

BIZTONSÁG- ÉS REPÜLÉSTECHNIKAI MEGOLDÁSOK KATONAI HELIKOPTEREK HARCI TÚLÉLŐKÉPESSÉGÉNEK JAVÍTÁSÁRA

Dr. Óvári Gyula mk. ezredes, egyetemi tanár
ZMNE, BJKMK, Repülő Sárkány-hajtómű Tanszék

A korszerű csapásmérő repülőeszközök – köztük a helikopterek – hatékonyságát többnyire kizárólag, fedélzeti fegyverek potenciális megsemmisítő képessége alapján értékeli, bár legalább ennyire fontos gazdaságossági-hatékonysági mutató, a harceszköz műszaki megbízhatósága és önvédelmi képessége. Az alábbiakban, az utóbbiak közül néhány olyan konstrukciós biztonság- és repüléstechnikai megoldást tekintünk át, melyek - sorából több, utómunkálatokkal a régebbi modellekre is felszerelhető és - alkalmasak más, drága technikai megoldások kiváltására.

BEVEZETŐ

Az Öböl-, Balkáni és más helyi háborúk tapasztalatai, trendjei egyértelműen igazolják, hogy a megsemmisítő eszközök találati pontossága, pusztító ereje az elmúlt negyed században nagyságrenddel megnövekedett, miközben alkalmazásuk napszak, évszak, időjárási feltételek szerinti korlátozása szinte teljesen megszűnt. Az 1. számú táblázatból megállapítható, hogy a minőségi ugrás egyben mennyiségi változásokat is eredményezett.

1. sz. táblázat

Ország	Irak 1991	Jugoszlávia 1999	Afganisztán 2001	Irak 2003
Alkalmazott fegyver				
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
Precíziós irányzásúak aránya [%]	8	35	57	68

1991-ben és 2003-ban Irakban, a szövetségesek un., precíziós fegyver alkalmazását lehetővé tévő bevetéseinek (41000 és 46000), valamint a felhasznált ilyen fegyverek száma (20500 és 20000) közel azonos volt, miközben az általuk megsemmisített célok mennyisége 4,5-szeresére (4500-ról 19000-re) emelkedett. Mindezekből következik, hogy a jelenlegi és perspektivikus csapásmérő repülőeszköznek rendelkeznie kell e fegyverek:

- hordozására és célbajuttatására alkalmas képességekkel;
- konstrukciósan biztosítani szükséges a saját (nem csak csapásmérő!) légijármű (ön-) védelmét az ellenség ilyen megsemmisítő eszközeivel szemben is.

E trendet igazolja az is, hogy amíg 1991-ben csak az F-15-ös, F-111-es és F-117-es voltak kifejezetten alkalmasak, un. precíziós fegyverek alkalmazására, 2005-ben gyakorlatilag már valamennyi repülőeszköz képes, (vagy azzá tehető) ilyenek hordozására.

Nem kevésbé fontos az ellenség hasonló fegyvereitől való *önvédelem képessége* sem, hiszen a harci hatékonyság szintje (az eredményesség valószínűsége) (C) az alábbi összefüggéssel határozható meg:

$$C = C_m \cdot C_{m.elk.} \cdot C_{mü.megb.}$$

ahol

C_m - az ellenséges cél megsemmisítésének valószínűsége;

$C_{m.elk.}$ - a saját megsemmisülés elkerülésének valószínűsége, az ellenséges megsemmisítő eszköz hatásakor;

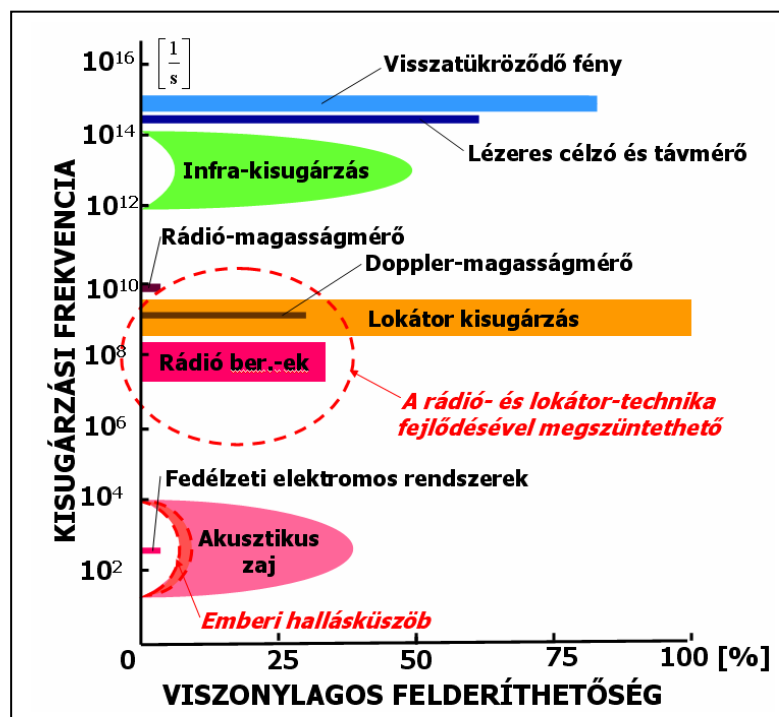
$C_{mü. megb.}$ - a műszaki megbízhatóság valószínűsége;

Az elmúlt két évtizedben - a '70-es évek után, nagyobb szériában gyártott - szinte valamennyi katonai repülőeszköz csapásmérő képességének növelésére irányuló korszerűsítési eljárások önálló iparággá nőttek ki magukat nyugaton és keleten egyaránt. Ennek korlátait nem feltétlenül csak a megrendelő anyagi potenciálja, vagy a vállalkozó lokális műszaki, technológiai, tudományos felkészültségének szintje határozta meg, hanem esetenként kimutathatóan a gátlástalanság is.

A műszaki megbízhatóságot ($C_{\text{mű-megb.}}$) itt nem kívánom még vázlatosan sem elemezni. Annak a légijárműnek, amely a békeidők zavartalan kiképzési repüléseinek is jellegzetes „egyfeladatos szereplője” (ellenséges ráhatás nélkül is képes rendszeresen „önmagát elrontani”, majd csak hosszas hibaanalízis és javítás után „meggyógyulni”) értékelhetetlen a harci hatékonysága, teljesen függetlenül attól, milyen fegyverezéssel (imitáció) díszíti az éppen aktuális repülőbemutatót.

Az ellenséges megsemmisítő eszközök hatása elkerülésének valószínűségét növelő ($C_{\text{m.elk.}}$) megoldások komplex technikai kivitelezésére - bár a megsemmisítő képességnél nem kevésbé fontos - érdekes módon sokkal kevesebben vállalkoznak. Pedig a legkorszerűbb fegyver, célzó, célmegjelölő, navigációs, stb. rendszerekkel felszerelt repülőeszköz is kizárólag akkor lehet valóban eredményes, ha megsemmisítő eszközeit nem csak a lőtér, vagy gyakorló pálya kijelölt pontjára képes eljuttatni és működtetni, hanem valós, korszerűen felkészült ellenségtől aktívan zavart körülmények között is.

Elsőként célszerű azt megvizsgálni, hogy a helikopter milyen, az ember, vagy általa készített eszközök számára érzékelhető jeleket bocsát ki. Az 1. ábra alapján jól látható, hogy az elektromágne-



1. ábra

létezik valamilyen aktív, vagy passzív, konstrukciós védelmi megoldás (páncélozás, zajcsökkentés, lokátor hullámok elnyelése, szétszórása, hajtómű hűtése, rendszerek dublázása, árnyékolása, dipól- és infracsapda alkalmazása, rádió-elektronikai zavarás stb.).

Az elmúlt évtizedek háborús tapasztalatai azonban azt mutatják, hogy a lokátorok, hőpelengátorok, lézerek segítségével felderített, megcélzott repülőeszközök megsemmisítési valószínűsége nagyságrenddel nagyobb, mint ha ezt egyszerű, vizuális módszerekkel teszik. Ennek következményeként szükségessé vált a *felderítést, észlelést kizáró új módszerek* kutatása, e tevékenység tudományos igényű, komplex vizsgálata. A jelenlegi megsemmisítő eszközök hatékonyságának ismeretében - azt a gondolatsort követve, hogy *amit nem tudunk megcélzni, arra nem tüzelhetünk, így el sem találhatjuk(!)* - igazán hatékony önvédelmi megoldást csak az első elem (*felderítés, észlelés*) lehetőségének konstrukciós kiküszöbölése (számottevő csökkentése) jelentheti.

ses hullámtartomány szinte teljes spektrumában detektálhatóak ilyenek. A helikopterek elleni, valamint a saját fedélzeti fegyverek alkalmazásához (észleléshez, célzáshoz) ugyan felhasználható a teljes spektrum, a jelenlegi un. precíziós fegyverek rávezetése azonban a lokátor, infra, vagy/és a lézer frekvencia-tartományában történik.

Ezt követően az önvédelmi képességek elemzéséhez, illetve technikai megvalósításuk (megvalósíthatóságuk) értékeléséhez a megsemmisítés folyamatát szükséges áttekinteni, (értelmezésemben) a 2. számú táblázat segítségével. A táblázat alapján megállapítható, hogy a megsemmisítés minden fázisára (*felderítés* → *észlelés, azonosítás* → *célzás, fegyver működtetés (rávezetés)* → *találat*)

A megsemmisítés folyamata		
Észlelés, azonosítás → Célzás, tűzmegnyitás (rávezetés) → Találat (megsemmisítés, sérülés)		
A megsemmisítés elkerülésének lehetőségei		
R-L tartomány: EHC zavarás, dipól-szórás, műcél kibocsátás; Vizuális tartomány: álcázó és zavaró festés; Audatív tartomány: alacsony zajszintű hajtóművek, légcsonnokok, forgószárnyak, reduktorok, berendezések; Repülés technikái: földközeli repülési pálya, tereptárgyak fedezéke;	Infra tartomány: a külső, felfelegetett sárkány elemek és a hajtómű gázok hűtése, infracsapda alkalmazása, Repülés technikái: intenzív, manőverező repülés;	Passzív: páncélozás, megerősített sárkány teherviselő rendszer, elfolyó tüzelőanyag és hidraulika szabadba vezetése, „nem gyúlékony”, nehezen párolgó vagy zselatinos üzemanyag és hidraulika folyadék alkalmazása és semleges gázokkal történő átfűvátása, R-L visszaverő felület csökkentése; Aktív: tűzoltó és robbanás megelőző rendszerek, „önforrasztó” üzemanyag tartályok bennük semleges gáz és porózus töltőanyag, a fedélzeti sárkány és avionikai rendszerek többszörözése és rezerválása, külső kormánysszervek rekonfigurációja; Repülés technikái: vész repülési üzemmód, kényszer-leszállás, katapultálás, †;
Teljes spektrum: komplex stealth-technológia		

A 2. számú táblázat alapján kézenfekvő, hogy megnyugtató konstrukciós, önvédelmi megoldást a STEALTH-technológia komplex alkalmazása nyújt. Sajnálatosan, két évtizedes fejlesztés zárult kudarccal 2004. februárjában, az első lopakodó helikopter, a RAH-66 (2. ábra) befejezés előtt álló fej-



2. ábra

lesztési programjának törlesztésével. 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 helikoptereknek maradnak az önvédelemnek, már létező, de egyelőre finanszírozhatatlan beépítésű biztonságtechnikai elemei, amelyek részleges helyettesítésére, szükségeszerű megfelelő repüléstechnikai módszerek kimunkálása.

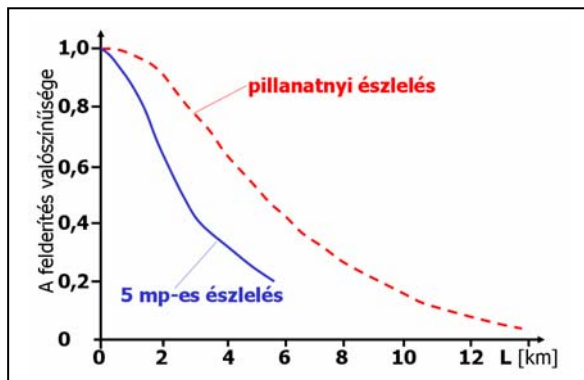
1. A HAGYOMÁNYOS HELIKOPTEREK FELDERÍTHETŐSÉGÉNEK CSÖKKENTÉSE

Mint az, az 1. ábra alapján is megállapítható, hagyományos helikopterekről széles frekvencia-tartományban nyerhető észlelésre alkalmas információ, melyek közül:

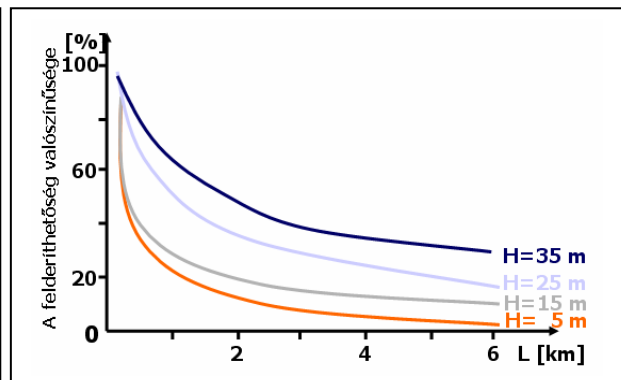
- a sárkány, forgószárny, faroklégcsonnokok és hajtómű tükröző felületeiről visszavert fény-, lokátor-hullámok;
- a fedélzeti berendezések által kisugárzott elektromos, elektromágneses jelek, a repülőszerkezet hő- és hang kibocsátása, esetleg az áramlási turbulenciák

alkalmasak leginkább detektálásra. Közülük célszerű elsőként azokat kiszűrni, amelyek a nagy találati pontosságú és megsemmisítő képességű fegyverek célzásához, célra vezetéséhez alkalmas jeleket szolgáltatják. Ezek a *lokátor* és *lézer sugarakat* visszaverő felületek, a *hőpelengátorokkal* érzékelhető termikus források. Mivel a STEALTH-technológia egészében nem áll rendelkezésre, a helyettesítő

repüléstechnikai eljárás kidolgozásához, a meglévő felderítő, rávezető eszközök technikai, alkalmazási korlátait szükséges megvizsgálni.

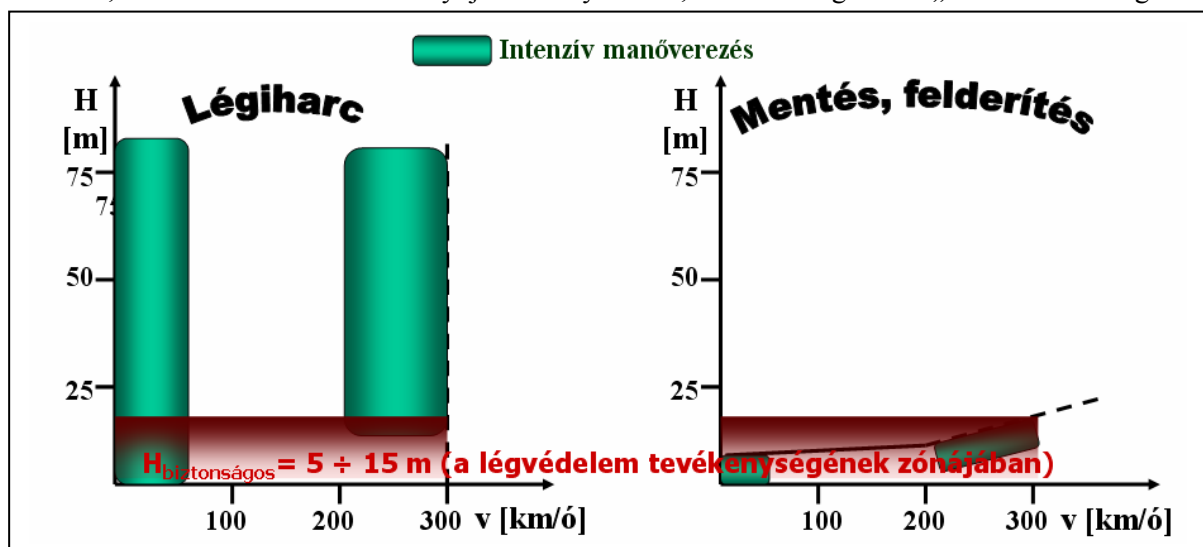


3. ábra



4. ábra

A 3. és 4. ábra együttes elemzéséből megállapítható, hogy $L \leq 6$ km távolságból (ami a fedélzeti fegyverek alkalmazhatóságának kezdete!) válik a helikopter annyi időre (legalább 5 mp-re) észlelhetővé, ami már lehetővé teszi ellene a légvédelem megsemmisítő eszközeinek működtetését. E zónán belül a saját repülőeszköz felderíthetőségének (célzás, tüzmegnyitás) alacsony valószínűsége csak a repülési magasság $H \leq 15$ m-es értékével biztosítható. Az 5. ábra alapján - mely a katonai helikopterek két tipikus repülési feladata során alkalmazott, domináns, H-v manőver intervalluma - belátható, hogy alapvetően a légvédelem zónájának 6-10 kilométeren belüli megközelítése, illetve a légi harc módszereit szükséges átértékelni. Utóbbinál a függőleges manőver elemeket célszerű mellőzni, mivel csak a vízszintesek nyújtanak folyamatos, 80 %-ot meghaladó „túlélési biztonságot”.



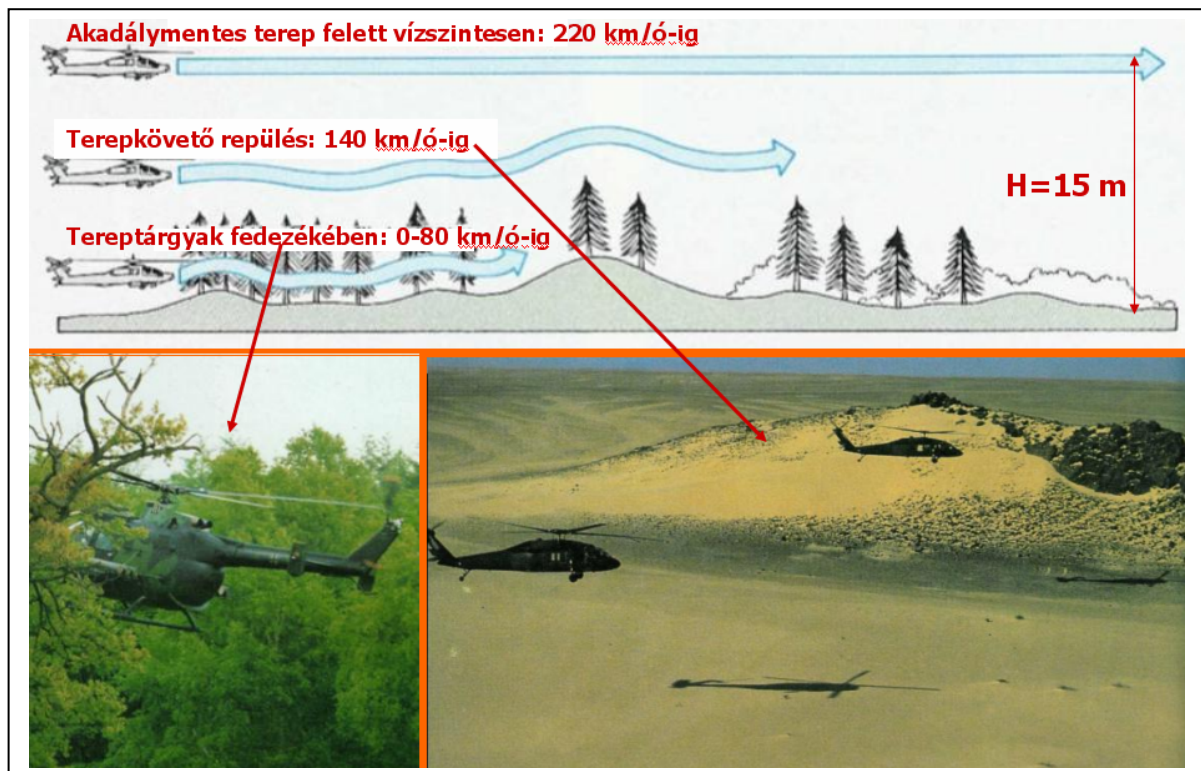
5. ábra



6. ábra

Ez annyira komoly és meghatározó szempont, hogy például a MI-28-as helikopter fejlesztése során a kétforgószárnyas, keresztelrendezésű változatot - a nagyobb hordképessége, repülési sebessége, jobb manőverező-képessége ellenére - azért vetették el, mert a vízszintes manőverek során is „kilóg” felfelé, a biztonságot jelentő 15m-es határmagasságból. (6. ábra)

A közvetlen földközeli repülési magasságnak is vannak negatívumai, mivel csökkenteni kell az alkalmazható biztonságos repülési sebességet (7. ábra), ami az ellenséges terület felett hosszabb idejű tartózkodást tesz szükségessé, ezáltal egyszerűbb, huzamosabb célzási időt biztosít kézi fegyverek - közülük is a legveszélyesebb, a vállról indítható légvédelmi rakéták (pl. „Stinger”, „Igla”) - számára.



7. ábra

1.1. A helikopter vizuális és auditív felderíthetőségének csökkentése

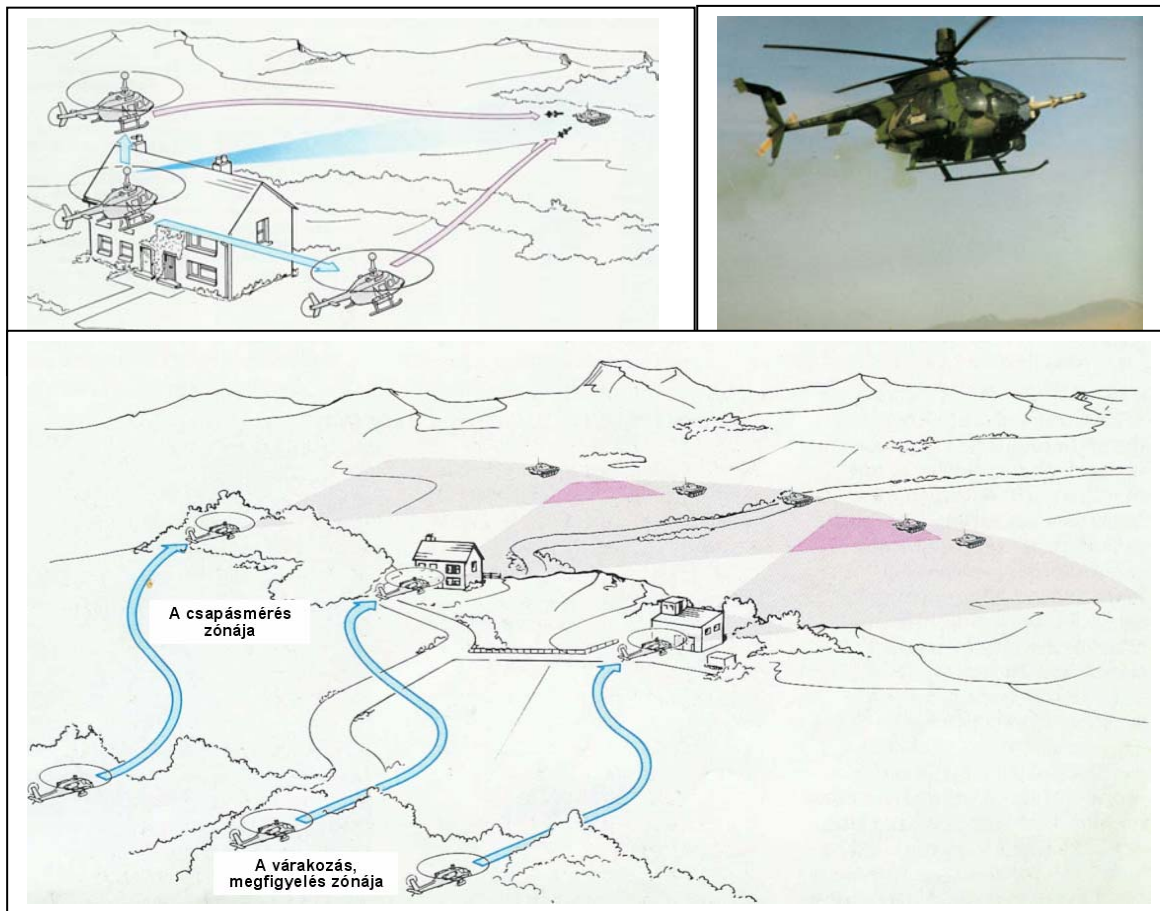
Az észlelhetőség, felderíthetőség, csökkentésének egyik legrégebben ismert módszere a klimatikus viszonyoknak, évszaknak, földrajzi övezetnek megfelelő álcázó festés, tábori repülőterek állóhelyén, hasonló szempontok szerint kialakított álcahalók használata (8. ábra).

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. Lényeges, hogy a fülkeüvegezés fényvisszaverő képességét is minimálisra csökkentsék. Amennyiben a helikopter felderítő, célzó, távmérő rendszerét a forgószárny, vagy a fülketető felett helyezik el



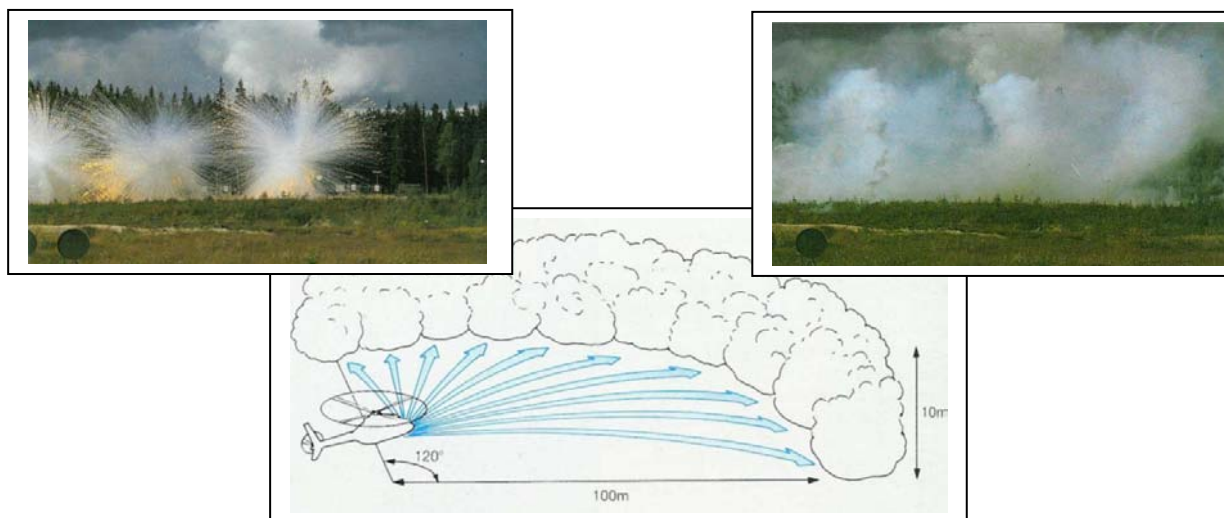
8. ábra

(9. ábra), akkor az, a tűzérési megsemmisítő eszközökkel szemben szinte sebezhetetlen, mivel a már beirányzott, tűzkész fegyverek fedezéken kívüli működtetéséhez elég 2-3 mp. (v.ö. 3. ábra!)



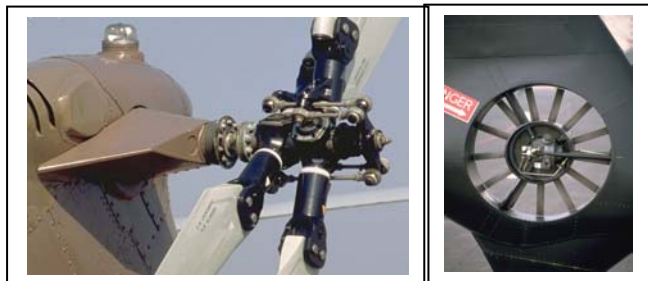
9. ábra

A fedezékül használható természetes terep-, vagy műtárgy hiányába, a vizuális álcázás füstképzéssel is biztosítható (10. ábra), mely megfelelő sűrűség, vastagság esetén a közvetlen optikai célzáson kívül a lézeres megvilágítás megakadályozására is alkalmas.



10. ábra

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



11. ábra

12. ábra

- egyik részénél (hajtóművek, reduktorok) csak nagy tömegű hangszigetelő rétegek beépítése után lehetne részleges eredményt elérni;
- a másik részénél (forgószárnyak, faroklégcsavarok) direkt hangszigetelésre nincs is mód, speciális kialakítás (pl. „X” alakú faroklégcsavar /11. ábra/, fenesztron /12. ábra/, stb.) eredményez viszonylagos zajcsökkenést.

1.2. A helikopter termikus kisugárzásának 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 $\Delta t = 0,1 \text{ } ^\circ\text{C}$ alatti, de akár $\sim 0,01 \text{ } ^\circ\text{C}$ is lehet. Ami látható optikai eszközzel nappal, a látható infravörös optikai eszközzel akár éjjel is, de a hőforrás miatt még látható fényben is az utóbbi alkalmazása nyújt többnyire 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 tartományokban a levegő elnyeli a sugárzást /1,8-2,0; 2,8-3,2; 4,2-6 μ között/. Az infravörös sugárzás „álcázása” azért nehéz, mert a működő hőerőgéppel felszerelt haditechnikai eszközökben felszabaduló hő, nyomtalanul nem szórható szét a környezetben. Szakirodalmi források alapján vadászgépnél a hajtómű fűvócsöve 3,2-4,8 μ tartományban, 2-3 méternyi környezetében az infravörös sugárzás 70-90 %-át kisugározza.

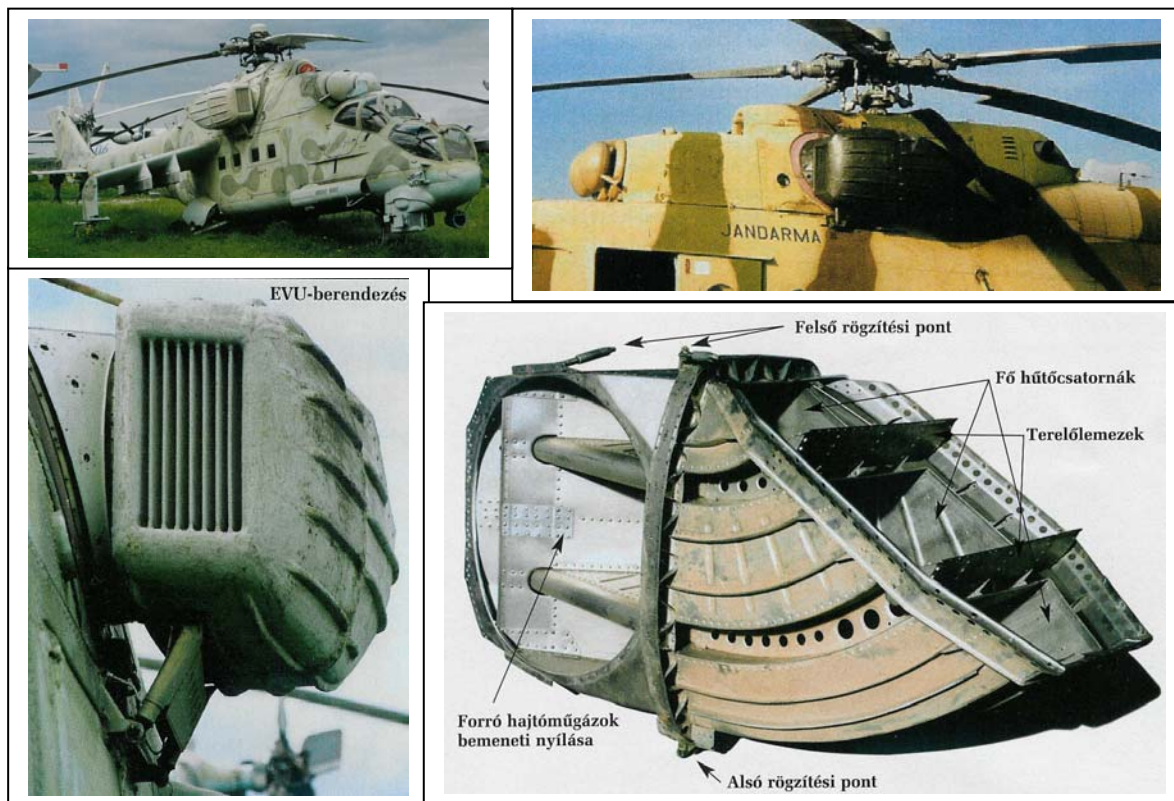
Harci helikopternél, a gázturbinák hatásfokának figyelembe véve $\sim 10000 \text{ kW}$ fűtő teljesítményből keletkezhet infravörös sugárzás. A bevitt energia kb. 60 %-a a fűvócsöveken keresztül távozik kiáramló gázzal, $\sim 700 \text{ K}^\circ$ hőmérsékleten. Ennek egy része infravörös sugárzás a tüztérből, az olajtartálytól, az olajradiátoroktól, a hidraulika blokkoktól és a különböző reduktoroktól. Másik része, a távozó meleg gázáram 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 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 harci helikoptereken az infravörös sugárzásnak a környezeti sugárzáshoz viszonyított értéke csökkenthető:

- a fűvócsövek körkörös árnyékolásával;
- az árnyékoló szerkezeti elem belső falának infravörös sugárzást át nem eresztő réteggel való bevonásával;
- a hajtómű kiáramló gázainak hűtésével még a kilépés előtt, jelentős mennyiségű hideg levegő hozzákeverve (harci üzemmódon még járulékosan víz-alkohol keverék hozzáadásával), hogy azok minél kevésbé tudják a szerkezeti elemeket felmelegíteni;

- a kiáramló hűtött gáz irányának olyan megváltoztatásával, hogy azok minél korábban a forgószárny által megmozgatott nagytömegű környezeti levegő áramlásába elkeveredjenek;
- a fűvócső szívóhatásának felhasználásával a hajtómű és a hajtómű-borítás közötti, valamint a főreduktor teréből a meleg levegő kiszívásával, akadályozva a borító sárkány elemek átmelegedését.

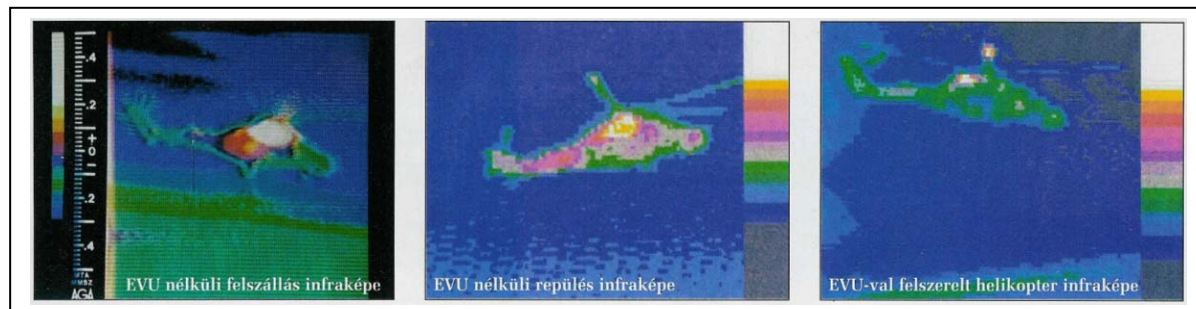


13. ábra

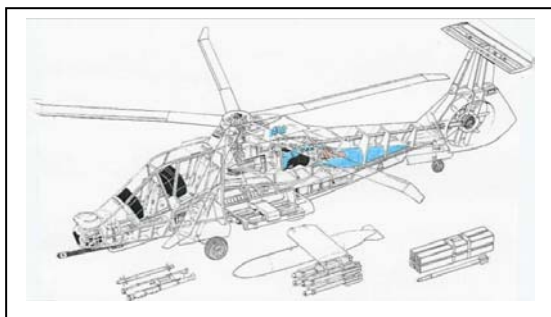
E módszerek célja az, hogy az infravörös sugárzás általános szintjét az alkalmazott hőfejes rakéták érzékelési küszöbszintje alá vigye, egyben a felderíthetőséget a háttérsugárzáshoz viszonyított kontraszt elmosásával a minimumra csökkentse.

A ma korszerűnek számító harci helikopterek mindegyike kielégíti ezeket a követelményeket, e segédesszközök a sárkányszerkezet részei. A „MI” típusú orosz helikopterekhez az infravörös sugárzáscsökkentő berendezéseket pótlólag fejlesztették ki (13. ábra). (Ezzel hasonló elven működőket alkalmaznak a Tiger, S-70, S-76, Gazella, Cougar, AH-64A Apache, Bell AH-1 Cobra, Augusta 129A Mangusta, Aerospetiale Panther, stb. típusokon.)

Hatékonyságát jellemzi, 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 észlelhető (14. ábra).



14. ábra



15. ábra



16. ábra

A RAH-66-os helikopter hőkisugárzásának fokozott csökkentését, a forró hajtóműgázok faroktartó teljes hosszán történő keresztülvezetésével, intenzíven hűtve kívánták megvalósítani, majd a farokfutó előtt, a forgószárny leáramlási zónájában kivezetve, elkeverni a környezeti levegővel (15. ábra).

Harctéri körülmények között, e berendezések általában a helikopter saját infravörös sugárzását a hadszíntér egyéb infravörös sugárzási elemeinek szintje alá csökkentik, ami megtéveszti a csak infravörös rávezető fejjel támadó rakétákat. Még eredményesebb a védelem, ha a ilyen rakéta indítását észlelve, a helikopter a saját termikus jellemzőit szimuláló, megtévesztő infravörös forrásokat bocsát ki (16. ábra). Ezek hatékonyságát jelentősen befolyásolja az alkalmazott infra töltetek száma (célszerű a százas nagyságrend!), elhelyezése a sárkányon és a működtetés módja (automatikus, kézi, egyszeri, vagy szakaszos indítás lehetősége, stb.).

1.3. A sárkány visszatükröző képességének gyengítése speciális anyagok bevonatok és építési technológiák alkalmazásával

A kifejezetten STALTH-helikopter megépítése ugyan a közeljövőben nem várható, de a korszerű forgószárnyas katonai repülőeszközök lokátorral történő felderítés elleni védelmét még sem csak a



17. ábra

földközeli, és tereptárgyak fedezékében történő repülésre alapozzák. Egyebek között a helikopterek lokátor-hullám visszatükröző sajátosságainak ismeretében (17. ábra), illetve a fejlesztéseknél nyert tapasztalatok felhasználásával, utómunkálatok, típus-modifikációk létrehozása során, speciális védőbevonatok, szerkezeti átalakítások alkalmazásával, a már rendszeresített típusok reflexiója is lényegesen csökkenthető.

A korszerű rádiólokátorok általában széles frekvenciatartományban üzemelnek, így a repülőgép szerkezeti elemeit, illetve a felhasznált speciális anyagokat, az ehhez tartozó sugárzások elnyelésére kell(ene) optimalizálni. A lokátor-technika fejlődése és az üzemi frekvenciatartomány kiszélesedése is szükségessé teszi az elnyelési tartomány kiszélesítését, ennek eredményeként az

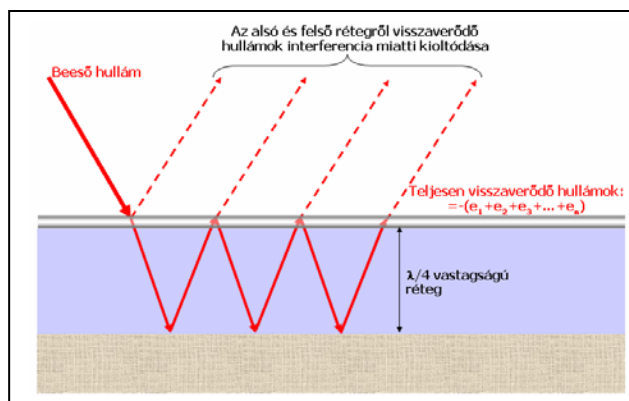
utóbbi években gyors fejlődésnek indult a rádióhullámokat elnyelő anyagok gyártási technológiája.

A repülőgép rádiólokátor hullámokat átbocsátó-, illetve a kompozitok visszatükröző képessége anyaguk fizikai jellemzőitől, mindenekelőtt a *dielektromos permittivitásuktól* ($\epsilon = \epsilon' + j\epsilon''$) és *mágneses permeabilitásuktól* (μ), valamint az elektromos karakterisztikáiktól függ (utóbbihoz értve az R-L hullámok elhajlási szögét is). További fontos jellemzők a dielektromos állandó és a *veszteség szögének*

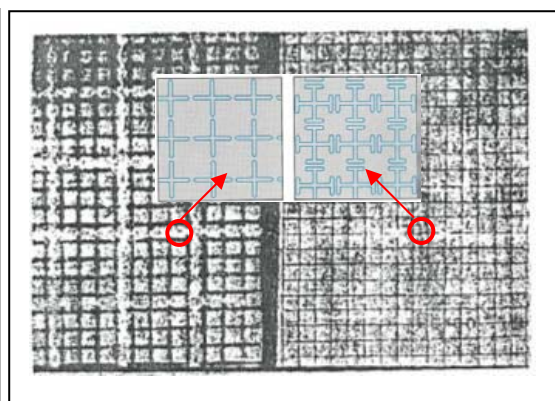
tangense ($\tan \delta = \epsilon''/\epsilon'$), amely az alkalmazott kompozit szálának és mátrixának anyagától függ. A mágneses kompozitok elnyelőképességét a mágneses hiszterézis fajtája határozza meg.

Ennek megfelelően az *R-L hullámokat elnyelő anyagok* kétfélék, *dielektromosak* és *mágnesesek* lehetnek. A dielektromos és mágneses sajátosságaik, vastagságuk, veszteségeik, impedanciájuk, belső optikai tulajdonságaik szabályozásával optimalizálható a rádióhullám elnyelő képesség egy, több, vagy a teljes frekvenciatartományban.

A *rezonáns-elnyelők* (16. ábra) szendvics szerkezetében a visszatükröző felülettől a beeső hullámhossz egynegyedének ($\lambda/4$) megfelelő távolságra vékony ellenállásréteget (ekránt) helyeznek el, amely felületi ellenállásának impedanciája megközelíti a külső térét, ezáltal minimális lesz az elektromágneses anyagról a visszaverődés. Az ekránt érő sugárzás egy része közvetlenül visszaverődik, további része a felületen megtörve, a fémrétegről tükröződik vissza. Mivel az ekrán és a fémfelület távolsága $\lambda/4$, az utóbbi hullám 180° -os fáziskésésben kerül az R hullámhoz képest, interferálnak és kioltják egymást. (18. ábra)



18. ábra



19. ábra

A *raszteres sugárárselnyelő* (PD) olyan többrétegű dielektromos bevonat, amit fémek vagy szilícium (fémkerámia) gözeinek kicsapatasával állítanak elő. Felületére a rádió-lokációs sugarakat gyengítő, négyzethálós mintázatot maratnak (19. ábra), amelyek a hullámhossztól függően egy-, vagy több frekvenciát visszavernek, míg a többit átbocsátják.

Fizikai-kémiai elven működő *sugárárselnyelő anyag*, az ún. *ATRSBS-bevonat* (Anion Transverse Reduction of Salt on Base Schiff) is. A Schiff-bázisú sók csoportjába tartozó, bonyolult vegyület szénláncához perklorát ionok kapcsolódnak. A három oxigén és egy klóratomból felépülő ionok elektrosztatikus kötése annyira labilis, hogy akár már egyetlen fénnyfoton becsapódásakor is csekély mennyiségű hőenergia felszabadulása közben felbomlanak, majd a perklorát ionok visszakapcsolódnak a szénláncához. A fény adszorbeálódása és a visszarendeződés a másodperc tört része alatt tetszőleges gyakorisággal, reverzibilisen, végbemehet.

A meglévő katonai repülőeszközök fejlesztése, szerkezeti átalakítása során figyelembe kell venni, hogy valamennyi *bekapcsolt elektromos berendezésük* működés közben mérhetően *kisugároz*. Kedvezőtlen, hogy többségüket harctevékenység közben, az ellenség aktív felderítésének idején elengedhetetlenül szükséges üzemeltetni. Ezenkívül, a rádió és lokációs berendezések antennái kikapcsolva is jelentős sugárárszámnyiséget képesek visszaverni. E berendezések felderíthetőségének csökkentésére (megszüntetésére) az alábbi főbb módszerek kínálkoznak:

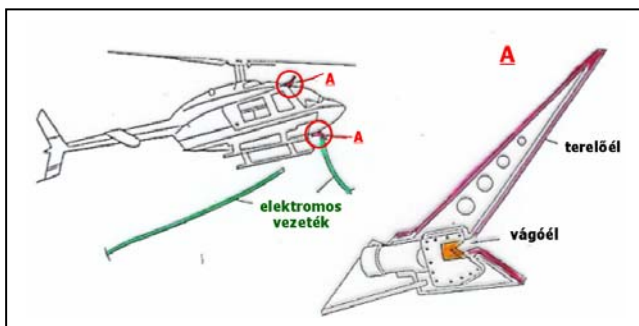
- a jelenleg használatos berendezések cseréje kisebb kisugárársúra, vagy más elven működőre (pl. Doppler-elven működő helyett lézer);
- a funkcionálisan szükséges kisugárárszó-vevő elemek (pl. antennák) lehető legrövidebb idejű, legalacsonyabb energiaszintű működtetése, az egyéb elektromos berendezések kisugárársát át nem bocsátó konténerekbe történő elhelyezése a sárkányon belül;
- többségében passzív (vevő üzemi) navigációs, rávezető és parancsadó rendszerek használata;
- műholdas és asztronavigációs rendszerek alkalmazása;

2. A SÉRÜLÉS, MEGSEMISÜLÉS ELLENI VÉDELEM

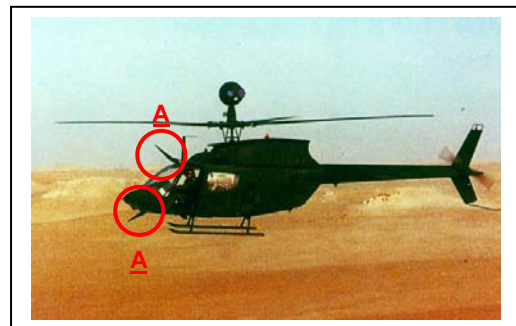
A legkorszerűbb gyártási technológia, beépített eszközök, repüléstechnikai eljárás sem eredményezhet a 100 %-os repülésbiztonságot, vagy harci túlélő képességet. Ezért a helikoptereket fel kell szerelni a mechanikai behatásoktól (ütközés, találat, lezuhanás, stb.) - legalább a személyzetet - megvédő szerkezeti elemekkel, berendezésekkel.

2.1. Preventív megoldások

A fejlett infrastruktúrájú terep felett, a földközeli repülő helikopterekre egyik legnagyobb veszélyforrást (békeidőben is!) az elektromos vezetékekkel történő ütközések jelentik. (Az USA-ban 10 év alatt 208 ilyen (polgári) esetet regisztráltak, mely során 37-en meghaltak, 137-en súlyosan megsérültek, 88 helikopter megsemmisült, 120 pedig megrongálódott.) A vezetékek biztonságos kikerülésükhöz szükséges előrejelzőként különböző lézer-lokátorok fejlesztése és tesztelése folyik, változó eredményességgel.



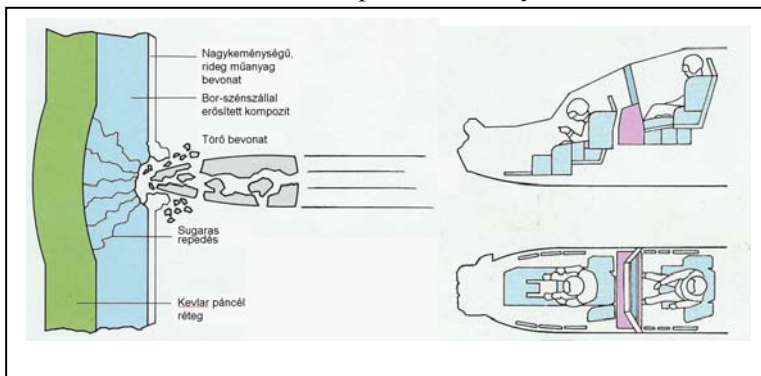
20. ábra



21. ábra

Jelenleg egyetlen bevált és elterjedt megoldásnak, a fülke alsó és felső részére rögzített, terelő- és vágóélből álló WSPS (Wire Stricke Protection System) vágórendszer tekinthető (20. ábra). Előjelzésre ugyan nem alkalmas, de ütközéskor, $v \leq 120$ km/ó repülési sebességig, 22 mm átmérőjű vezetéket úgy vág át, hogy közben a hossz- és keresztirányú túlterhelés az üzemi értékhatárok között maradjon, a helikopteren sérülés nem keletkezik. Segítségével a katasztrófák száma 24-28 %-kal csökkenthető. További előnye az olcsósága, valamint, hogy több típusra utólag is felszerelhető (21. ábra).

A személyzet és a fontosabb berendezések védelmére, főleg harci helikoptereken a prognosztizálható támadó fegyverek fajtájának, a belövés irányának megfelelő, különböző vastagságú páncél, vagy kevlar borítást kerül a sárkányra (22. ábra). Ezek alulról és oldalról 30 mm-es géppágyú lövedéknek vagy NIR-nek is ellenállnak, de a fülkeüvegezése is védelmet biztosít a mögötte ülőknek, akár 12 mm-es űrméretű géppuskalövedék találat esetén. A saját védelmi rendszerrel nem, vagy kevésbé ellátott szállító helikopterek személyzetét kevlar-mellénnyel szerelik fel.



22. ábra

A helikopterek létfontosságú berendezéseinek védelmét - a súlycsökkentés érdekében árnyékolással is fokozzák. Ennek lényege, hogy a biztonságos működés szempontjából alapvető szerkezeti elemek közül azokat, amelyek nem dublizhatók (pl. a főreduktor), olyanok közé helyezik el, amelyből legalább kettő van (pl. hajtóművek). (Tudatos alkalmazására példa a KA-50/52 helikopter.

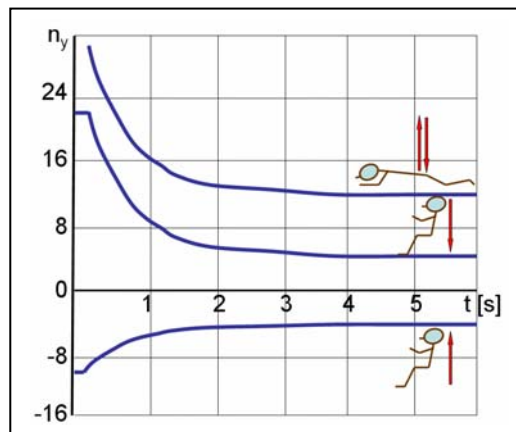
2.2. A helikopter-személyzet lezuhanás elleni védelme

A katonai helikopterek leginkább akkor veszélyeztetettek, amikor az ellenséges légvédelem zónájában, földközeli magasságban kell repülniük maximális, vagy minimális sebességgel (7. ábra). Ilyenkor a repülőeszköz üzemképtelenné válása esetén, autorotációval történő leszállásra nincs reális esély. A katapultálás elvben megvalósítható - létezik is már ilyenrel felszerelt harci helikopter (KA-50/52) - de ez legalább annyi bizonytalanságot hordoz, mint az autorotáció (23. ábra)

A sikeres katapultálás valószínűsége:

- az elhatározást csak a repülőgép-vezetők 50 %-a hozza meg időben, a többi meghal;
- a katapultálást végrehajtók 15-20 %-a meghal, 30-40 %-a megsérül;
- a falklandi háborúban, a 4 katasztrófát szenvedett (Westland Scout) helikopterből 3-nál nem voltak meg a katapultálás (H-v) feltételei. Egyiket - megfelelő felszereléssel - elhagyhatta volna a személyzet (az előző két pontban felvázolt valószínűséggel!)

23. ábra



24. ábra

A földközeli magasságból lezuhanant helikopterek mozgását analizálva megállapítható, hogy a becsapódás függőleges sebesség összetevője nem haladja meg a $v_y=6-15$ m/s-ot. Ebből adódóan megnyugtató védelmet az jelenhet, ha a helikopter törzsét konstrukciósan alkalmassá teszik - ilyen függőleges, becsapódási sebességgel történő talajnak ütközéskor - a benne ülők sérülésmentes túlélésének biztosítására. Értelmszerűen ez nem történhet a sárkány merevségének növelésével, mivel:

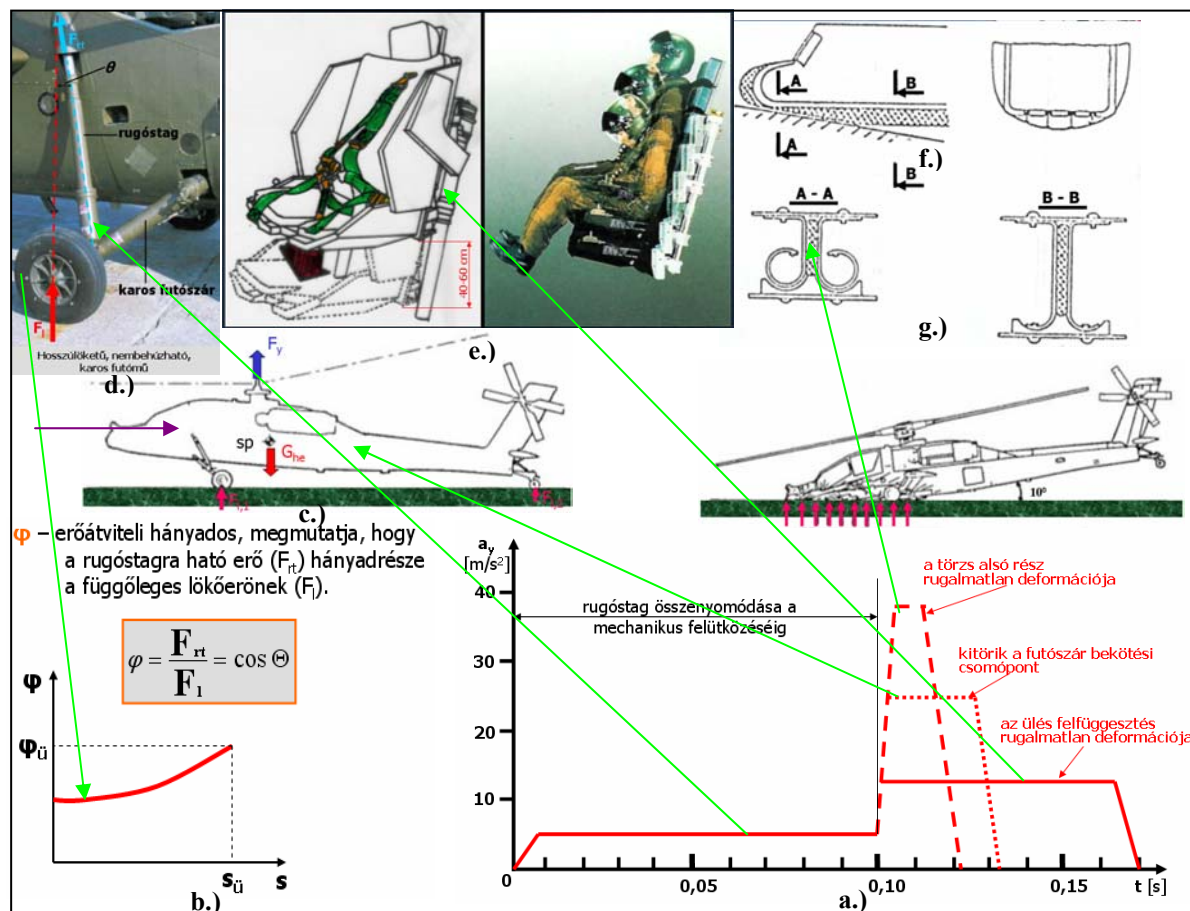
- jelentős szerkezeti tömegnövekedést okozna;
- a függőleges túlterhelés ($n_y=F_y/G=m \cdot a_y/m \cdot g$), a rövid fékezési úthossz miatt az emberi szervezet számára elviselhetetlen mértékben megnövekedne $H_{f\acute{e}k} \sim 0 \text{ m} \rightarrow a_y \sim \infty \rightarrow n_y \sim \infty$ (24. ábra)

Konstrukciósan tehát a lezuhanásból származó ütközési energia elnyelését a leghosszabb fékezési úthosszon (azaz a legkisebb lassulással a_y , és így a legkisebb túlterheléssel) kell biztosítani. Ez csak a sárkány meghatározott elemeinek egymást követő, irányított deformációjával lehetséges (25. ábra).

Normál és kényszerleszállásnál, valamint lezuhanásnál elsődleges energia elnyelőként, a talajtól származó lökőerő (F_l) felvételére a helikopter futóműve szolgál (25/c. ábra). Ezért, az ilyen repülőeszközökön - a kézenfekvő aerodinamikai megfontolások ellenére - hosszúlökötű, nembehúzható, karos futóműveket alkalmaznak (25/d. ábra), mivel a berugózás függvényében növekvő erőátviteli képességük (25/b. ábra) kedvezőbb, mint a teleszkópikus rugóstagé. A 25/a. ábra alapján is belátható, az ilyen rugóstag, már normál működése során is tetemes túlterhelés ($n_y=5-6$) felvételére alkalmas.

Amennyiben a rugóstag teljes összenyomódása nem elég az ütközési energia elnyelésére, a hajózó személyzet ülésének felfüggesztése is deformálódni kezd irányítottan, rugalmatlanul (25/e. ábra), ami a benne ülők számára további 0,4-0,6 méterrel megnöveli a lassulási úthosszat. Ezt követően további energia elnyelés már csak a futómű kitörése, illetve a törzs alsó részének irányított, rugalmatlan deformációja árán lehetséges (25/f. ábra). Ezt biztosítandó a törzs alján elhelyezett „I” profilú, teherviselő elemek gerinclemezei az alsó övhöz íves előbeépítéssel vannak rögzítve olyan szegecsekkel, amelyek kisebb erő hatására nyíródnak, mint a felső övnél (25/g. ábra. B-B metszet). Így, a törzsborítás ütközését követően csak a hossztartó gerinclemez-rögzítés alsó szegecsei nyírónak el, és a gerincek az előbeépítésen rugalmatlanul, körkörös deformálódni, további energia hányadot elnyelve. (25/g. ábra A-A metszet). Láthatóan a futószárak kitörését követően a túlterhelés extrém módon megnövekszik (25/a. ábra), de még így is jó az esély a túlélésre. Az utóbbi biztosításához igen fontos járulékos követelmény, hogy más, deformálódó sárkányelemek ne hatolhassanak be az

utastérbe, üzem- és kenőanyag ne folyhasson szét, elektromos vezeték szakadásakor szikra ne képződjön.



25. ábra

3. VÉGSŐ KÖVETKEZTETÉSEK ÉS A VÁRHARÓ JÖVŐ

A katonai repülőeszközök - köztük a helikopterek - ellenséges megsemmisítő eszközökkel szembeni legbiztosabb védelmét a prevenció, a megsemmisítés folyamatából már a felderítés, célzás megakadályozása jelenti. A komplex STEALTH-technológiával épülő, ember vezette harci helikopterek megépítésére azonban, egyelőre anyagi okokból nem kerülhet sor, így ha harcfeleladat közben a helikopter még is lezuhan, úgy a benne tartózkodók számára legbiztosabb védelmet, a sárkány erre való alkalmassá tétele jelenti.

Az új anyagok, gyártási technológiák megjelenésével a repülőszerkezetek lövésállósága is jelentősen javul. A 26. ábrán látható, két titánfőtartós forgószárnylapát (AH-64), a gépágyú lövedék találatát követően öt órán keresztül megőrizte működőképességét.



26. ábra



27. ábra

A katonai repülőeszközök fejlesztése esetében azonban változatlanul prioritásként jelentkeznek a találat lehetőségének kizárása, azaz a STEALTH-technológia minél több ismerté vált elemének alkalmazása, illetve további ilyen megoldások kimunkálása. Vélhetően viszonylag rövid időn belül mégis megjelennek a csapásmérő, lopakodó helikopterek, de személyzet nélküli, robot-repülőgép változatban (27. ábra). Sorozatgyártásuk megkezdését jelenleg még - az autonóm tevékenységi szakaszok végrehajtásához szükséges - megbízható szoftverek hiánya gátolja. Ezek lényegesen olcsóbbak, biztonságosabbak lesznek, hiszen irányításuk másik, távoli repülőeszközből, földi harcálláspontból is megvalósítható.

FELHASZNÁLT IRODALOM

1. Krasznov, A.: **Szisztemo PVO: malozametnie szredsztva vozdusnogo napadenija** ZARUBEZSNOE VOENNOE OBOZRENIE, 1995/5., P. 46-51.
2. Oravecz J. - Kovács L. dr. - Rohács J. dr.: **Harci helikopterek infravörös sugárzásának csökkentése (kézirat) 2000.**
3. Óvári Gy.: **A Stealth-repülőgépek szerkezeti kialakításának néhány kérdése** HADITECHNIKA 1991/4., p. 3-7.
4. Óvári Gy.: **A nagyhatalmak hosszú távú katonai repülőgép-fejlesztési programjai (2025-ig) és ezek lehetséges hatása a légi harcra, valamint a kis országok fegyverzet-vásárlására** MHTT 1998
5. Stoiner, Roger A.: **Stealth aircraft technology from world war II. to the Gulf** SAMPLE JOURNAL, 1991/5., p. 9-18.
6. **Stealth** AIR INTERNATIONAL 2000 January p.40-41
7. Szekeres Gábor: **Helikopterhajtóműhő-hűtő** AEROMAGAZIN 2004. december p.28-31.