

An aerial photograph of a desert landscape. In the foreground, a large, smooth sand dune is visible. On the dune, there is a small, white, rectangular structure with a flat roof and thin metal legs. The structure appears to be a simple shelter or a small building. In the background, there are more sand dunes and some sparse, dark green vegetation. The overall scene is a vast, open desert environment.

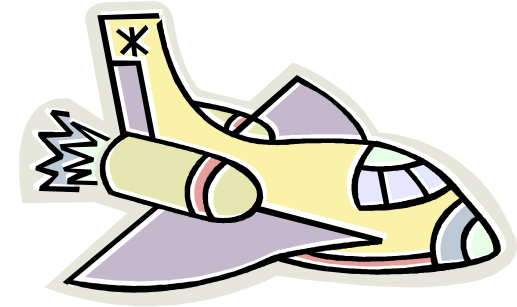
**Dr. Óvári Gyula**

# **STEALTH\* TECHNOLÓGIA, STEALTH REPÜLŐGÉPEK**

\* stealth, by stealth = stealthly: *titkos, rejtett, óvatos, lopva, suba alatt; (Ország: Angol-magyar kéziszótár)*



# TARTALOM



- A STEATH-technológia szükségessége, alapelvei
- A lopakodó harceszköz (légijármű) megvalósításának lehetséges szerkezeti megoldásai
  - vizuális és auditív rejtés;
  - termikus álcázás;
  - lokátorral történő felderítés megakadályozása.
- A lopakodó repülőgépek alkalmazási sajátosságai
- Következtetések





# 1. A STEALTH-technológia szükségessége, alapelvei



## Az önvédelmi képesség, mint a harci hatékonyság eleme

A harci hatékonyság szintje (az eredményesség valószínűsége) (C) az alábbi összefüggéssel határozható meg:

$$C = C_m \cdot C_{sm.elk} \cdot C_{mü.megb.} \leq 1$$

ahol

- $C_m$  - az ellenséges cél megsemmisítésének valószínűsége;
- $C_{sm.elk.}$  - a saját megsemmisülés elkerülésének (az önvédelem) valószínűsége, az ellenséges megsemmisítő eszköz hatásakor;
- $C_{mü.megb.}$  - a műszaki megbízhatóság valószínűsége;

**Megállapítható:** az önvédelmi képesség ( $C_{sm.elk.}$ ) semmivel sem kevésbé fontos összetevő mint az ellenség megsemmisítésének képessége

### Megjegyzés:

- $C_m$  - vizsgálata egy másik tárgykör feladata;
- $C_{mü.megb.}$  - magas értékét eleve feltételezik a továbbiak. A már béke időben is műszakilag megbízhatatlan katonai repülőeszköz más kategóriában vizsgálándó...





## Az USA és szövetségesei által alkalmazott repülőgép fedélzeti fegyverek megoszlása az utóbbi 20 év helyi háborúiban

<b>Alkalmazott fegyver fajta</b>	<b>Irak 1991</b>	<b>Jugoszlávia 1999</b>	<b>Afganisztán 2001</b>	<b>Irak 2003</b>
Felhasznált bombák, rakéták összesen [db]	256 000	23 000	22 000	29 000
Ebből precíziós irányzású [db]	20 500	8 000	12 500	20 000
<b>Precíziós irányzásúak aránya [%]</b>	<b>8</b>	<b>35</b>	<b>57</b>	<b>68</b>

*Forrás: Zarubezsnoe Voennoe Obozrenie 2004/1 p. 26.*

### Tapasztalatok:

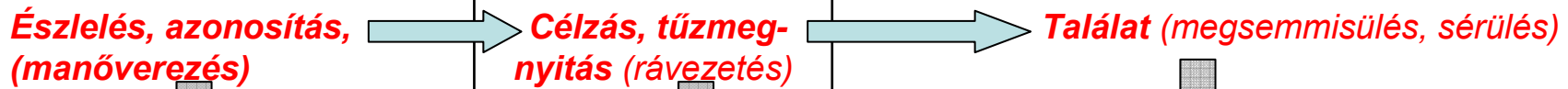
- a precíziós fegyverzet alkalmazási aránya rohamosan növekszik;
- az 1991-ben és 2003-ban Irakban, a szövetségeselek precíziós fegyverekkel történő bevetéseinek (41 000 és 46 000), valamint az alkalmazott fegyverek száma (20 500 és 20 000) közel azonos volt. A 2003-ban az ezekkel megsemmisített célok mennyisége mégis 4,5-szeresére (4 500-ról 19 000-re) növekedett;

### Következtetés:

- lényegesen nőtt a fedélzeti fegyverek valamint a légelhárító eszközök találati pontossága, pusztító ereje és megbízhatósága;
- a saját repülőgépeink csak akkor tekinthetőek korszerűnek és hatékonyak, ha alkalmasak a legkorszerűbb fegyverek hordozására és célba-juttatására, egyben konstrukciósan és/vagy az alkalmazott harceljárásokkal biztosított a szükséges a védettség, az ellenség hasonló hatékonyságú fegyvereivel szemben.

# A megsemmisítés folyamata és a megsemmisülés elkerülésének lehetőségei

## A megsemmisítés folyamata



## A megsemmisítés elkerülésének lehetőségei 1. (saját, „beépített”)

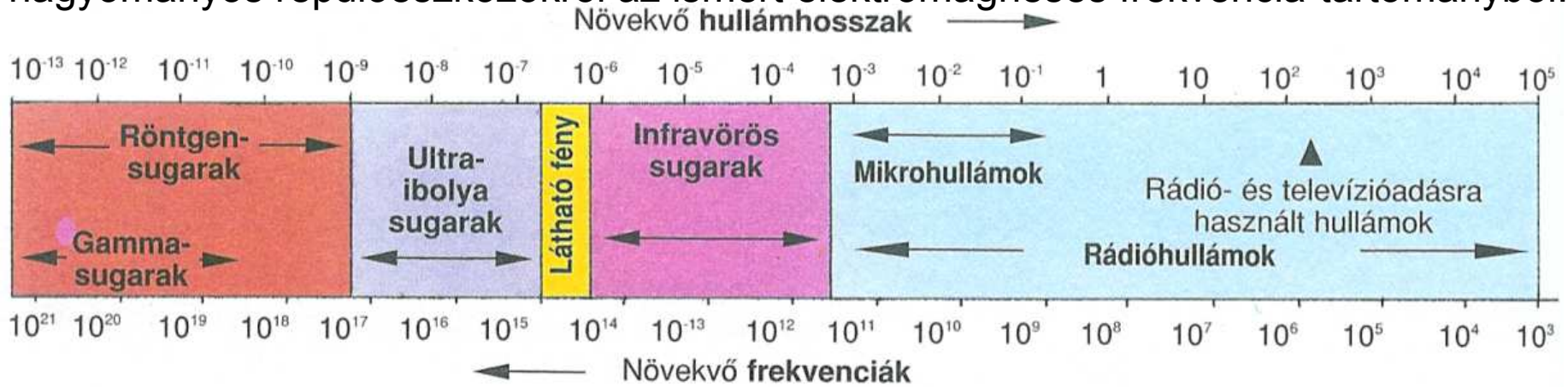
<p><b>R-L tartomány:</b> EHC zavarás, dipól-szórás, műcél kibocsátás;  <b>Vizuális tartomány:</b> álcázó és zavaró festés;  <b>Auditív tartomány:</b> alacsony zajszintű hajtóművek, légcsavarok, forgószárnyak, reduktorok, berendezések;</p>	<p><b>Infra tartomány:</b> infracsapda, hajtómű gázok hűtése;</p>	<p><b>Passzív:</b> páncélozás, létfontosságú berendezések „árnyékolása”, megerősített sárkány teherviselő rendszer, elfolyó tüzelőanyag és hidraulika szabadba vezetése, „nem gyúlékony”, nehezen párologó vagy zselatinos üzemanyag és hidraulika folyadék alkalmazása és semleges gázokkal történő átfúvatása, R-L visszaverő felület csökkentése;  <b>Aktív:</b> tűzoltó és robbanás megelőző rendszerek, „önforrasztó” üzemanyag tartályok bennük semleges gáz és porózus töltőanyag, a fedélzeti sárkány és avionikai rendszerek többszörözése és rezerválása, kormánysszervek rekonfigurációja;</p>
<p><b>Repülés technikai:</b> intenzív manőverezés, alacsony vagy magas repülési pálya, tereptárgyak fedezéke;</p>	<p><b>Repülés technikai:</b> intenzív, manőverező repülés;</p>	<p><b>Repülés technikai:</b> vész repülési üzemmód, kényszerleszállás, katapultálás, (†);</p>
<p><b>Teljes spektrum:</b> komplex <b>stealth-technológia</b></p>		<p><b>Amit nem észlelhető, az nem célozható meg, így el sem található!</b></p>

## A megsemmisítés elkerülésének lehetőségei 2. (rendszer függő)

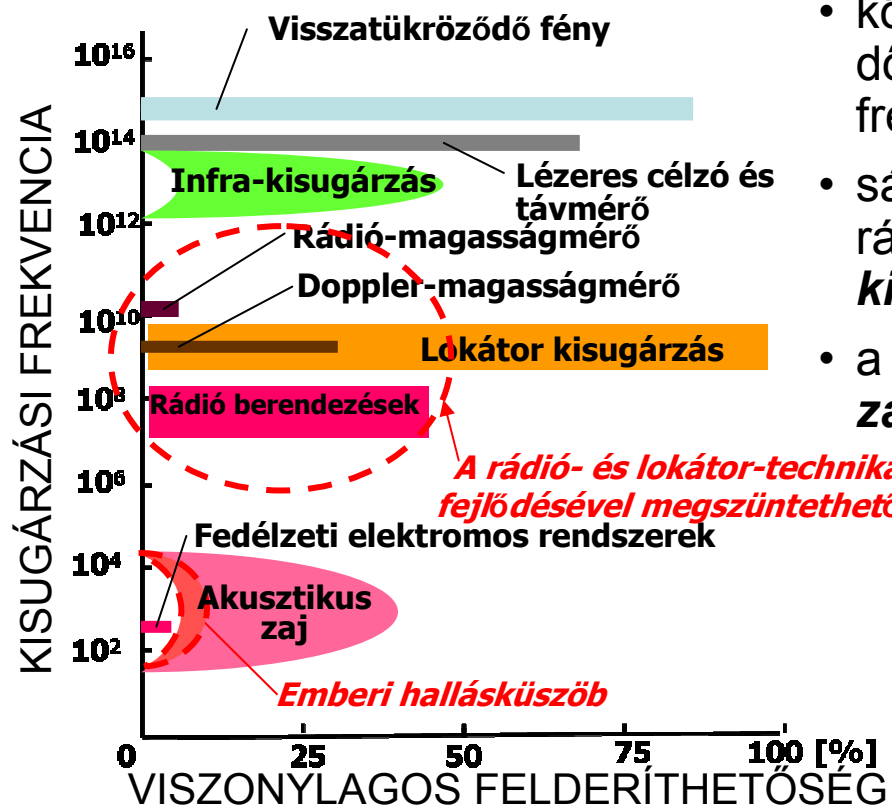
- külső zavarás (EHC, zavaró kötelékek alkalmazása, dezinformáció);
- külső, valós idejű differenciált (csak a címzetre tartozó) és integrált (több forrásból származó: légi, szárazföldi, stb.) információ biztosítása;
- Kompatibilitás, INTEROPERABILITÁS (más hazai és szövetségi típusokkal!);
- légi utántöltés (töltő repülőgépek meglétele!);

## Felderíthetőségi tartomány 1.

A hagyományos repülőeszközökről az ismert elektromágneses frekvencia-tartományból:



széles spektrumban detektálható fegyverek irányzásához, rávezetéséhez alkalmas jel:

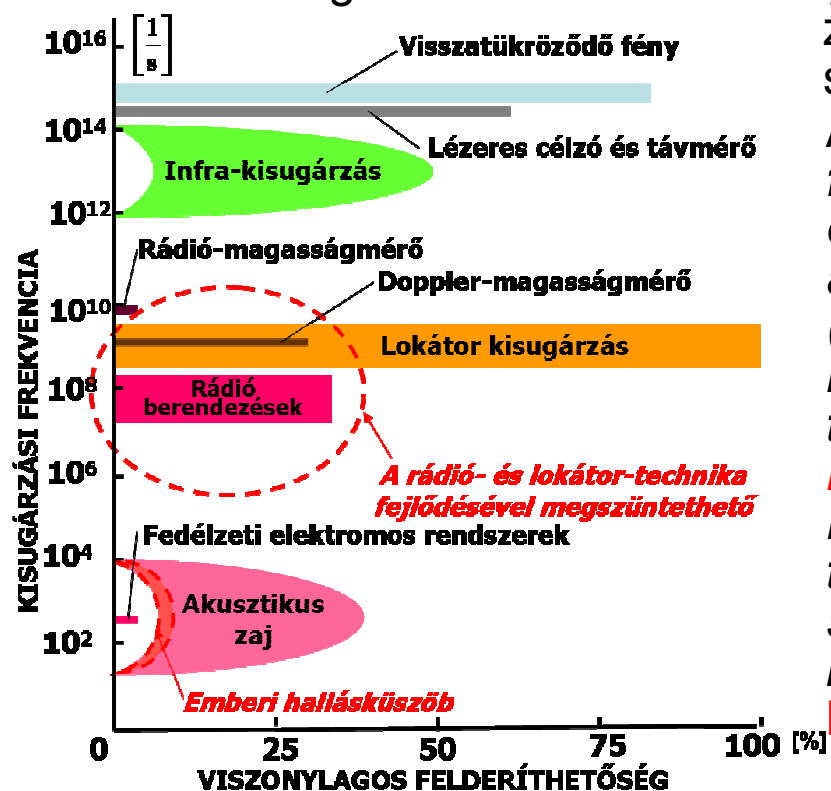


- közvetlenül emberi érzékszervekkel: visszaverődő **fény**, illetve **hangkibocsátás** (meghatározott frekvencia tartománya!);
- sárkány és hajtómű tükröző felületeiről visszavert rádió-hullámok és a fedélzeti berendezések által **kibocsátott elektromágneses jelek**;
- a sárkány és hajtómű(-vek) **termikus kisugárzása**.

*A rádió- és lokátor-technika fejlődésével megszüntethető*

# Felderíthetőségi tartomány 1.

Az elektromágneses hullámtartomány szinte teljes spektrumában nyert információk érzékelhetőek valamilyen mértékben, megfelelő szenzorral.



A támadó repülőgépek, un. **precíziós irányzású fedélzeti fegyverei, légvédelmi rakéták célzása és rávezetése azonban a lokátor, infra, vagy/és a lézer frekvencia-tartományban valósul meg.** (A hang – alacsony terjedési sebessége okán – alkalmatlan automatikus vezérlésnél, vezérlőjelként történő alkalmazásra.)

## Következtetés:

Megbízható védelmet csak az érzékelés, felderítés teljes - de döntően az előzőekben felsorolt – spektrumában tör-ténő jelkibocsátás csökkentése, lehetőség szerinti teljes megszüntetése jelenthet.

## Ez utóbbi a STEALTH-technológia

Vizuális és infra együtt



4'26''

A STEALTH-technológia, nem egyetlen csodamódszer és/vagy anyag felhasználásával történő „láthatatlanná tétel” jelent, hanem azon korszerű elméletek, műszaki megoldások, anyagok és technológiák komplex gyakorlati alkalmazását, amelyek segítségével a légi jármű a repülési magasságtól és sebességétől függetlenül teljesen, vagy döntő részben rejtve marad valamennyi észlelési tartományban működő felderítő eszközzel szemben.

Vizuális és auditív felderíthetőség

Felderíthetőség infra-tartományban

Lokátorral történő felderíthetőség



## 2.1. Vizualis és auditív rejtés





## Álcázás, rejtőzködés a természetben és harcban

Az emberek és állatok vadászatuk, harcuk eredményességét ősidők óta – eleinte ösztönösen, majd egyre inkább tudatosan – rejtőzködéssel, álcázással fokozták.

(Természetesen az évszakváltás vezérelte bundaszínváltások és a tényleges meteorológiai viszonyok adta környezeti színek eltérése

nem mindig kedvező túlélést javító tényező! Esetenként azonban erre is talált rapid, egyelőre mesterségesen alig utánozható módszert /technológiát!/ a természet a [tengerben](#) és a [szárazföldön](#) egyaránt!)

Egyes polipfajok vadászatkor több ezer kromatofóra sejtjükkel nem csak színüket változtatják, hanem környezetük [textúráját](#) is magukra öltik. Ráadásul az evolúciós kiválasztódás okán erre több [más állat](#) is képes



### Téli bunda

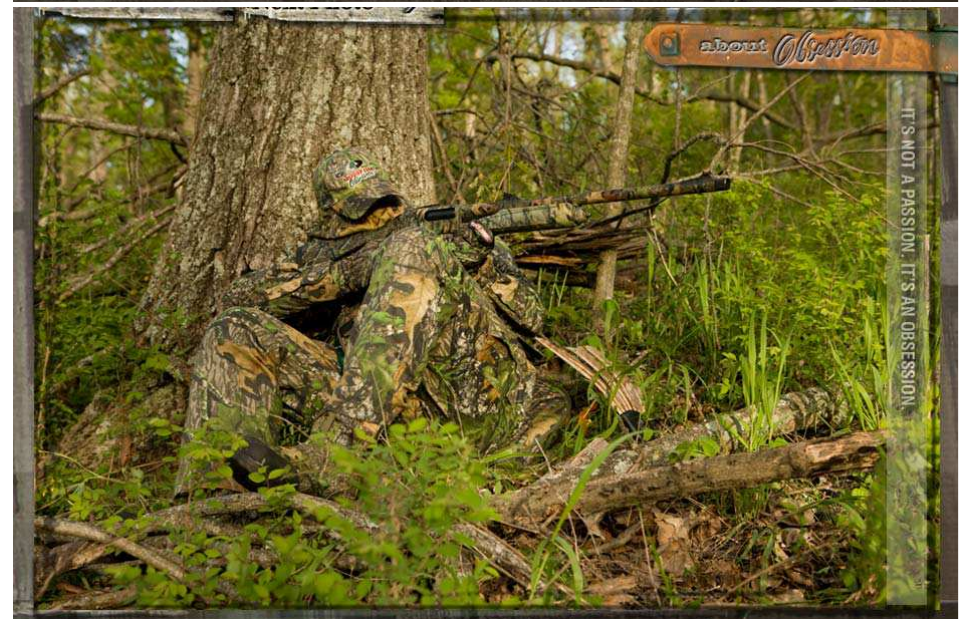
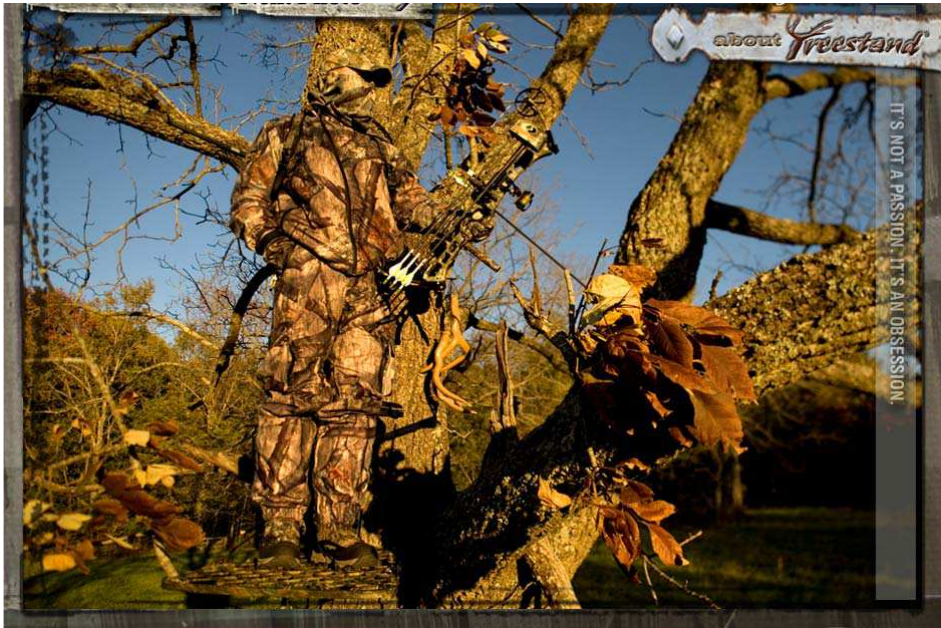


A hermelin téli bundája általában fehér, így színével szinte beleolvad a havas tájba. Ez védelmet nyújt az ellenségeivel, például a rókákkal szemben.



## Álcázás magasiskolája 2.

A jó álcázásnak alkalmazkodnia kell a helyi földrajzi, biológiai, természeti környezethez, az évszakhoz. A nyíl mint XXI szd-i fegyver az auditív- és infraálcázás eszköze.





## II. világháborús repülőeszközök álcázó színei

Az észlelhetőség, felderíthetőség, csökkentésének egyik legrégebbi ismert módszere a klimatikus viszonyoknak, évszaknak, földrajzi övezetnek megfelelő álcázó festés, tábori repülőtér állóhelyén, hasonló szempontok szerint kialakított álcaháló használata. Bár napjainkra az álcázó festés (háló) színösszetevőinek mennyiségét, az alkalmazott foltok alakját, méretarányát tudományos módszerekkel határozzák meg, az így elérhető felderíthetőség csökkenés korlátozott döntően nagyobb távolságról, tereptárgyak részleges fedezékéből kamatoztatható.

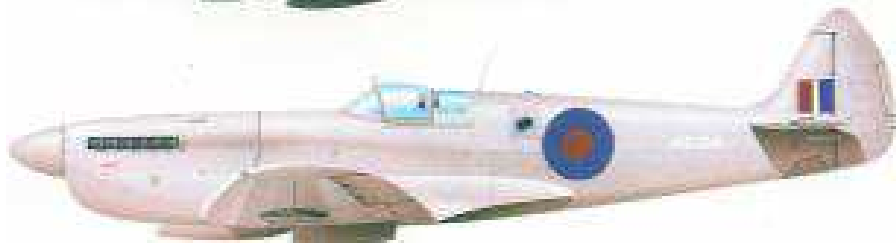
Early WWII German Colours



1930s American Bomber Scheme



Reconnaissance Spitfires



## Szárazföldi alkalmazású repülőeszközök álcázó színei 1.





# Szárzföldi alkalmazású repülőeszközök álcázó színei a levegőben és a földi állóhelyen (álcahálók)





# Szárzaföldi alkalmazású repülőeszközök álcázó színei (Made in Hungary)

Hagyományos



NATO színekben



## Egyazon típusú helikopter különböző szárazföldi álcázó színei

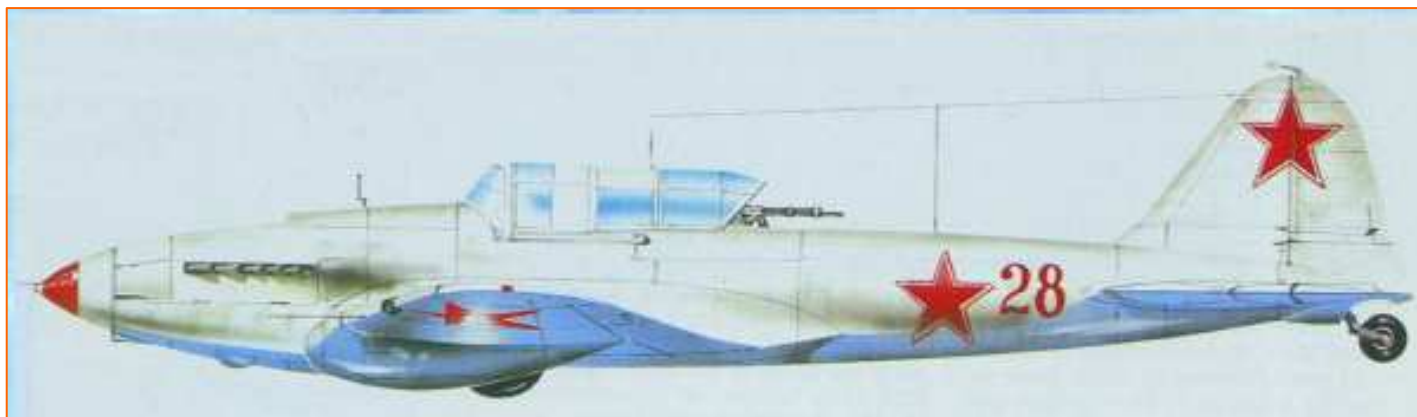
A jó álcázásnak alkalmazkodnia kell a helyi földrajzi környezethez, az évszakhoz.

Lényeges, hogy a fülkeüvegezés fényvisszaverő képességét is minimálisra csökkentsék.



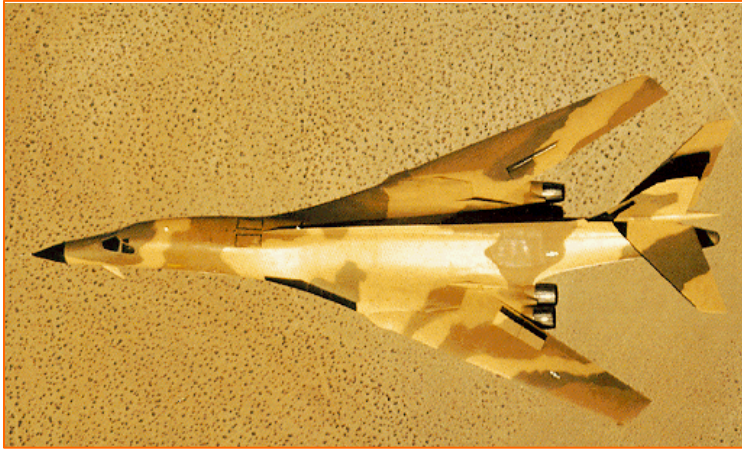
## Sarkvidéki, téli álcázó festés

Tudományosan megalapozott álcázó színválasztást is tönkretelhet politikai megfontolás.





## Sivatagi alkalmazású repülőeszközök álcázó színei





## Haditengerészeti alkalmazású repülőeszközök álcázó színei





## Felségjelek és felderíthetőség



**KECSKEMÉT, 2006.03.21**



## Helikopterek sajátosságai 1.

Sajnálatosan több mint másfél évtizedes fejlesztés zárult kudarccal 2004. februárjában, az első lopakodó helikopter, a RAH-66 befejezés előtt álló fejlesztési programjának törlésével, mivel a költségek elfogadhatatlan mértékben növekedtek (a darabár, a kezdetben limitált 8-12 millió USD-ról, 50 millió felé emelkedett!).

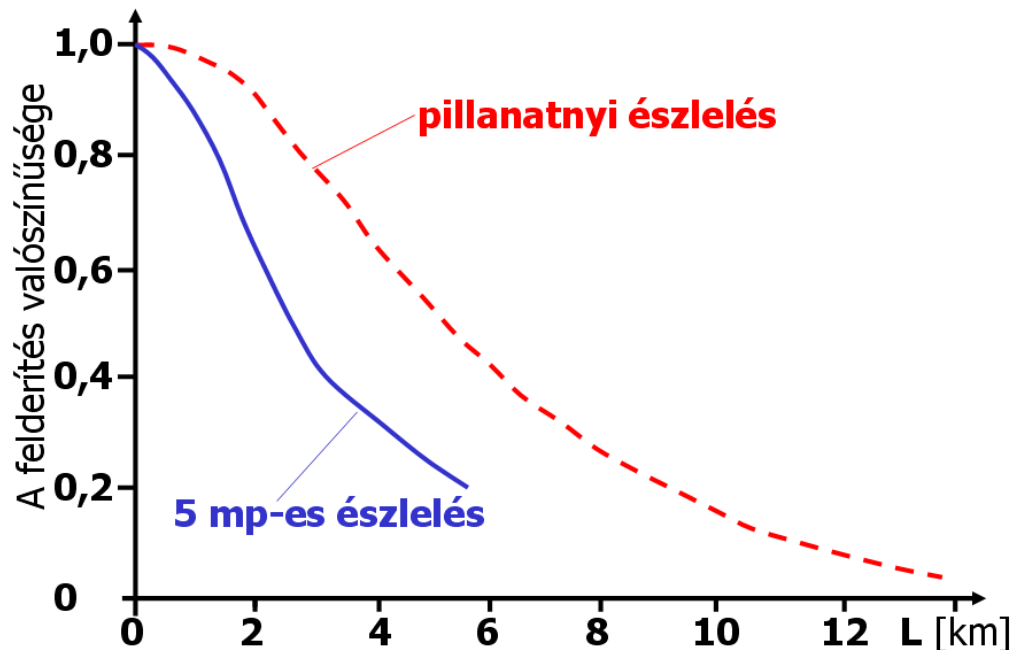
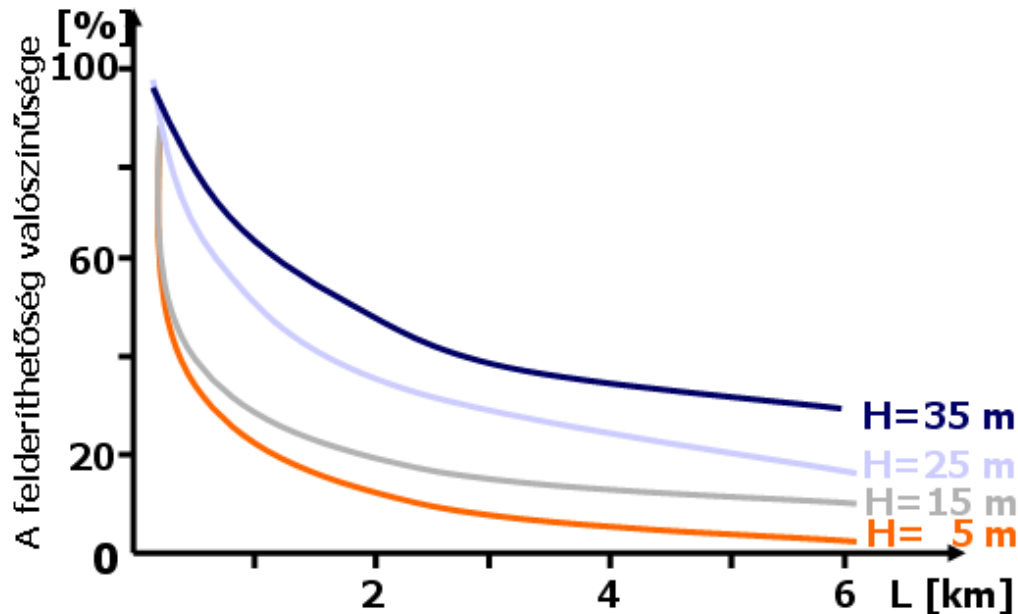
Mindezek konklúziójaként megállapítható, hogy a jelenlegi katonai helikoptereknél az önvédelemnek maradnak konstrukciósan megvalósíthatatlan biztonságtechnikai elemei. Ezek részleges helyettesítésére, célszerűvé vált megfelelő repüléstechnikai módszerek kimunkálása.





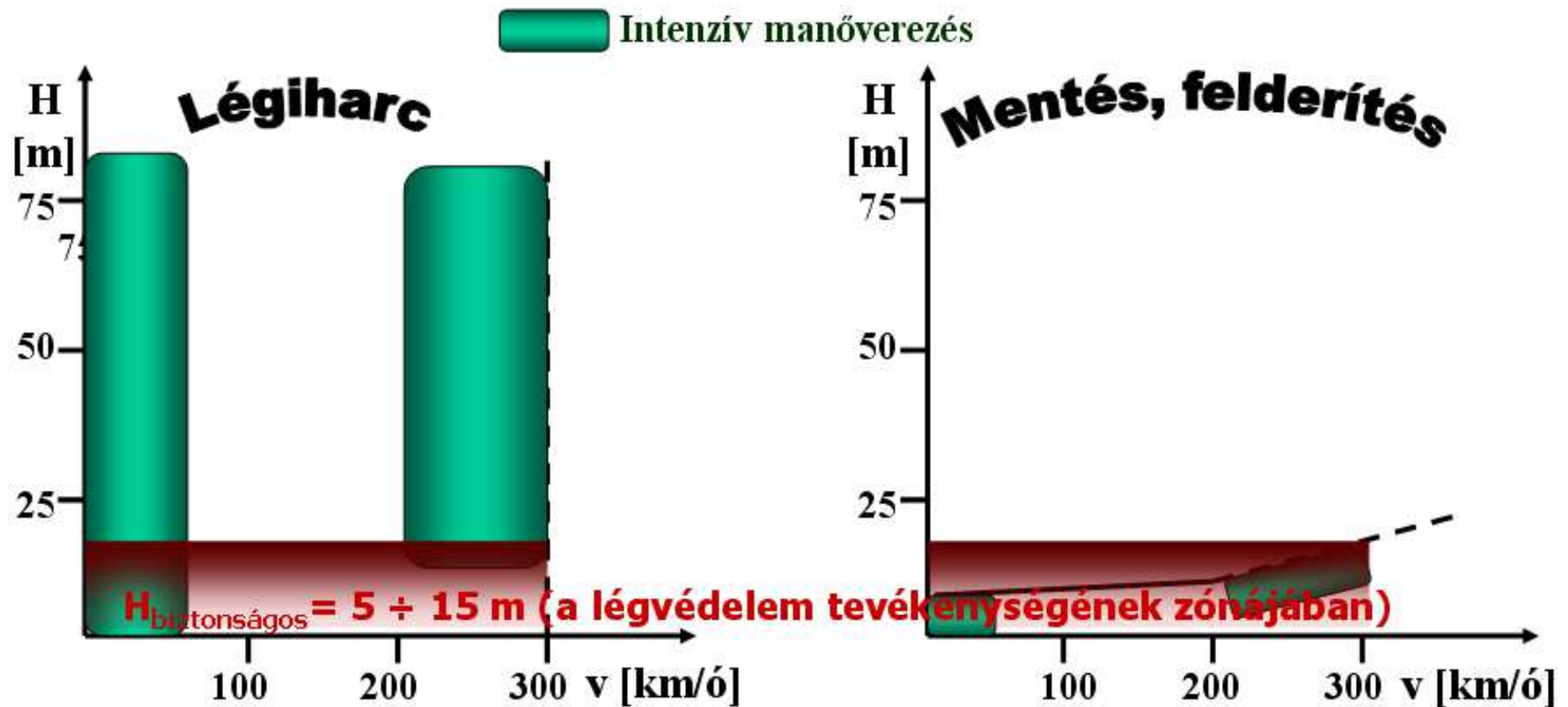
## Helikopterek sajátosságai 2.

Az ábrák együttes elemzéséből megállapítható, hogy  $L \leq 6$  km távolságból válik a helikopter annyi időre (legalább 5 mp-re) észlelhetővé, ami már lehetővé teszi ellene a célzást és az automatizált megsemmisítő eszközök (rakéták) működtetését. A légvédelem zónáján belül a felderítés kézi fegyverekkel (célzás, tüzmegnyitás) alacsony valószínűsége csak a repülési magasság  $H \leq 15$  m-es értékével biztosítható.



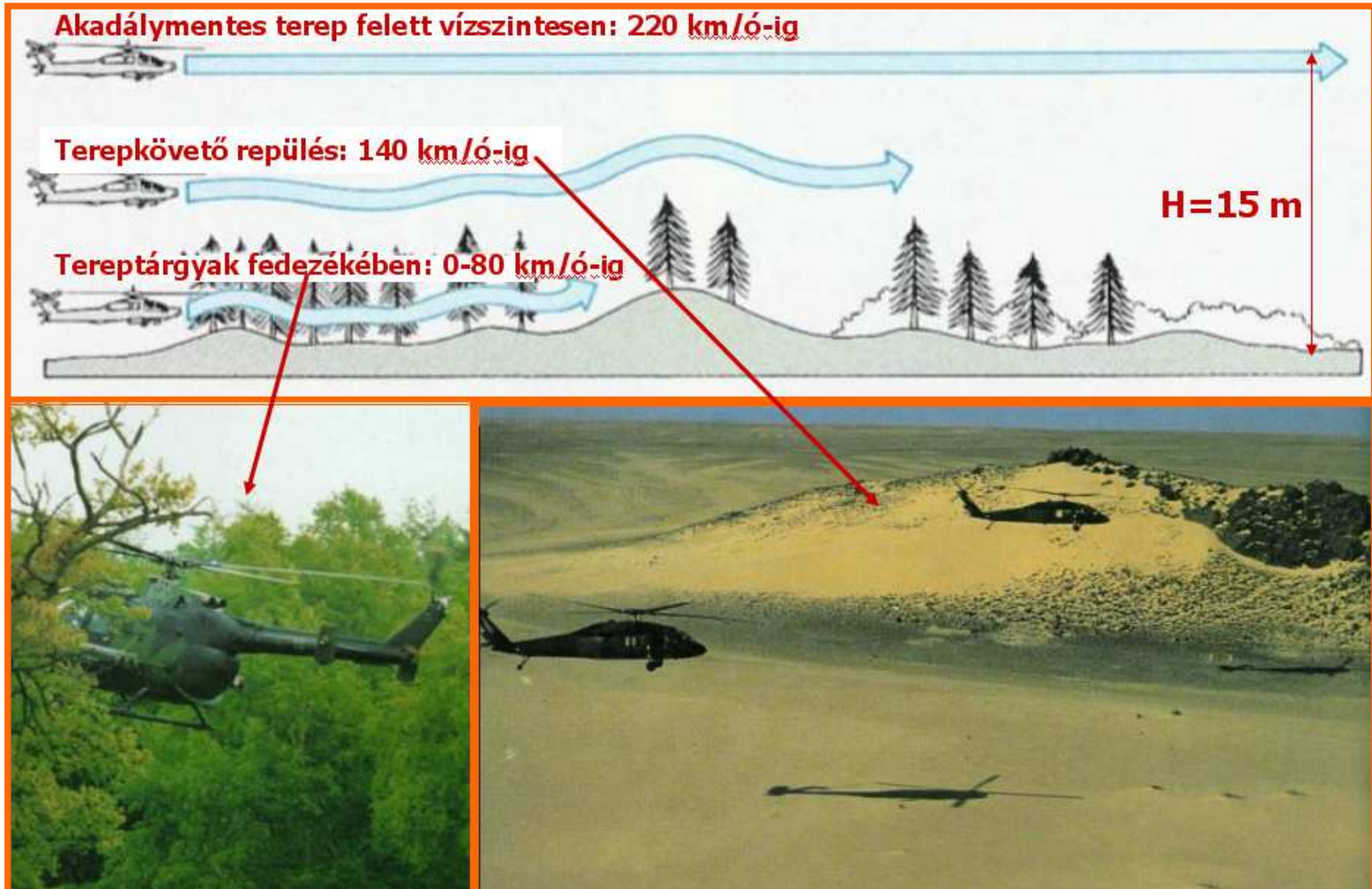
### Helikopterek sajátosságai 3.

A katonai helikopterek különböző repülési feladatok során alkalmazott domináns, H-v manőver intervallumát ismerve belátható, hogy alapvetően a légvédelem zónájának 6-10 kilométeren belüli megközelítési, illetve a légi harc módszereit szükséges átértékelni. Utóbbinál a függőleges manőver elemeket célszerű mellőzni, mivel csak a vízszintesek nyújtanak megfelelő, 80 %-ot meghaladó „túlélési biztonságot”.



## Alacsony repülési pálya alkalmazása a felderíthetőség csökkentésére

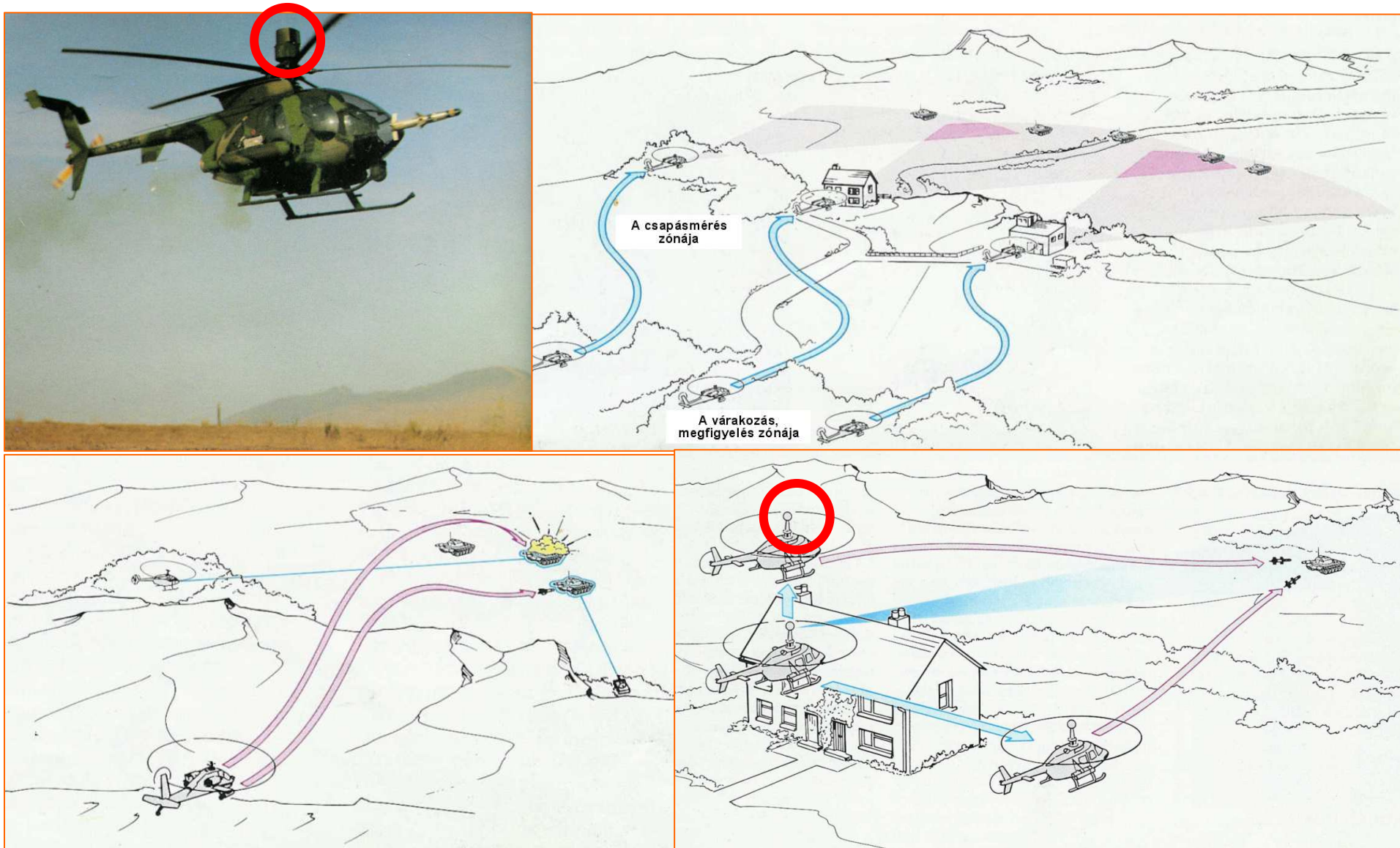
A közvetlen földközeli repülési magasságnak is vannak negatívumai, mivel csökkenteni kell az alkalmazható biztonságos repülési sebességet, ami az ellenséges terület fölött hosszabb idejű tartózkodást tesz szükségessé, ezáltal egyszerűbb, huzamosabb célzási időt biztosít kézi fegyverek - közülük is a legveszélyesebb, a vállról indítható légvédelmi rakéták (pl. „Stinger” vagy „Igla”) - számára.





## Harctevékenység tereptárgyak fedezékéből

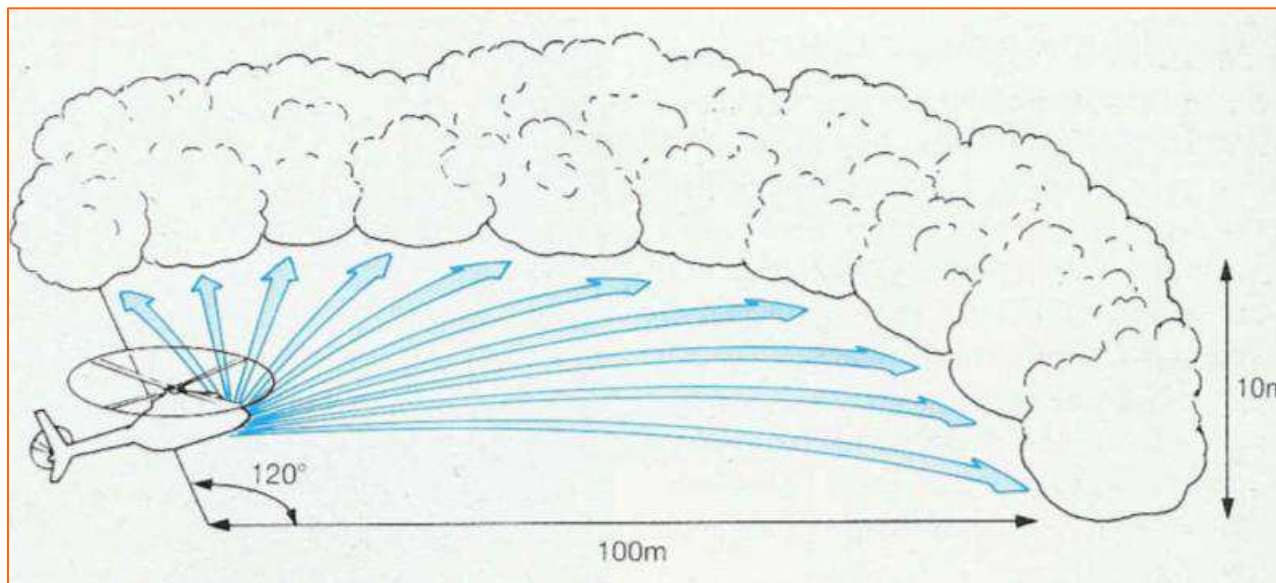
Amennyiben a helikopter felderítő, célzó, távmérő rendszerét a forgószárny, vagy a fülketető felett helyezik el, akkor az, a tűzérési megsemmisítő eszközökkel szemben szinte sebezhetetlen, mivel a beirányzott, tűzkész fegyverek fedezéken kívüli működtetéséhez elég 2-3 mp.



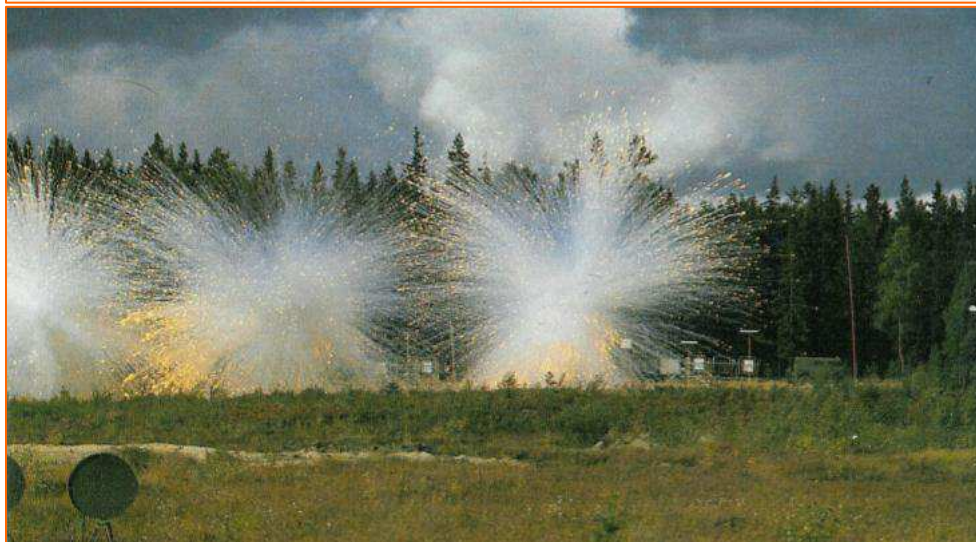


## Mesterséges vizuális álcázás

A fedezékül használható természetes terep-, vagy műtárgy hiányába, a vizuális



álcázás füstképzéssel is biztosítható, mely megfelelő sűrűség, vastagság esetén a közvetlen optikai célzáson kívül a lézeres megvilágítás megakadályozására is alkalmas. Infracsapdával kombinálva a termikus felderítés is megakadályozható.





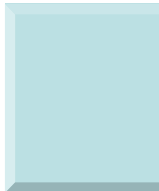
**A kondenzcsík képződés megakadályozására...**  
a hajtóműből távozó gázokba klór-fluor szulfonsavat adagolnak.



(E módszer hátránya, hogy a sav erőteljesen korrodáló hatású, illetve a kiáramló gázok ultraviola tartományban változatlanul észlelhetőek.)



# Megtévesztő láthatóvátétel

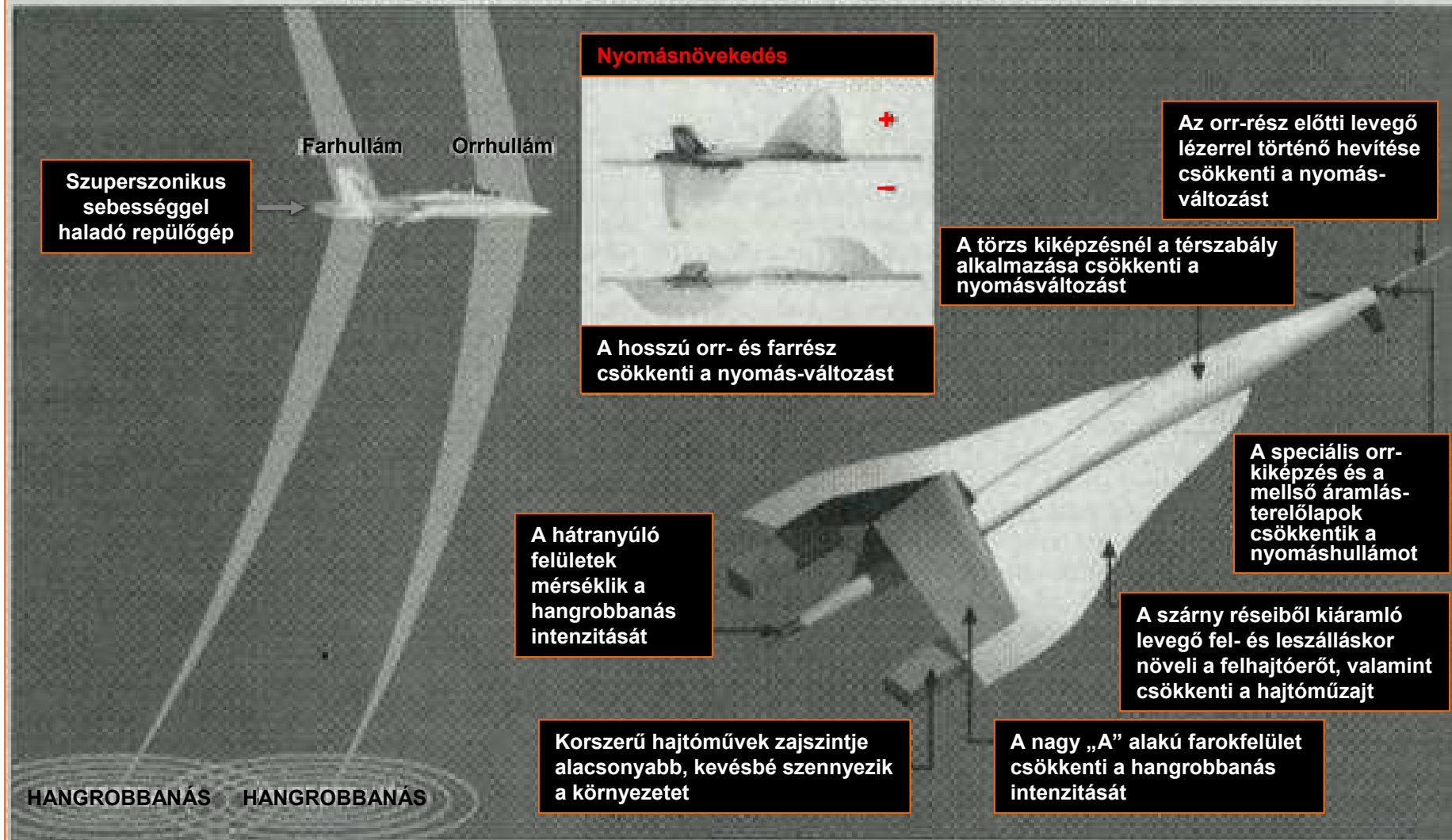




# Az auditív felderíthetőség csökkentése 1.

A sárkány speciális kialakításával csökkenthető az  $M \geq M_{kr}$  tartományban létrejövő nyomás(-különbség), ezáltal a hangrobbanási szőnyeg intenzitása.

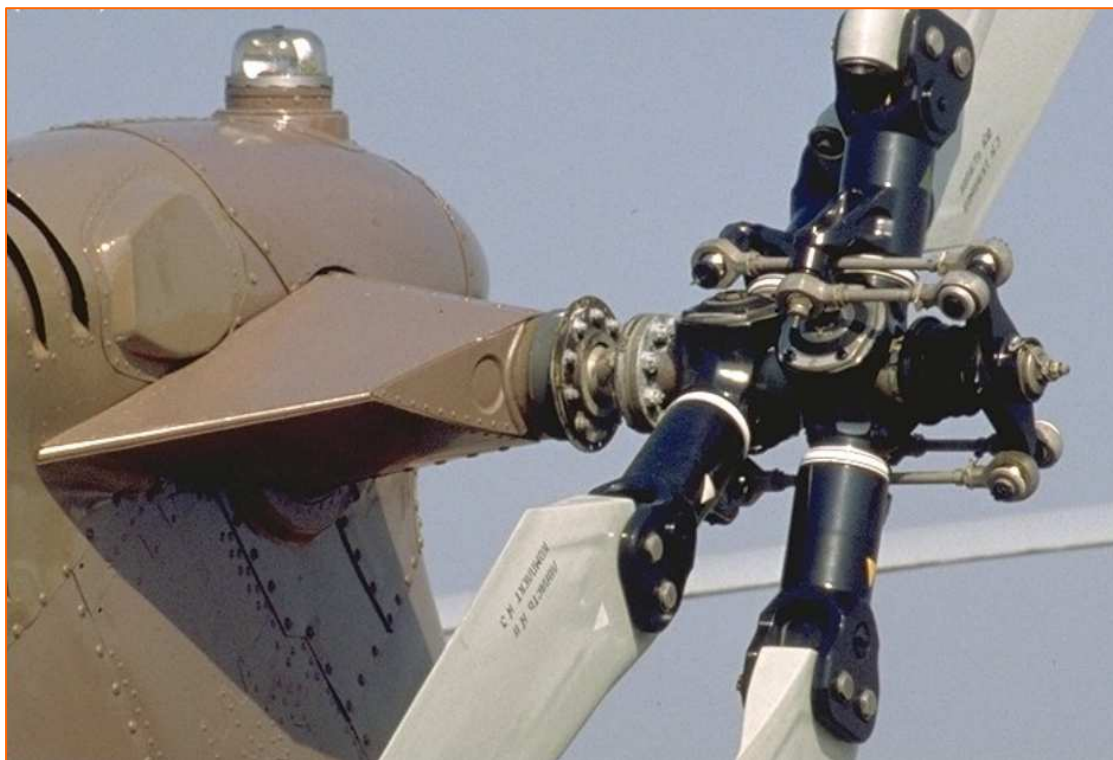
## LEHETŐSÉGEK A HANGROBBANÁS ELNYOMÁSÁRA



## Az auditív felderíthetőség csökkentése 2.

A helikopterek auditív felderíthetőségének csökkentése napjainkban is fontos, de csak másodlagos cél, mivel hangjelek alapján vezérelt (rávezetett) automatikus fegyverek nem léteznek. Természetesen az alacsonyabb zajszint, a kézi fegyverekkel szemben is javítja a túlélés esélyeit. E területen azonban csak részleges eredmények érhetők el, mivel a legnagyobb intenzitású zajforrások többsége éppen a helikopter alpműködéséből adódó, nagytömegű levegőt, nagysebességgel megmozgató berendezések, melyek:

- egyik részénél (hajtóművek, reduktorok) csak vastag, súlyos hangszigetelő rétegek beépítése után lehetne részleges eredményt elérni;
- a másik részénél (forgószárnyak, faroklégcsavarok) direkt hangszigetelésre nincs is mód, speciális kialakítás (pl. „X” alakú faroklégcsavar, fenesztron) eredményez viszonylagos zajcsökkenést.





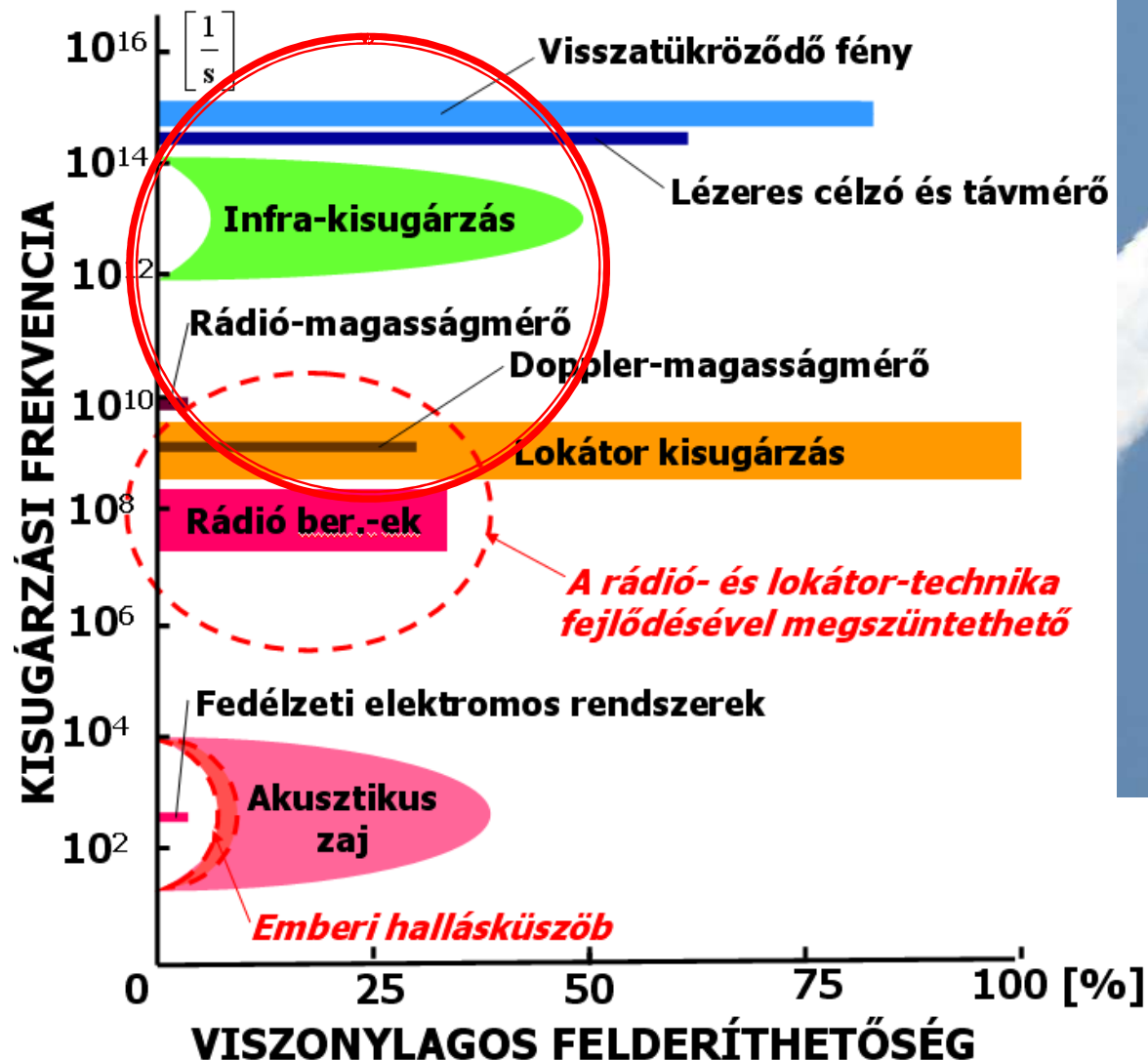
## 2.2 Termikus álcázás





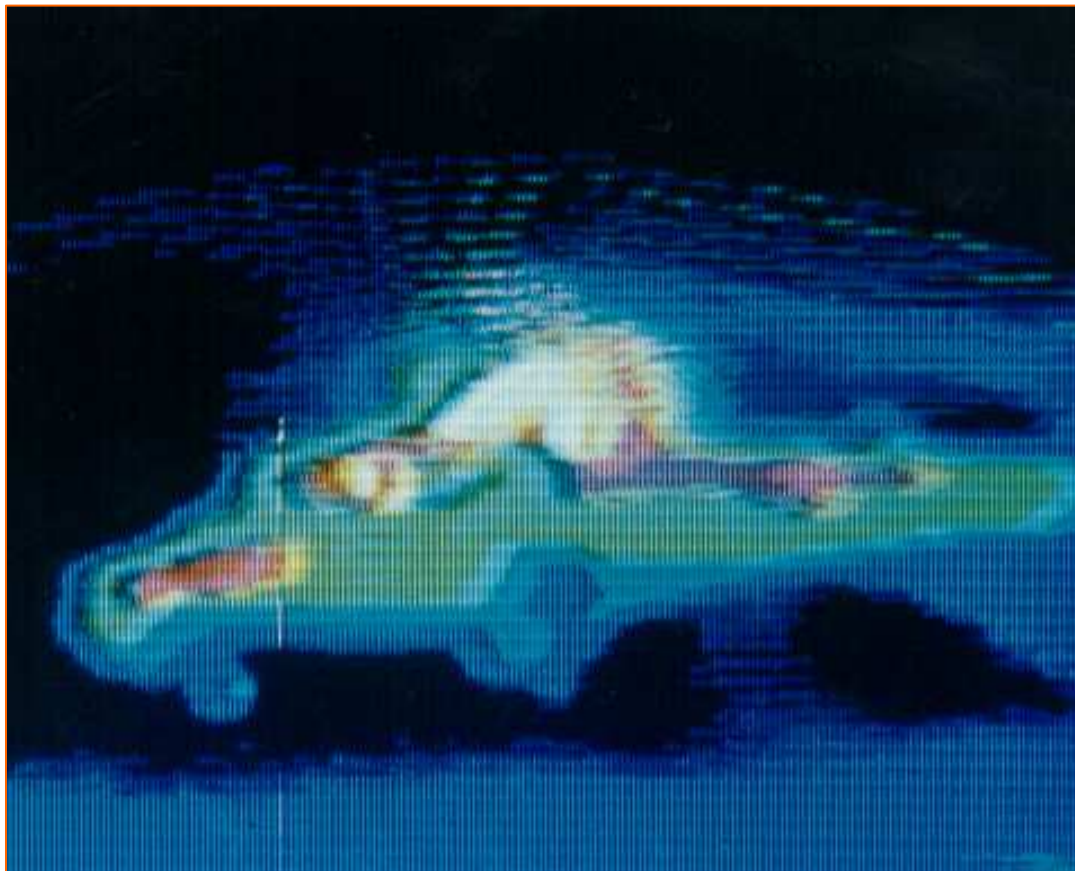
## A repülőeszközök infravörös sugárzásának csökkentése

A tér egy adott helyén állva, a háttér minden pontjáról különböző hullámhosszon és intenzitással érkezik infravörös információ, amely digitalizált képalkotásra (is) alkalmas, illetve matematikai módszerrel feldolgozható. A kisugárzás intenzitásának mérőszáma, pl. az egységnyi felületről kisugárzott energia lehet,  $W/cm^2$  -ben kifejezve.



## A repülőeszközök infravörös sugárzásának csökkentése

Infravörös eljárással, a látható fény tartományával közel megegyező minőségű



fényképfelvétel készíthető. Infraképe van a természetben minden, a környezete hőmérsékletétől különböző tárgynak, sőt a korábban történt események [hőtani következményeinek](#) is. Az infrakép érzékenysége  $\Delta t = 0,1$  °C alatti, de akár  $\sim 0,01$  °C is lehet. Ami látható optikai eszközzel nappal, az látható infravörös optikai eszközzel akár éjjel is, de a hőforrás miatt még látható fényben is az utóbbi alkalmazása nyújt jobb eredményt.

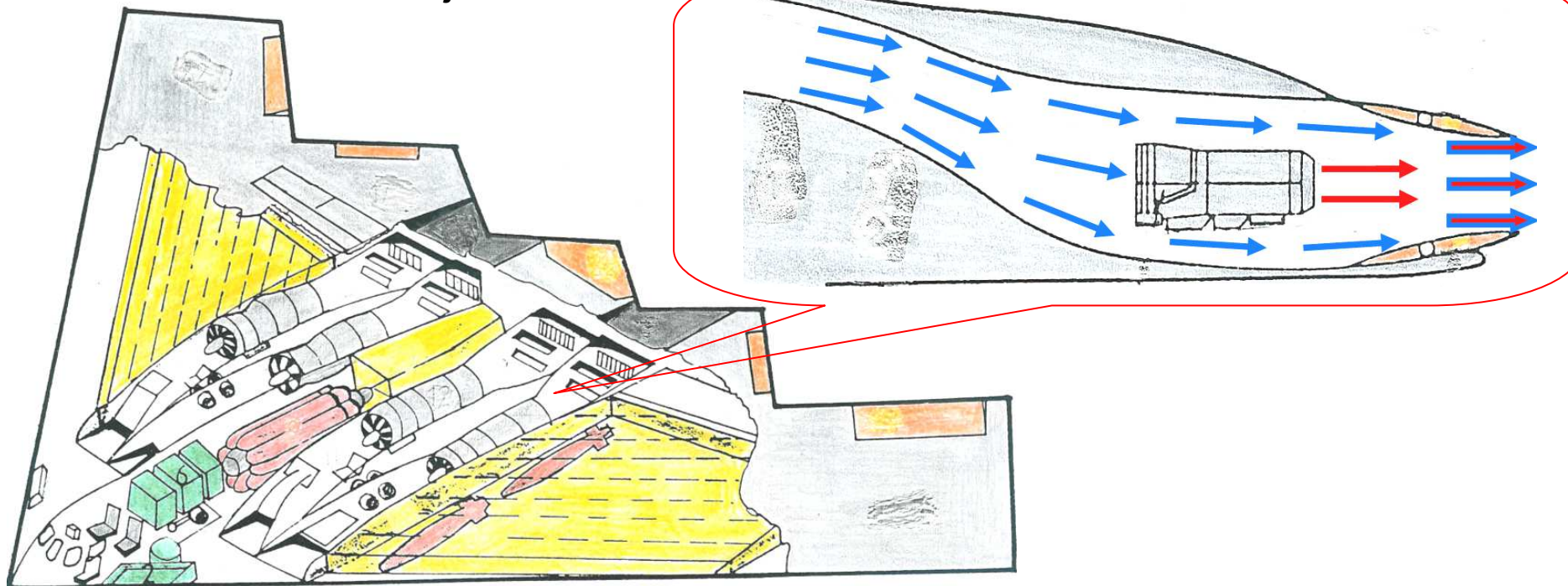
Az infravörös sugárzás csillapodása a levegőben kisebb, mint a látható fény tartományban. E miatt ilyen eszközzel kétszer-háromszor nagyobb

távolságra is el lehet látni, bár egyes hullám-intervallumokban a levegő elnyeli a sugárzást /1,8÷2,0; 2,8÷3,2; 4,2÷6  $\mu$  között/. Az infravörös sugárzás „álcázása” azért nehéz, mert a működő hőerőgéppel felszerelt haditechnikai eszközökben felszabaduló hő nyomtalanul nem szórható szét a környezetben. Egyes szakirodalmi források alapján vadászgépnél a fúvócső 3,2÷4,8  $\mu$  közötti tartományban a fúvócsőtől számított 2÷3 m-es távolságon az infravörös sugárzás 70÷90 %-át kisugározza.

## A repülőeszközök infravörös sugárzásának csökkentése

A katonai repülőeszközöknél az infravörös sugárzásnak a környezeti sugárzáshoz viszonyított értéke csökkenthető:

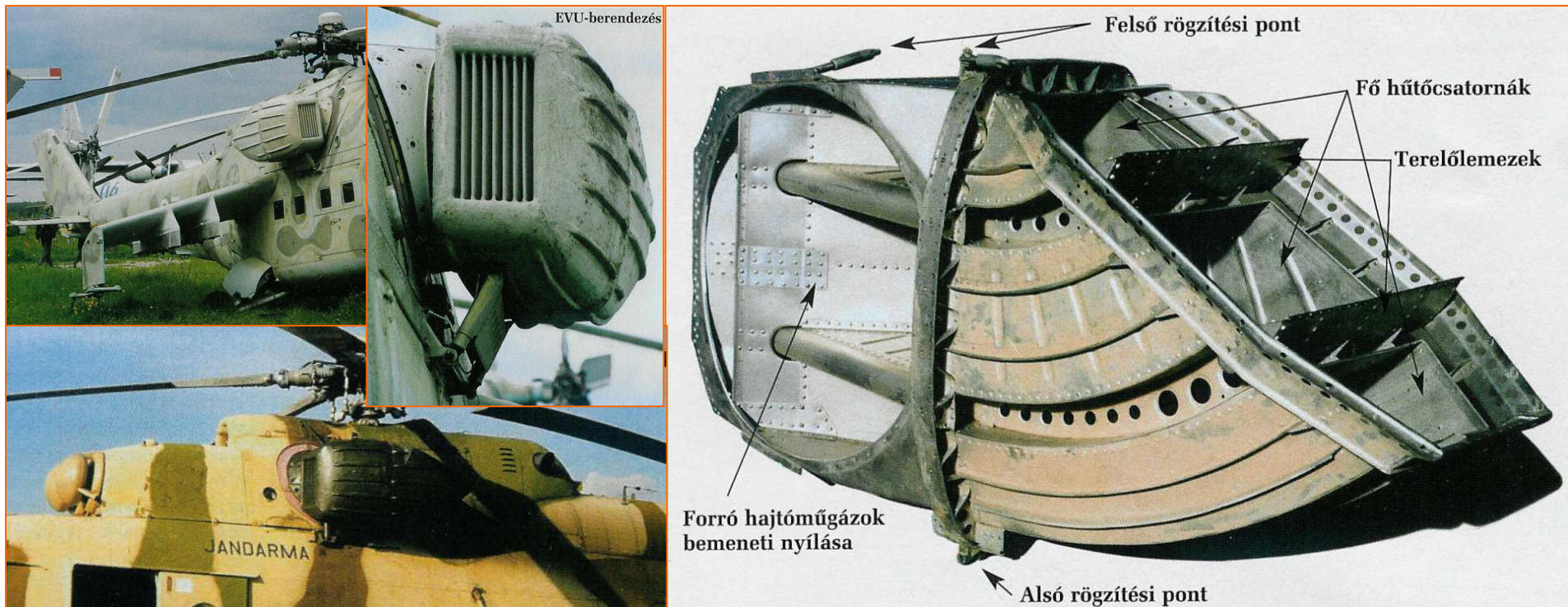
- a fúvócsövek körkörös árnyékolásával;
- az árnyékoló szerkezeti elem belső falának infravörös sugárzást át nem eresztő réteggel való bevonásával;
- a hajtómű kiáramló gázaihoz még a kilépés előtt jelentős mennyiségű hideg levegő hozzákeverésével (pl. a fúvócső ejektor-hatásának felhasználásával, harci üzemmódon még járulékosan víz-alkohol keverék hozzáadásával is!), a borítás külső szerkezeti elemei felmelegedésének megakadályozása a távozó gázok hőmérsékletének jelentős csökkentése;
- helikoptereknél: a kiáramló hűtött gáz irányának olyan megváltoztatásával, hogy azok minél korábban a forgószárny által megmozgatott nagytömegű környezeti levegő áramlásába elkeveredjenek;





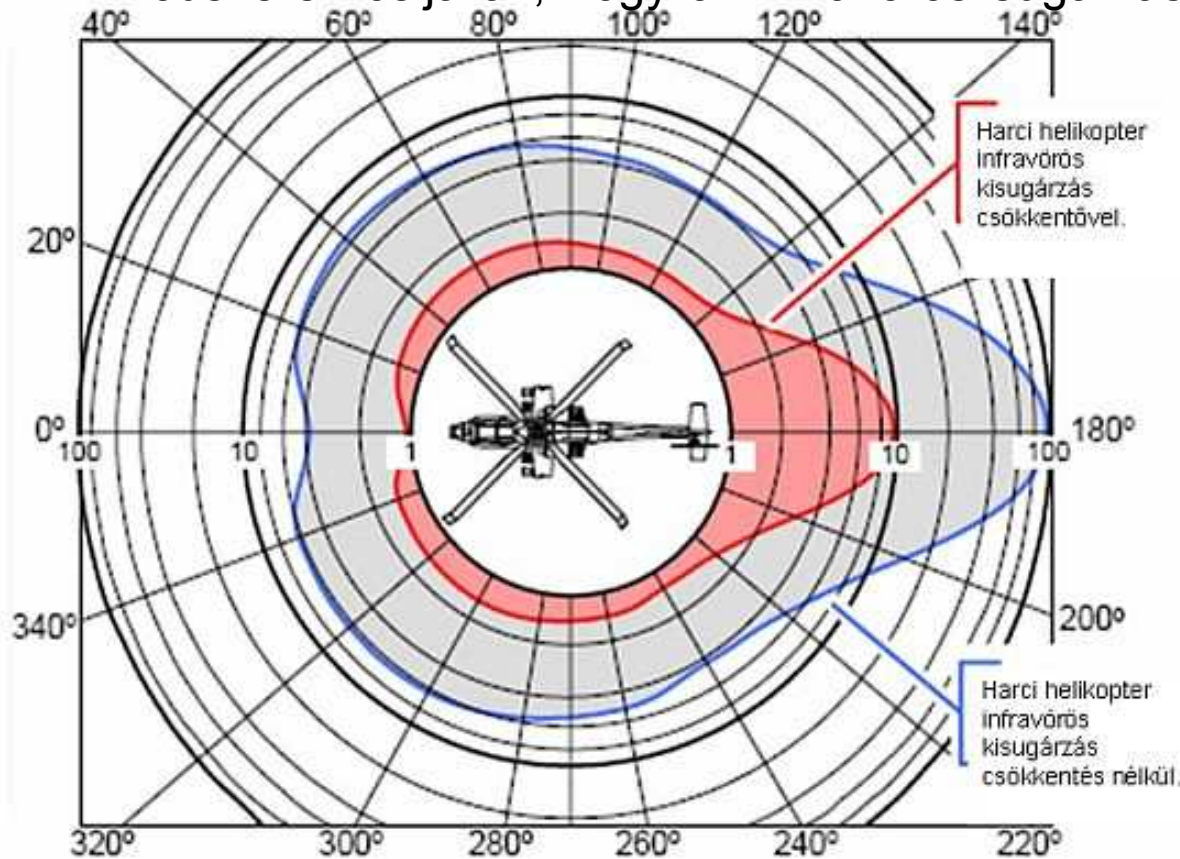
## A repülőeszközök infravörös sugárzásának csökkentése

Harci helikopternél, a gázturbinák hatásfokának figyelembe véve ~10000 kW fűtő teljesítményből keletkezhet infravörös sugárzás. A bevitt energia kb. 60 %-a a fűvócsöveken keresztül távozik kiáramló gázzal, ~700 °K hőmérsékleten. Ennek egy része infravörös sugárzás a tűztérből, az olajtartálytól, az olajradiátoroktól, a hidraulika blokkoktól és a különböző reduktoroktól. Másik része, a távozó meleg gázam által felmelegített szerkezeti elemek okozta sugárzás, amelyek hőmérséklete a helikopter többi szerkezeti elemétől eltérő, meghatározott szinten állandósul. Az utóbbiak, intenzíven szórják szét az infravörös sugárzást a tér minden irányába, amihez képest a gázáramban lévő széndioxid, víz, oxigén, nitrogén infravörös sugárzása lényegesen kisebb. A „MI” típusú orosz helikopterekhez az infravörös sugárzáscsökkentő berendezéseket pótlólag fejlesztették ki (lásd az ábrákat!).



## A repülőeszközök infravörös sugárzásának csökkentése

E módszerek célja az, hogy az infravörös sugárzás általános szintjét az alkalmazott

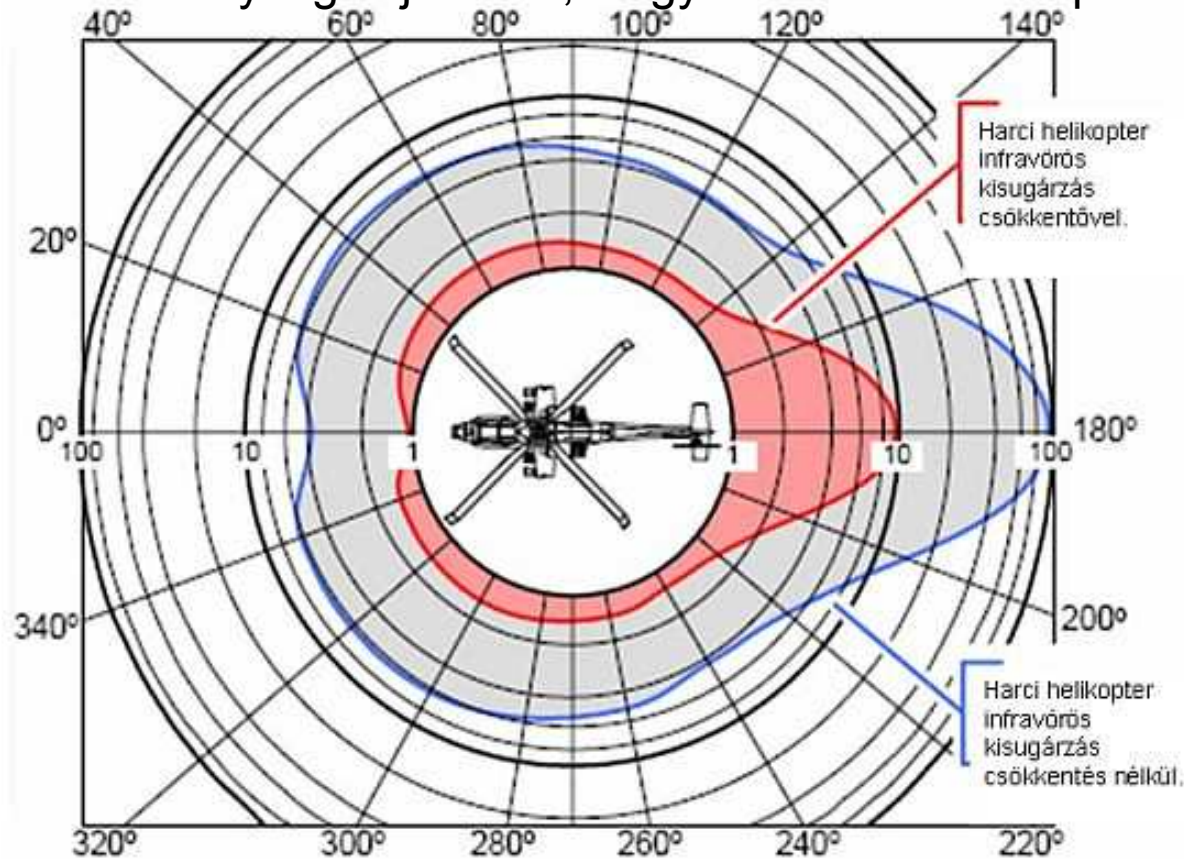


hőfejes rakéták érzékelési küszöbszintje alá lehessen vinni, egyben a felderíthetőséget a háttersugárzáshoz viszonyított kontraszt elmosásával a minimumra lehessen csökkenteni. A ma korszerűnek számító harci helikopterek mindegyike kielégíti e követelményeket, a segéd-eszközök a sárkányszerkezet részei. Ezzel hasonló elven működőket alkalmaznak a Tiger, S-70, S-76, Gazella, AH-64A Apache, Bell AH-1 Cobra, Augusta 129A, Mangusta, Aerospetiale Panther, stb. típusokon.



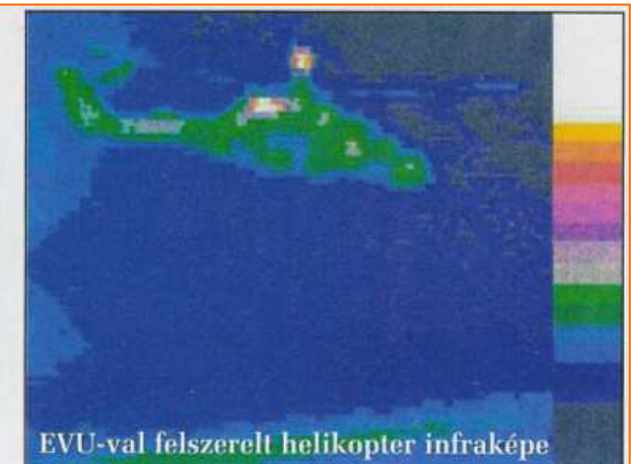
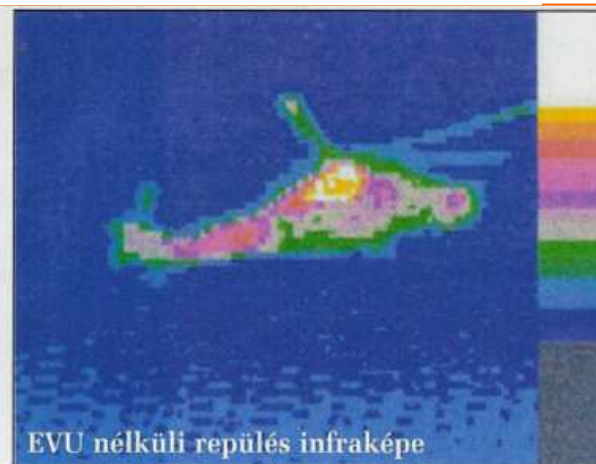
## A repülőeszközök infravörös sugárzásának csökkentése

Hatékonyabbá teszi, hogy nélküle a helikopter még 2500 m oldaltávolságban is értékelhető infravörös forrásként azonosítható. Ugyanazon műszer, megegyező érzékenység és háttérkörülmények mellett, a vele felszerelt helikoptert csak 300 m oldaltávolságból képes észlelni.



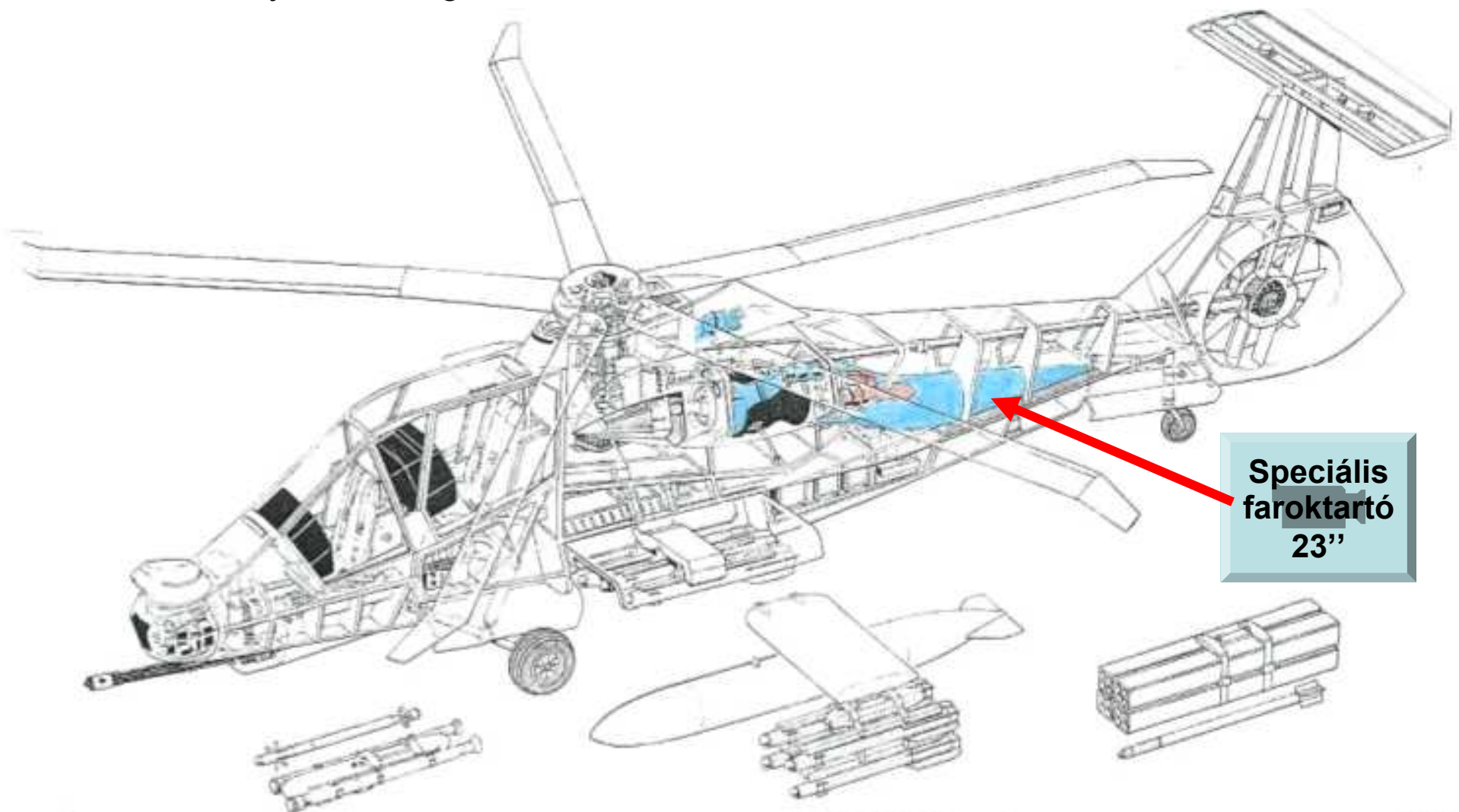
RAH-66

3'33''



## A repülőeszközök infravörös sugárzásának csökkentése

A RAH-66-os helikopter hőkisugárzásának fokozott csökkentése érdekében, a hajtóművek forró gázait a faroktartó teljes hosszán keresztülvezetve kívánták hűteni, majd a farokfutó előtt, a forgószárny leáramlási zónájában kivezetve, intenzíven elkeverni a környezeti levegővel.





## A repülőeszközök infravörös sugárzásának csökkentése **Aktív termikus álcázás**

A hűtők hatásossága a távolság függvénye is. Harctéri körülmények között, a berendezések általában a repülőeszköz saját infravörös sugárzását a hadszíntér egyéb infravörös sugárzási tényezőinek szintje alá csökkentik, ami megtéveszti a csak infravörös rávezető fejjel támadó rakétákat. Még eredményesebb a védelem, ha a támadó rakéta indítása után a helikopter annak tulajdonságaira hangolt megtévesztő infravörös forrásokat bocsát ki.

Ezek hatékonyságát nagymértékben befolyásolja az alkalmazott infra-töltetek száma (célszerű a százas nagyságrend!), elhelyezése a sárkányon és a működtetés módja (auto-matikus, kézi, egyszeri kibocsátás vagy szakaszos, stb.).



**Infracsapda  
kivetés C-130  
15''**





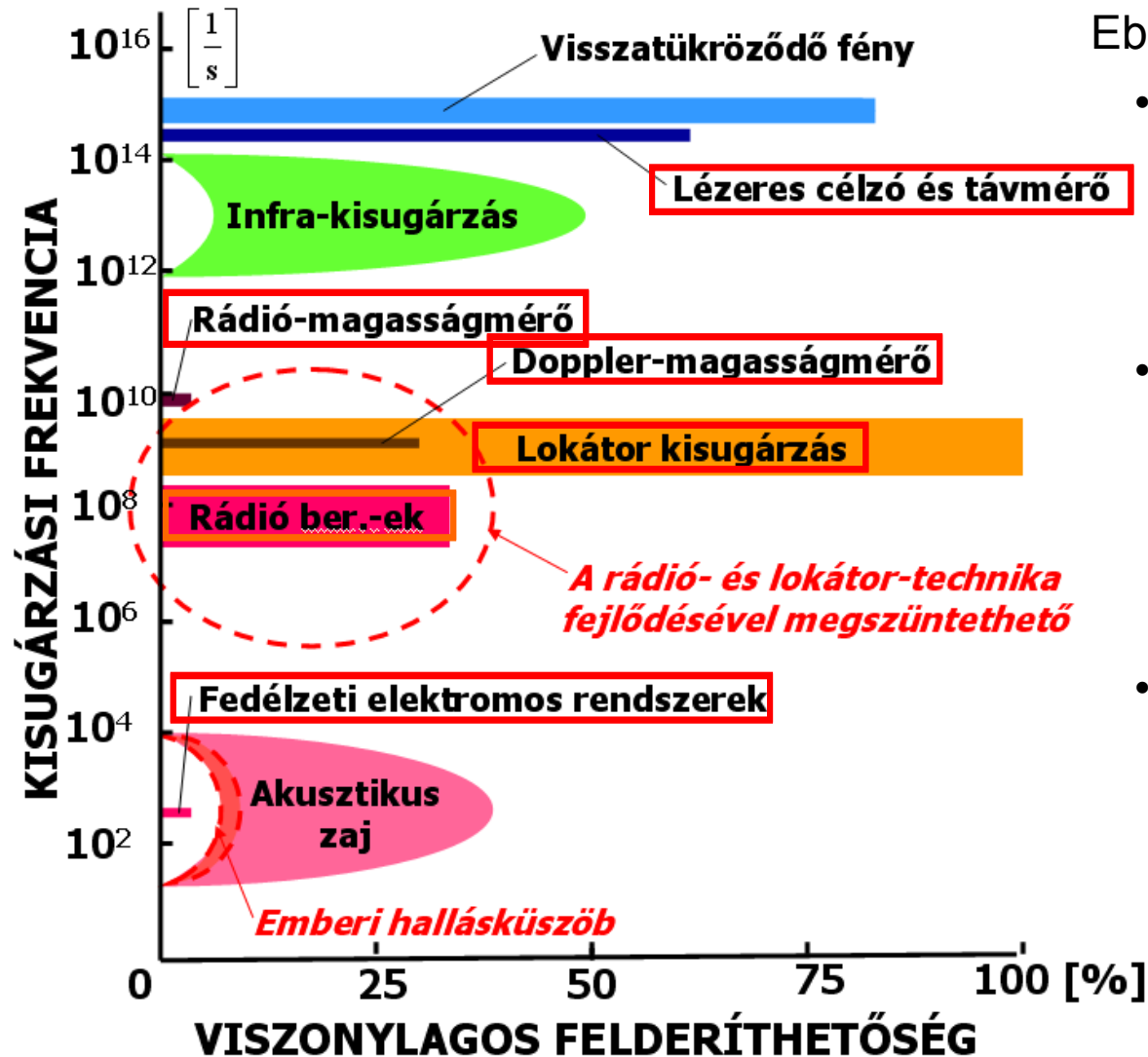
## 23. Lokátorral történő felderítés megakadályozása





## A repülőeszközök lokátorokkal történő felderíthetőségének csökkentése

A repülőeszközökről legszélesebb spektrumban rádió-lokátorokkal, elektromágneses hullámérzékelőkkel nyerhető megbízható információ.

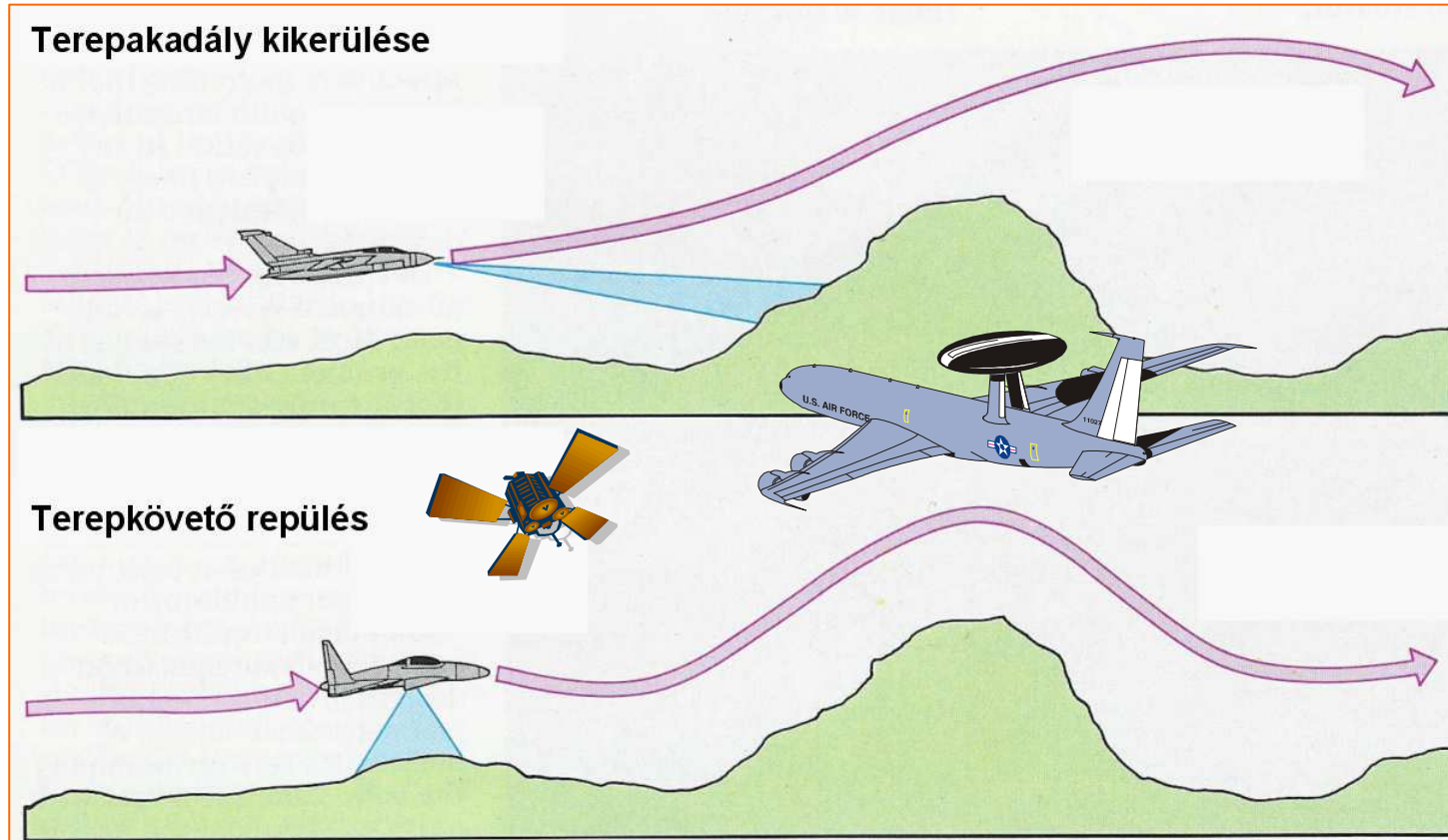


Ebből adódó konstruktóri **feladatok**:

- nagymértékben csökkenteni szükséges a sárkány és hajtómű lokátor-hullámokat visszaverő felületeit (**RCS – Radar Cross Section**);
- olyan szerkezeti anyagokat alkalmazása, amelyek visszatükrözési tulajdonságai gyengék, és az őket érő lokátor-hullámok teljes vagy döntő részét elnyelik;
- a repülőgép és rendszerei által kibocsátott elektromos, mágneses, (benn a hő, fény, hang stb.) kisugárzások megszüntetése vagy gyengítése!

## Alacsony repülési pálya alkalmazása a felderíthetőség csökkentésére

A **tereptárgyakkal álcázott** repülési pálya ugyan alkalmasak földfelszínen telepített lokátorral történő felderítés időleges elkerülésére. Az esetenként elkerülhetetlen függőleges irányú kikerülésük viszont nem biztosít megfelelő (semmilyen!) fedést az ellenséges légvédelemmel szemben.

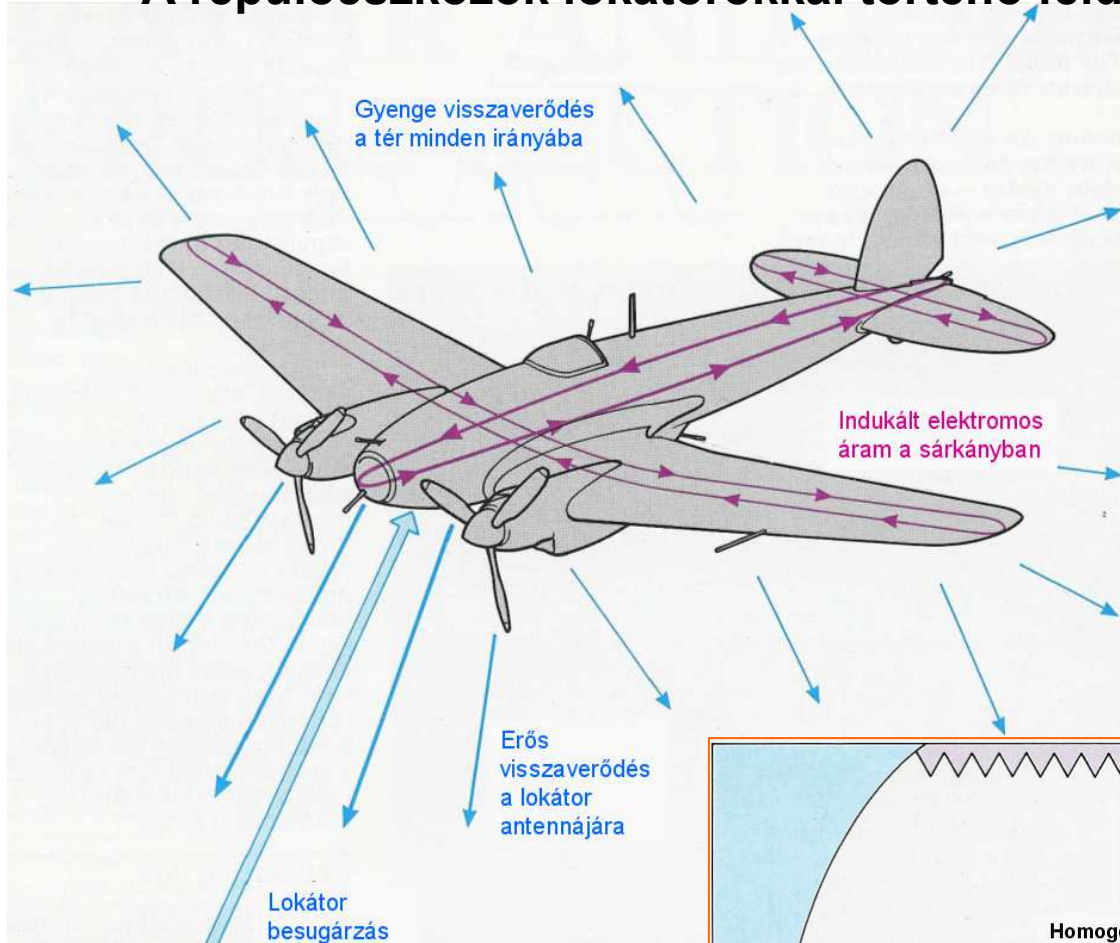


A **földfelszín közeli terepkövető repülés** hatékonyabban oltalmaz az ellenséges légvédelem földfelszínen telepített felderítő eszközeivel szemben szemben, de:

- a kitérő manőverek túlzottan megnövelhetik az emberre és gépre ható ( $n_y$ ) a **túlterhelést**;
- a műholdas és AWACS - földhátér üzemmódon is hatékony – felderítéssel szemben nem nyújt védelmet.

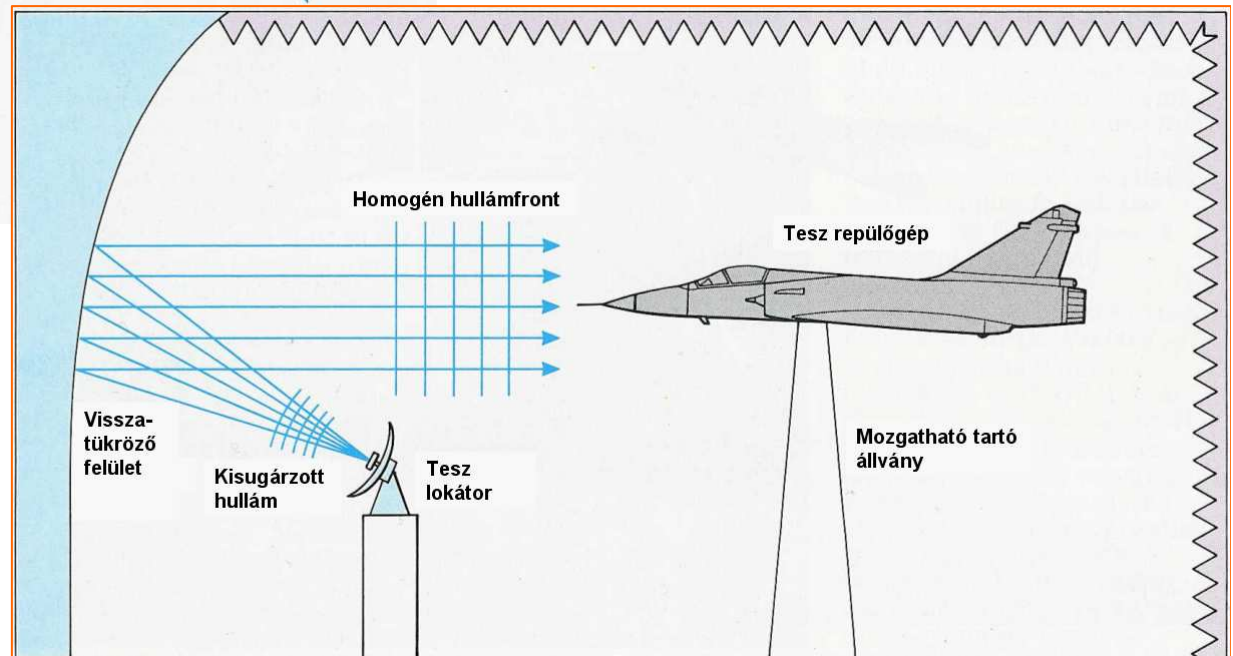
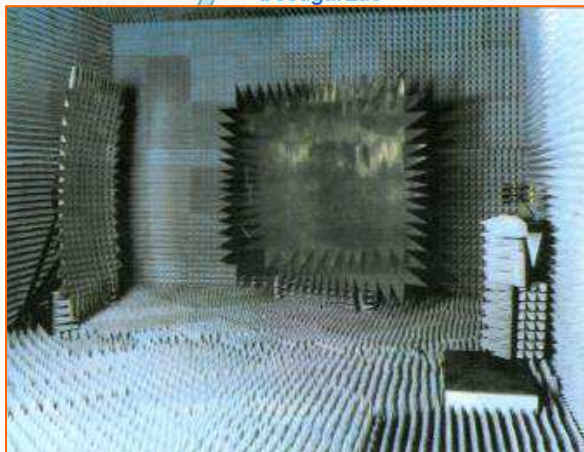


# A repülőeszközök lokátorokkal történő felderíthetőségének csökkentése



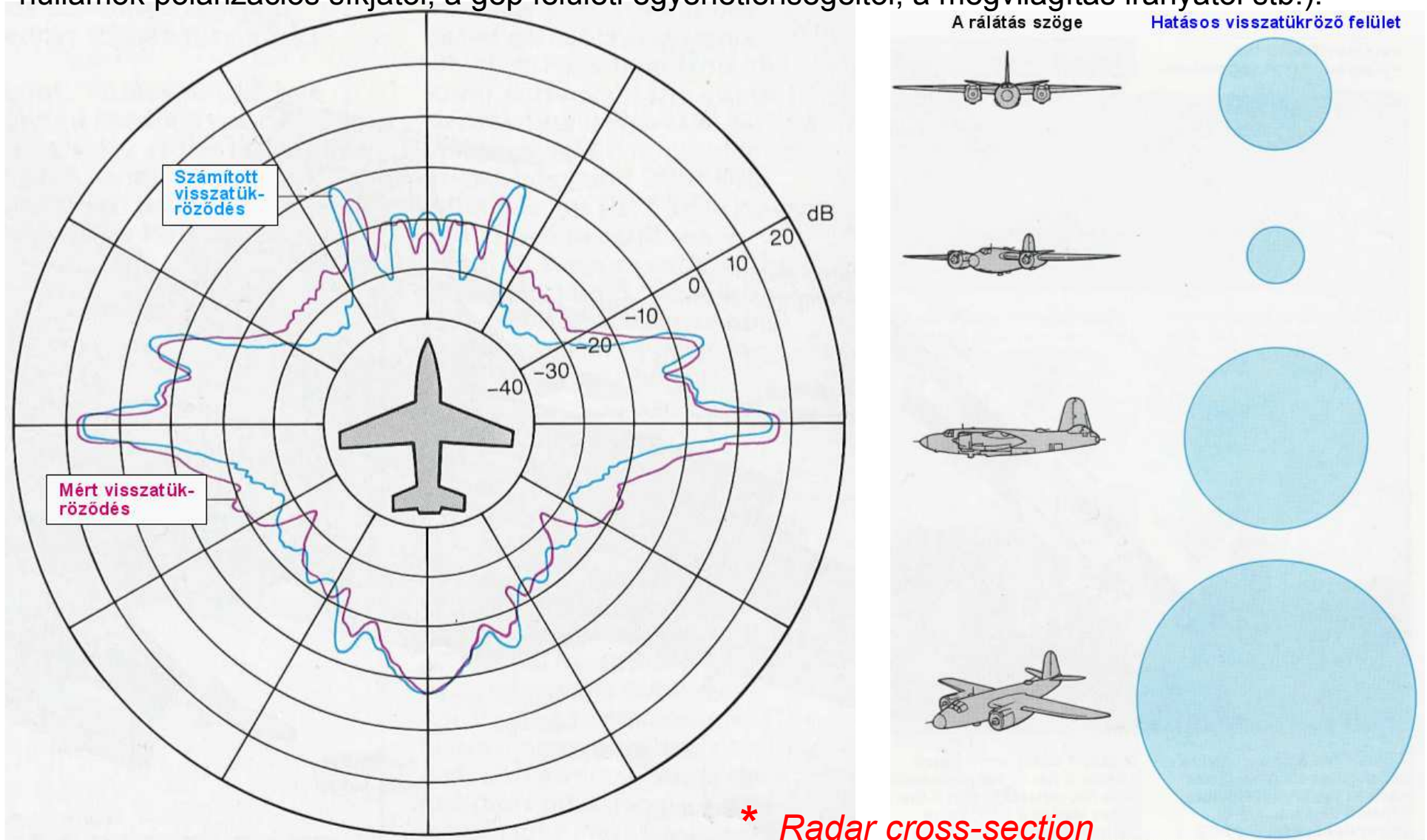
A különböző méretű és szerkezeti kialakítású repülőgépek rádiólokációs felderíthetőségének kísérleti és gyakorlati elemzése nyomán kiderült, hogy a legerősebb jelek:

- a sárkány nagy összefüggő sík fémfelületeiről (szárny, vezérsíkok, törzs, szívócsatornák külső és belső falai,
- a hajtómű kompresszorának első fokozata stb.);
- a külső függesztményekről verődnek vissza.



**A felderíthetőség a céltárgy hatásos visszatükröző keresztmetszetétől (RCS) \* függ**

Ez azzal a felülettel egyenlő, amelyen felfogott teljesítmény - ha azt vevőantennaként használnák - a céltárgy helyén izotróp-antennán kisugározva a rádiólokátor vevőantennánál ugyanakkora teljesítményt hoz létre, mint amekkorát a cél reflektál. (A dB-ben megadott reflektált jel nagysága arányos a hatásos keresztmetszettel, amely egyebek között függ még a céltárgy geometriai méreteitől, valamint ezek arányától az alkalmazott elektromágneses hullámok hosszához képest, a hullámok polarizációs síkjától, a gép felületi egyenetlenségeitől, a megvilágítás irányától stb.).



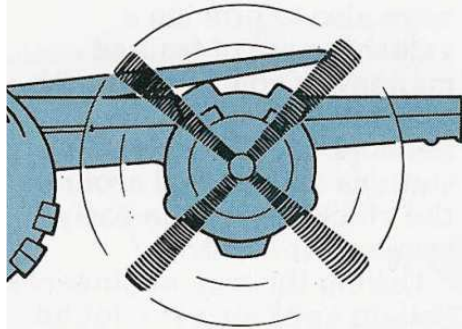
\* *Radar cross-section*



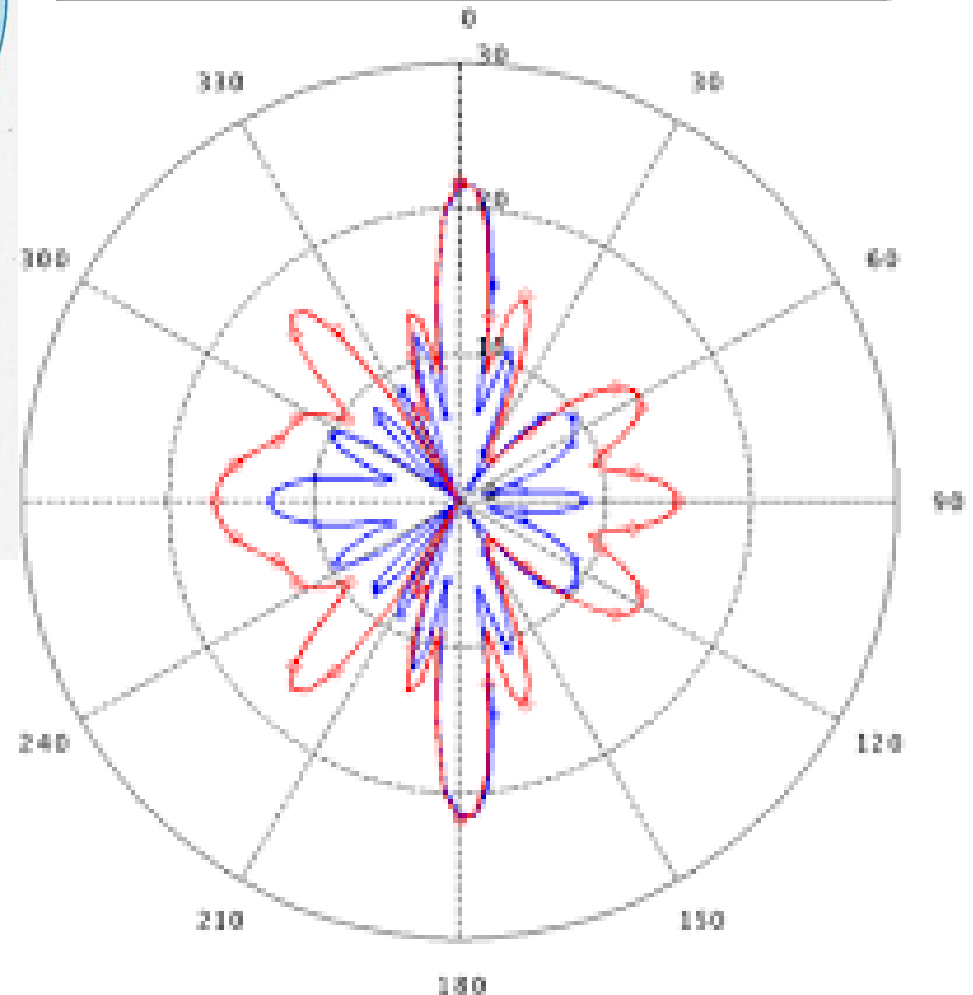
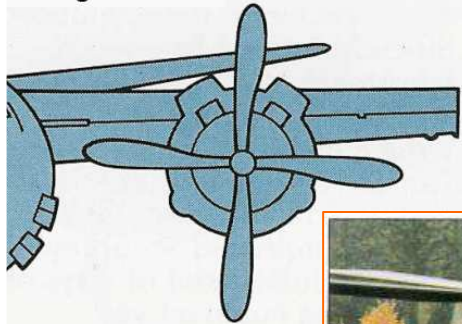
# A repülőeszközök sárkányának jellegzetes R-L visszatükröző elemei 1.

A működő (fém) légcsavarok, forgószárnyak, hajtómű kompresszorok első fokozatai, a sárkány nagy összefüggő sík és enyhén domborodó felületei kiemelkedő lokátor-hullám visszatükröző képességgel (RCS) rendelkeznek. Ezért itt a lopakodó képesség biztosítása, a visszatükröző felület csökkentése, vagy rejtése (pl. kompozitok alkalmazásával) meghatározó feladat.

Forgó légcsavar



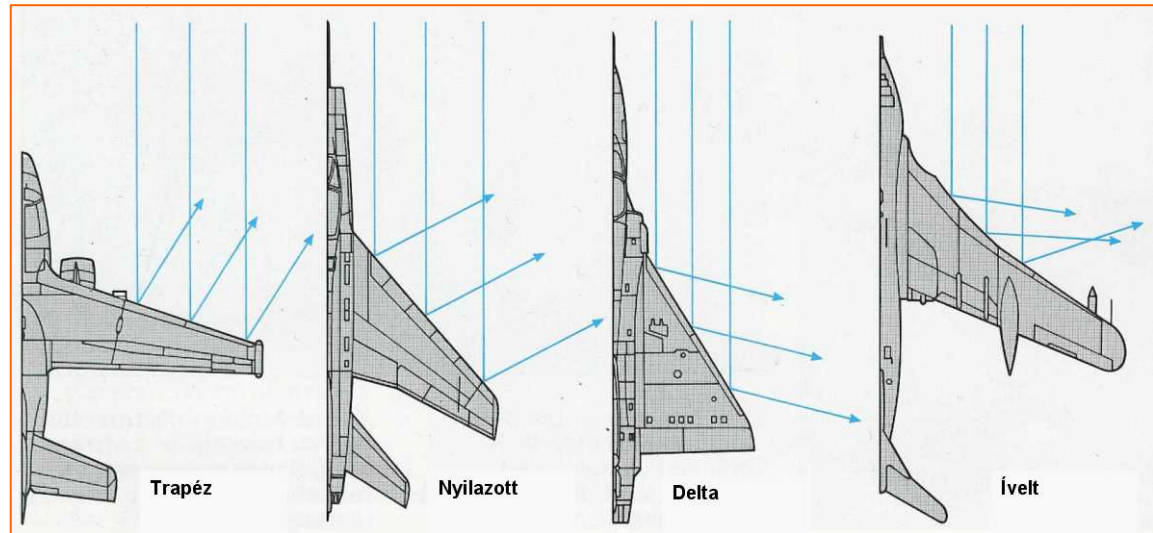
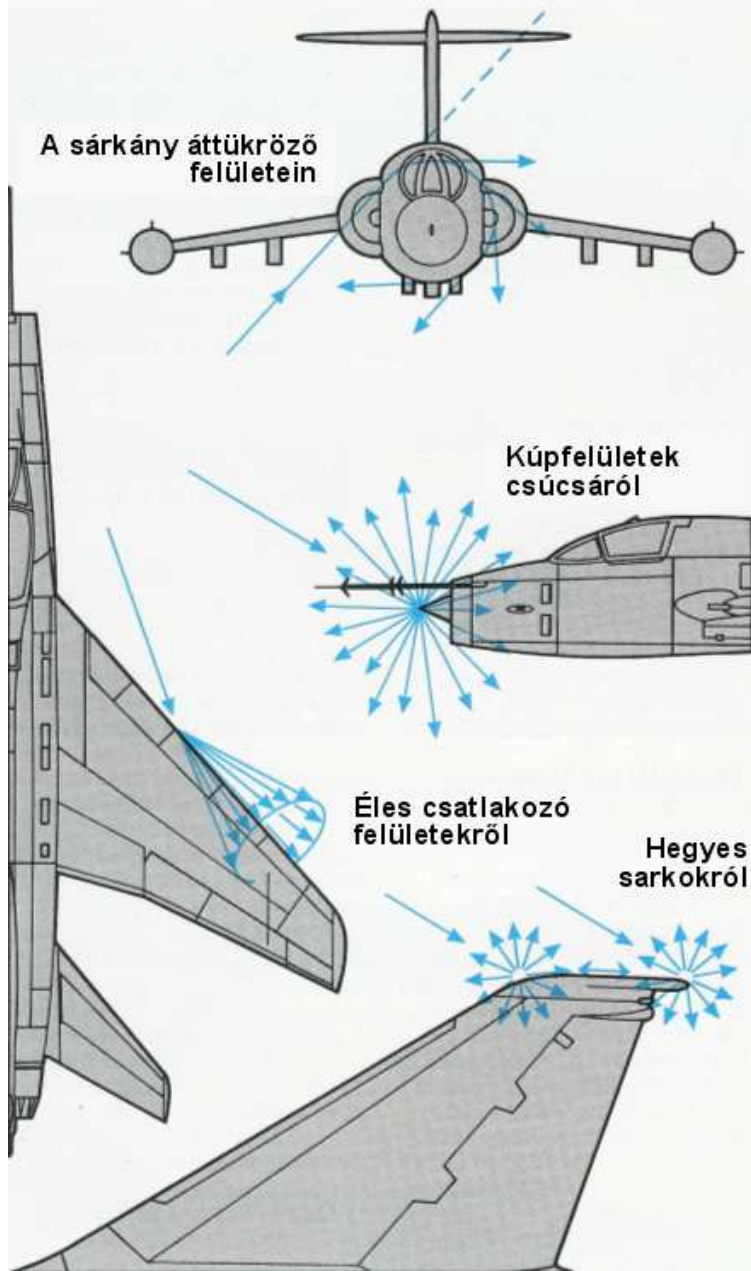
Álló légcsavar



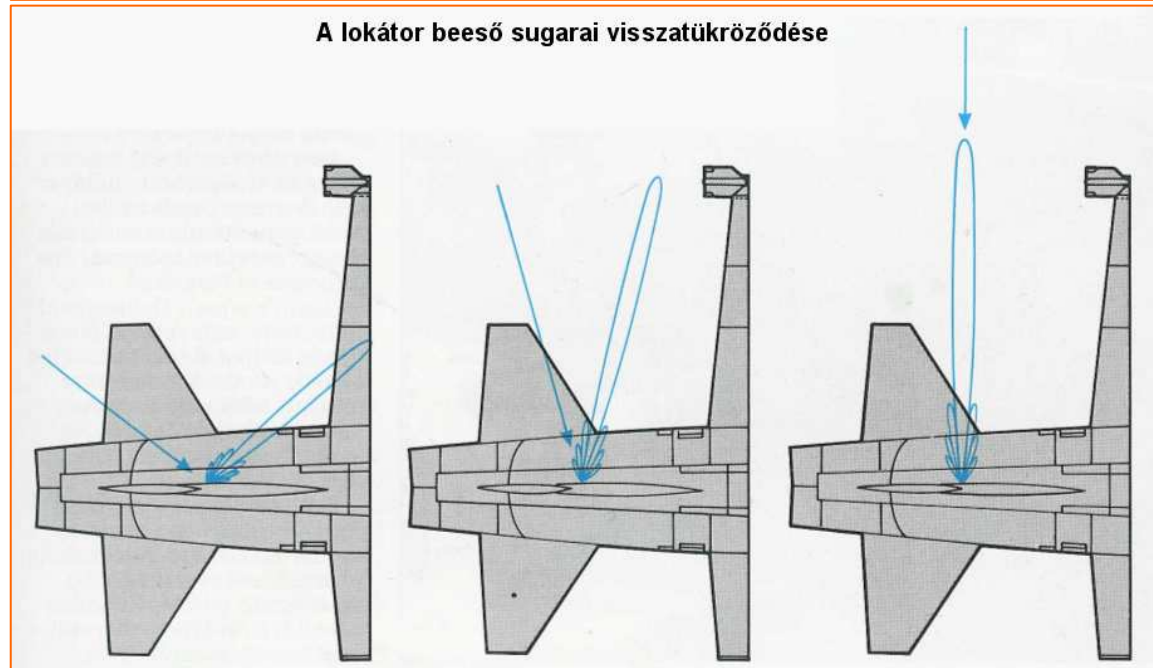
## A repülőeszközök sarkányának jellegzetes R-L visszatükröző elemei 2.

Hasonló árulkodó jelek az egyenes élek, lemezcsatlakozások, hegyes csúcsok, irányfelületek, külső függesztmények és azok tartói.

A lokátor beeső sugarai szétszóródnak



A lokátor beeső sugarai visszatükröződése

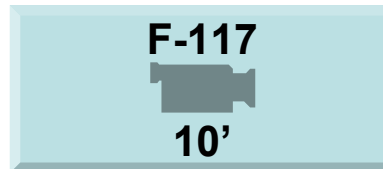
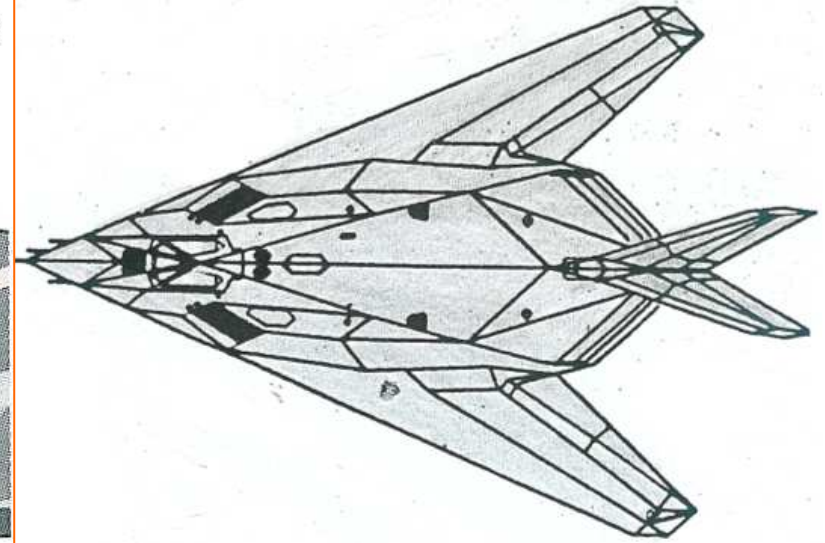
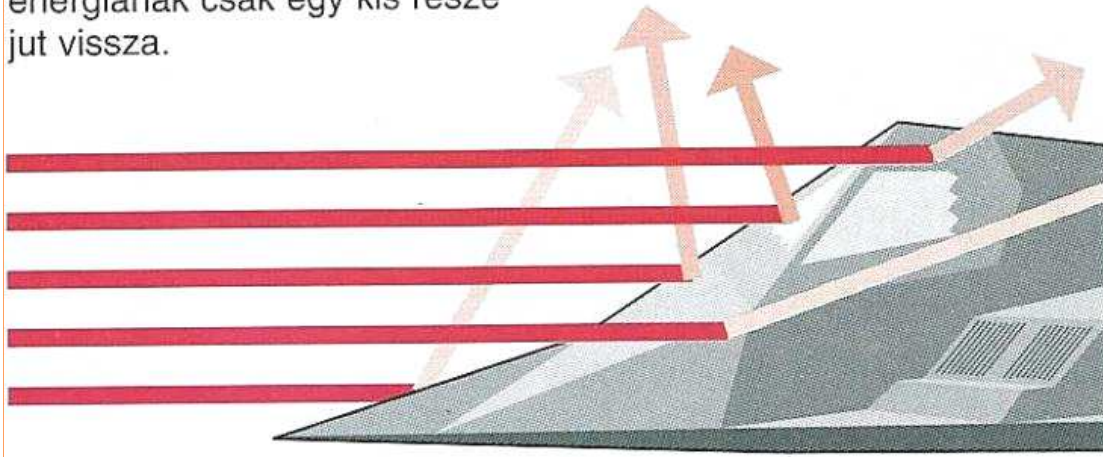




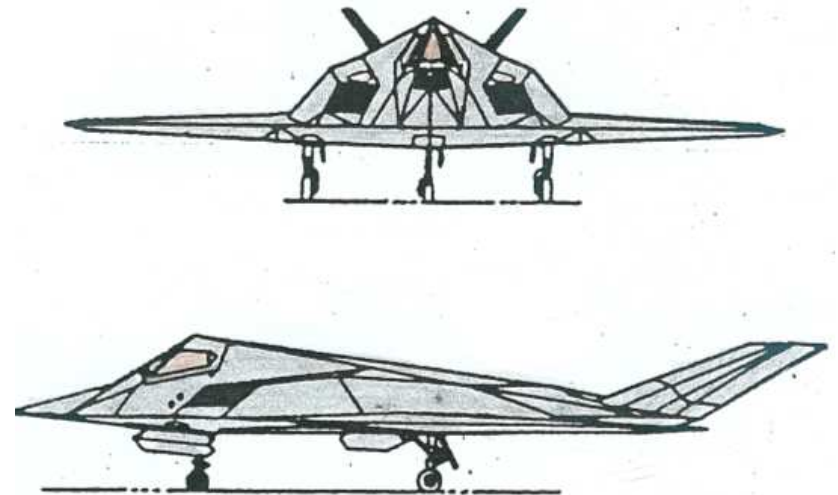
## A repülőeszközök lokátorokkal történő felderíthetőségének csökkentése: a beeső hullámok szétszórásával

A repülőgépről visszaverődő rádió-hullámok intenzitása nagymértékben csökkenthető, ha a sárkány külső felületét több, egymással szöget bezáró síklapból alakítják ki, amelyek a rájuk eső R-L hullámok nagy részét – döntően a világűr felé - szétszórják. (Ez utóbbira gyakorlati példaként a már megépített [F-117A repülőgép](#) szolgálhat.)

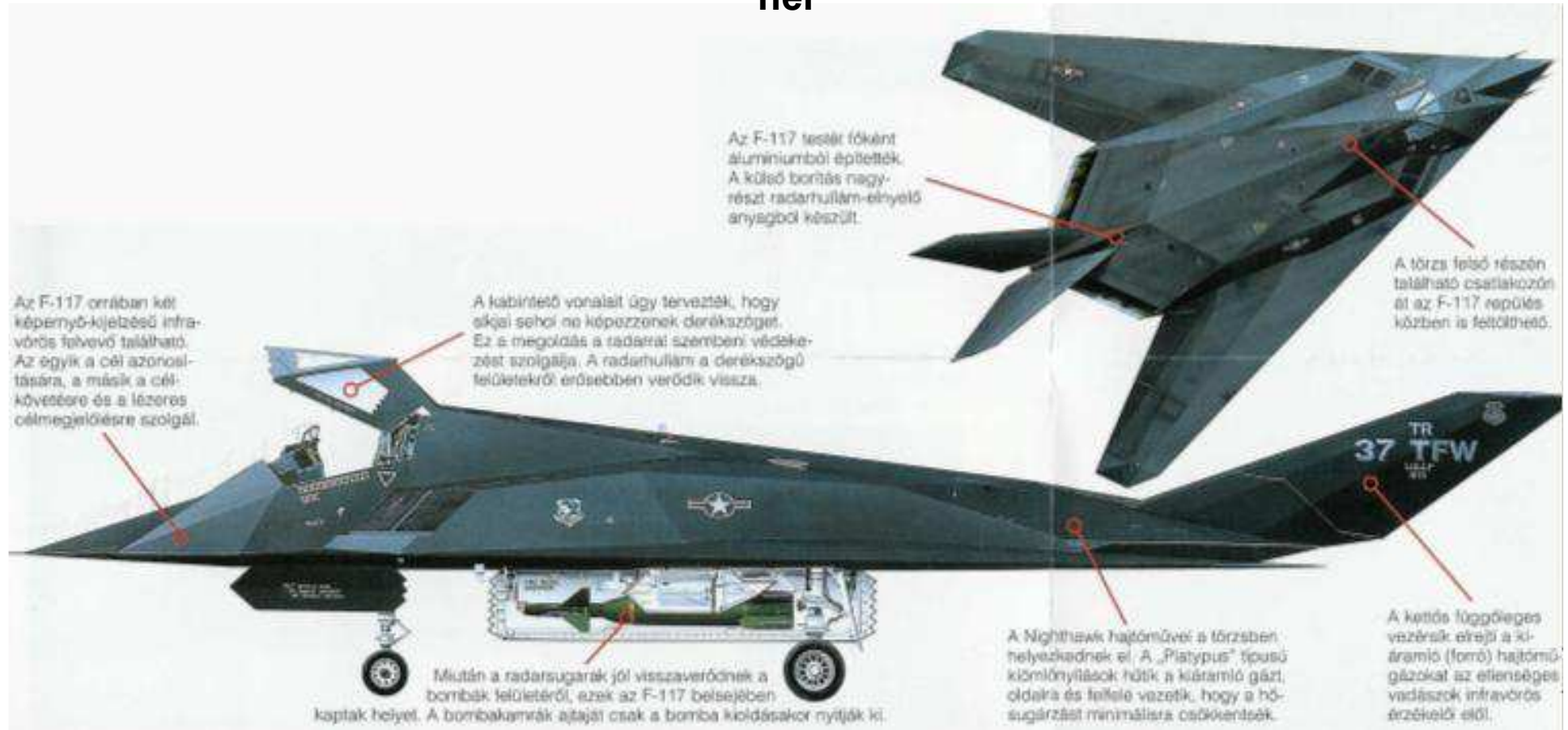
A tört felületekből kialakított burkolaton a ráirányuló radarhullámok különböző irányba szóródnak szét. Így a radarvevőre a besugárzott energiának csak egy kis része jut vissza.



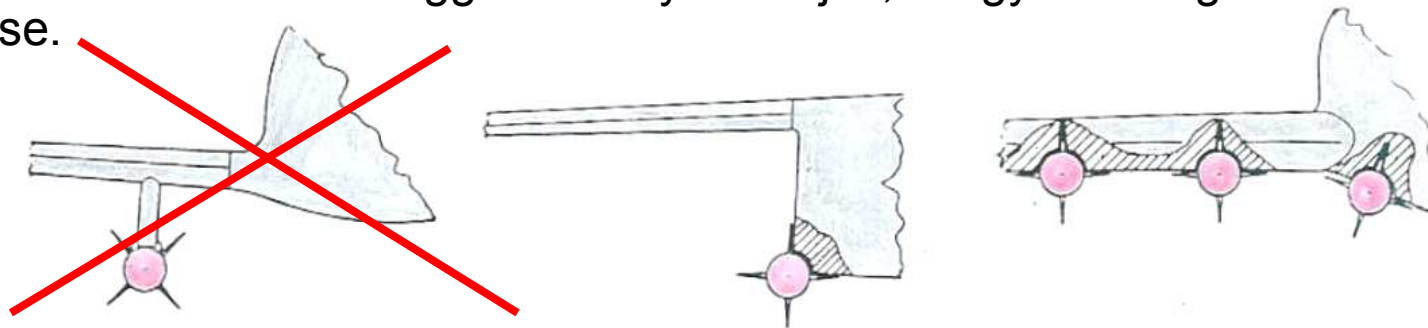
Az instabil repülőgép aerodinamikai és manőver-jellemzői gyengék, csak aktív [kormányvezérlő rendszerrel](#) alkalmazható!



# A repülőeszközök lokátorokkal történő felderíthetőségének csökkentése az F-117-nél



A repülőeszközök lokátorokkal történő felderíthetőségének csökkentésére elengedhetetlen a külső függesztmények teljes, vagy részleges törzsben történő elhelyezése.

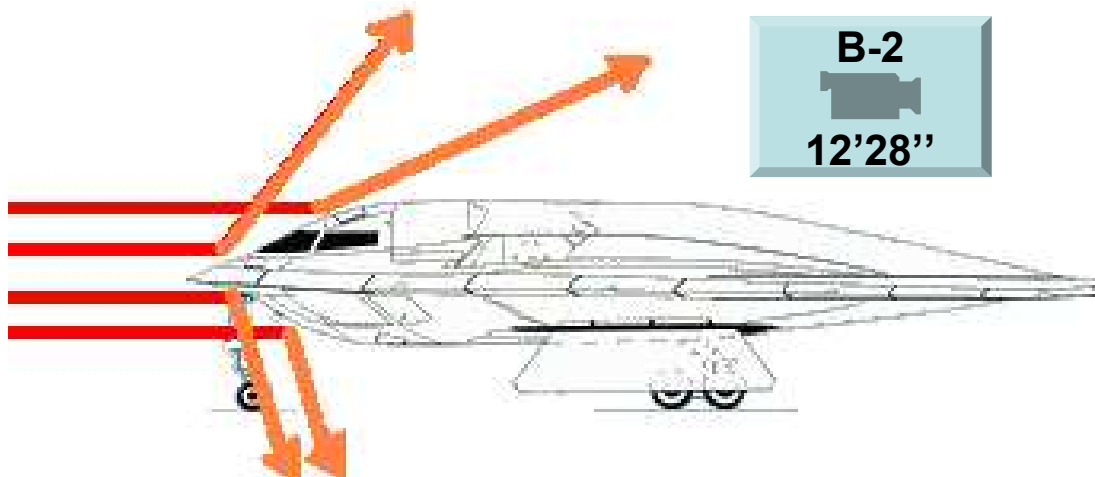
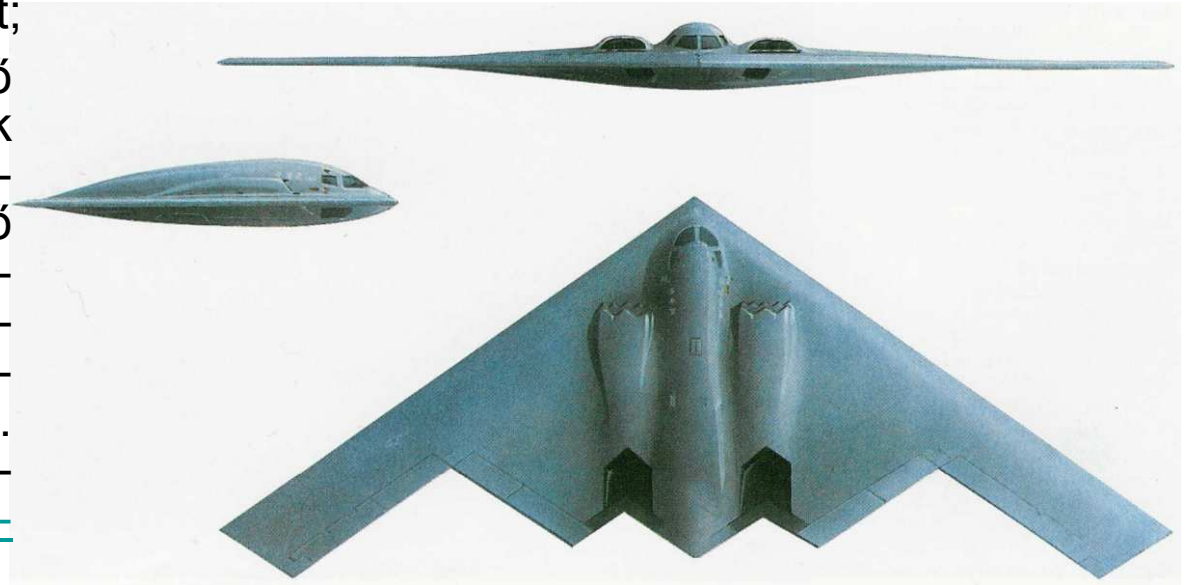




## A repülőeszközök lokátorokkal történő felderíthetőségének csökkentése: a visszatükröző felületek csökkentésével

Az F-117-essel nyert tervezési és üzemeltetési tapasztalatok felhasználásával, a számítógépes tervezés fejlődésével, új szerkezeti anyagok és technológiák megjelenésével lehetővé vált:

- ívelt felületek alkalmazásával is biztosítani a légi járműre eső lokátor hullámok kívánt irányú eltérítését, széttükrözését;
- a legnagyobb visszatükröző felület, a függőleges vezérsík eltávolításával tovább csökkenteni a határos visszatükröző felületet úgy, hogy annak stabilizáló és kormányzó funkcióját, - az egyébként instabil légi jármű - többi kormány szerv vette át (pl. B-2, 3'51"), a fedélzeti számítógép segítségével, aktív rendszerben irányítva.



## Elvetélt fejlesztések

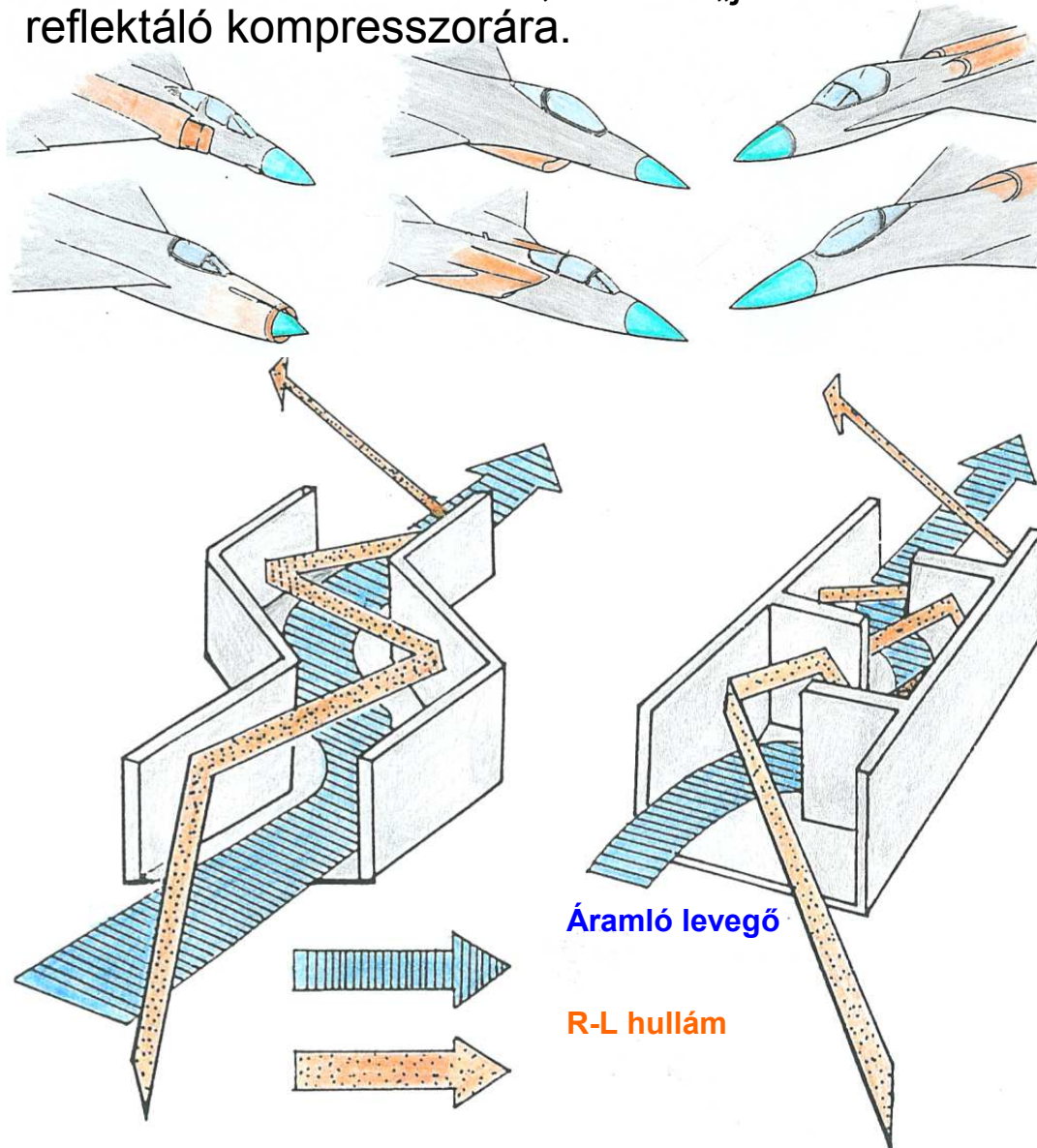
A STEALTH-technológia rendkívüli költségigényei miatt, a haditengerészet speciális igényei szerint kialakított lopakodó repülőgép fejlesztését már az előtervek elkészültét követően törölték.





## A repülőeszközök lokátorokkal történő felderíthetőségének csökkentése: a szívócsatorna célszerű elhelyezésével

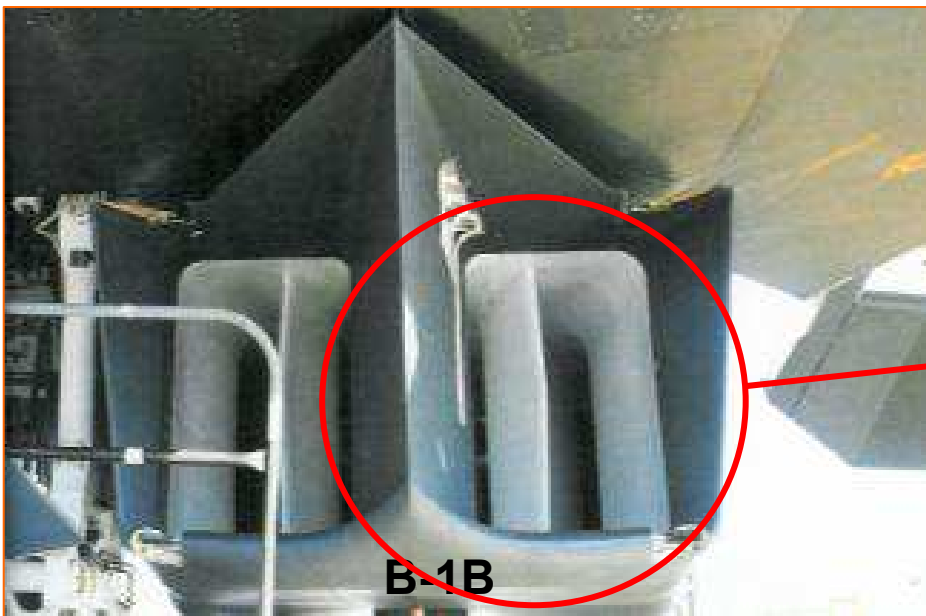
A STEALTH-technológia nem tesz lehetővé egyetlen aerodinamikailag kedvező tulajdonságokkal bíró szívócsatorna kialakítást sem, mivel azok belső falai, külön visszatükröző felületek, illetve „jó rálátást” biztosítanak a hajtómű ugyancsak erősen reflektáló kompresszorára.



A szívócsatorna lokátorhullám visszaverő képessége lényegesen kisebb lesz, ha azt a törzs felső részén helyezik el. Ezáltal azonban a szívócsatorna és a hajtómű gazdaságossága és megbízhatósága nagymértékben csökken. A kompresszor visszatükrözésének teljes megszüntetésére a szívócsatornába, az ábrán látható módon közbetét lemezeket helyezhetők el. A közbetét lemezek viszont  $M < 1$  tartományban drasztikusan csökkentik a szívócsatorna (hajtómű) hatásfokát,  $M > 1$  esetén pedig egyáltalán nem is alkalmazhatóak.

Az ilyen gépeknél - aerodinamikai okokból - csak a szívócsatorna néhányszori,  $20^\circ \div 40^\circ$ -os iránytörése engedhető meg. Ennek hatására, a belső falakon a beeső lokátor hullámok többször áttükröződnek, ami energiájuk csökkenését eredményezi.

## A repülőeszközök lokátorokkal történő felderíthetőségének csökkentése: a szívócsatorna célszerű kialakításával a B-1 bombázó repülőgépnél

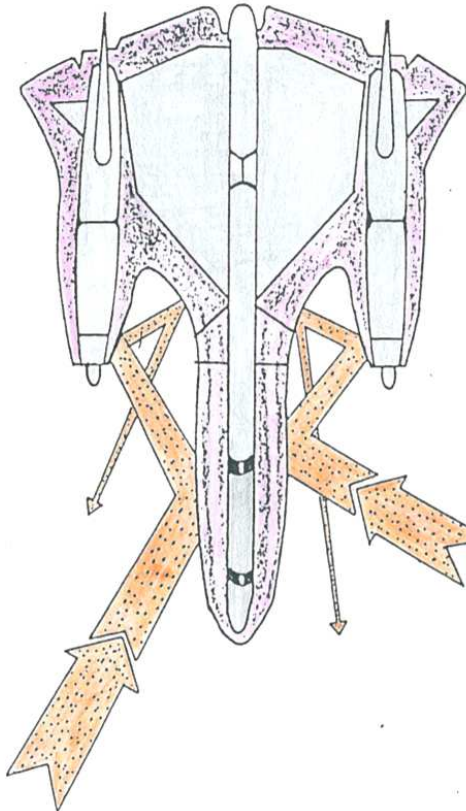


A B-1A bombázó repülőgép „B” módifkációjának kialakításánál megjelentek a stealth-követelmények. Ennek megfelelően a szívócsatorna is jelentősen átalakult

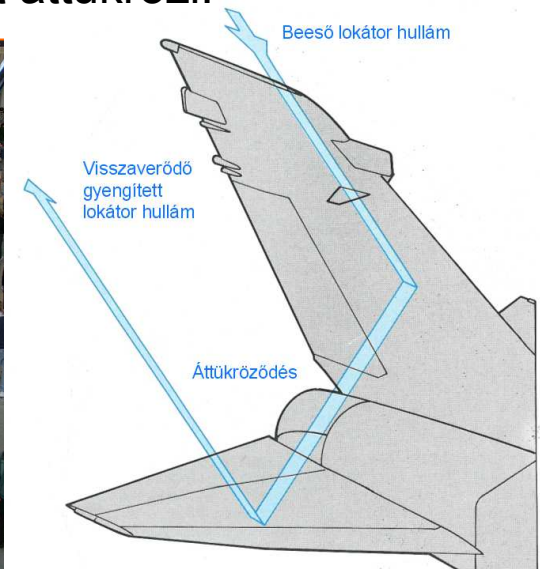
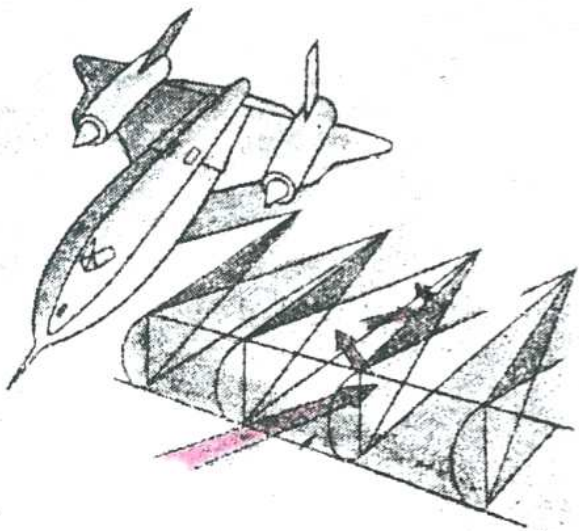




## A repülőeszközök lokátorokkal történő felderíthetőségének csökkentése: sárkányon belüli áttükrözéssel



Egyes konstrukcióknál nem lehet eltekinteni a szívócsatorna, hajtómű vagy külső függesztmények törzsön, szárnyon kívüli elhelyezésétől. Ilyenkor körültekintő meghatározást igényel a sárkány-elemek olyan optimális elrendezése, amelyekkel a gépet érő hullámok legnagyobb mértékű belső áttükrözése biztosítható. A visszatükrözési tulajdonságok tovább gyengülnek, amennyiben a rádióhullámokat átbocsátó áramvonalas borítólemezek alatt a sárkány fém teherviselő elemeinek (bordák) kialakításánál is **belső áttükrözést biztosító felületeket** képeznek ki. A sárkány külső, sima felületet biztosító védő-festéke alatti **mesterségesen érdesített fémfelületek**, illetve a **festékbe kevert mikroszkopikus méretű acélpór** olyan egymással szöget bezáró, számtalan mikroméretű síklapként működik amely a beeső sugarakat a tér minden irányába szétszórja, illetve egymás között áttükrözi.



## A sárkány visszatükröző képességének megszüntetése (gyengítése) speciális anyagok, védőbevonatok alkalmazásával

A korszerű rádiólokátorok általában az  $(1 \div 18) \cdot 10^9$  Hz frekvenciatartományban üzemelnek, így a repülőgép szerkezeti elemeit, illetve az alkalmazott speciális anyagokat e frekvenciatartományba tartozó kisugárzás elnyelésére kell optimalizálni. A lokátor-technika fejlődése és az üzemi frekvenciatartomány kiszélesedése szükségessé teszi az elnyelési tartomány kibővítését is. Ennek eredményeként az utóbbi években gyors fejlődésnek indult a **rádióhullámokat elnyelő anyagok** gyártási technológiája.

A repülőgép rádiólokátor hullámokat átbocsátó-, illetve a kompozitok visszatükröző képessége anyaguk fizikai jellemzőitől, mindenekelőtt a dielektromos **permittivitásuktól** ( $\epsilon = \epsilon' + j\epsilon''$ ) és mágneses **permeabilitásuktól** ( $\mu$ ) valamint az **elektromos karakterisztikáiktól** függ (utóbbihoz értve az R-L hullámok elhajlási szögét is). További fontos jellemzők a dielektromos állandó és a veszteség szögének tangense ( $\text{tg}\delta = \epsilon''/\epsilon'$ ), amely az alkalmazott kompozit szálának és mátrixának anyagától függ. A mágneses kompozitok elnyelő-képességét a mágneses hiszterézis fajtája határozza meg, ami akkor figyelhető meg, amikor a mátrixba karbid vagy ferrit anyagot kevernek.

Ennek megfelelően az R-L hullámokat elnyelő anyagok kétfélék, **dielektromosak** és **mágnesesek** lehetnek. A **dielektromos anyagok** által elnyelt (disszipált) teljesítmény ( $P_d$ ), a kompozitok frekvencia-függő relatív permittivitásával arányos:

$$P_d = 56,14 \cdot 10^{-14} \cdot E^2 \cdot f \cdot \epsilon'' \quad [\text{W}]$$

ahol,

E - elektromos térerő [V/cm];

f - frekvencia [Hz];

$\epsilon'$  - a dielektromos állandó valós része;

$\epsilon''$  - a dielektromos állandó képzetes része.

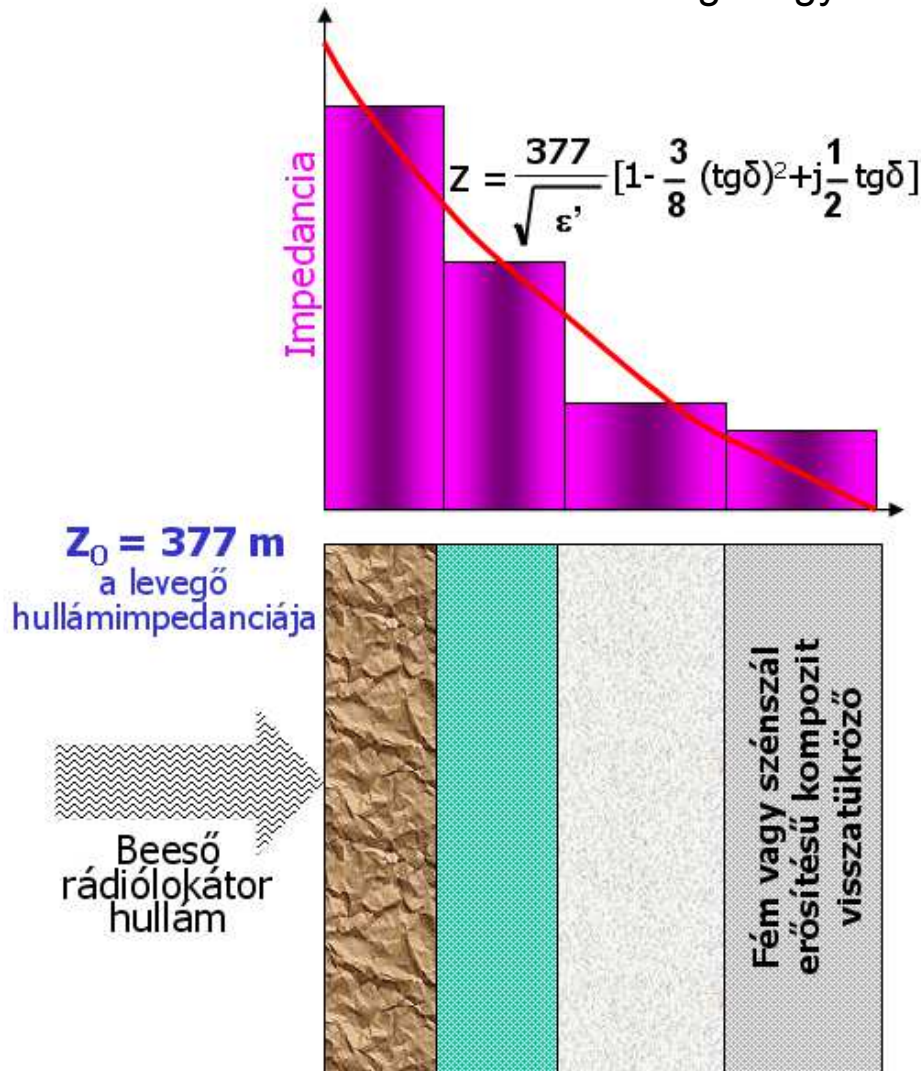
**Dielektrikumok lehetnek** például szén-, grafit- és fémporok. Az egyik legkorszerűbbnek számító „szénrel erősített szénlemez” kompozit nagy hőterhelésnek kitett sárkányelemek bevonására is alkalmas. A termikus eljárással speciális matricába ágyazott szénlemezeket tartalmazó anyagot külső szénréteggel is bevonják. Így a rádió-hullámokat elnyelő, hőálló védőfelületet nyernek.



## A sárkány visszatükröző képességének megszüntetése (gyengítése) speciális anyagok, védőbevonatok alkalmazásával

A problémák részbeni kiküszöbölésére a kezdeti időszakban egyetlen homogén lapot (CD) alkalmaztak. Ez lehet akár dielektrikum, akár mágneses, szendvics töltőanyagként hajlékony polimer. A réteg dielektromos vagy mágneses permeabilitásának növelése megnöveli a visszatükrözési mutatót úgy, hogy az SS-hez képest jelentősen csökken a vastagság is.

A lemez homlokfelületét érő energia egy része a fém vagy széntartalmú kompozit visszatükröző felület felé haladva is elnyelődik. A kiegészítő elnyelés lényege, hogy a visszatükröző felületről visszaverődő hullámrész a lemezen keresztül haladva hátulról eléri az ekran felületet, ekkorra 180°-os fázis-késésbe kerül az ugyanezen pontról kívülről a szabadba visszaverődő hullámrészhez képest, aminek eredményeként nem lép ki energia a rendszerből. A CD vastagsága negyede lehet az SS-ének. Több CD-rétegből kialakított gradiens-elnyelő látható az ábrán.



Minden réteg vezetőképessége különböző, az impedanciájuk a külsőtől a belső visszatükröző felületig exponenciálisan csökken maximálisról a minimális értékig. Az elektromos karakterisztikák rétegenkénti változása a töltésmennyiség bevitelére általánosan optimalizálva, hogy elérjék a kívánt elnyelési értéket. Amennyiben a töltéskonzentráció nagy, az elektromos vezetőképesség is megnő, ami hatékony elnyelést biztosít az anyag belsejében.

$$(\sqrt{\mu \cdot \epsilon})$$

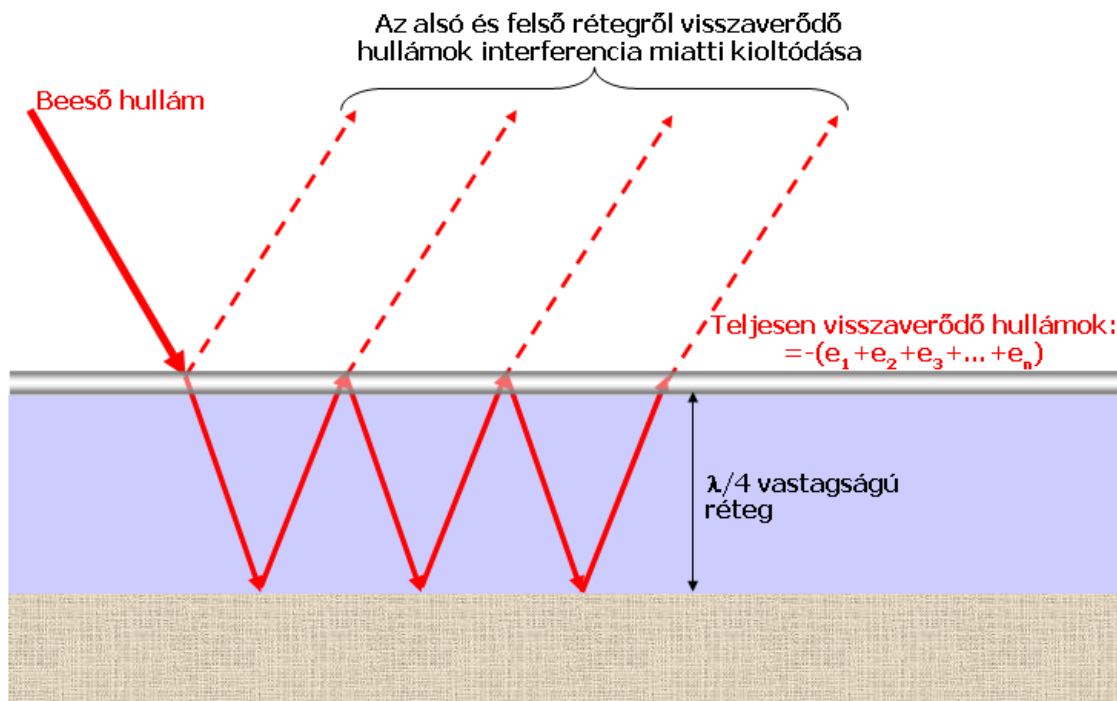
$$(1/\sqrt{\mu \cdot \epsilon} - \text{vel arányosan})$$

## A sárkány visszatükröző képességének megszüntetése (gyengítése) speciális anyagok, védőbevonatok alkalmazásával

A mikrohullámok elnyelésének elve a következő. A lokátor először szabad térben sugároz ki, melynek hullám impedanciája  $Z_0$ , majd a hullám beesik a  $Z_1$  impedanciájú dielektromos vagy mágneses anyag felületére, ahonnan a hullámok egy része  $R$  reflexiók tényezővel visszaverődik.

Ismert **rezonáns-elnyelőt** mint például a Salisbury Screen (SS) már a '40-es években felfedezték, de csak sok évvel később szabadalmaztatták. Ebben a szendvics szerkezetben a visszatükröző felülettől a beeső hullámhossz egynegyedének ( $\lambda/4$ ) megfelelő távolságra vékony ellenállás-réteget (ekránt) helyeznek el. Általában az ekran felületi ellenállásának impedanciája megközelíti a külső tér impedanciáját, ezáltal minimális lesz az elektromágneses anyagról a visszaverődés.

Az ekránra érő sugárzás egy része közvetlenül visszaverődik ( $R$ ), további része a felületen megtörve a fémrétegről tükröződik vissza.



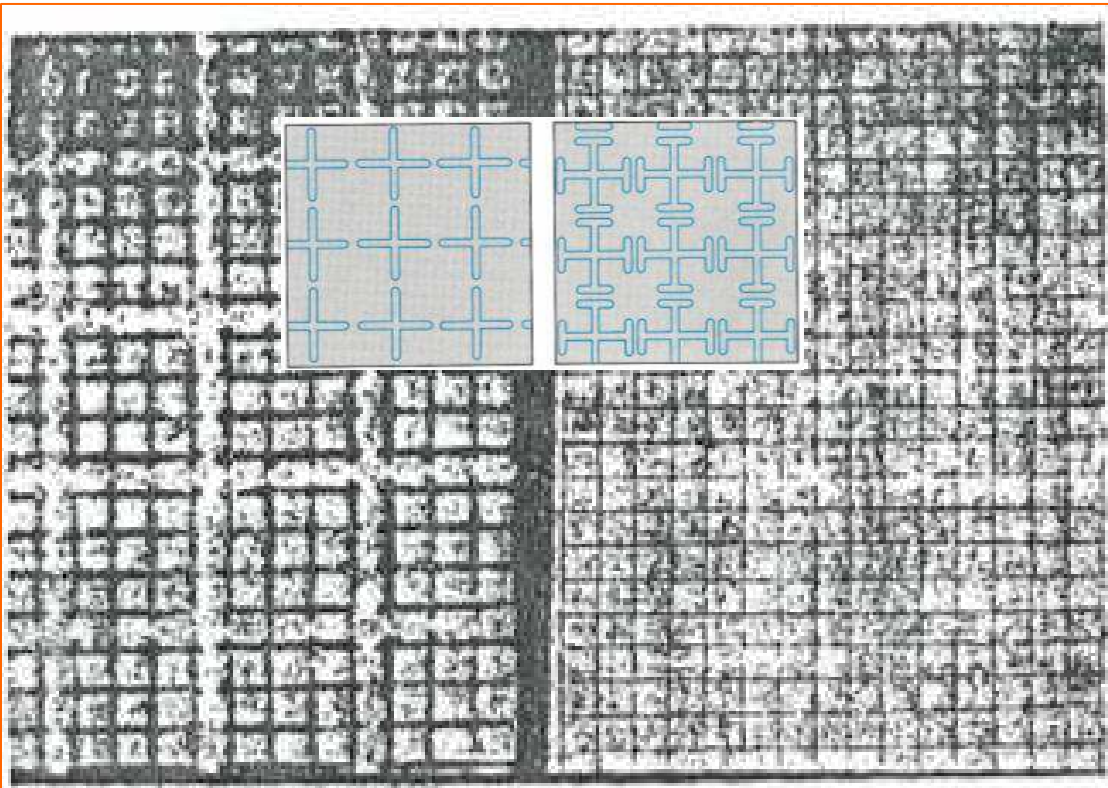
Ez utóbbi hullám egy része az ekránon áthaladva kilép onnan ( $\varepsilon_1$ ), további része visszaverődik a fémfelületre és onnan újra visszatükröződve a folyamat tovább ismétlődik. Mivel az ekran és a fémfelület távolsága  $\lambda/4$ , az  $\varepsilon_1$  hullám  $180^\circ$ -os fáziskésésbe kerül az  $R$  hullámhoz képest, interferálnak és kioltják egymást. Ez az effektus azonos azzal, ami az optikai lencse tükröződés-gátló felületén történik. Az SS rezonáns-elnyelő a beeső jelet szűk frekvenciatartományban 30 dB-re csökkenti (99,9 %-os elnyelés!). E megoldás hátrányai, hogy az anyag meglehetősen vastag (különösen alacsony frekvenciák ellen alkalmazva), nem hajlékony, előállítási költségei magasak.



## A sárkány visszatükröző képességének megszüntetése (gyengítése) speciális anyagok, védőbevonatok alkalmazásával

A **raszteres sugárzáselnyelő (PD)** olyan többrétegű dielektromos bevonat, amelyet fémek vagy szilícium (fémkerámia) gőzeinek kicsapódásával állítanak elő, felületére a rádiólokációs sugarakat gyengítő, négyzethálós mintázatot maratnak. Az ilyen bevonat hasonló a dikroikus antennák felületéhez, amelyek a hullámhossztól függően egy-, vagy több frekvenciát visszavernek, míg a többit átbocsátják.

A raszteres bevonatoknak induktivitásuk és kapacitásuk van, értékük a hálós mintázat nagyságával, geometriai méreteivel, a mintázott alapelemek periodicitásával, a bevonat elektromos sajátosságaival (dielektromos állandó és a veszteség szögének tangense) szabályozható. A raszteres mintázat mérete - amelyet rendszerint meghatározott frekvenciához terveznek - kisebb, mint a hullámhossz. Anyagául általában poliamidot alkalmaznak, a következő előnyök miatt:

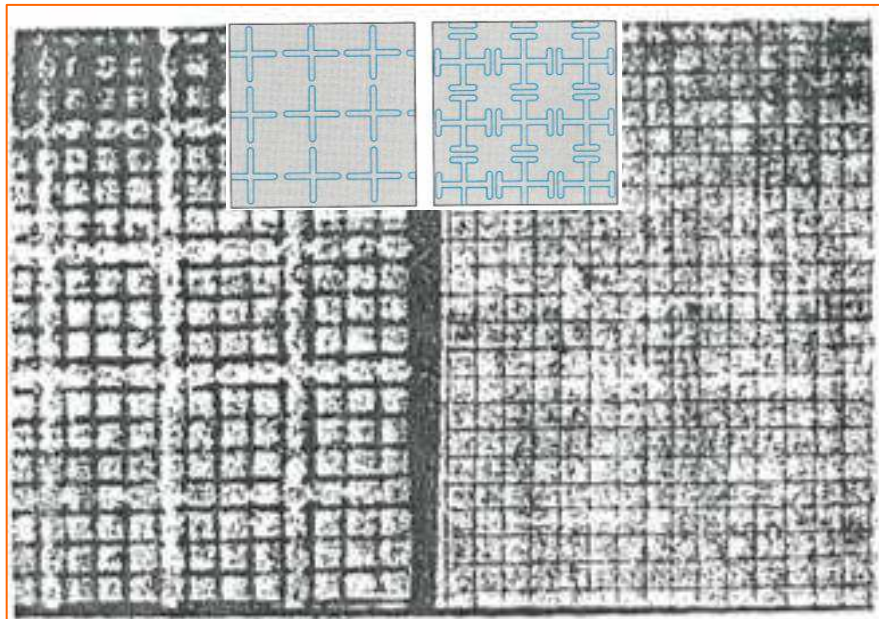


- könnyű rá fémtartalmú bevonatot felvinni, illetve a raszter-mintázatot kimaradni;
- kötőanyagként - a jó termikus paraméterekkel és dielektromos sajátosságokkal bíró epoxi-gyanta is alkalmazható;
- vastagsága kicsi:  $(8,5 \div 127) \cdot 10^{-6} \text{ m}$

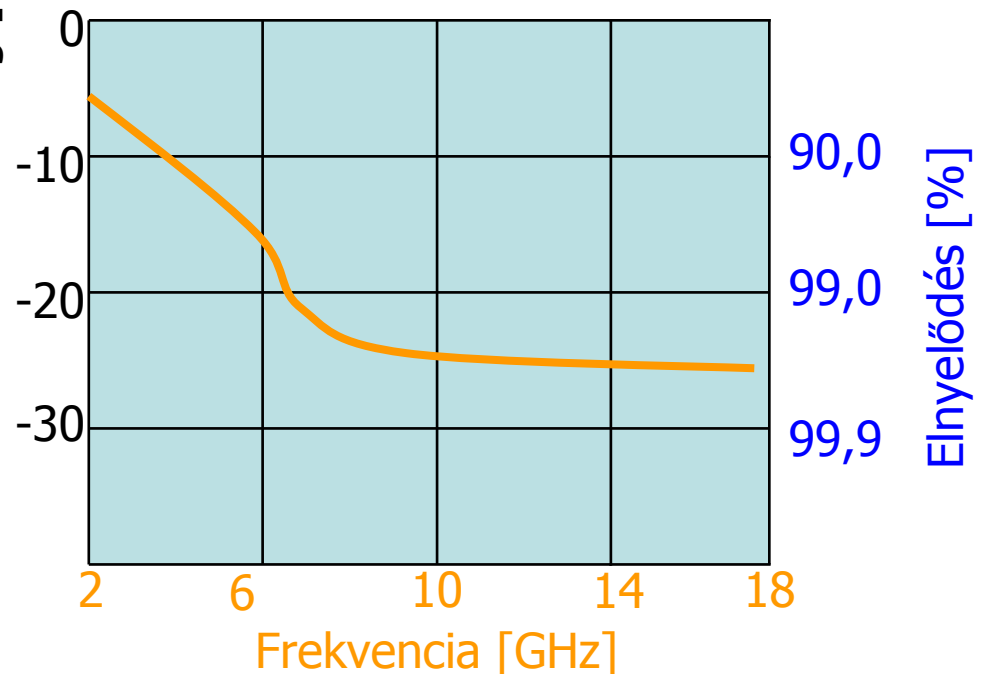
## A sárkány visszatükröző képességének megszüntetése (gyengítése) speciális anyagok, védőbevonatok alkalmazásával

A vékony sugárzáselnyelő bevonat - nagyszámú (i), egy-egy szűk hullámsáv átbocsátására alkalmas, egymástól a hullámhosszak negyedének ( $\lambda_i/4$ ) megfelelő távolságokra elhelyezett négyzetrácsok kombinációjával - csak meghatározott frekvencia feletti, viszonylag széles spektrumban használható. Minden réteg különböző sajátosságai és elektromos jellemzői az elnyelő teljes vastagsága mentén változnak. A rétegeket egymástól és a visszatükröző felülettől fenoplasztból vagy plasztikból készült, méhsejt szerkezetű töltőanyaggal választják el. Az ábrán egy ilyen, széles spektrumban működő sugárzáselnyelő, méhsejt szerkezetű töltőanyagának paraméterváltozása látható.

**Megjegyzés:** A töltőanyag vastagsága 16 mm, anyagsűrűsége 32 kg/m<sup>3</sup>, egyetlen méhsejt átmérője 6 mm.



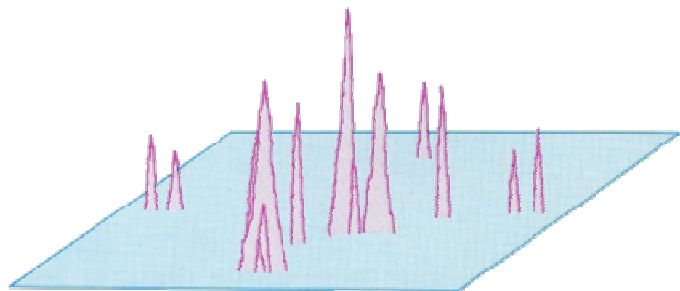
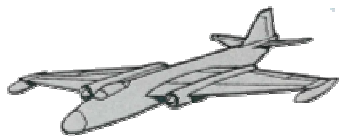
Visszaverődési veszteség [dB]





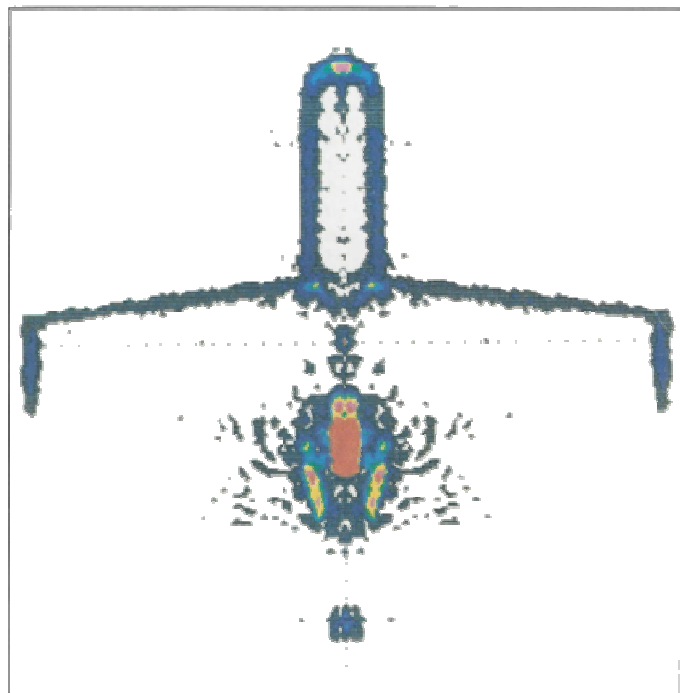
## A sárkány visszatükröző képességének megszüntetése (gyengítése) speciáli anyagok, védőbevonatok alkalmazásával

A vékony ellenállás réteggel borított elektromágneses hullámelnyelő másik fajtája az úgynevezett **R-Card**. Az ilyen (10-10 m vastagságú, arany, réz, nikkel vagy szilícium) bevonatot vákuumban, vékony poliamid rétegre vagy üvegszál erősítésű kompozitanyagra hordják fel. Az R-Card típusú sugárzás elnyelő képessége - vastagságától és szerkezeti kialakításától függően - különbözőképpen (másod-, harmad-



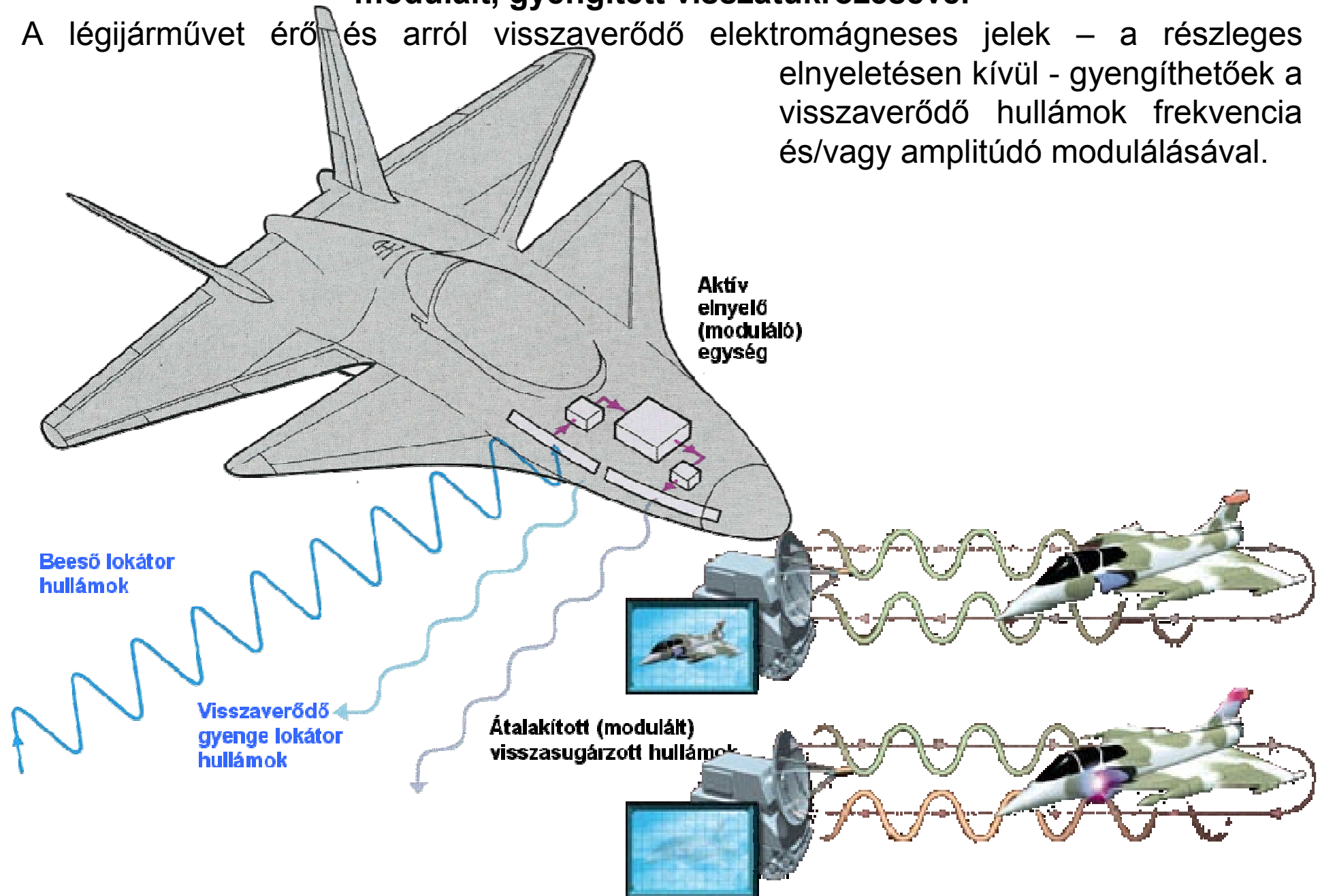
fokú parabola, exponenciálisan, logaritmikusan) változik.

A sugárzást elnyelő anyagok egyike az ún. **ATRSBS-bevonat** (**A**nion **T**raverse **R**eduction of **S**alt on **B**ase **S**chiff). (Alkalmazása nem katonai, hanem orvosi, szemészeti kutatások adaptációjának köszönhető!) A Schiff-bázisú sók csoportjába tartozó, bonyolult vegyület szénláncához ún. perklorát ionok kapcsolódnak. A három oxigén és egy klór-atomból felépülő ionok elektrosztatikus kötése annyira labilis, hogy akár már egyetlen fényfoton becsapódásának hatására is felbomlik. Ennek eredményeként csekély mennyiségű hőenergia szabadul fel, és terjed szét, majd a perklorát ion visszakapcsolódik a szénlánchoz. A fény adszorbeálódása és a visszarendeződés a másodperc tört része alatt reverzibilisen, többször is végbemehet.



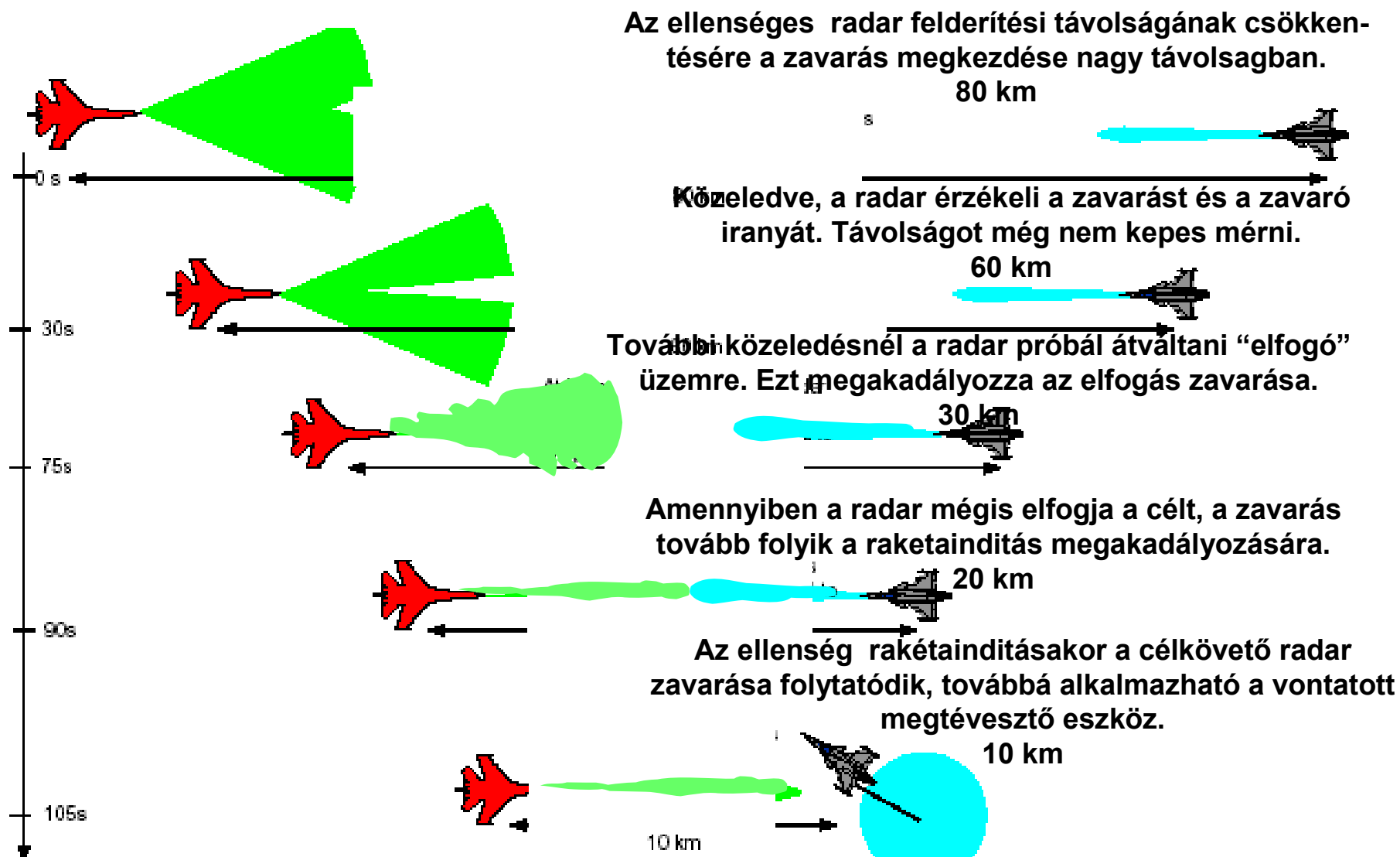
# A sárkány visszatükröző képességének megszüntetése (gyengítése) aktív, modulált, gyengített visszatükrözésével

A légi járművet érő és arról visszaverődő elektromágneses jelek – a részleges elnyeletésen kívül - gyengíthetők a visszaverődő hullámok frekvencia és/vagy amplitúdó modulálásával.



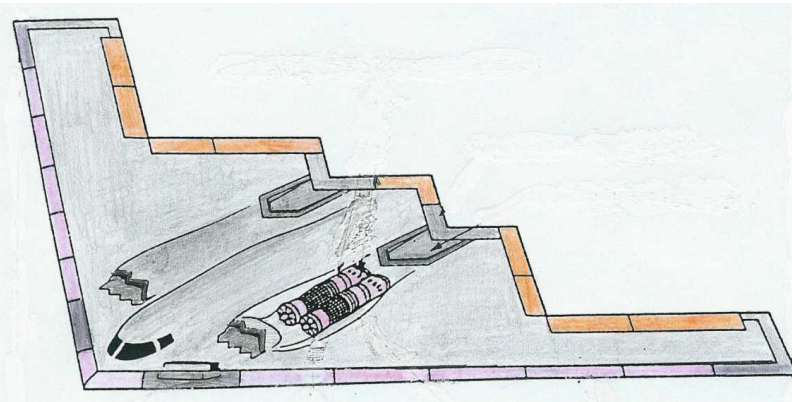


# Példa a radar-zavarás párbajra



## A sárkány visszatükröző képességének megszüntetése a környező levegő ionizálásával és/vagy plazma létrehozásával

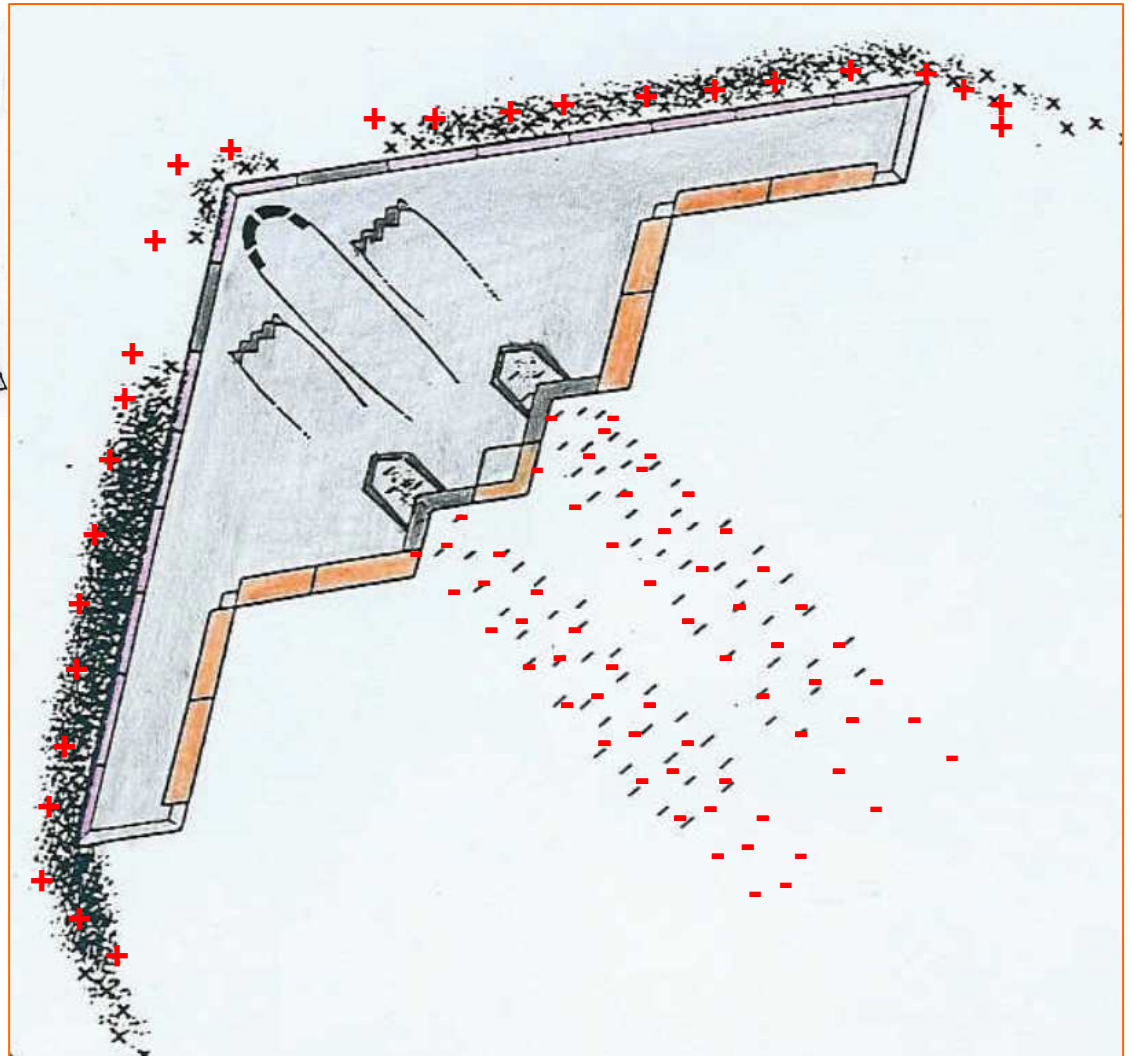
A B-2 repülőgép hajtóműveinek teljesítmény adatai, a szárnyprofil és belépőél geometriai kialakítása ismeretében, nehezen értelmezhető a közölt utazó repülési sebessége. Az utóbbi nagyságának értelmezésére a nemzetközi szaksajtó felvetette a légellenállás levegő ionizációjával és/vagy plazmaállapotba hozásával történő drasztikus csökkentésének lehetőségét.



E megoldás járulékosan csökkenti a repülőgép előtt kialakuló hullámfrontot, ezáltal annak légellenállását is.

$$K = F_y / F_x = c_y / c_x$$

Plazma generátor  
(orosz)  
2'10''

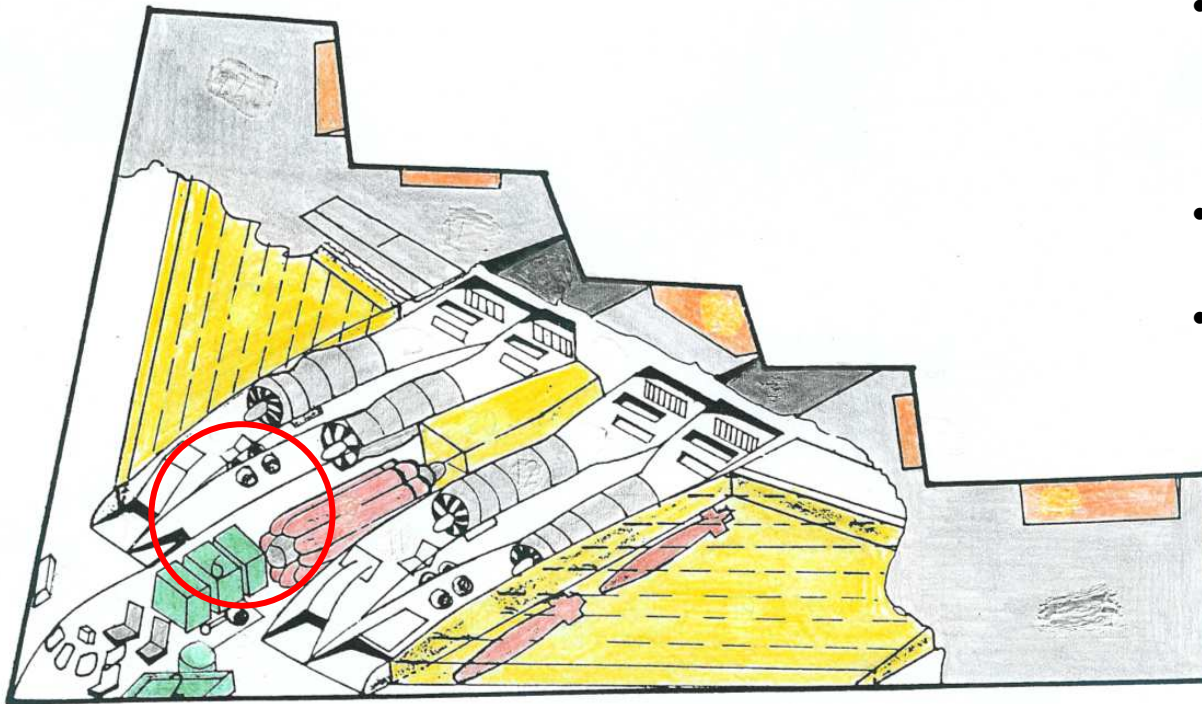




## A repülőeszköz saját elektromos kisugárzásának csökkentése 1.

A repülőeszközök valamennyi bekapcsolt elektromos berendezése, vezetéke működés közben mérhetően kisugároz. Kedvezőtlen, hogy többségüket harctevékenység közben, pontosan az ellenség aktív felderítésének idején kell üzembe helyezni. Ezenkívül a rádió és lokációs berendezések antennái kikapcsolva is jelentős sugárzásmennyiséget képesek visszaverni. E berendezések felderíthetőségének csökkentésére (megszüntetésére) az alábbi főbb módszerek kínálóznak:

- a jelenleg használatos berendezések cseréje kisebb kisugárzásúra, vagy más elven működőre (pl. Doppler-elven működő helyett lézer);
- a kisugárzást végző berendezések lehető legrövidebb idejű, legalacsonyabb energiaszintű működtetése és kisugárzását át nem bocsátó konténerekbe történő elhelyezése a sárkányon belül;

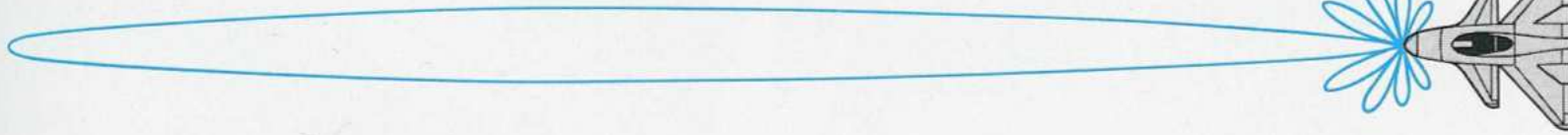


- többségében passzív (vevő üzemi) navigációs, rávezető és parancsadó rendszerek használata;
- műholdas és asztronavigációs rendszerek alkalmazása;
- a rádióantennák üzemben kívüli törzsbe történő bevonása vagy a földfelszínnel ellentétes irányba fordítása, esetleg rádióhullámot elnyelő, mozgatható zsaluzat mögé történő beépítése.

## A repülőeszköz saját elektromos kisugárzásának csökkentése 2.

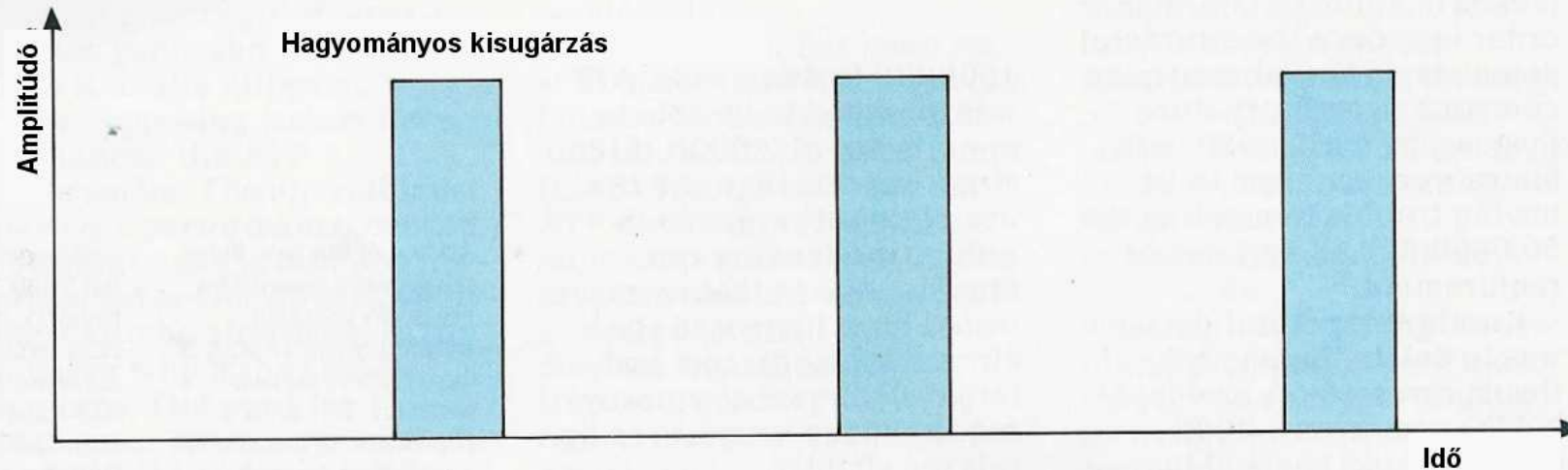
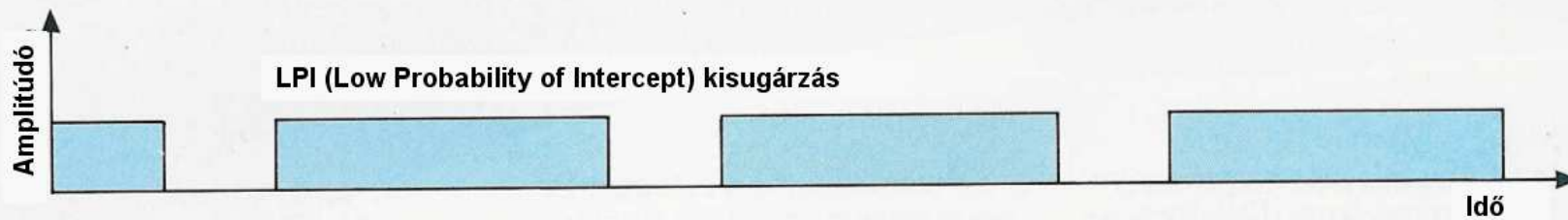
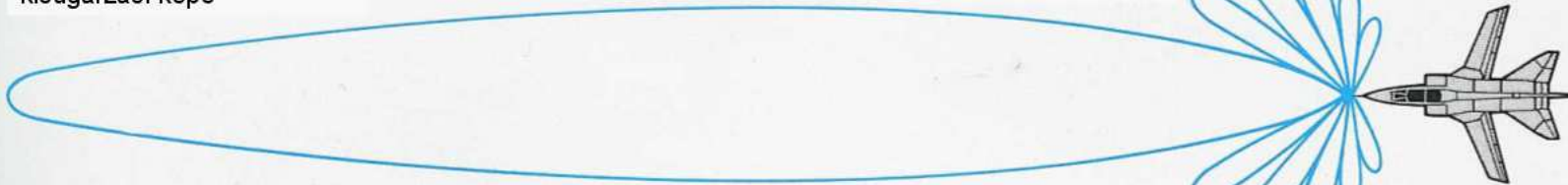
LPI hullámforma kisugrási képe

Alacsony intenzitású  
oldalirányú kisugárzás



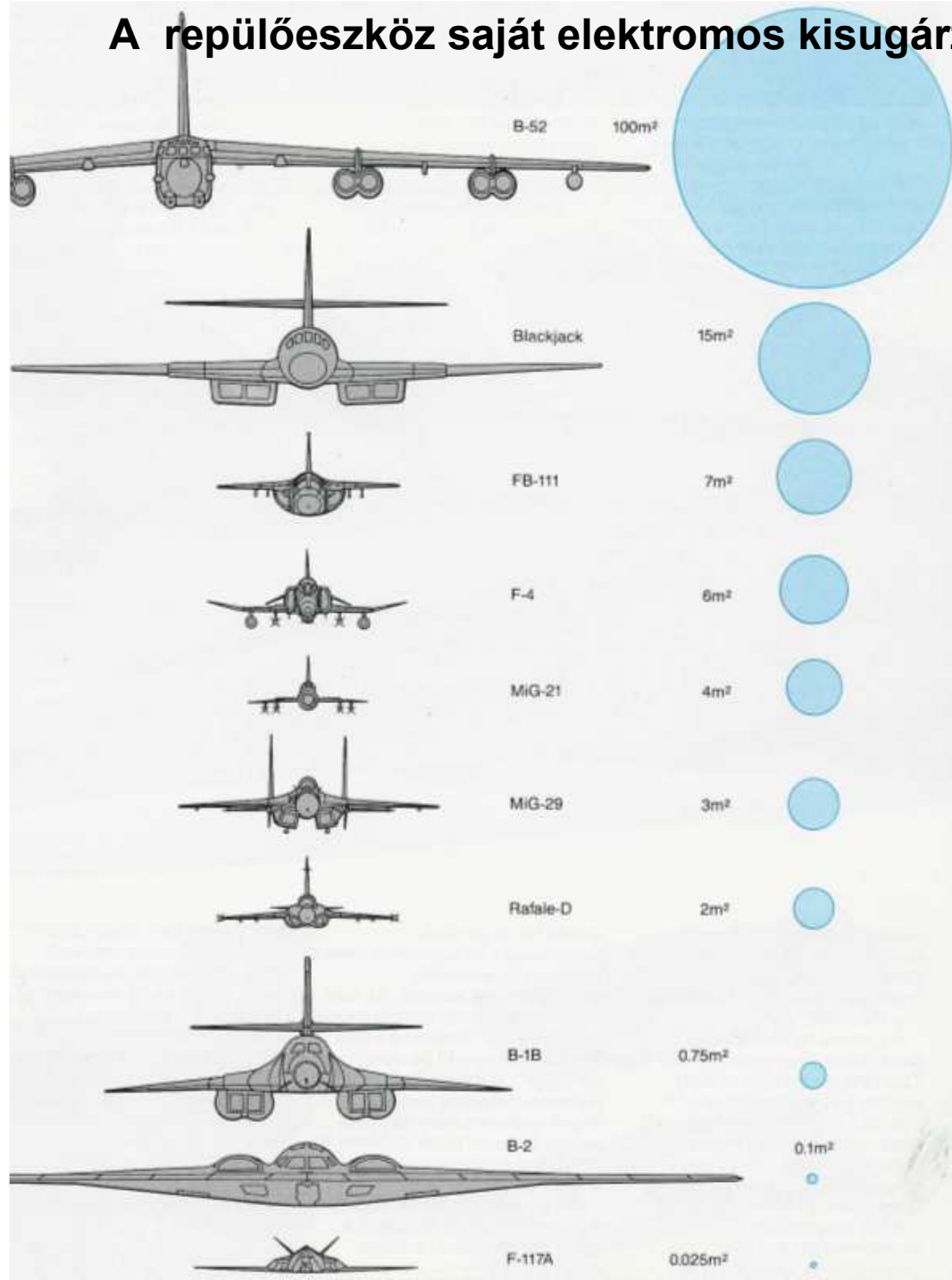
Hagyományos hullámforma  
kisugrási képe

Magas intenzitású  
oldalirányú kisugárzás





## A repülőeszköz saját elektromos kisugárzása csökkentésének eredménye



A STEALTH-technológiával épült repülőgépek felderíthetősége - csak a felsorolt megoldások célszerű kombinációjának következményeként is - több nagyság-renddel csökkenthető.

Például 100 m<sup>2</sup>-nek véve hagyományos építésű B-52-es bombázó repülőgép hatásos visszatükröző felületét, a STEALTH-követelmények szerint kialakított B-1B-é ennek már kevesebb, mint 1/100-a, a B-2-é 1/1000-e, az F-117A-é pedig nem éri el az 1/10000-et

**Kínai STEALTH**

**2'24''**

# „Anti-stealth” konstrukció

MiG-25

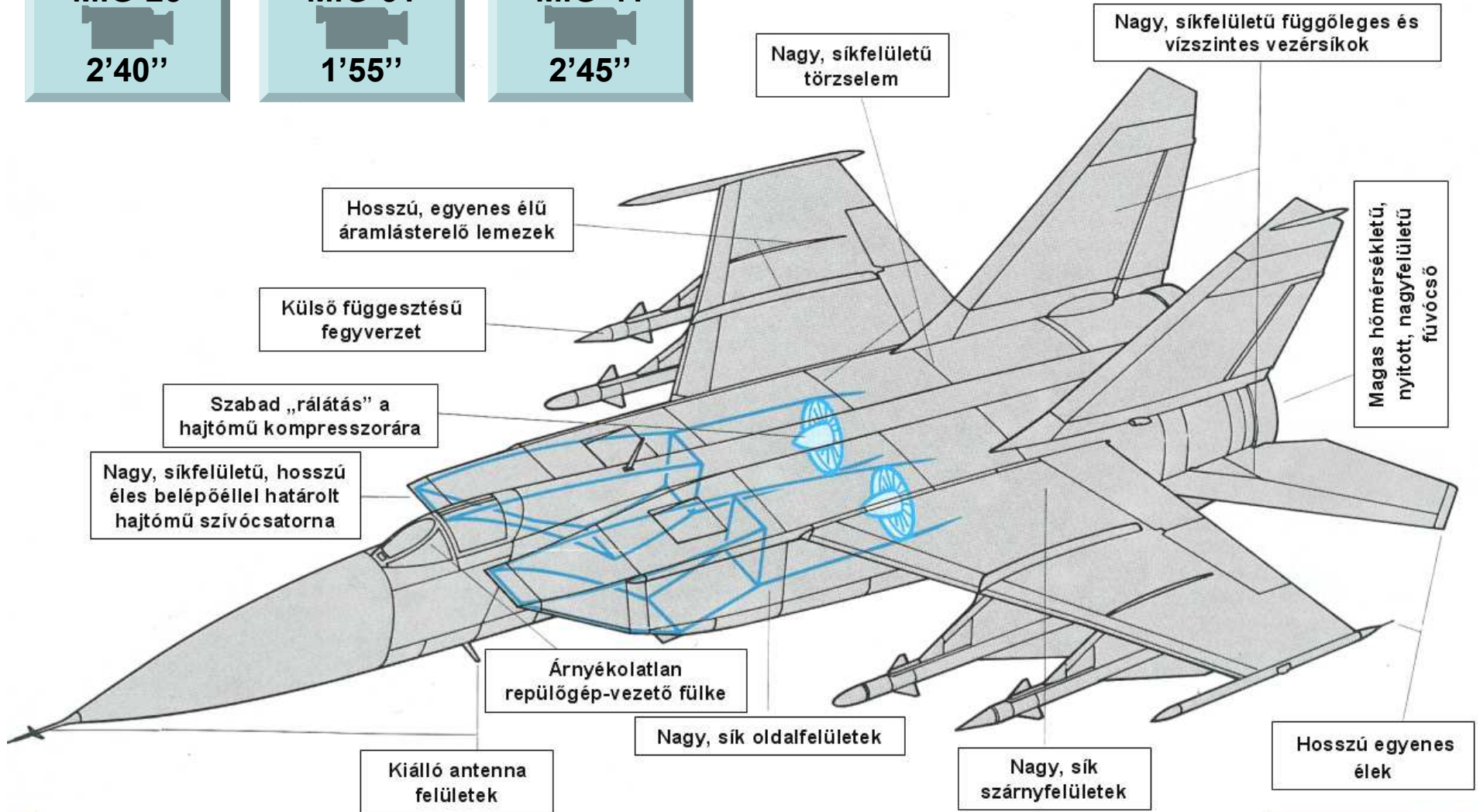
2'40''

MiG-31

1'55''

MiG-41

2'45''



**Vizuális és auditív felderíthetőség**

**Felderíthetőség infratartományban**

**Alkalmazás**





### 3. A lopakodó repülőgépek alkalmazási sajátosságai



## A jövő háborújának általános jellemzői

- új stratégiai pusztító eszközök megjelenése (nagy pontosságú, nem nukleáris, romboló-, információs- és bakteorológiai fegyverek, utóbbiak döntően a génmanipuláció termékei);
- az új és hagyományos harceszközök rendkívüli pusztító ereje megszünteti a harctevékenység megszokott földrajzi, területi korlátait, eszkalálhatja azt, dimenzióit kiterjeszti a világűrre és a tenger alá. Ezáltal bármely szférában megnehezíti a fölény kivívását és megtartását, lerövidíti a harc lefolyásának idejét, a közvetlen csapás-körzetben **szükségessé teszi a katonák fokozott kiváltását harci robotokkal**;
- a nagy hatótávolságú, és találati pontosságú rakétafegyverek valamint **a stealth (lopakodó) technológia mind szélesebb körű elterjedése** a támadófegyverek túlsúlyához, illetve az immobil és stacioner mozgású katonai objektumok (repülőterek, kikötők, harcálláspontok, hírközpontok, nagy szárazföldi csapatösszevonások, hagyományos alacsony röp-



pályájú mesterséges holdak, hagyományos repülőgépek stb.) nagymérvű sebezhetőségéhez vezet;

- a háború teljes folyamatában az információs szféra válik meghatározóvá, az automatikus vezetési rendszerek dezinformálása, bénítása vírussal való fertőzése a harctevékenység sikerét döntően befolyásolja;
- elkerülhetetlen a hadügy, a hadművészet elméletének átértékelése, mivel számos hagyományos fogalom (pl. harckocsi csata, légifölény, tengeri deszant hadművelet stb.) rövidesen eltűnnek vagy árértékelésre szorulnak.



## XXI. század esetleges háborújának prognosztizált jellemzői:

- a **levegőben**: az alacsony felderíthetőségű, pilóta nélküli repülőszervezetek alkalmazásának túlsúlya;
- a **világűrben** és a **világűrből** folytatott harctevékenység;
- a **szárazföldön** a nem lineáris, széttagolt hadrendben mért, nagy mélységű csapások;
- a **tengereken** felszín alatti-, földi-, légi és kozmikus telepítésű csapásmérő eszközök együttes alkalmazása jellemzi.



## A perspektivikus vadászrepülőgépek viszonyított harcászati, technikai és gazdaságossági jellemzői

A 2010 után között rendszerbe állítandó vadászrepülő-gépeknek (beleértve az F/A-18E/F-et is) a jelenleg még használatos harmadik, illetve negyedik generációs típusokhoz viszonyítva az alábbi harcászati-, technikai-, gazdaságossági jellemzőkkel kell rendelkezniük:

- 25%-kal magasabb aerodinamikai jóság ( $K=F_y/F_x$ );
- 20%-kal jobb gyorsulási- és vízszintes manőver-jellemzők;
- 30%-kal nagyobb hatósugár és hasznos terhelhetőség;
- 45%-kal alacsonyabb telemetrikus, 40%-kal kisebb rádiólokációs felderíthetőség;
- 50%-kal nagyobb üzemeltetési megbízhatóság;
- 20%-kal kisebb üzemeltetési költségek, 10 %-kal hosszabb élettartam;



## Mennyiséget csak minőséggel kompenzálva hajtható végre a fegyverzetváltás!

Az ugrásszerűen megnövekedett minőségi követelményeknek arányos költség-vonzata is jelentkezik. Ennek megfelelően például az USA-ban, a 790 hadrendben lévő, különböző modifikációjú F-15 váltására "csak" 438 F-22-es lett előirányozva, míg a 250 db. C-141 helyébe 120 db. C-17-es lép.

A elkövetkező évek haditechnikai innovációját meghatározó TDA (*Technology Development Approaches*) program a már meglévő típusok közül a következőknek biztosít fejlesztési prioritást 2010-ig:

- az **F-22** és **F/A-18E/F** többfeladatos vadászrepülőgépeknek (a légierő illetve a haditengerészet számára);
- a **C-17**-es szállító- és a **P-3** őrzőrepülőgépeknek;
- speciális hadműveletekre és légitámogatásra a **C-130**-asnak;
- a **B-2**-es stratégiai bombázó-repülőgépeknek;
- az **SR-71**-esnek az új *hiperszonikus*, "gyorsreagálású" *felderítő-repülőgép* rendszerbeállításáig (2005-re M=8, 2010 után M=12 repülési M-számot elérve).

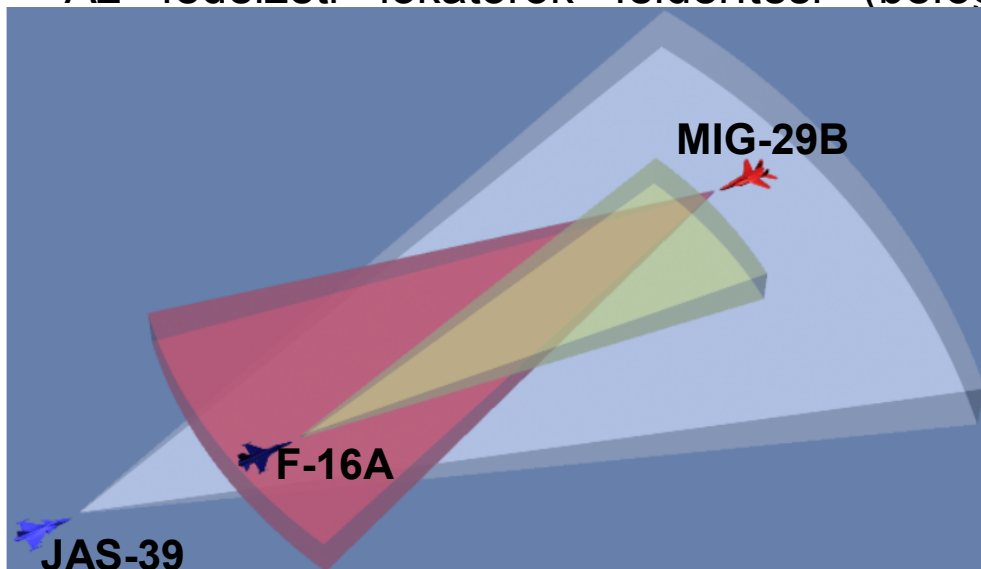
Valamennyi alapvetően új fejlesztés esetében a legnagyobb nehézséget a felvevő piac korlátozott kapacitása, a megnövekedett követelmények és az alacsonyan limitált vételárak egyidejű teljesítése jelenti.





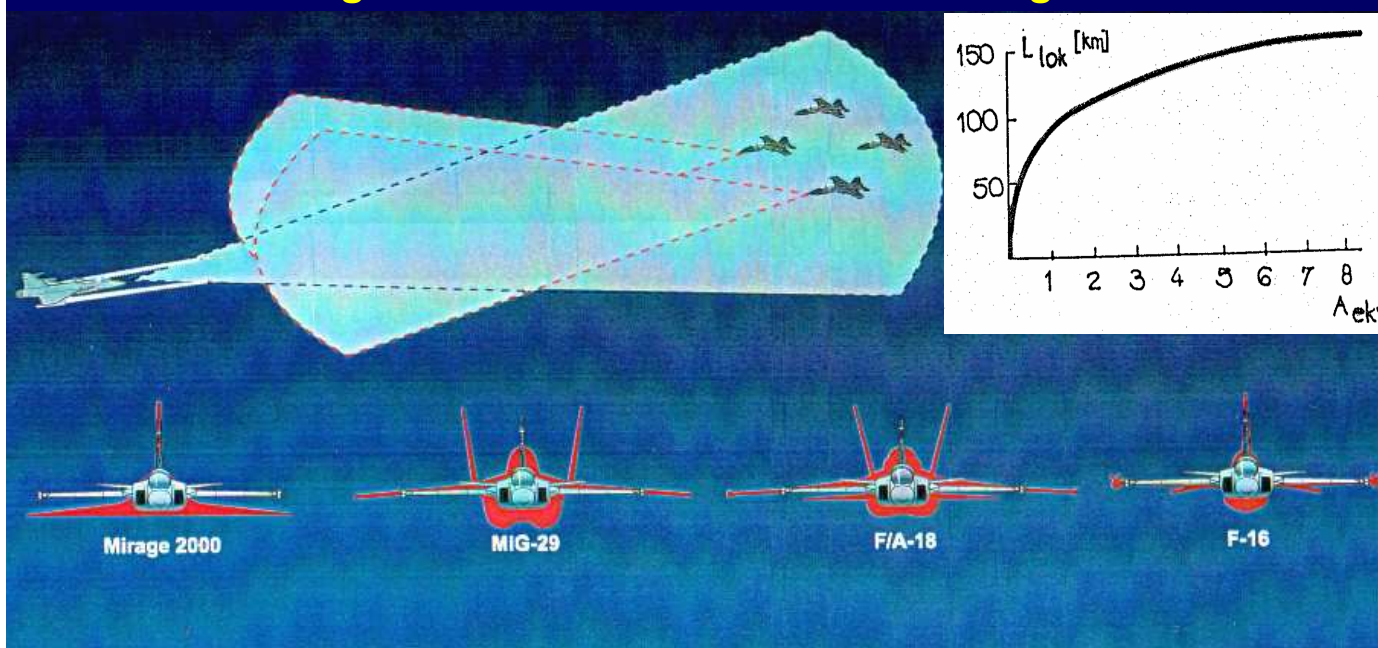
## Felderítés, felderíthetőség és eredményesség

Az fedélzeti lokátorok felderítési (befogási, célzási) távolsága meghatározó a harcászati eredményesség szempontjából.



A felderíthetőséget a lokátor hatótávolságán, működési elvén kívül alapvetően

**Elsőként meglátni/Elsőként tüzelni/Elsőkét megsemmisíteni**



befolyásolja a felderítendő repülőgép hatásos lokátor-hullám visszaverő felülete ( $A_{ekv}$ ) is.

Az ellenségét meghaladó felderítési távolság igazán akkor hasznos, ha ehhez hasonló tulajdonságokkal bíró fedélzeti fegyverzet is párosul.

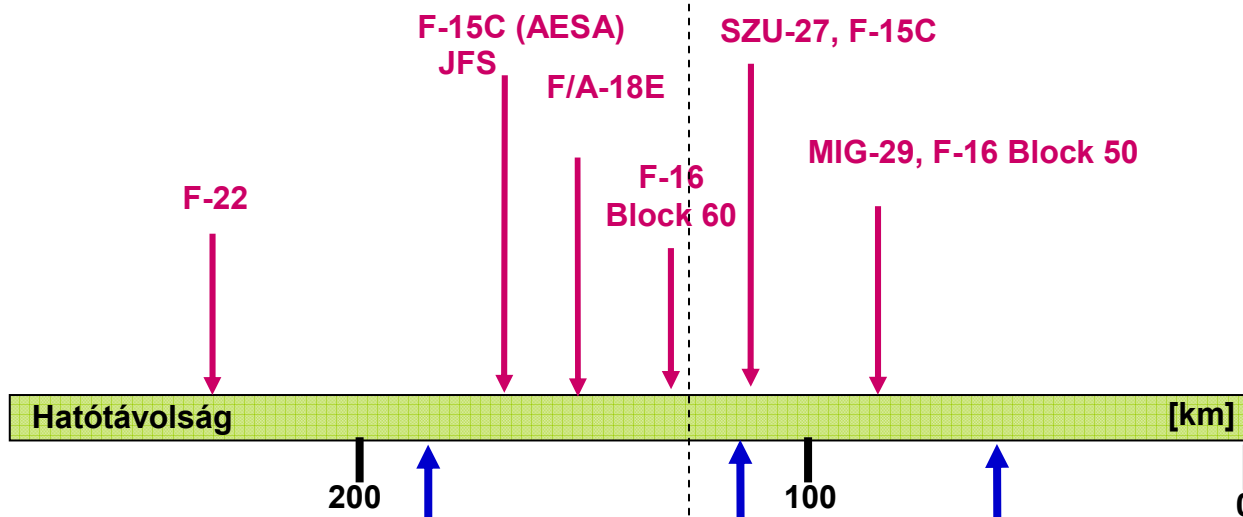
FELDERÍTÉS

Az F-22 radarjának passzív felderítési távolsága az ellenséges repülőgép működő radar jeléről  $L > 380$  km.

Adatgyűjtés hatótávolsága a célról az új, ütemezetten változó aktív jelkibocsátású antenna rendszerrel (AESA)

Hagyományos radar felderítési távolsága

BEFOGÁS



MEGSEMMISÍTÉS

Megnövelt hatótávolságú AIM-120 (USA) és AA-12 ( orosz)

Jelenlegi AIM-120 AMRAAM

AIM-9X, AIM-9M, ASRAAM

L - L rakéták hatótávolsága

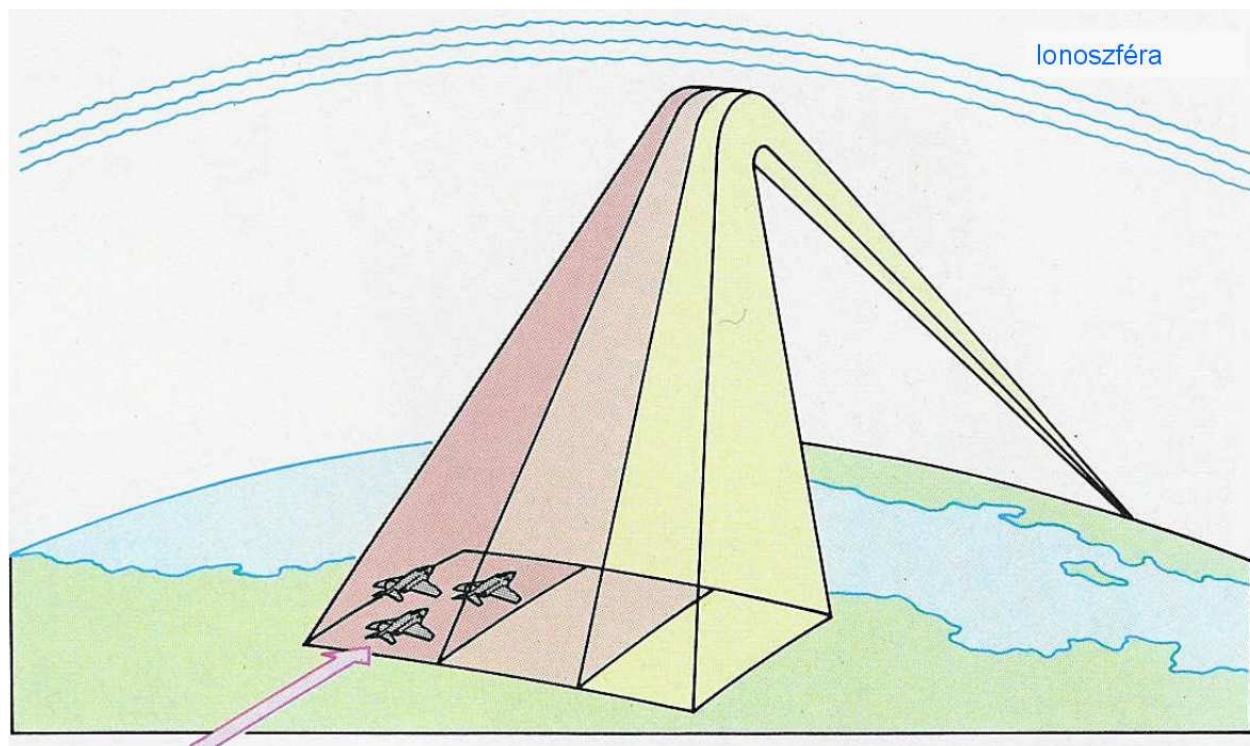


## Felderítés, felderíthetőség és eredményesség

A hagyományos lokátorok felderítési hatékonysága (távolsága) teljesítményük (2-3-szorosára) és antenna-méreteik növelésével, jelfeldolgozó-képességük és iránykarakterisztikájuk javításával fokozható. Repülőgép fedélzeten telepített, fázisvezérelt rácsantennák esetében a méretnövelés lehetőségei korlátozottak (a szárny belépőél és/vagy a törzs oldala mentén), ezért legjobb esetben is csak 60-70 %-os felderítési távolság növekedést (+10 dB) eredményezhet. Így e módszer inkább a földi telepítésű állomásoknál és az AWACS-rendszernek célravezető. Utóbbi a felülről történő "rálátás" és saját térbeli helyzetének változtathatósága miatt további 10-13 dB-es jelnövekedést képes elérni. A bejövő jelek keskeny sávokra bontva, nagy műveleti sebességű számítógép digitális szűrőin keresztül dolgozhatók fel hatékonyan.

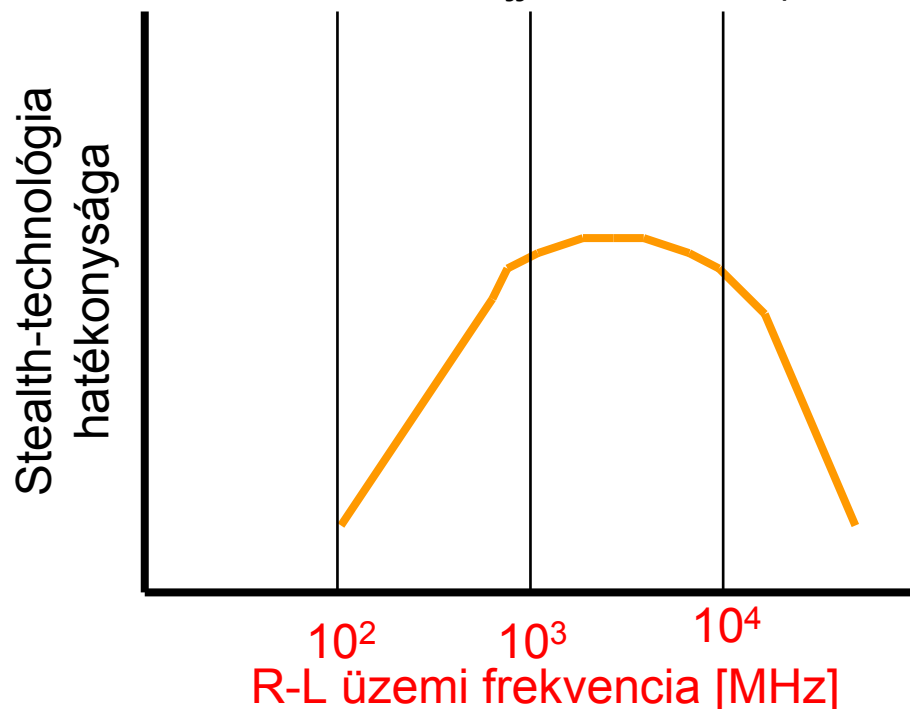
A felderítési távolság hagyományos módszerrel történő növelésének másik lehetősége a horizonton túli rádiolokátorok bejövő jeleinek felerősítése. Működési algoritmusuk fordítottja a szintetikus aperturájú lokátorokénak, azaz a jelek összesűrűsödése a cél és nem az antenna mozgása miatt következik be. Ezáltal lehetővé válik a földi objektumok leképezése a Doppler-

frekvenciajelek eltolódásának analízisével. Kedvezőtlen, hogy ez az eljárás alacsony felbontóképességű és zavarvédetségű, időjárás függő, nem tesz lehetővé pontos helymeghatározást, valamint nem megoldott a széles magasságtartományban ( $H_{rep}=150-7500$  m), nagy távolságon felderített ( $L_{lok} \geq 2800$  km),  $v=600-750$  km/óra sebességű, kis visszatükröző felületű ( $A_{ekv}=0,1-0,3$  m<sup>2</sup>) céltárgy átadása más működési elvű közelfelderítő lokátoroknál.



## Felderítés, felderíthetőség és eredményesség

Mivel a stealth-technológia döntően a földi telepítésű lokátorok meghatározott frekvencia-tartományára van optimalizálva a lokátorok szokásos üzemi mérés tartományának (1-20 GHz) kiterjesztésével növelhető a stealth-repülőeszközök felderíthetőségének távolsága. Az ábra formája azzal magyarázható, hogy 30 Mhz közelében a sárkány egyes geometriai méretei (pl. 0,75-10 m, szárny-, stabilizátor kilépőél, stb.) a lokátor rezonancia frekvenciájának megfelelő hosszúságú visszatükröző elemet alkotnak ami nagymértékben növeli a jelvisszaverődést. Ilyenkor a sárkány-elemek éles csatlakozásai nem befolyásolják a visszatükröző képességet. Amennyiben a lokátor kisugárzási frekvenciája meghaladja a 10 Ghz-et a sárkány éles, szögletes csatlakozó elemeinek, valamint felületi egyenetlenségeinek visszatükröző képessége növekszik rohamosan, hasonló ok miatt. Számítások szerint a lopakodó repülőgépek felderíthetősége 1-2 GHz tartományban 1,75-szöröse a 2-4 Ghz-nél elérhetőnek és 2,2-szöröse a 4-8 Ghz intervallumban mérhetőnek. Így valószínűsíthető a méteres és deciméteres lokátorok újjászületése (kikonzerválása).



A felderítés ez a formája a repülőgép "konstrukciós-oldaláról" nehezen hárítható el, mivel például a szűk hullámsávban (300 Mhz körül) 99%-os védelmet biztosító ferrit alapú, súlyos ecosorb-ból 5-6 mm vastagságú réteget kell a sárkányra felvinni, míg a könnyebb fenoplasztból, az 1 GHz-es besugárzás "semlegesítésére" 300 mm-es védőrétegre lenne szükség.

## Felderítés, felderíthetőség és eredményesség

A **perspektivikus felderítő lokátorok** várhatóan széles frekvencia tartományban pásztázva, térben tagoltan telepítve, nem szinuszos jeleket kibocsátva működnek. A pásztázás 0,5÷10 Ghz tartományban, 0,1÷1 ms időközönként,  $\Delta L=0,15\div 0,015$  m-es hullámhossz intervallumokban történik. Az eddig alkalmazott bevonatok a nem szinuszos jeleket csak alacsony hatásfokkal képesek elnyelni, gyengíteni. A közvetlen besugárzás által generált felharmonikus jelek detektálására és feldolgozására speciális "nonlineáris" lokátorok fejlesztése folyik. Az együttműködő lokátorok térbeli tagolásával, más felderítő eszközökkel történő összekapcsolásával (pl. infrakereső) és szinkronizált üzemével (beleértve föld- és vízfelszínt, repülőgép fedélzetet, léghajót és űreszközöket), a felderítés hatékonysága lényegesen javulhat.

A felsorolt lehetőségek gyakorlati megvalósítását - a még megoldásra váró technikai nehézségeken kívül - az is nehezíti, hogy a minőségi adatfeldolgozás a felderítendő objektum harcászati-, műszaki-, geometriai jellemzőinek részletes ismeretét is feltételezi (ami a leghigorúbban őrzött hadititkok közé tartozik!).



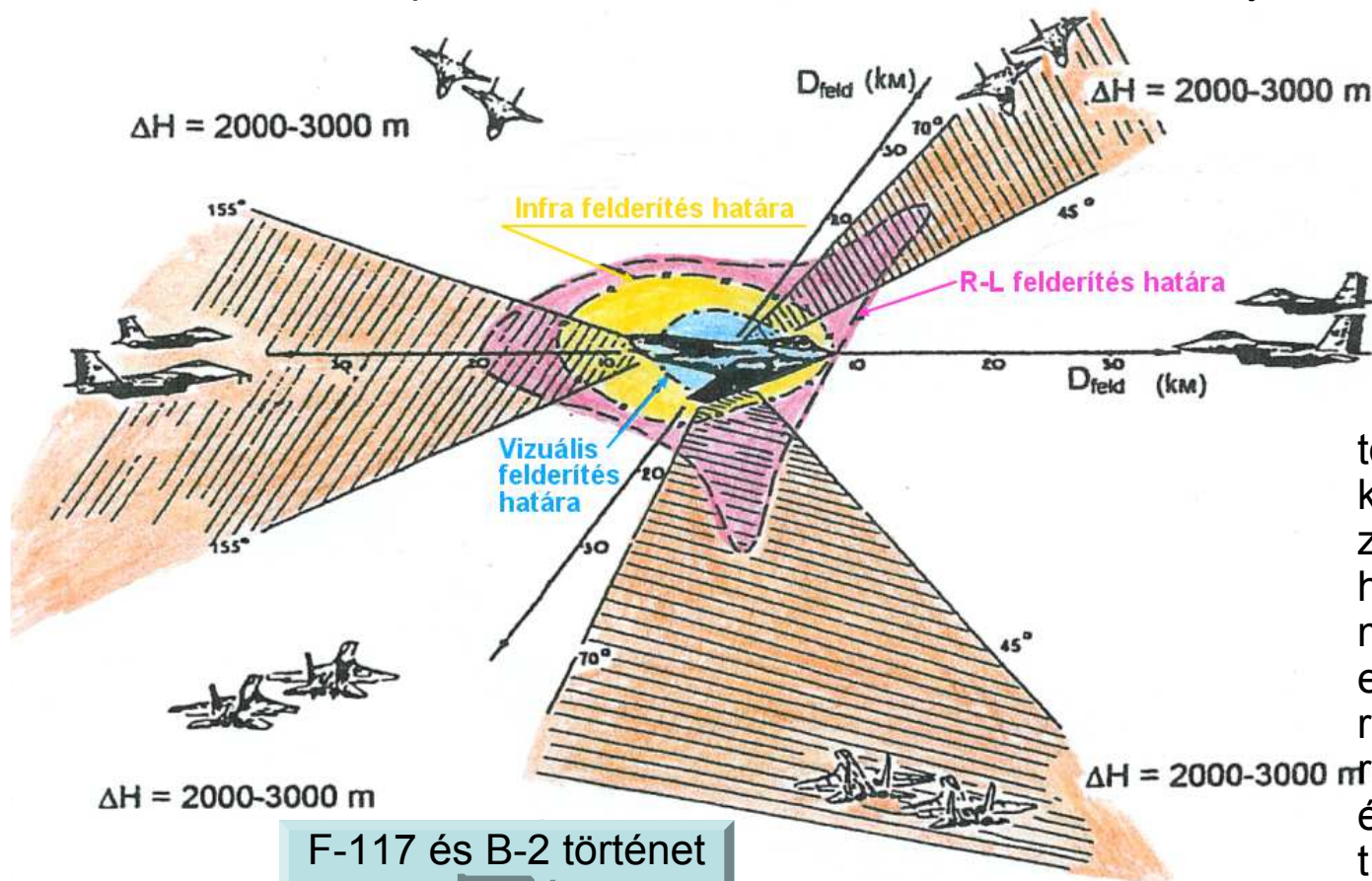


## Stealth repülőeszközök alkalmazásának jelenleg érzékelhető taktikai jellemzői

<b>JELLEMZŐ</b>	<b>MAGYARÁZAT</b>
<p><b>Stratégiailag fontos objektumok irányába (rendszerint éjjel) magányosan szálló repülőgép. A közelben más repülőeszköz nem található.</b></p>	<p><i>A kötelékrepülés növeli a hatásos vissza-tükröző felületet és (nappal) a vizuális felderítés valószínűségét. Az autonóm feladat végrehajtás megakadályozza a saját együttműködő repülőgéppel történő ütközést, amely nem képesek észlelni a lopakodót.</i></p>
<p><b>A repülési magasság vadászrepülőgépek esetében legalább 6300 m, bombázóknál 15000 m-ig (statikus csúcsmagasság), robotrepülőgépeknél a földfelszín felett <math>H_{\min}</math>-on.</b></p>	<p><i>Az első kitérést biztosít a csapatlégvédelem optikai célzó-berendezései előtt, a második lehetőséget nyújt a távoli célok elérésére, pontos célzásra és a csapás hatásának felmérésére, a harmadiknál a földfelszín és a tereptárgyak nehezítik a lokátor-sugarakkal történő felderítést.</i></p>
<p><b>A repülőeszköz komplex (EHC) zavaró tevékenysége</b></p>	<p><i>Imitált jelek kisugárzása, amelyek a felderítő lokátoron meghibásodást vagy geofizikai hatást jeleznek. Sikeres tűzérségi felderítés vagy vadászrepülőgép támadás esetén minimális energia-kisugárzású aktív zavarás.</i></p>
<p><b>A fedélzeti rádióelektronikai berendezések rövidciklusú működései</b></p>	<p><i>A mozgó földi cél megközelítésekor szükséges a célzó-ráveető berendezések és a rádió-magasságmérő működtetése. Vadászrepülőgép támadásakor az aktív zavarás alkalmazása mérhető energia kisugárzást eredményez.</i></p>
<p><b>A harcászati vadászrepülőgépek tevékenységének aktivizálódása, zavarási zónák megjelenése és kiterjedése különböző irányokba, földi lokátor-állomásokra mért csapások.</b></p>	<p><i>A lopakodó repülőeszköz támadási útvonala mentén a légvédelem koordinálni és koncentrálni törekszik annak közelében tartózkodó csapásmérő-, zavaró-, megtévesztő eszközeinek tevékenységét.</i></p>

## Az F-117A stealth-repülőgép korszerű fedélzeti lokátorokkal, hőpelengátorokkal mérhető és vizuális felderíthetőségi határait

Lokátorokkal e a határok is csak felülről,  $\Delta H=2000-3000$  m-es optimális magasságkülönbség esetén, a gép hossz tengelyéhez képest hátulról  $35^\circ$ -os, mindkét oldalról  $45^\circ-70^\circ$ -os szögterületben igazak. A lokátorhoz képest maximum 75%-os felderítési távolságú hőpelengátor csak hátulról képes érzékelni a forró gázkiáramlást, a vizuális felderítést pedig a döntően éjszakai alkalmazás gyakorlatilag lehetetlenné teszi. (A repülőgép-vezetők számára az utóbbi esetre javasolt (pót)cselekvés, nevezetesen a "lopakodó" repülőgép Hold előtti, vagy nagyterületű égő harcmező feletti átrepülését szabad szemmel felfedezni, alacsony felderítési hatásfokot sejtet.)



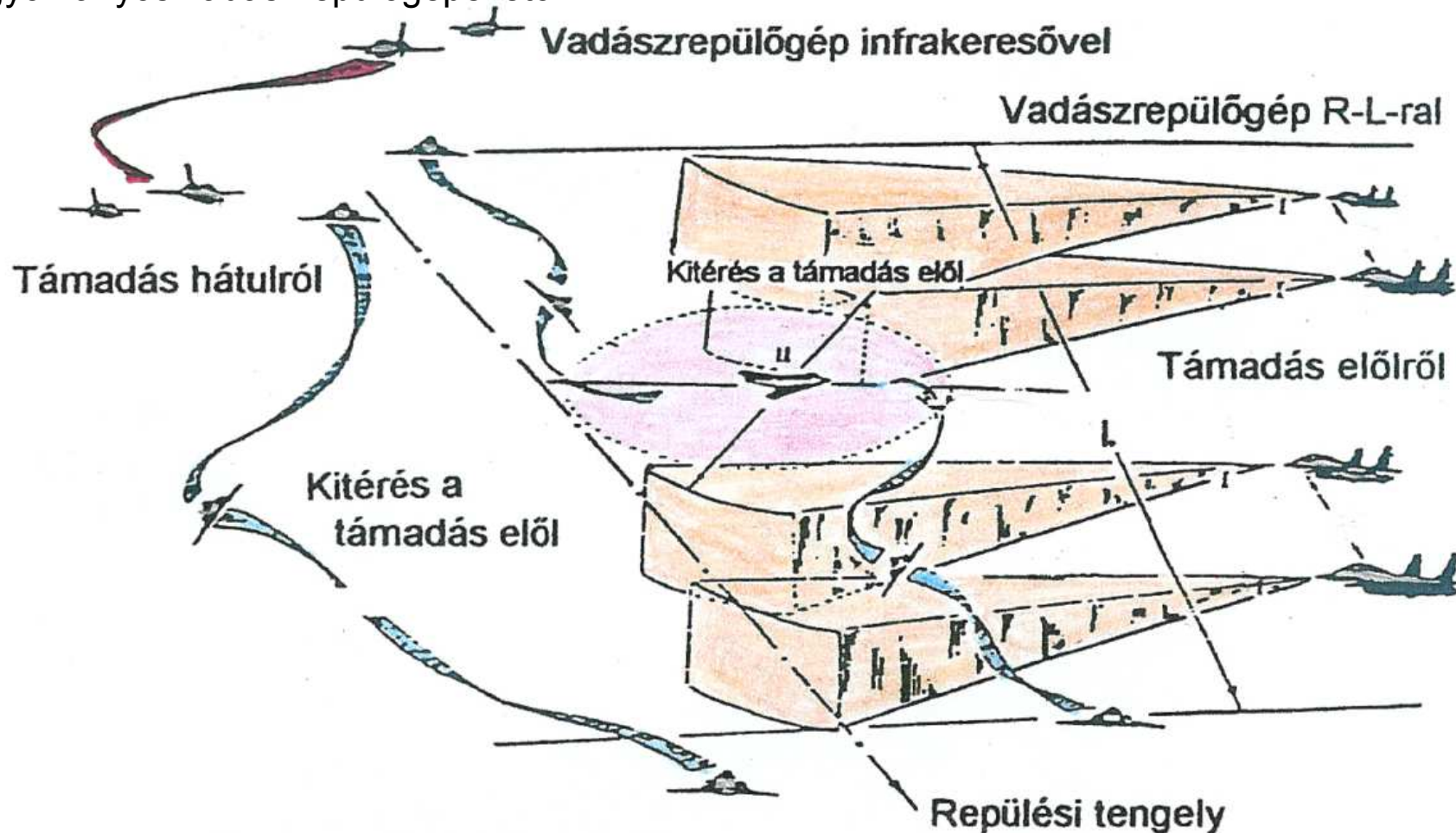
Mindezek alapján belátható, hogy külső rávezetés nélkül, még optimális órjázási magasságban is meglehetősen nehéz felkutatni, de még inkább leküzdeni - az elfogót fedélzeti "data-link" rendszerével már nagyságrenddel nagyobb távolságról érzékelő, szükség szerint aktív manőverezést, zavarást folytató, vagy L-L rakétát indító - stealth-típusú célt.

F-117 és B-2 történet

15'30''

## Az F-117A stealth-repülőgép harcmodora

Eredményes felderítésre és elfogásra csak az oltalmazandó sáv, magasság és mélység szerint tagolt teljes lokációs lefedése esetén van esély. A feladat megoldásához szükséges repülőgépek száma a sáv szélesség ( $L$ ) és az adott típus lokátora által "lefedhető" terület nagyságának ismeretében határozható meg. Az elfogást nehezíti, hogy az információs előnnyel rendelkező lopakodó, intenzíven manőverezve jó eséllyel, időben képes kitérni minden támadás elől, illetve áthatolni az esetlegesen be nem sugárzott zónán. A kitérés egyébként meghatározó jellemzője az F-117 (légi)harcmodorának, mivel gyakorlatilag valamennyi manőver-jellemzője elmarad a korszerű, hagyományos vadászipülőgépektől.

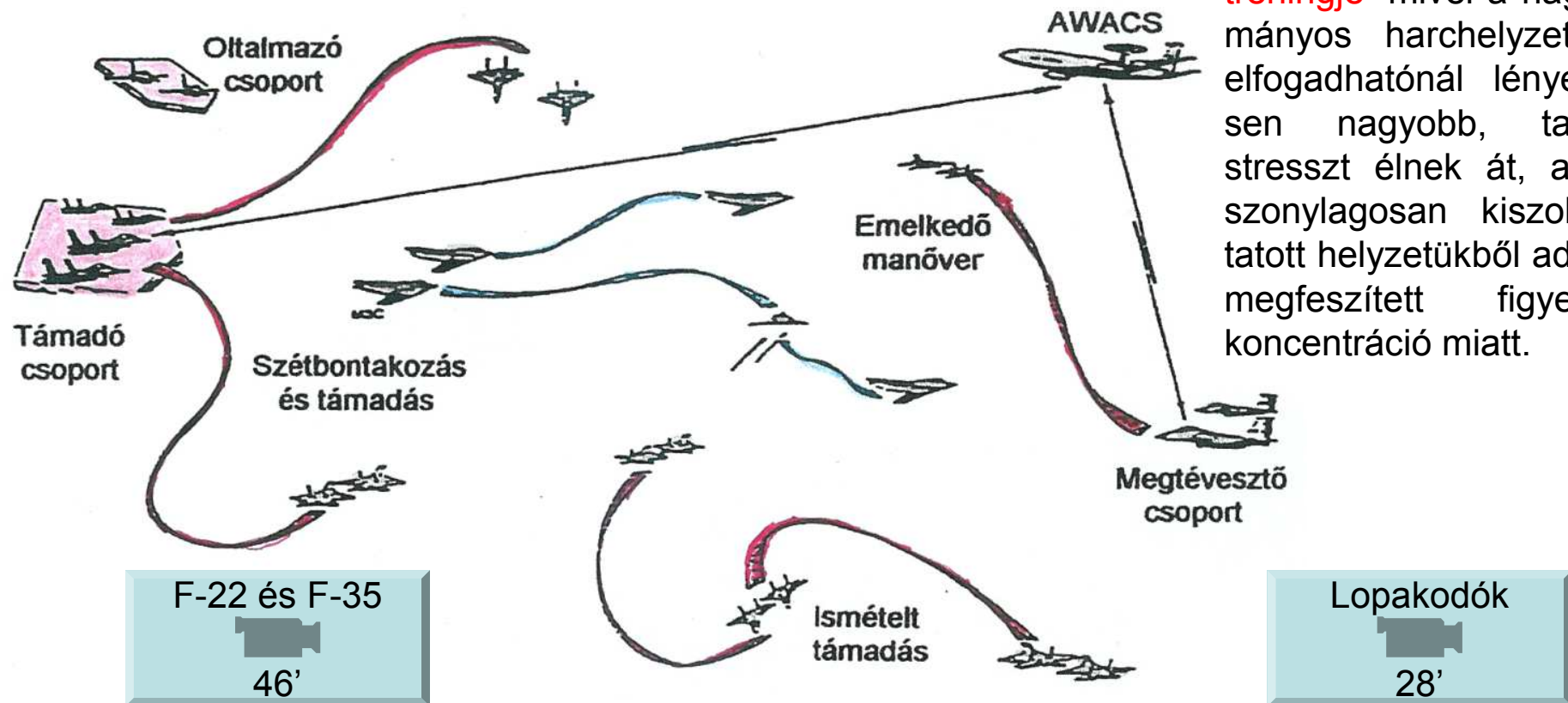




## Az F-117A stealth-repülőgép harcmodora

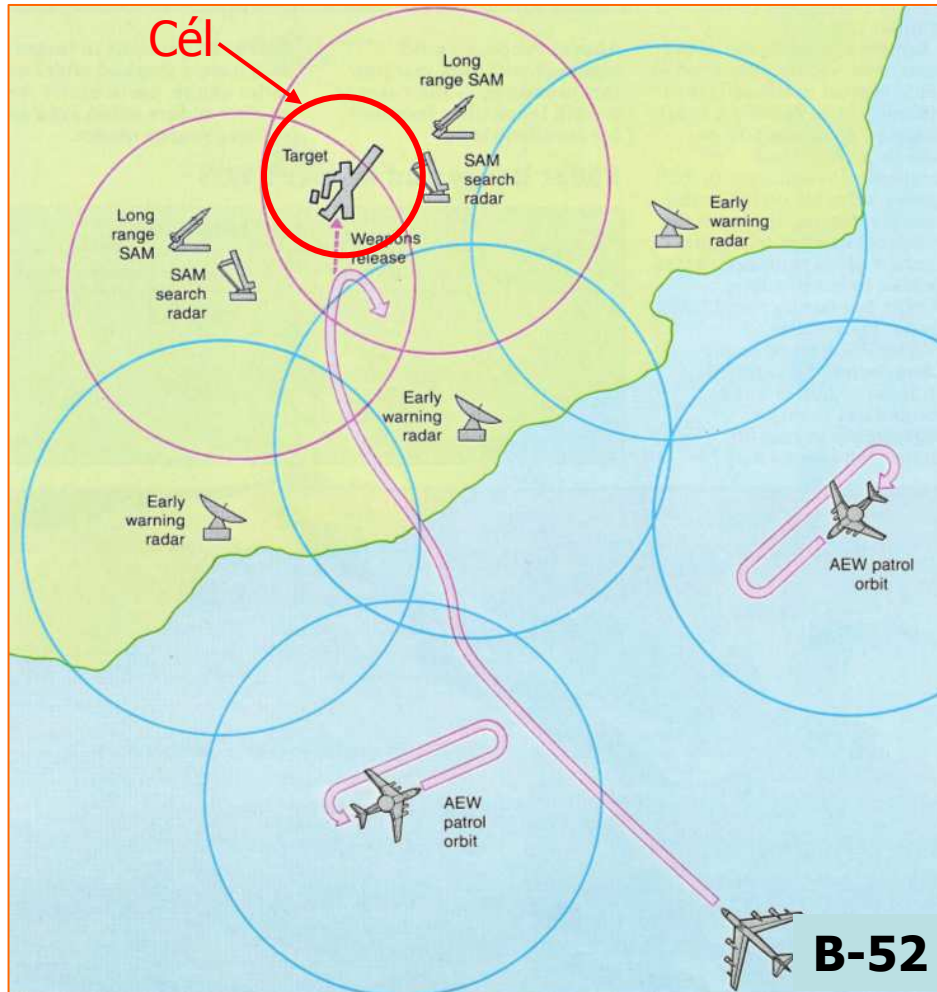
Valós harc helyzetet szimuláló harcászati gyakorlatok adatai szerint, még AWACS-szel támogatott, kötelékben történő elfogás esetén is nagy jelentősége van az időtényezőnek. Eredményességre csak abban az esetben lehet számítani ha **megettévesztő csoport** intenzív emelkedő manőverrel képes magára vonni a figyelmet, ezzel közel egy időben az **oltalmazó csoporttal csapásmérő kötelék** megbízható látótávolságba(!) kerül a lopakodó(k)hoz és begyakorolt "koreográfia" szerint azonnal laza géppár kötelékekre bontakozik szét. Amennyiben az első támadás eredménytelen, az F-117-es rendszerint eredményes ellencsapást mérve, rejtőzködő sajátosságait kihasználva, sértetlenül képes kitérni a további légi harc elől.

A lopakodók elleni harcra történő felkészítés megkülönböztetett eleme a **pilóták pszichológiai-tréningje** mivel a hagyományos harc helyzetben elfogadhatónál lényegesen nagyobb, tartós stresszt élnek át, a viszonylagosan kiszolgáltatott helyzetükből adódó megfeszített figyelem koncentráció miatt.

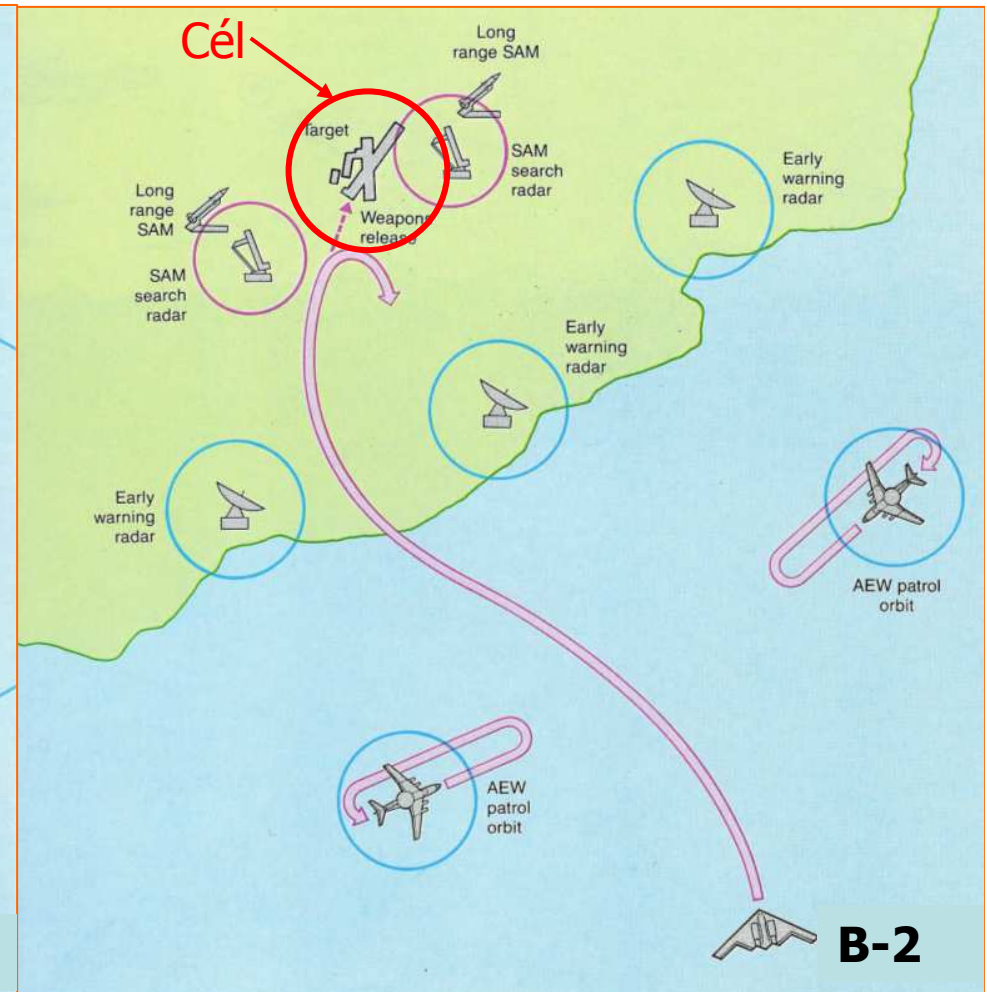


# Hagyományos és lopakodó repülőgép támadási lehetőségei

## Támadás B-52-es bombázóval



## Támadás B-2-es lopakodó bombázóval



A hagyományos támadó repülőgépek ellen kiépített légvédelmi rendszer teljes felderítési le- és átfedettséget biztosít a védett objektum körül. Az objektumot védő légvédelmi rakétáknak a felkészüléshez, célzáshoz és indításhoz elégséges idő áll rendelkezésre.

A hagyományos támadó repülőgépek ellen kiépített légvédelmi rendszer felderítési távolsága nagyságrenddel csökken, így a védett objektumhoz „szabad folyosók” vezetnek, amit a támadó érzékelni képes. Az objektumot védő légvédelmi rakéták is információ nélkül maradnak.



## Harcászati adatvonalak

A korszerű vadászpilóta nélküli repülőgépek alacsonyabb felderíthetősége – megfelelő harceljárás kiválasztásával és hálózat központú irányítási rendszer (információk adatkapcsolaton keresztül történő továbbításának) alkalmazásával (pl. LINK-16) – nagymértékben javítja a harci hatékonyságukat, valamint számottevően csökkenti a saját veszteségeket. Az adatkapcsolat lényeges **előnye**, hogy az információ, repülés közben, vagy akár bevetés előtt földön, esetleg kigurulás közben is **bármikor, beszédkapcsolat nélkül aktualizálható**, segítségével **valós idejű, reális harcászati tájékoztatás** nyerhetőek a célpontok helyzetének változásáról, újak megjelenéséről több forrásból integráltan - (AWACS, a földi, valamint a vízfelszíni platformok, stb.).







# 4. Következtetések



# HARCÉRTÉK EKVIVALENCIA ÉS GAZDASÁGOSSÁG



1 db F-22-es

~100 mill. USD/db



4 db F-16-os

~ 4-35 mill. USD/db



- Következtetés: a lényegesen drágább (nagyobb harcértékű) repülőgépből kevesebb beszerzése is elég;
- Ezért: szükséges a mennyiség-minőség ekvivalenciája peremfeltételeinek meghatározása!

Például: USA – Észak-Afrika (Líbia) távolságon 120 tonna hadianyag célba juttatása.

Csapásmérő kötelék		Szükséges légi biztosítás		Szükséges hajózó személyzet [fő]
Típus	Szükséges mennyiség [db]	Légi utántöltő [db]	Támogató repülőgép [db]	
<b>F-111</b>	<b>30</b>	57	14	302
<b>B-52H</b>	<b>10</b>	32	14	202
<b>B-2A</b>	<b>6</b>	6	-	36

Következtetés: a drágább megoldás is lehet kedvezőbb és gazdaságosabb!

## VADÁSZ, VADÁSZBOMBÁZÓ ÉS BOMBÁZÓ REPÜLŐGÉPEK LISTAÁRA

Típus	Ár (mill. USD/db.)	Megjegyzés
F-15 A → E	30 → 55	modifikáció függvényében;
F-16 A/B	7-12 +( 4-9)	Használt repülőgép ár szériától (Block) függően, amely szükségszerűen kiegészül az MLU korszerűsítési programmal (zárójelben opciótól függően)
F-16 C/D	22,6-28	szériától (Block) és felszereltségtől függően;
F-18 C → F	28-42	szériától, felújítási programtól függően;
F-2	80-100	'98-as ár, az F-16 C bázisán japán minőségi tovább-fejlesztés (évi 8-10 repülőgépet gyártva 2008-ig);
Lavi	+ 35	F-16 C bázisán izraeli minőségi továbbfejlesztés, a program befagyasztva, tervek szerint 2001-től Kínával közösen gyártva (becsült ár);
Ching-Kuo	+ 35	F-16 C bázisán taiwani, kéthajtóműves, minőségileg (lényegesen) különböző változat;
SZU-30 MKK	37	'99-es becsült ár, orosz-kinai viszonylatban;
SZU-35	85 45	'97-es teljes program-csomag (repülőgép + fegyverzet + infrastruktúra + kiképzés). Egy repülőgép ára '99-ben;
I-1.44 (MFI)	70-80	'99-es becsült ár. Leghamarabb 2010 után kerülhet sorozatgyártásra;;
<b>F-22</b>	<b>105</b>	<b>2001-es ár, (438 helyett) 295 gép építése esetén;</b>
Mirage 2000-5	+36	opciótól függően (becsült ár);
Rafale C	51,4 66.8	'96-as ár, tartalék-alkatrészekkel, (az első 100 gép átlagára, mely export esetén csökkenhet); '99-es ár 294 db. gyártását alapul véve (AW and ST 99.01.11.)
JAS-39	<b>32-34</b>	<b>'99-es ár opciótól függően;</b>
EFA	62,8	'96-as ár (600-700 db gyártása esetén) módosulhat a német rendelés nagysága és a beépített elektronika függvényében;
<b>F-117</b>	<b>43</b>	<b>'97-es ár;</b>
JSF - STVOL - haditeng. vált. F-35	28-32 35 38 40-50	'97-es limitált ár, 3000 db-os rendelés esetén;  2002-ben, a Lockheed győzelme után bejelentett tervezett lista ár (CTOL→STVOL)
<b>B-2</b>	<b>1200</b>	<b>2004-es ár;</b>



## REPÜLŐGÉP FEDÉLZETI CSAPÁSMÉRŐ ESZKÖZÖK LISTAÁRAI

Típus	Ár (USD/db.)	Megjegyzés
AGM-84E/H SLAM	500 000	2002-es ár;
GBU-24	100 000	2002-es ár;
AIM_54 Phoenix	1 000 000	2002-es ár;
<b>OFZ</b> <b>BZT</b>	37 000 28 000	1 készlet (30 000 db) repeszromboló-gyújtó, illetve páncéltörő 23 mm-es gá. lőszer
<b>OFAB-100-120</b>	860	Romboló bomba
<b>FOTAB-250T</b>	5 060	Vákumbomba
<b>Szab-250-200</b>	4 820	Világító bomba
<b>FAB-250-270</b> <b>FAB-250M62</b> <b>FAB-500SzHL</b>	1 440 1 950 10 200	Romboló bomba Romboló bomba Romboló bomba (fékernyővel)
<b>BETAB-500</b> <b>BETAB-500SzHP</b>	8 700 20 540	Betonromboló bomba
<b>ODAB-500PM</b>	12 050	Aeroszolos gyújtóbomba
<b>RBK-500AO-2</b> <b>RBK-500PTAB-1</b>	13 700 21 000	Kazettás bomba
<b>Sz-8</b>	1 600	NIR
<b>Sz-13T</b> <b>Sz-13F</b>	5 100 4 450	NIR 122-mm-es (harekocsik ellen) NIR 122-mm-es
<b>Sz 24</b>	5 200	NIR 196 kg-os töltet
<b>Sz 25</b>	14 000	NIR
<b>H-25ML</b> (AS-10 Karen) <i>Gyakorló változat</i>	104 000 77 700	IR lézer irányítású Romboló töltet nélkül
<b>H-29L</b> (AS-14 Kedge) <i>Gyakorló változat</i>	175 200 130 000	IR lézer irányítású Romboló töltet nélkül

[pip.rubberfeet.org](http://pip.rubberfeet.org)



**KÖSZÖNŐM A FIGYELMET!**