő, azonosság-megjelenítő eszközök
 - Fejlettebb: IT-alapú hozzárendelés
- Aktív radarberendezés (másodlagos)
 - Szinkronizálási kérdések
 - Egy tengelyen forgó radarok
 - Kódok számának elégtelensége



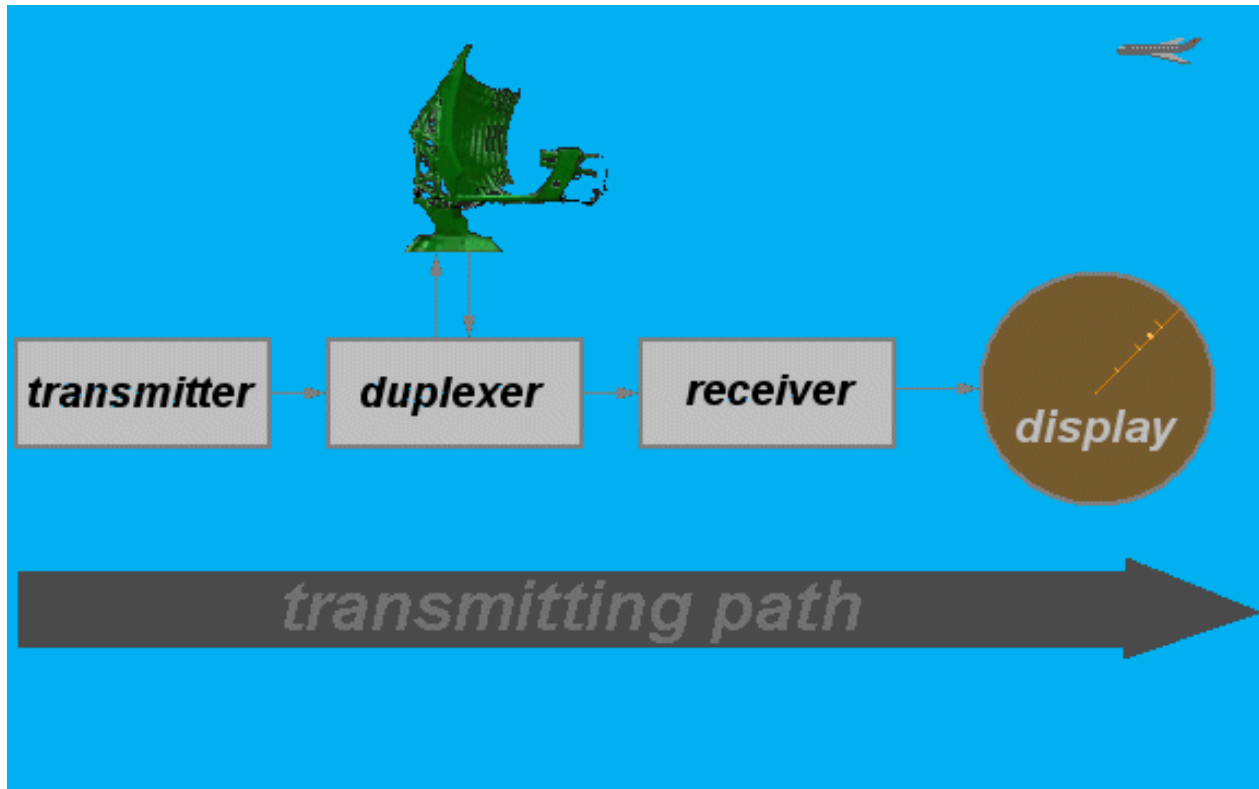
Mi is a radar?

- **RADAR = RADio (Aim) Detecting And Ranging**
- 1940 óta használatos a kifejezés
- **Alapelve: e.mágneses hullámok – visszaverő felület – e.mágneses visszhang**



- **Adott körülmények és feltételek mellett: távolság, irány, irányszög, magasság és sebesség mérésére alkalmas**
- **Felhőzet, párák, ködös levegő nagyrészt nem akadály**

A radar-elv



Transmitter (adó): a nagyfrekvenciás, nagy energiájú impulzusok előállítója

Duplexer (átkapcsoló): az adás és a visszavert jel vételére átkapcsolás fontos eleme

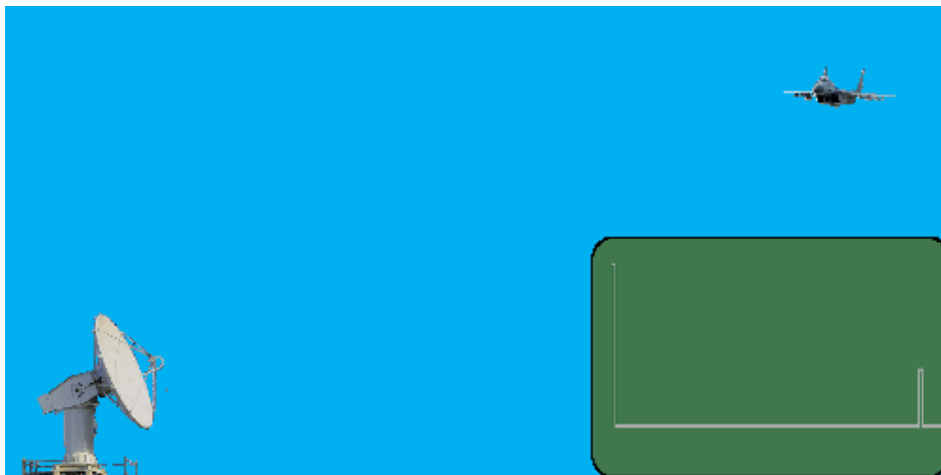
Receiver (vevő): szintezi és átalakítja a visszavert rádiófrekvenciás jelet; a kimenetén video jel formára)

Radar antenna: a rf. energianyálábot sugározza ki a kívánt karakterisztika és erősség szerint

Indicator (display): az előállított kép megjelenítésére szolgáló eszköz

táv: visszaverődési idő – jeltávolság; irány: viszonyítva a pillanatnyi helyzettel

A távolság meghatározása

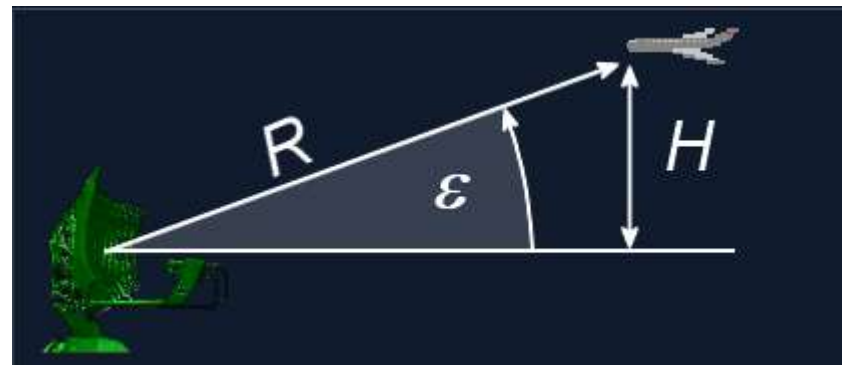
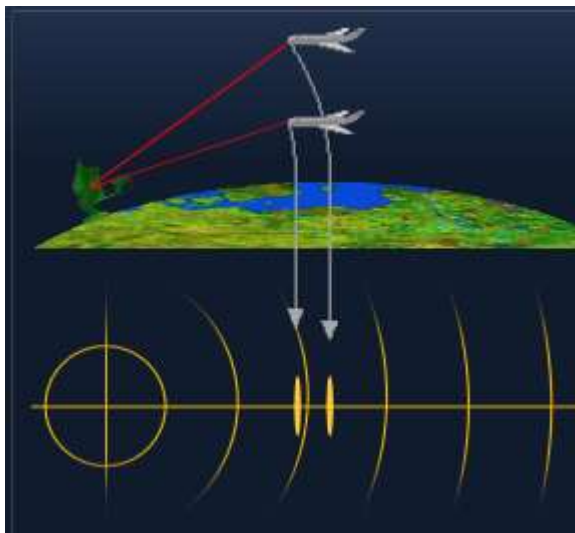


$$R = \frac{c_0 \cdot t}{2}$$

ahol:

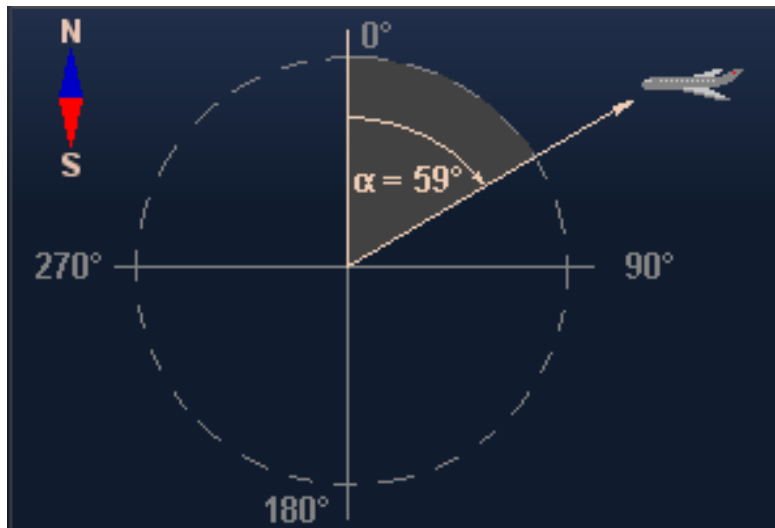
c_0 = speed of light = $3 \cdot 10^8$ m/s
 t = measured running time [s]
 R = slant range antenna - aim [m]

Ferde-távolság!!!



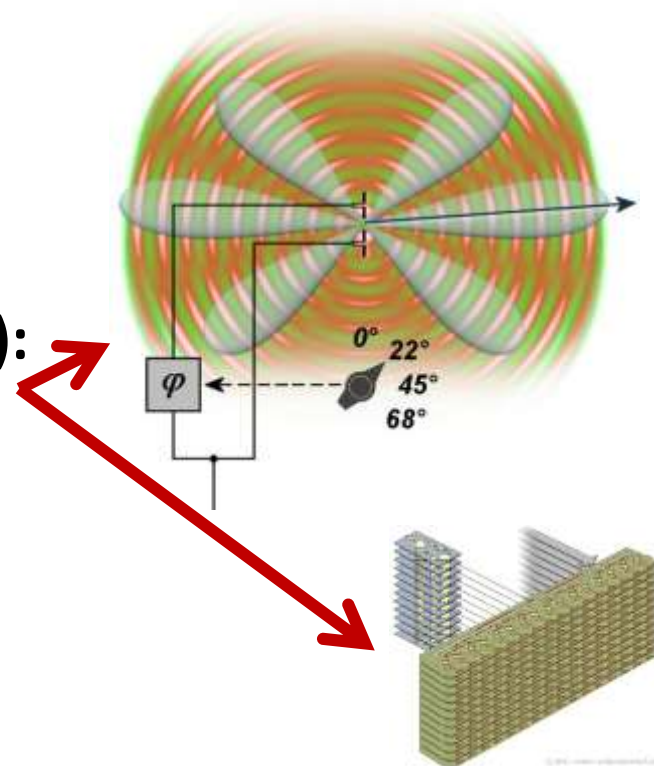
$$R_{topogr.} = R \cdot \cos \epsilon$$

Az irány meghatározása



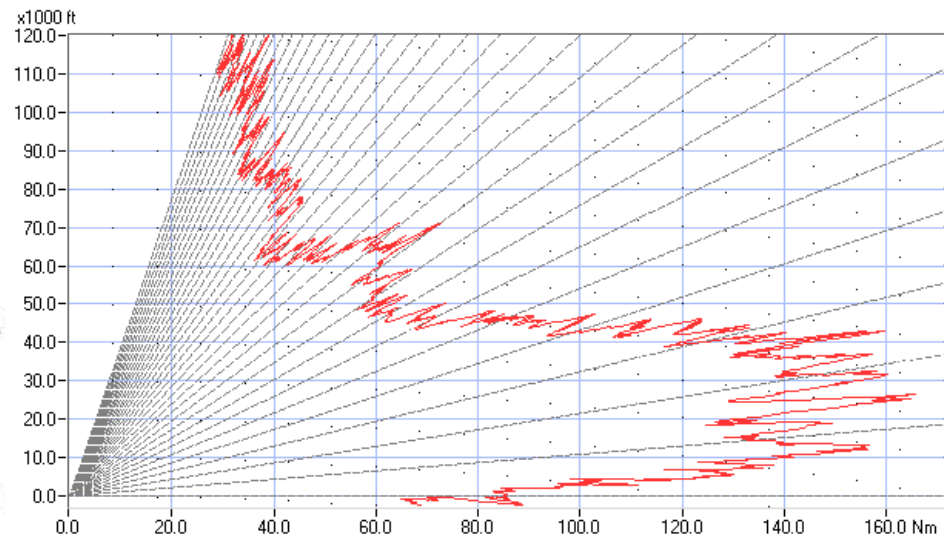
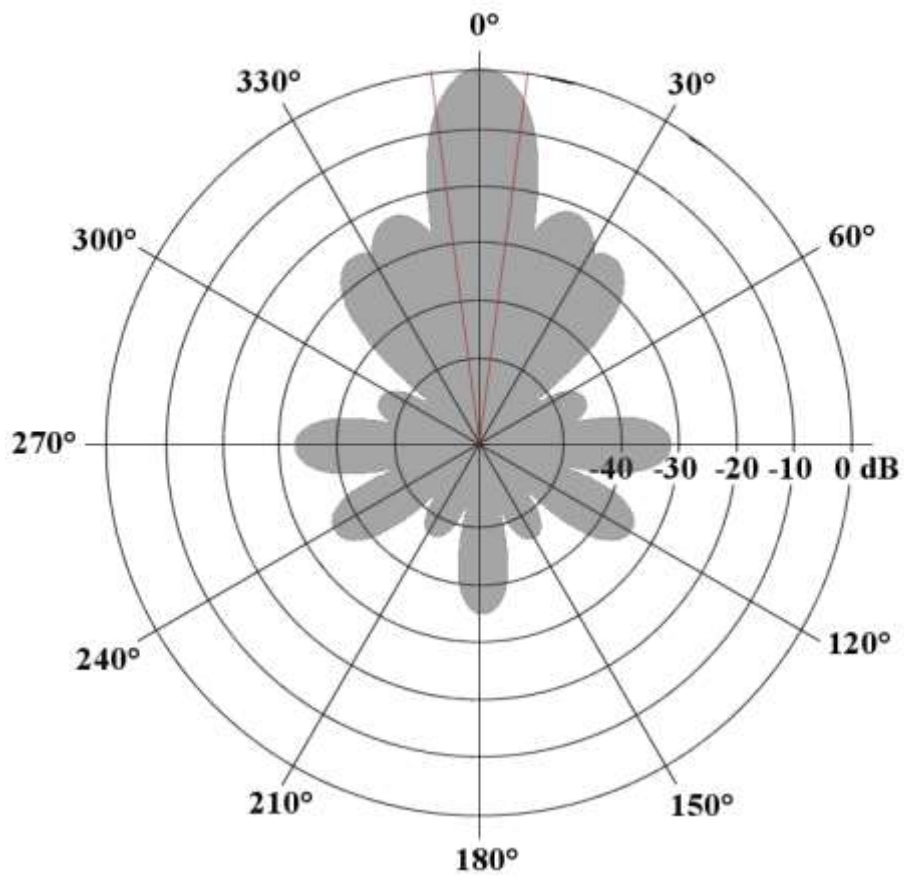
- **True Bearing** – a **tényleges északhoz képesti szögelfordulás** (óramutató járásával egyezően „+”)

- A legtöbb antenna 1 „szírommal” dolgozik (egy rf. energia sugarat et bocsát ki) és az antennát forgatják körbe!
- A modern radarok (PHASED-ARRAY RADARS): **NINCS** mechanikus alkatrész: elektronikusan forgatják” a „szírmot”.
- Az iránynak a rendszer számára átadására szervo-rendszerű vagy irányszög-váltási impulzus-számláló módszert használnak



Korlátok

Antenna karakterisztika

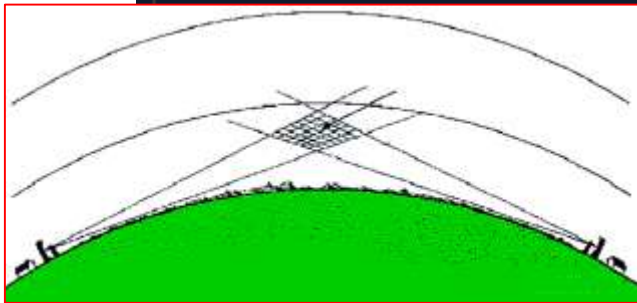
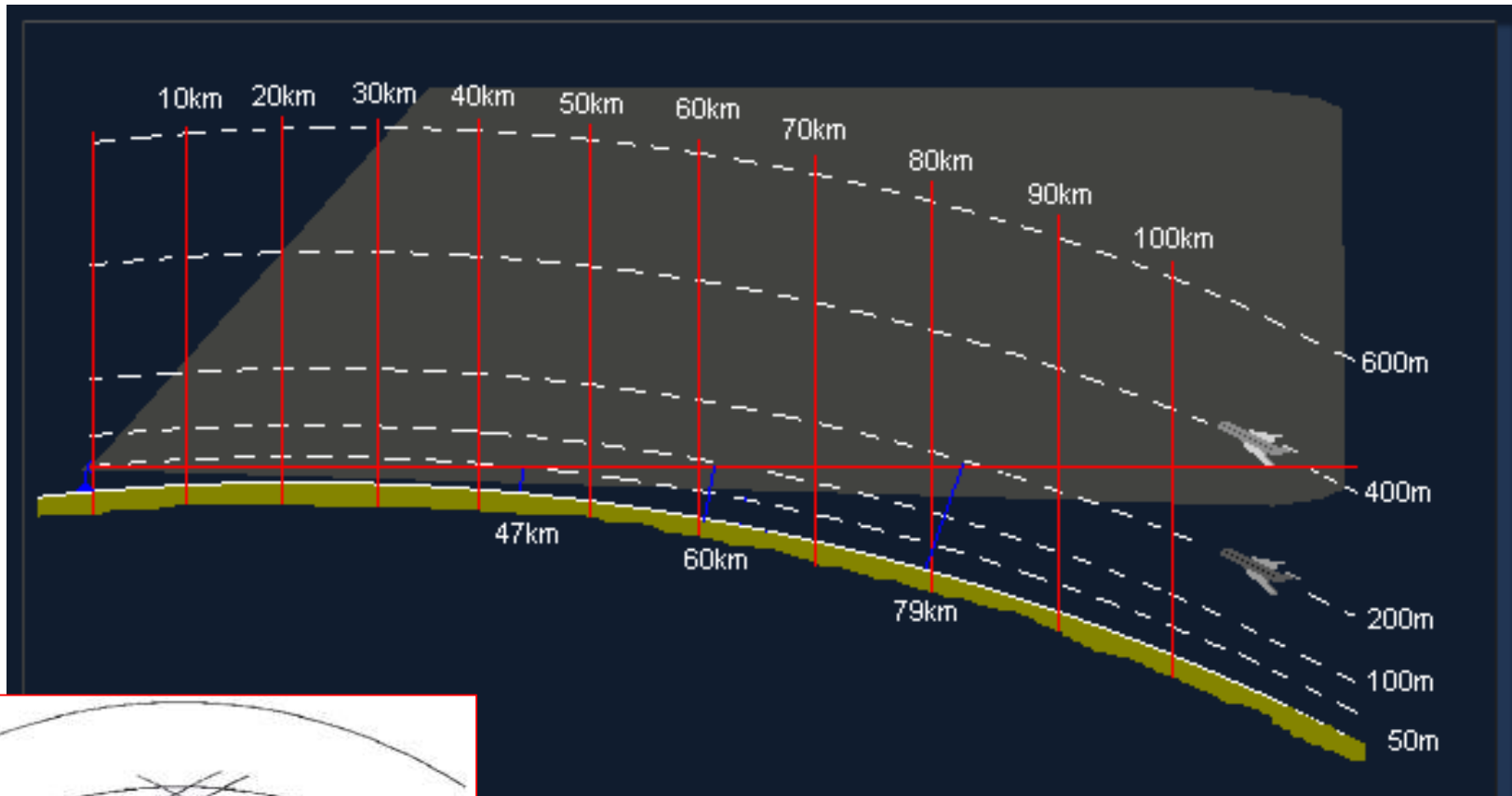


Miért nagyfrekvencia?

A radarok nagyfrekvenciás működésének indokai:

- **Kvázi-optikai terjedési tulajdonságuk**
- **Nagy felbontóképesség**
 - (minél kisebb a hullámhossz, annál kisebb tárgyat képes a radar bemérni)
- **Minél nagyobb frekvencia, annál kisebb antenna méretre van szükség (ugyanazon antenna-nyereségi mutató mellett)**

A kvázi-optikai terjedési határ



$$R_{max}[km] = 4.12 \left(\sqrt{H_{Aim}[m]} + \sqrt{H_{Antenna}[m]} \right)$$

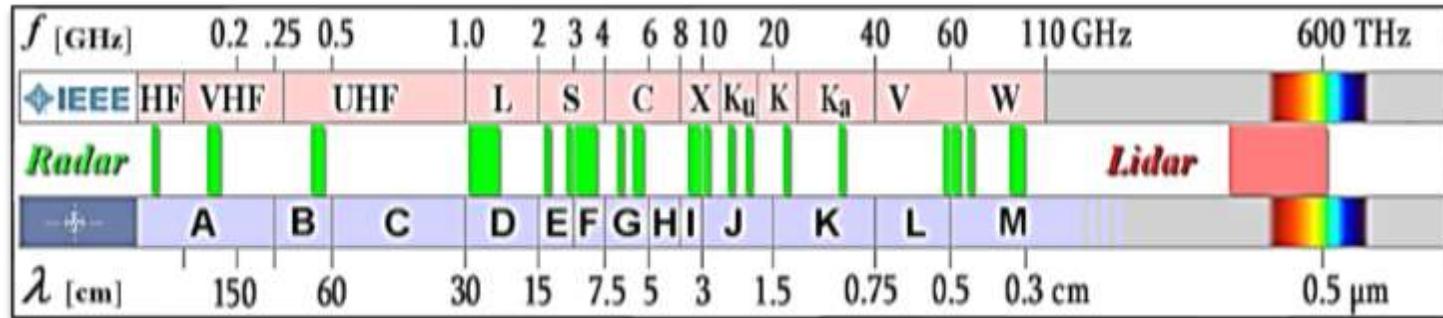
Ha pl.: $H_{Aim} = 200 \text{ m}$,

$H_{Ant} = 30 \text{ m}$

Akkor: $R_{max} = 80,79 \text{ km}$

(sem domborzat, sem akadály, stb...)

Radar hullámsávok



- Az elektromágneses hullámok frekvenciatartomány 10^{24} Hz-ig tart...
- A régi IEEE megnevezések már nem szabványosak, de tartják magukat...
- Az új szabvány az A - M sávok közé sorolja...

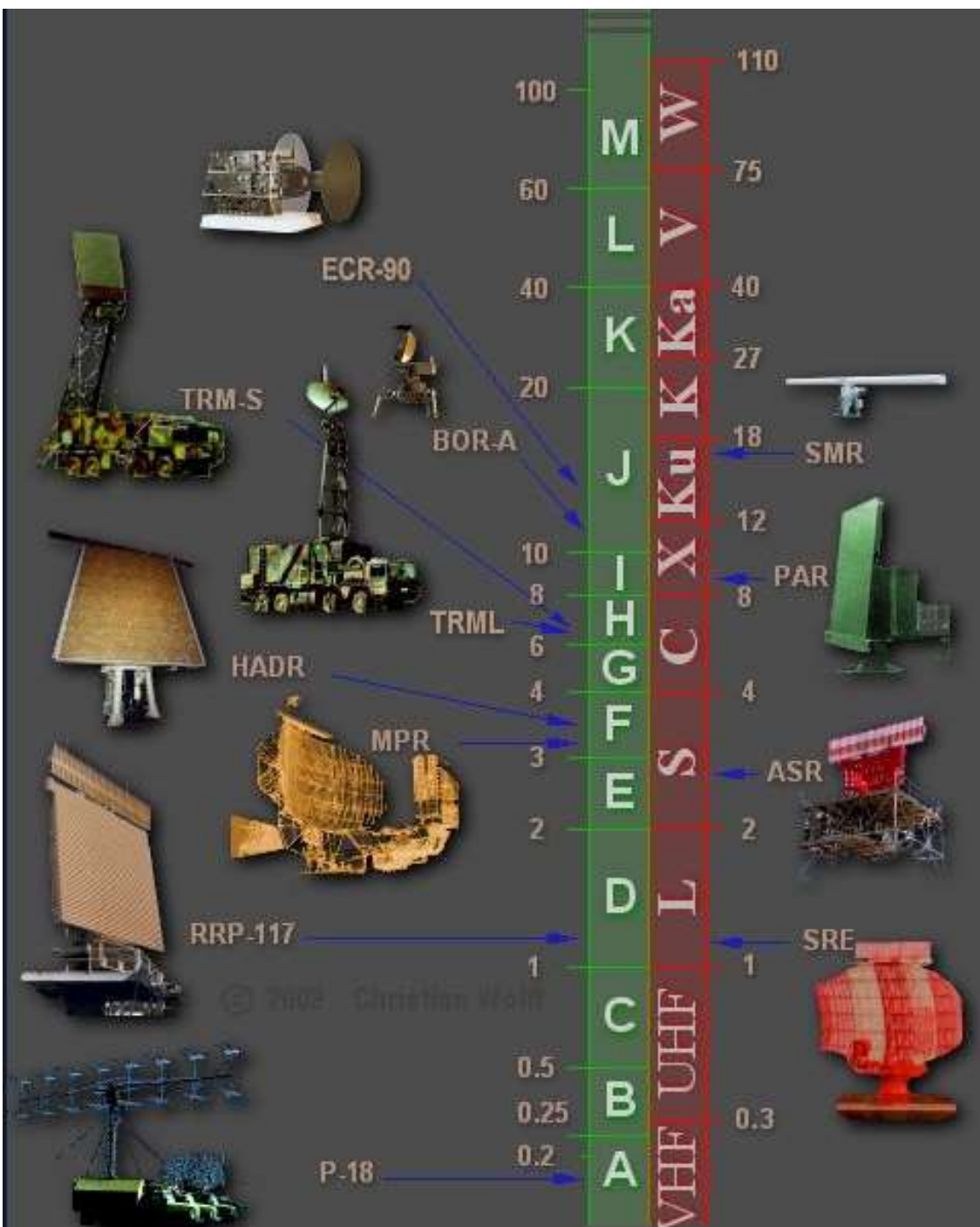
Példák:

- **A/B sáv (300 MHz alatt):** hagyományos történelmi radarok, II. Vh. (nagy méretek, pontatlanság)
- **C sáv (300-MHz-1 GHz):** bizonyos közepes hatósugárú légvédelmi rendszerek, talajvizsgálat, archeológia
- **D sáv (1-2 GHz):** a klasszikus 250 NM hatótávú körzeti légtérfelderítő radarok (ARSR) (large antenna – long range – L-band)
- **E/F (3-4 GHz):** Aiport Surveillance radars, 50-60 NM hatótáv, nagy energiaigény 20 MW (smaller antenna – shorter range – S-band)
- **G sáv (5-6 GHz):** nagy pontosság, nagy érzékenység (időjárásra/, rakéta-vezérlő radar, időjárás-felderítés (főleg csapadék)

Példák (folyt.):

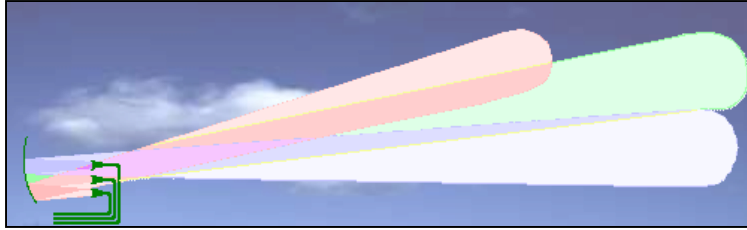
- **I/J sáv (8-12 GHz):** a legpontosabb radarok között, repülőgépbe szerelve, katonai célra /pl. elfogáshoz/, könnyű, kisméretű, mozgékonyan szállítható (védőburkolatban) , felső tartományban repülőtéri gurítóradarok (Ku sáv)
- **K sáv K és Ka alsáv:** rövid hatótávolság, de nagyon jó felbontóképesség, nagyon gyors frissítés, nanosec-os válaszjel impulzusok, így a repülőgép sziluettjét is megmutatja (gurítóradarok (SMR) és ún. Airport Surface Detection Radar (ASDE)
- **V sáv:** néhány méternyi hatótávra korlátozódik, a molekuláris szóródás miatt (légnedvességnél)
- **W sáv:** 110 GHz-ig, jellemzően a 75-76 GHz (autók tolatóradarjai, parkolástámogatás, fék-rásegítés), illetve a 96-98 GHz, még csak laboratóriumi kísérleti célokra

Képes példák



f [GHz]	0.2	0.25	0.5	1.0	2	3	4	6	8	10	20	40	60	110 GHz	600 THz
IEEE	HF	VHF	UHF	L	S	C	X	K _u	K	K _a	V	W			
Radar														Lidar	
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M		
λ [cm]	150	60	30	15	7.5	5	3	1.5	0.75	0.5	0.3	cm			0.5 μ m

Radarok



8 „radar fejes” elsődleges radar (PSR)



↑ Gurítóradar (SMR) ↓



↑ kombinált
hagyományos elsődleges
és másodlagos radarok
(PSR + SSR)



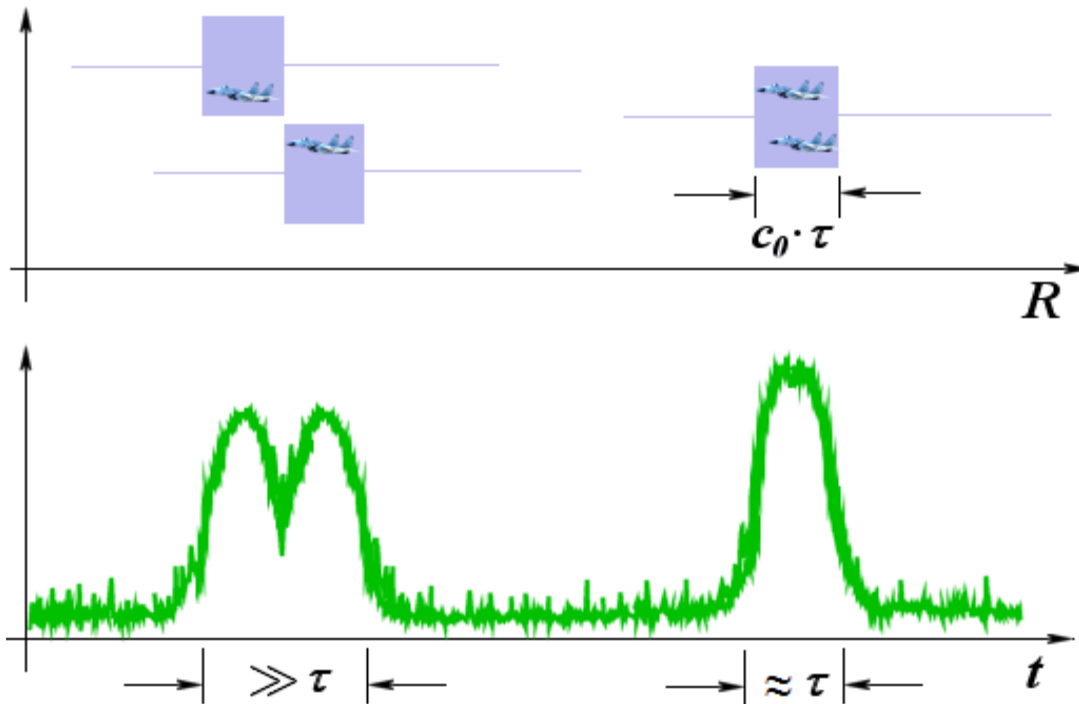
↑ Monopulse Mode S PSR
+ MSSR

Hatótávolság felbontás

Hogyan képes látni a radar az egymáshoz közeli céljeleket?

2 repülőgép
(„elegendően” távol egymástól)

2 repülőgép
(„túl közel” egymáshoz)



Az elméleti
távolság-
felbontás:

$$S_r \geq \frac{c_0 \cdot \tau}{2}$$

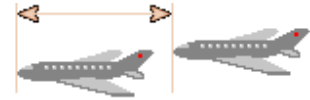
τ = impulzus hossza időben

Felbontás szemléltetése



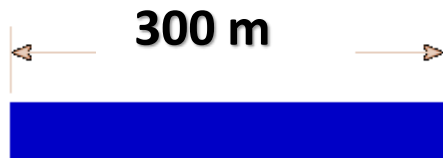
$$\tau = 1 \mu\text{s}$$

100 m



© 2009 Christian Wolff

Az alsó ábra 200 m-es térköze az elfogadható.



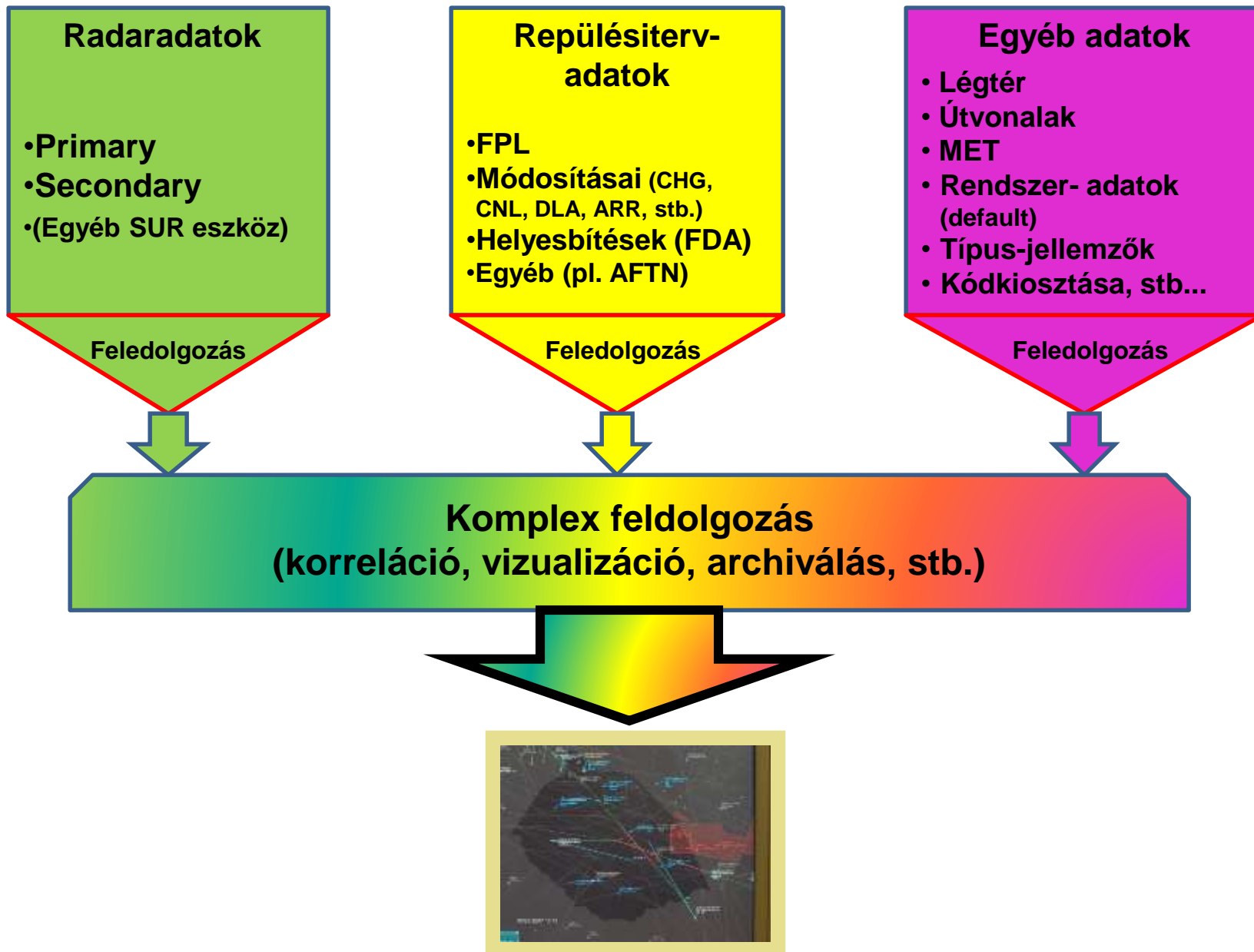
$$\tau = 1 \mu\text{s}$$

200 m



© 2009 Christian Wolff

Moduláris rendszerszemlélet



Radar-elmélet (1)



- A „klasszikus” radar egyenlet:

$$R = \sqrt[4]{\frac{P_S \cdot G^2 \cdot \lambda^2 \cdot \sigma}{P_E \cdot (4\pi)^3}}$$

ahol:

- R = hatótávolság (Range)
- P_S = kisugárzott energia (transmitted power)
- P_E = a vevőn mért teljesítmény (power at the receive place)
- G = Antenna nyereség (Antenna gain)
- σ = radar-keresztmetszet (radar cross section)
- λ = hullámhossz (wavelength)

Radar-elmélet (2)



- A „veszteséggel bővített” radar egyenlet:

$$R_{\max} = \sqrt[4]{\frac{P_S \cdot G^2 \cdot \lambda^2 \cdot \sigma}{P_{E_{\min}} \cdot (4\pi)^3 \cdot L_{\text{ges}}}}$$

ahol:

- R = hatótávolság (Range)
- P_S = kisugárzott energia (transmitted power)
- P_E = a vevőn mért teljesítmény (power at the receive place)
- G = Antenna nyereség (antenna gain)
- σ = radar-keresztmetszet (radar cross -section)
- λ = hullámhossz (wavelength)
- L_{ges} = veszteségi tényező (loss factor)

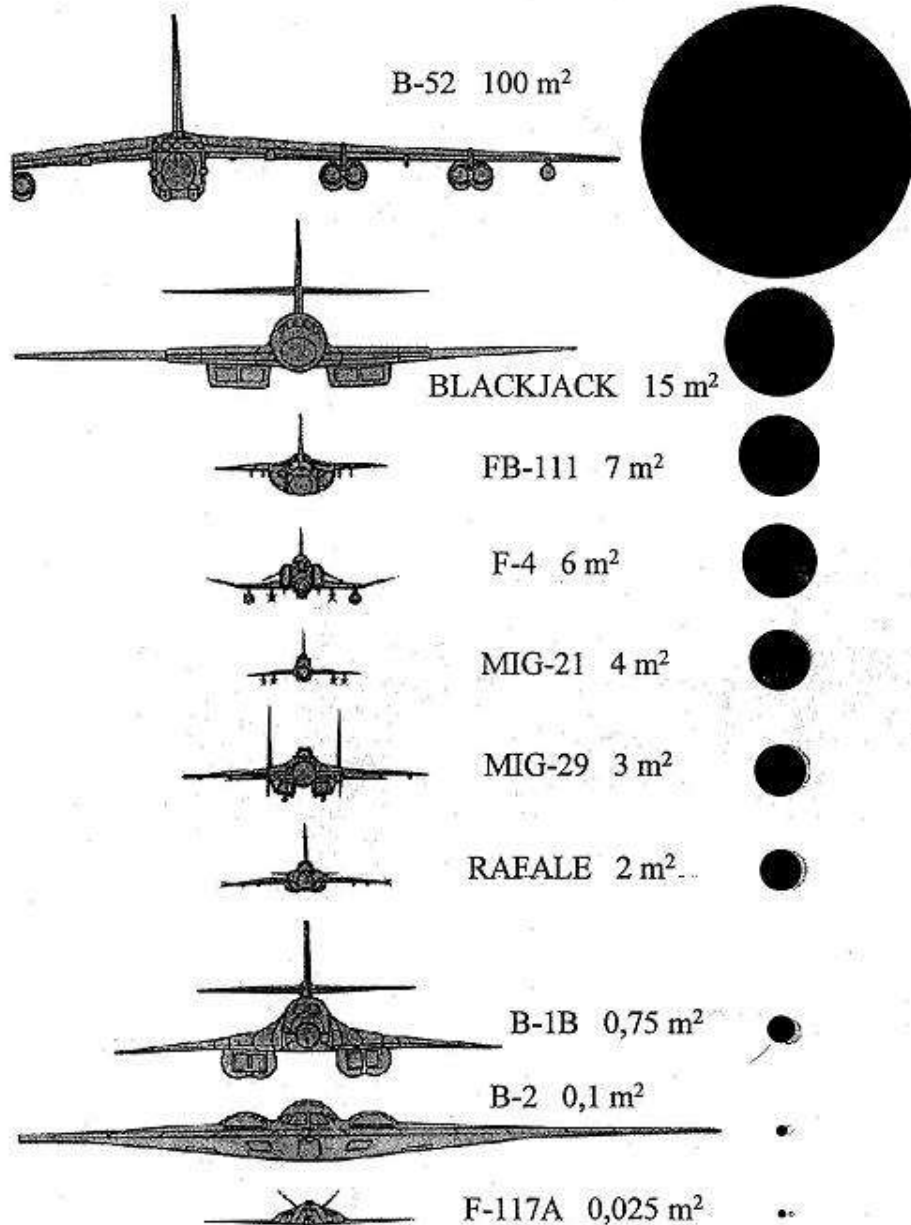
- **Antenna-nyereség:**

- Az irányító hatású antennák fő sugárzási irányukba koncentrálnak a kisugárzott teljesítményt, ezért ezekben az irányokban nagyobb térerő keletkezik, mint ha minden irányban egyformán sugárzó (*izotrop*) antennát használnánk.
- Az antenna nyeresége alatt azt a decibel-ben kifejezett teljesítményviszonyt értjük, hogy az antenna a fő sugárzási irányában **hányszoros teljesítménysűrűséggel (térerővel)** sugároz egy ugyanakkora teljesítménnyel táplált izotrop (értsd: gömb mentén elvben egyenletesen sugárzó) antennához képest. Jele: dBi

- **A radar keresztmetszet:** (*radar cross-section*)

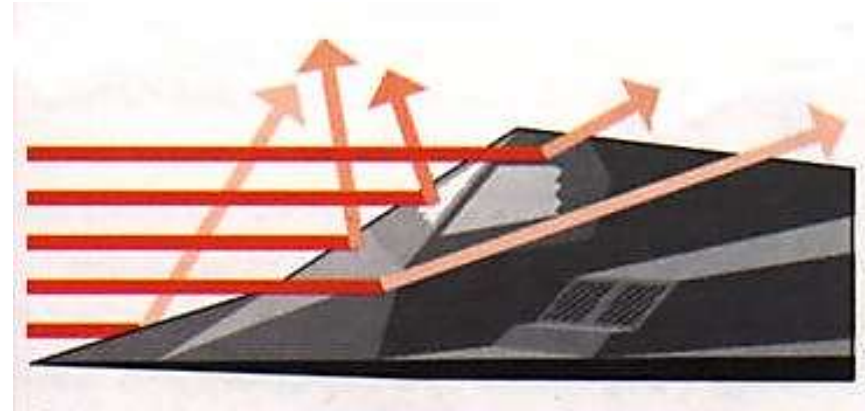
Targets	RCS [m^2]	RCS [dB]
Jumbo Jet	100	20
jet airliner	20 ... 40	13 ... 16
large fighter	6	7.8
helicopter	3	4.7
four-passenger jet	2	3
small aircraft	1	0
stealth jet	0.1 ... 0.01	-10 ... -20

Néhány katonai légi jármű RCS-arányai



- A sziluettek arányosan egymáshoz;
- A radarfelületet szemléltető körök is arányosak;
- A B-52-es és a B-2-es típusok méretüknél fogva nem is férnek el a képen
 - *Megj.: a kép bal szélén már nem látható, hiányzó részek vannak még, a teljes képet a gépek függőleges tengelyére szimmetrikusan készített, a jobb oldallal megegyező elemek teszik teljessé)*
- Figyeljük meg a **méretük és az RCS egymástól független állapotát**
 - (Lásd még a köv. slide-ot is)

A „Lopakodó (Stealth)”



Az F117A **különleges felületi kialakítása** és ennek „eredménye” a radar hullámokra nézve

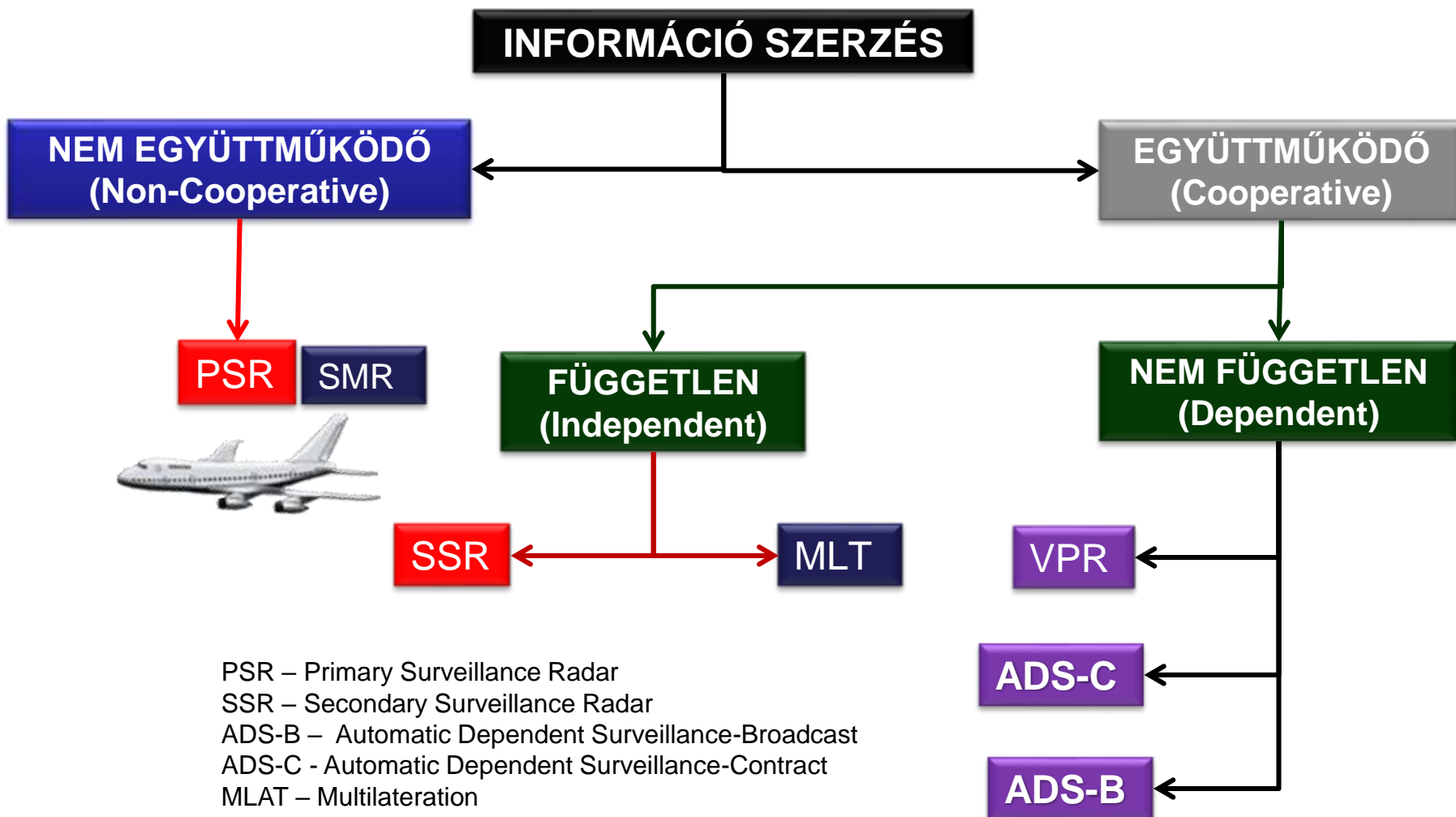


A **festett felület** mikroszkópos képe



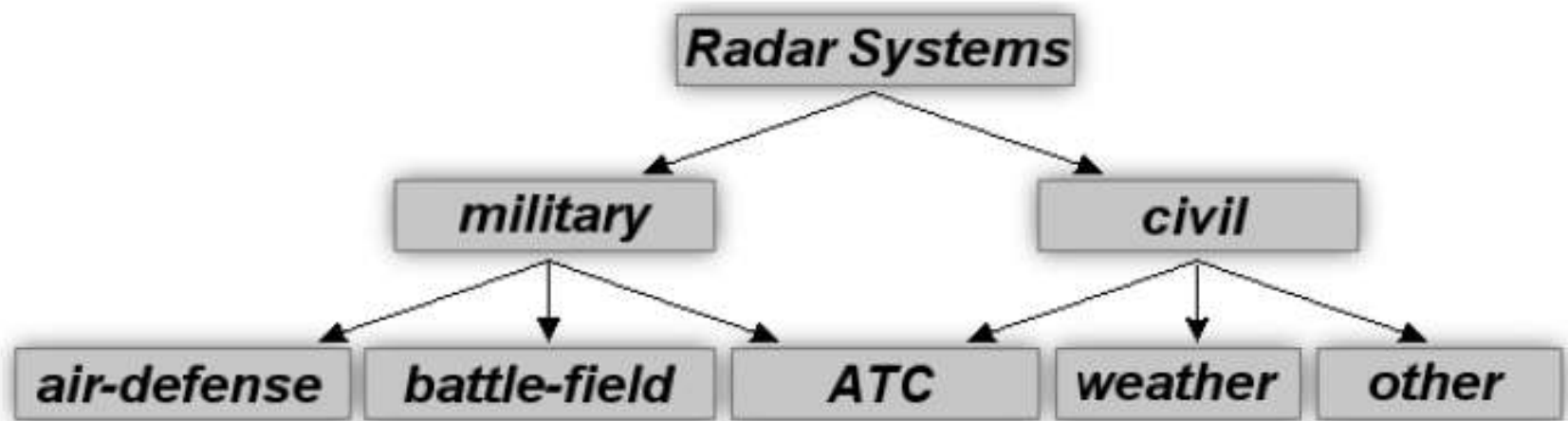
Tengerészeti alkalmazás

RADAR-ok alkalmazás szerinti felosztása

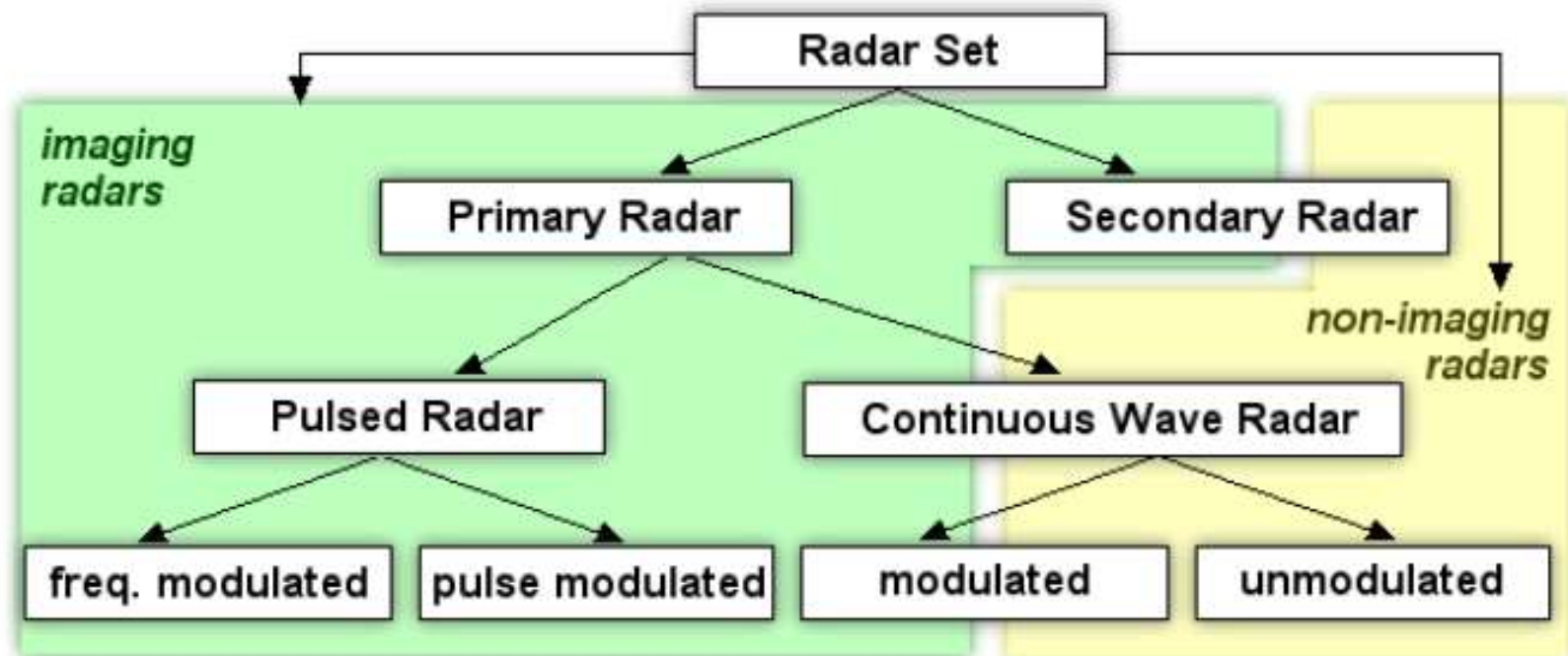


PSR – Primary Surveillance Radar
SSR – Secondary Surveillance Radar
ADS-B – Automatic Dependent Surveillance-Broadcast
ADS-C - Automatic Dependent Surveillance-Contract
MLAT – Multilateration
VPR – Voice Position Reports

- **Felosztás felhasználás szerint:**



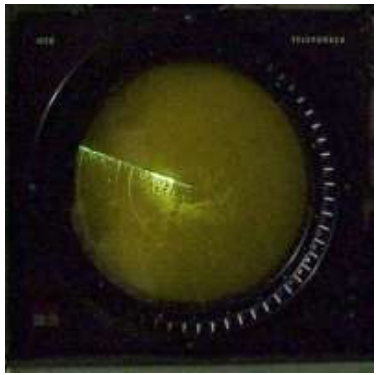
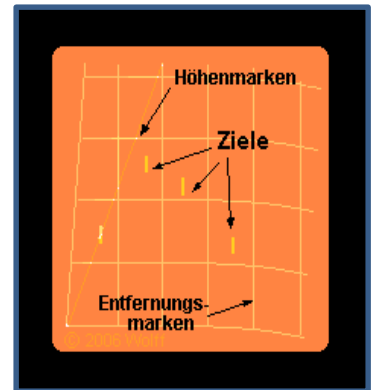
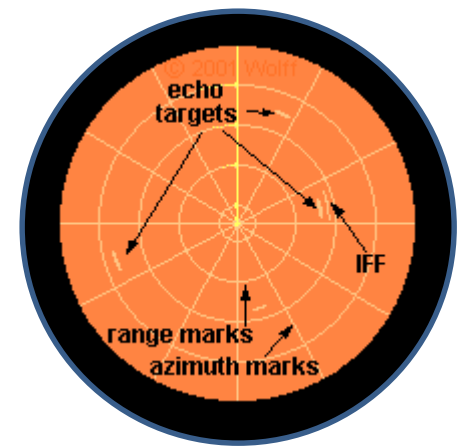
- **Felosztás az adatminőség és alkalmazási mód szerint:**





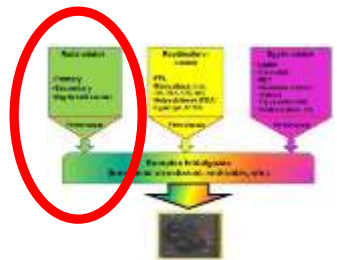
Radar-elv (1)

Primary radars



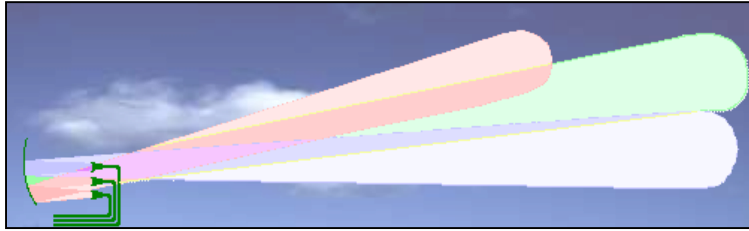
- Reflection of a high power pulse of Radio Frequency energy on the aircraft body >>> distance and bearing.
- Not always effective against small and poor reflective surfaces. Shielding by newly installed wind farms proving a problem.





Radar-elv (2)

Primary radars



8 „radar fejes” elsődleges radar (PSR)



↑ kombinált hagyományos elsődleges és másodlagos radarok (PSR + SSR)

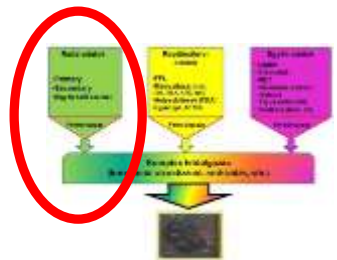


↑ Gurítóradar (SMR) ↓



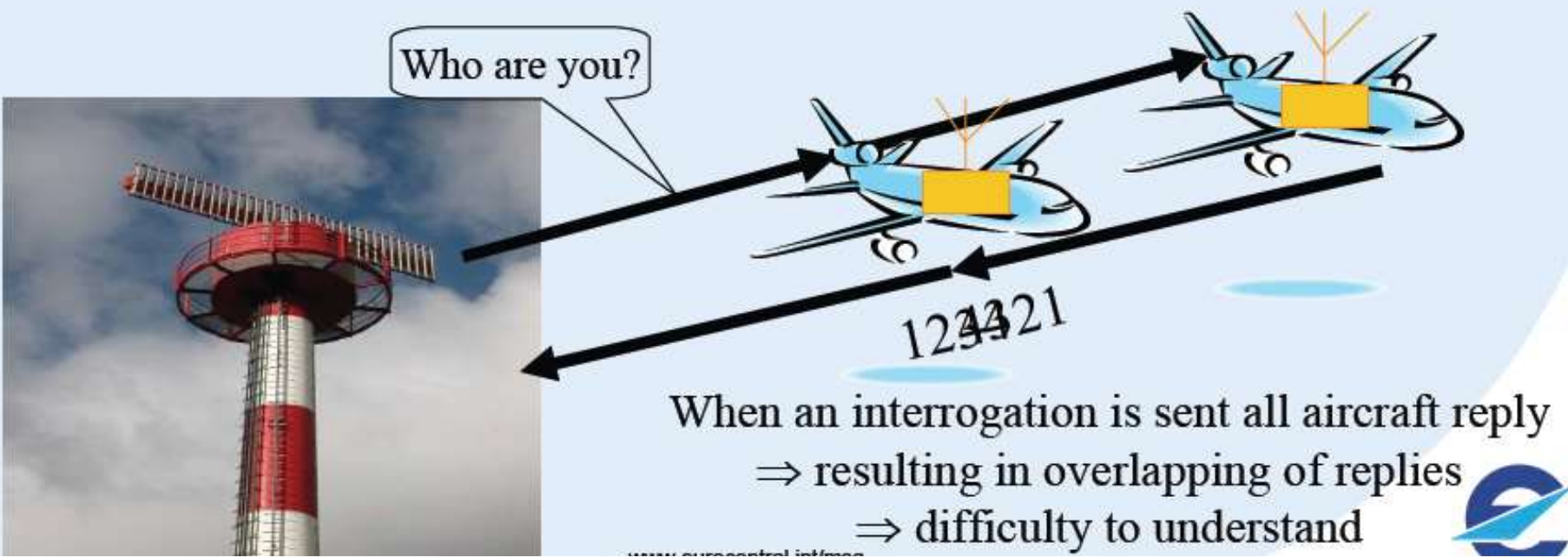
↑ Monopulse Mode S PSR + MSSR

Radar-elv (SSR) - aktív



● Secondary Surveillance Radar (SSR)

- Radio equipment (a transponder) analyses the interrogations received on one frequency (1030MHz) and replies on another frequency(1090MHz)
- Distance, bearing as a radar + identification (who are you?) = Mode A code + Altitude = Mode C code,



SSR

Secondary Surveillance Radar

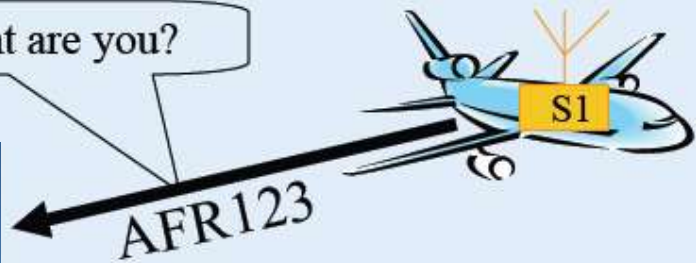
- Interrogátor – a kérdező elem 1030 MHz
- Transzponder – a válaszoló elem 1090 MHz
- Kód: 4-számjegyű oktális szám, (8 bit)
 - **0 – 7 számérték (0,1,2,3,4,5,6,7)**
 - **0000 – 7777 csoportok**
 - **Összesen tehát: 4096 kód (8^4)**
- **A-, C- és S-mód a polgári repülésben**
- A fedésterületen belül minden transzponder válaszol
 - (**FRUIT** - False Replies Unsynchronized with Interrogator Transmissions és
 - (**Garbling** – válaszok egymást átfedő feldolgozásából keletkező rossz adatok köre), mint felhasználást rontó körülmények



Radar-elv (Mode S)

- **S = Select using a world-wide unique address** for each aircraft (24 bits ⇒ **almost 17 million unique addresses**) **16,777,214 a/c addresses**
- **Air-ground or air-air point to point data-link**
- **Compatible with SSR Mode A/C**
Same two frequencies used ⇒ only the Mode S transponder required

S1 which flight are you?



S2 which flight are you?



S2 what is your selected altitude?

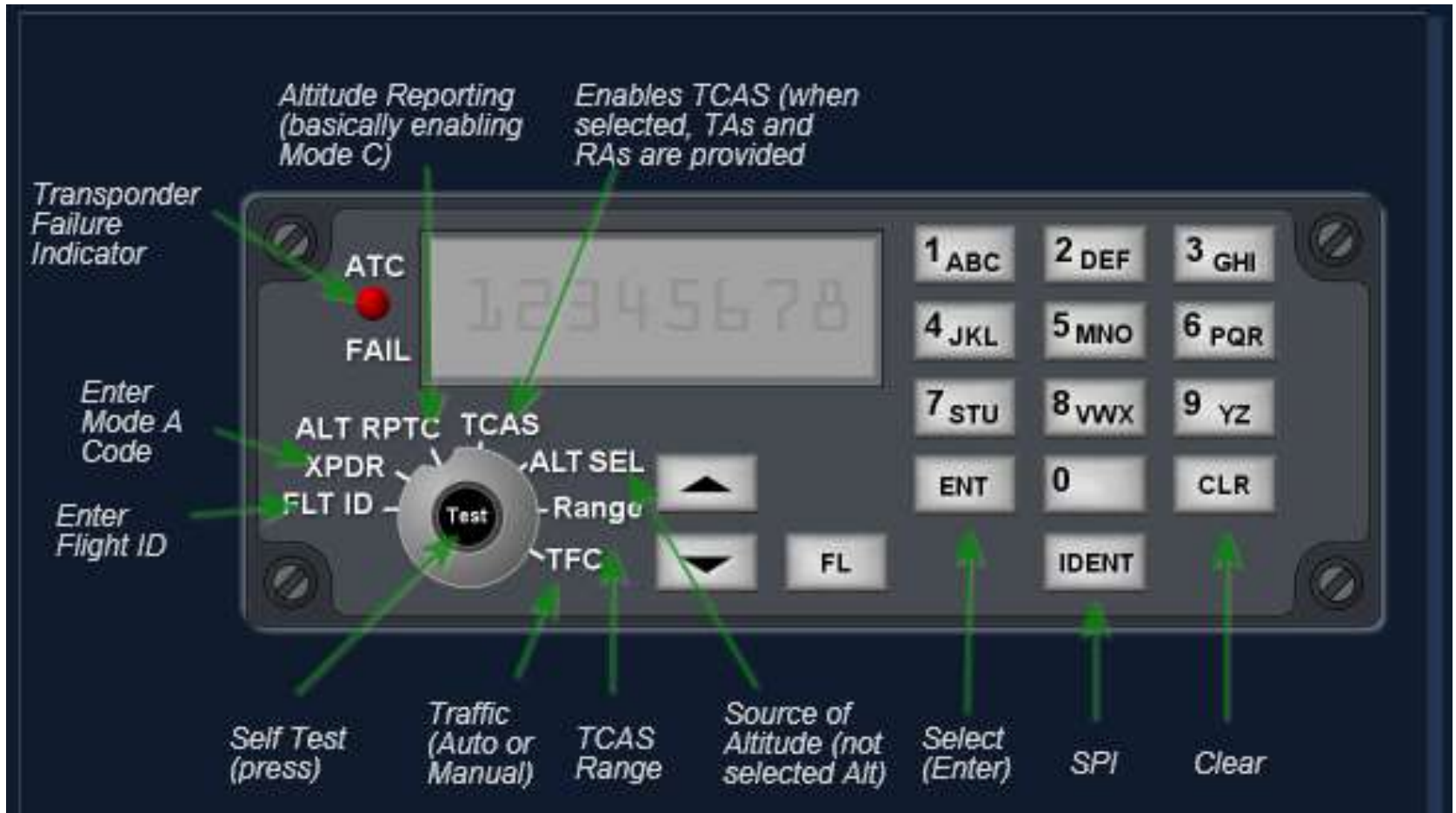


09/13/2007 09:43

(Körishegy építés közben)

A fedélzeti eszköz egy képe...

Transzponder = **Trans**mitter-res**ponder**

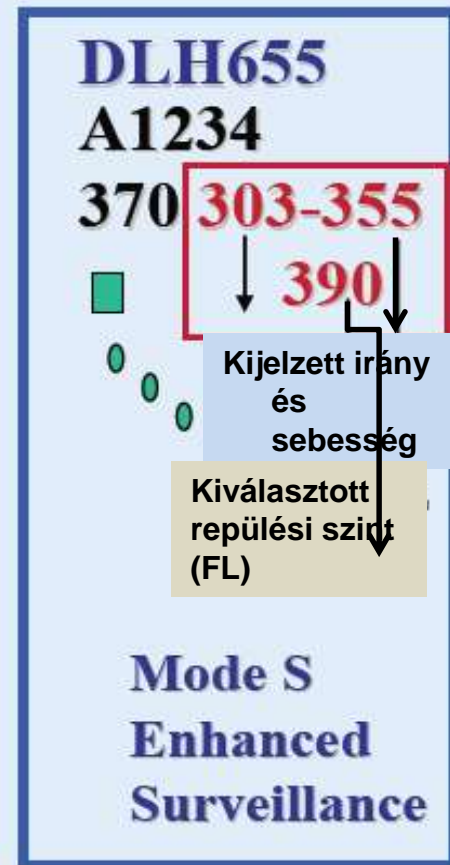
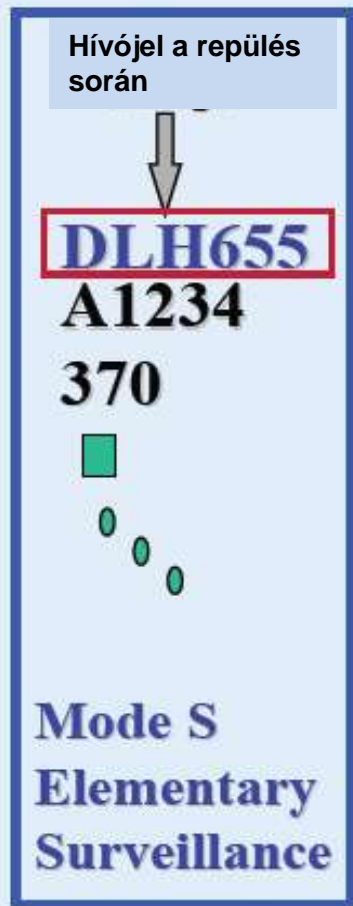


Mode - S

- 24 bit légi jármű címezés, a CAA adja ki
Pl.: egy fix légitársaság egy fix légi járműve*:
 - Hexadecimal: AC82EC
 - Octal: 53101354
 - Binary: 101011001000001011101100
 - Decimal: 11305708
- Részbe a „Certification of Registration” dok-nak;
- A kód - részbe az ATM rendszer adatbázisának

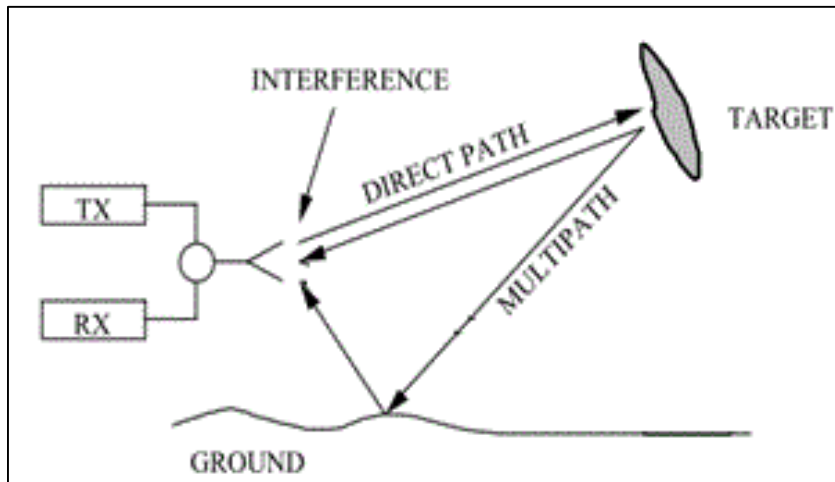
* A pl. a Shuttle Carrier Aircraft cég, registration: N905NA

Példa a Mode S alkalmazás előnyeire



Korlátok, problémák

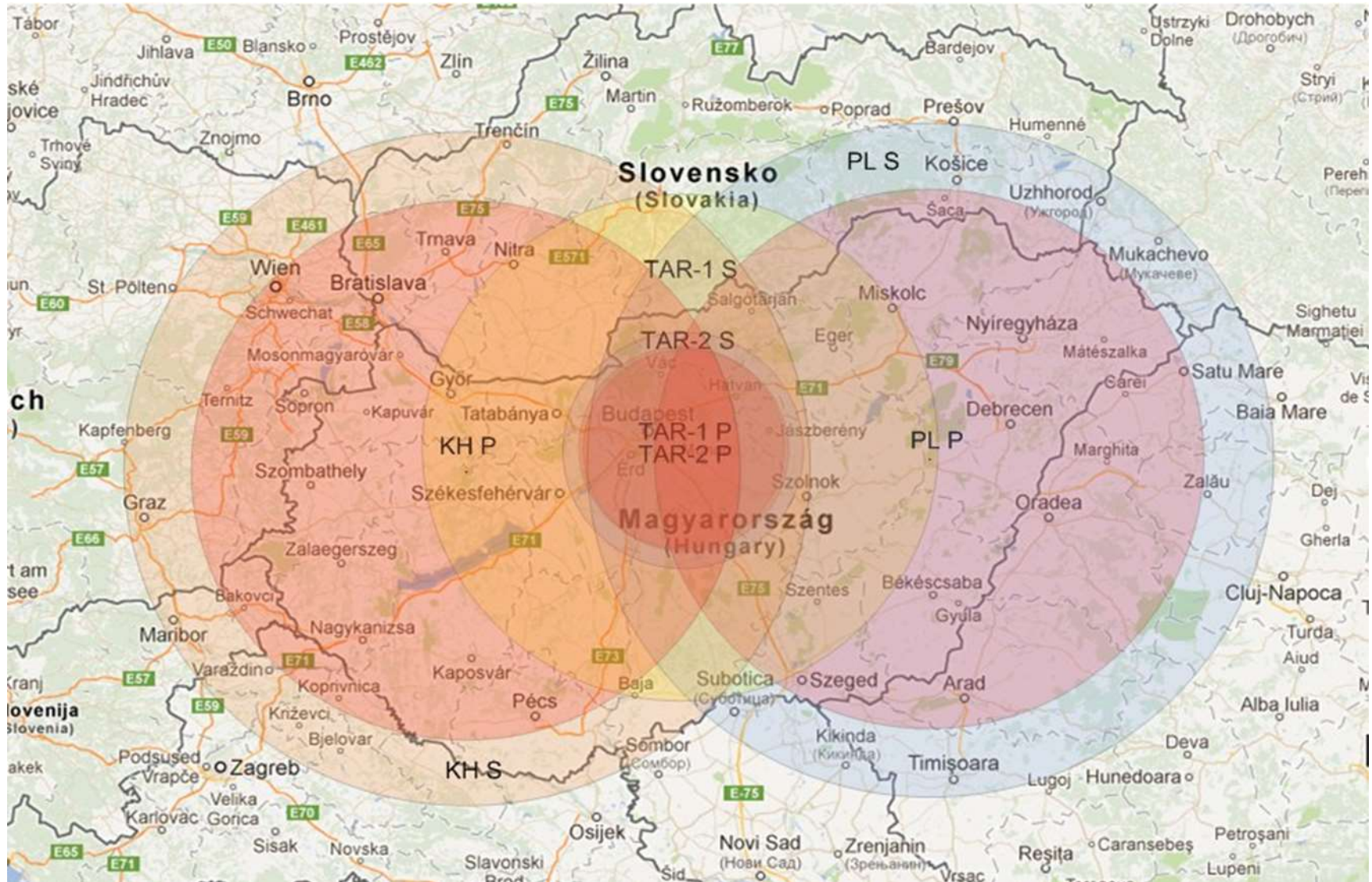
- Reflexiók - visszaverődések (pl. szélerőmű, építkezés - daru - víztorony)



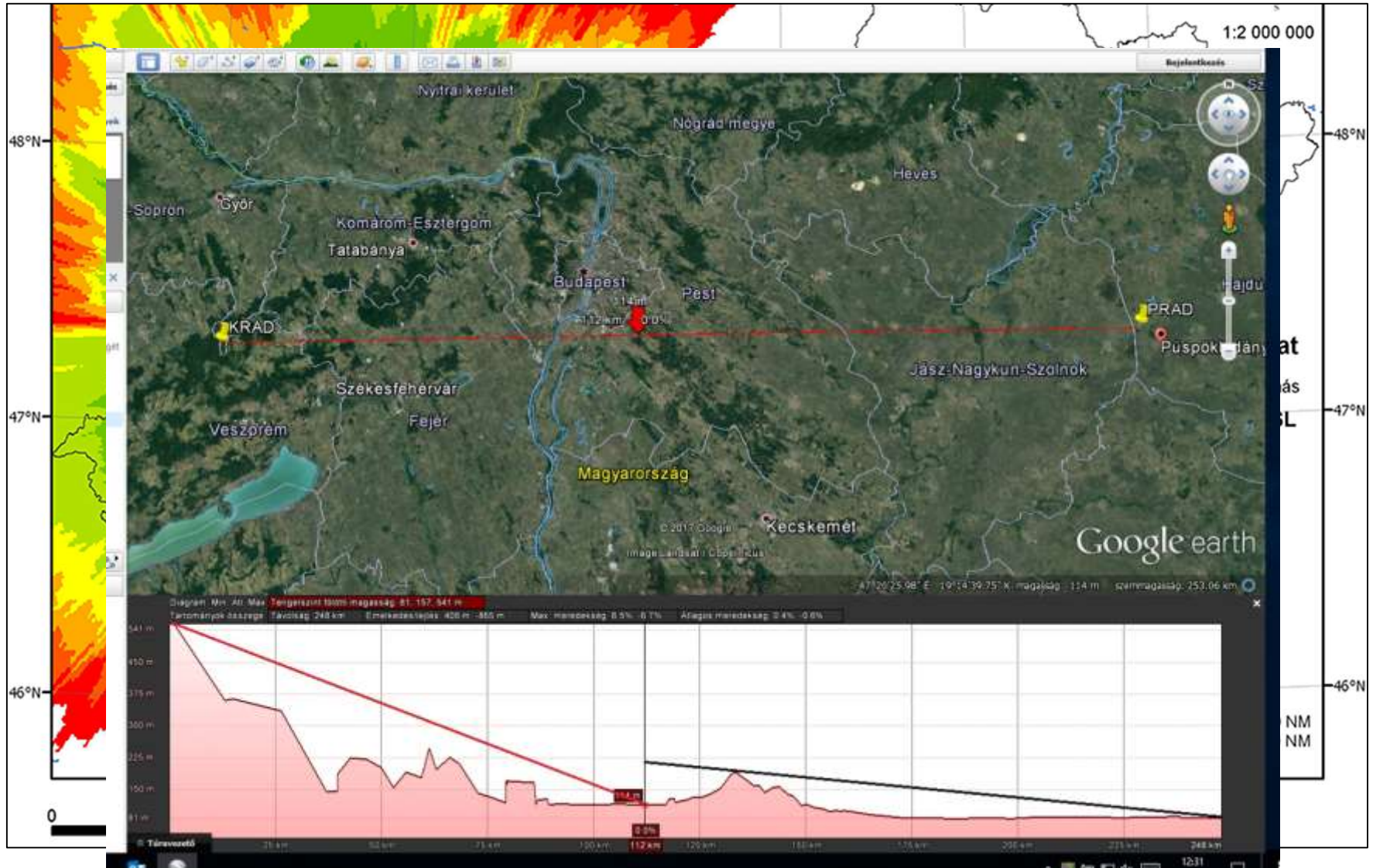
- Célszétválás (PSR-SSR)
- Időjárás (PSR): „Angyalok”: emelkedő hőmérséklet (melegebb légtömeg) + szél: jellemzően tavasz délelőtt.
- Mozgó lombkorona a hegyoldalban,
- Villámcsapás nyomán ionizálódó levegőről reflexió.

Korlátok (Mo.)

Radar fedés (elméleti)



Korlátok (pl. domborzat) (Körishegy – Püspökladány „vonal”)



Normál címke

A radarjel szimbólum

A következő szektor frekvenciája

Hívójel

Légijármű típusa

AFL

MAH569 122.975 B737/M
182 ↓ VEBOS N476 LHBP
170 170

Rendeltetési repülőtér

CFL

A mozgás iránya

Koordináció pontja

Földfeletti sebesség

XFL

AFL: pillanatnyi repülési magasság (FL)

CFL: engedélyezett rep. magasság (FL)

XFL: kilépés rep.magasság (FL)

**MODE S címke
(példa)**

170 N322/M67 H087 31↓

DSFL

DIAS

DMACH

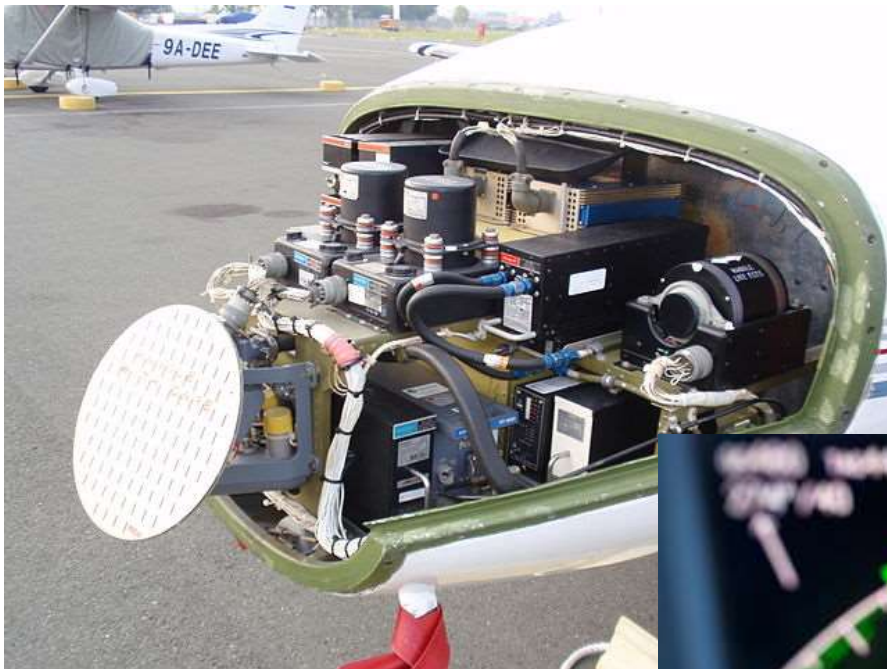
DHDG

DROC/D

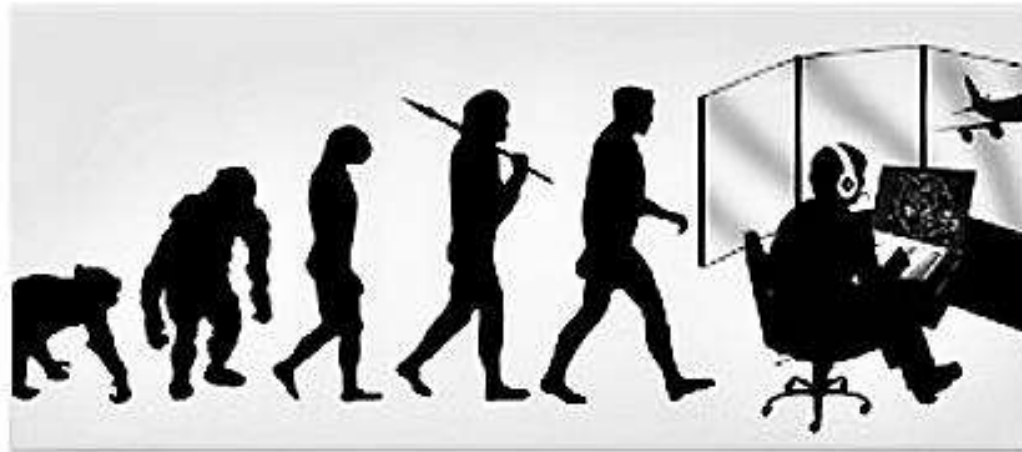
D=downloaded

Végül még 1 pl.: a fedélzeti időjárás radar

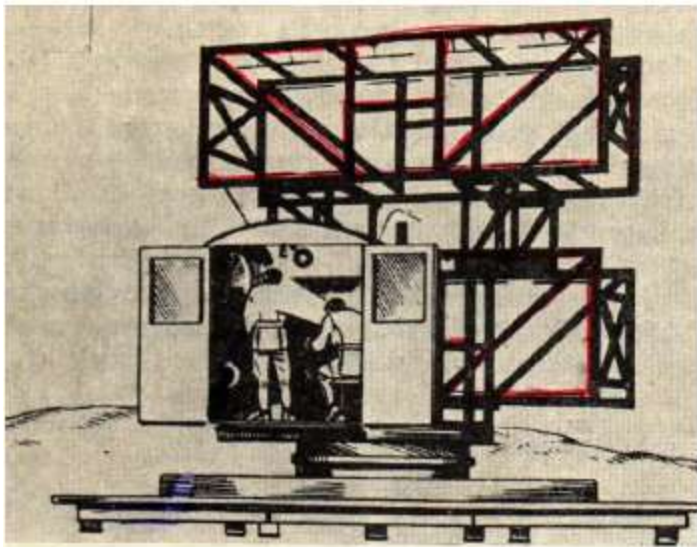
- Működési elve megegyezik a PSR működési elvével. Időjárás jelenségek felderítésére optimalizálva.



Air Traffic Control – ATC



Életképek az ATC HU műszaki vonatkozású történetéből



Magyar fejlesztésű radar „Sas” - 1943



„Koreny” másodlagos (SSR) radar -1975



Utyosz (PSR/SSR) - 1978



Leszállító (PAR) radar - 1975

Plessey AR-1 - 1965



Gurítóradar (Therma) - 2007



Leszállító (PAR) radar - 1985

Selenia - 1986



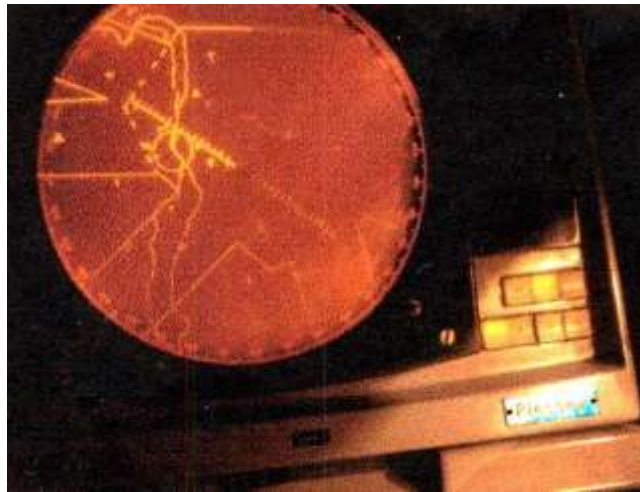
Selenia - 1990



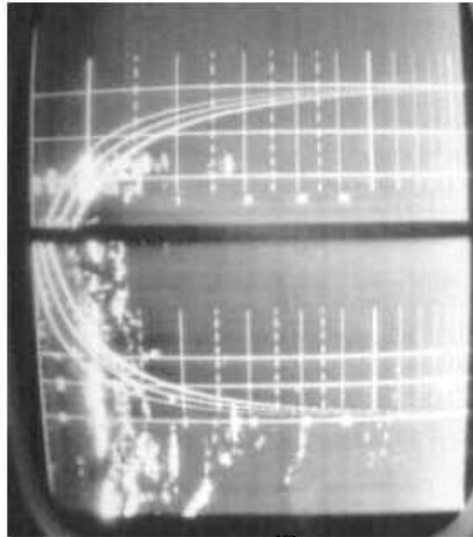
Raytheon - 2007



Display-ek



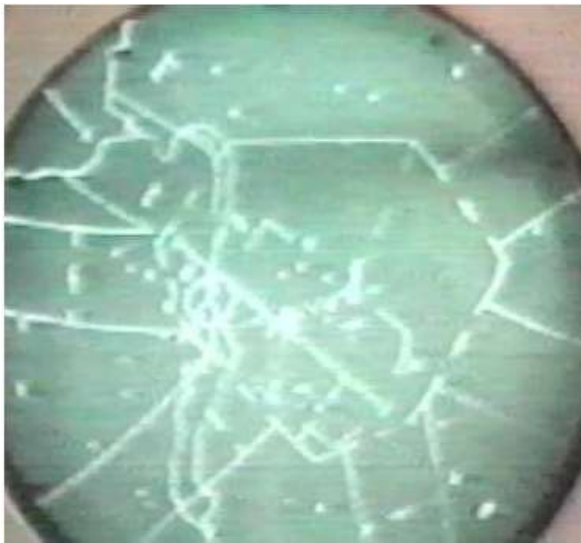
Plessey AR-1 radar – 1965



PAR - 1975



Szigma SSR - 1981

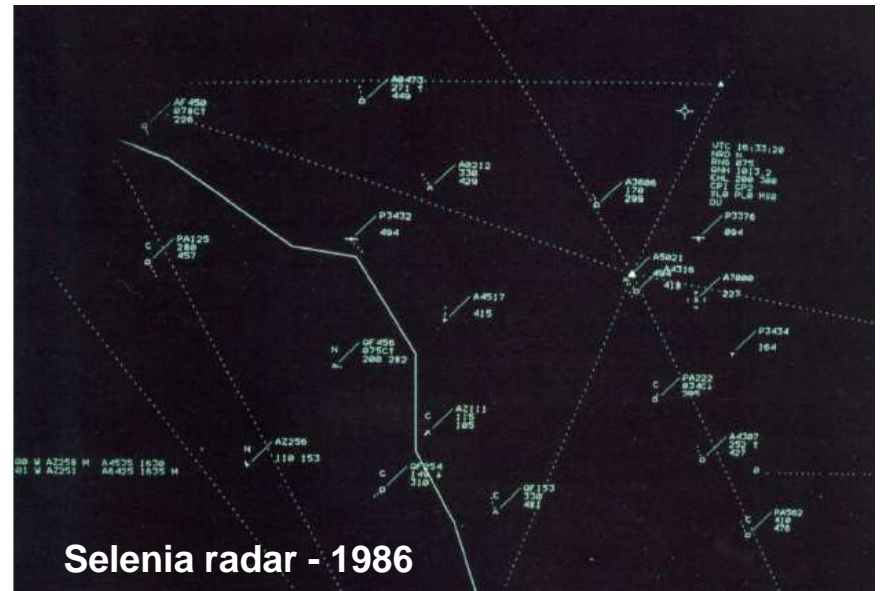


Szigma - 1981

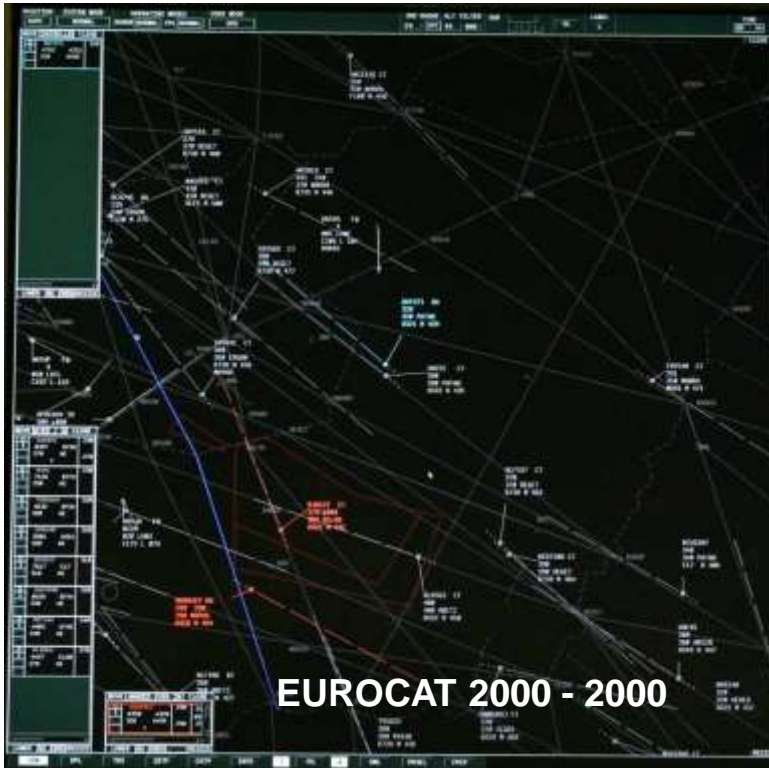




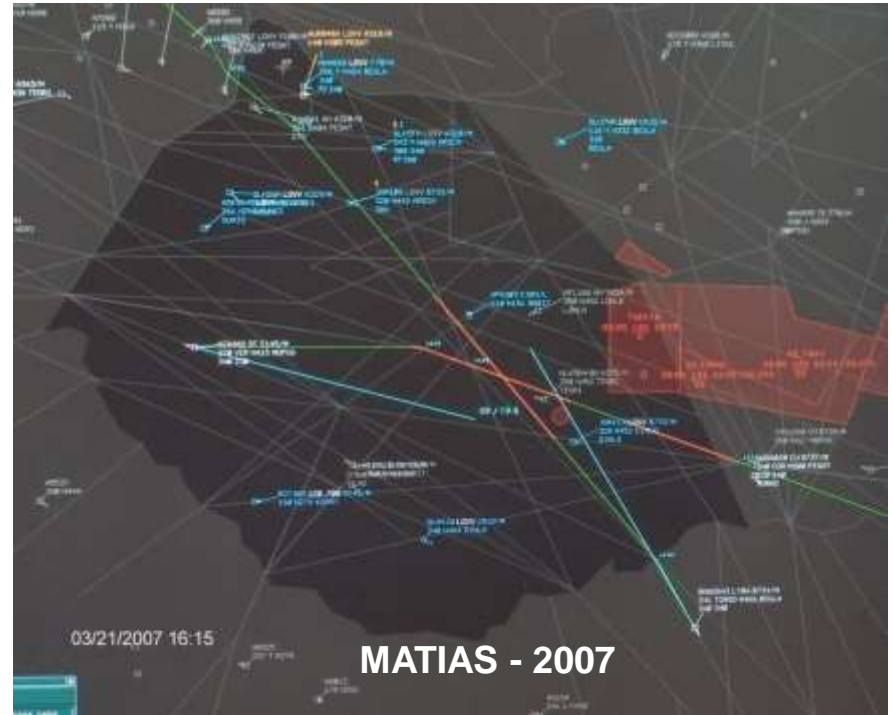
Gurítóradar - 1983



Selenia radar - 1986



EUROCAT 2000 - 2000



MATIAS - 2007

Kérdések...?

