

Óvári Gyula mk.őrnagy, főiskolai docens:

A STEALTH REPÜLŐGÉPEK SZERKEZETI KIALAKÍTÁSÁNAK NÉHÁNY KÉRDÉSE

A Kuvaít felszabadításáért 1991. január 17-én megkezdődött háború egyik érdekes haditechnikai tanulsága, hogy a lopakodó (STEALTH) vadászrepülőgépek meggyőzően igazolták harci hatékonyságukat, fejlesztésük elméleti és gyakorlati helyességét. E gépkategória létrehozásának koncepciója nem alapvetően új, hiszen mióta légi járművek (hadseregek!) léteznek, természetes törekvés a harceszközök és hadmozdulatok rejtése, álcázása. Az elmúlt évtizedek technikai ismereteinek fejlődésével mind szélesebb körben vált lehetővé a felderítés (a vizuális, auditív módszerek mellett hő- és rádióhullámok kisugárzása alapján, valamint lokátorok, lézerek stb. segítségével). Mindezekkel szoros kölcsönhatásban az álcázás is külön, komplex tudományá vá fejlődött, amelynek egyik konkrét megjelenési formája a STEALTH-technológiával épülő repülőgépcsalád. Az e fejlesztési elv - vagyis konstrukción az álcázás abszolút prioritása - szerint létrehozott légi járművek több szempontból is megkülönböztetett figyelmet érdemelnek:

- az ismertté vált gépek sárkánykialakítása, hajtómű elrendezése számos tekintetben eltér a klasszikus aerodinamikai, stabilitási, kormányozhatósági, valamint hajtómű-elméleti megfontolások alapján optimálisnak, vagy éppen csak elfogadhatónak tartott megoldásoktól;
- szakmai és politikai körökben rendkívül szélsőséges véleménynyilvánításra ragadtatott vezető államférfiakat és tudósokat úgy a terv mellett, mint ellene érvelve;
- a kiszivárogtatott adatok szerint a STEALTH-gépek előállítási költségei rekordösszegűek. A B-2-es bombázó a világ legdrágább repülőgépe, 1989-es áron 500 millió USD, az F-117A vadászgép ára 100 millió USD. (Összehasonlításképpen egy export MIG-29-es "csak" 20 millió USD.);
- a nyugati szaksajtó - forrás megjelölés nélkül - utal hasonló rendeltetésű szovjet légi járművek fejlesztésére;

- a STEALTH-program napjainkig is szigorúan titkos, ezért használható, megbízható adat, részletes műszaki ismertető a nagyszámú vonatkozó publikáció ellenére is alig kerül nyilvánosságra (főként ennek következménye, hogy a gépek technikai lehetőségeit - láthatatlanságát vagy éppen használhatatlanságát - ködös mítosz lengi körbe).

Ami a hézagos információk ellenére is biztosan megállapítható, a STEALTH-technológia nem egyetlen csodamódszer vagy anyag felhasználását jelenti, hanem azon elméletek, műszaki megoldások és anyagok komplex gyakorlati alkalmazását, amelyek segítségével a légi jármű a repülési magasságtól és sebességtől függetlenül teljesen vagy döntő részben rejtve marad valamilyen felderítő eszközzel szemben.

Ismert, hogy a hagyományos repülőeszközökről:

- a sárkány és hajtómű tükröző felületeiről visszavert rádióhullámok;
- a gép által kibocsátott elektromos-, elektromágneses-, hő-, hanghullámok, kondenzcsíkok, a fedélzeti rádiók és lokátorok működése

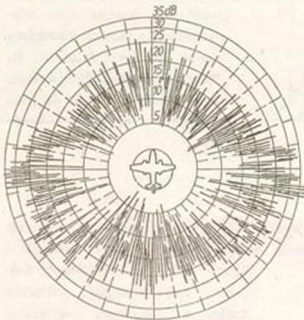
alapján nyerhető a felderítés számára használható információ. Ebből adódóan a STEALTH-technológiával épült légi járműveknél:

- a sárkány és hajtómű lokátor-hullámokat visszaverő felületeit nagymértékben csökkenteni szükséges;
- olyan szerkezeti anyagokat kell felhasználni, amelyek visszatükrözési tulajdonságai gyengék, vagy teljes egészében elnyelik az őket érő lokátor-hullámokat;
- a repülőgép és rendszerei által kibocsátott hő, elektromos, mágneses, fény, hang stb. kisugárzásokat meg kell szüntetni (vagy a lehetséges mértékben gyengíteni szükséges).

A fenti elveknek megfelelően tekintsük át a STEALTH-építési mód néhány ismertté vált szerkezeti megoldását.

1./ A sárkány visszatükröző felületi nagyságának és visszaverő képességének konstrukciós csökkentése

A különböző méretű és szerkezeti kialakítású repülőgépek rádiólokációs felderíthetőségének elemzése nyomán kiderült, hogy a legerősebb jelek: a sárkány nagy összefüggő sík felületeiről (szárny, vezérsíkok, törzs, szívócsatornák külső és belső falai, a hajtómű kompresszorának első fokozata stb.), valamint a külső függesztvényekről, főként oldalirányba verődnek vissza (1. ábra). A felderíthetőség a céltárgy határos keresztmetszetétől



1. ábra

elektromágneses hullámok hosszához képest, a hullámok polarizációs síkjától, a gép felületi egyenetlenségeitől, a megvilágítás irányától stb.).

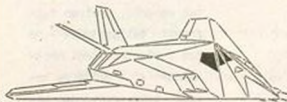
A repülőgépről visszaverődő rádióhullámok intenzitása nagymértékben csökkenthető, ha a sárkány külső felületét csak ívelt elemekből állítják össze (2.a. ábra). Olcsóbb és egyszerűbb gyárthatóság mellett közel hasonlóak a visszatükrözési tulajdonságai a több, egymással szöget bezáró sík-

függ. Ez azzal a felülettel egyenlő, amelyen felfogott teljesítmény - ha azt vevőantennaként használnák - a céltárgy helyén izotrópantennán kisugározva a rádiólokátor vevőantennánál ugyanakkora teljesítményt hoz létre, mint amekkorát a cél reflektál. (A dB-ben megadott reflektált jel nagysága arányos a határos keresztmetszettel, amely egyébeken között függ még a céltárgy geometriai méreteitől, valamint ezek arányától az alkalmazott

lapból kiképzett törzsnek is. (Ez utóbbira gyakorlati példaként szolgálhat a 2.b. ábrán látható már megépített F-117A vadászgép.) Mindkét megoldás



a,



b,

2. ábra

A felderíthetőség szempontjából - mint arról már szó volt - meghatározó a gép oldalnézeti felületének nagysága. Mivel a törzs, valamint a



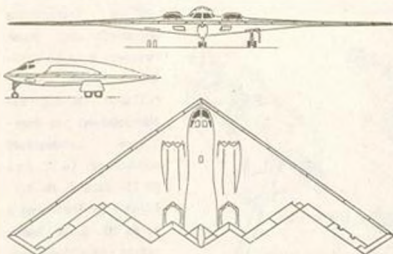
3. ábra

szárny belépőelei, törővégei, hengeres, ívelt formájuk, különösen fontos a függőleges vezérsíkok visszatükröző képességének csökkentése. Erre eredményes megoldásként kínálkozik az egy nagyméretű helyett két kisebb (osztott) vezérsík alkalmazása.

Tovább gyengíthető a visszatükrözés, ha a vezérsíkokat a ("csupa"-)szárny takarásába helyezik,

illetve a gép szimmetriasíkjához (-tól) (3. és 2.b. ábra) képest megdöntik. Ez utóbbi esetben azok pillangó(vagy "V")vezérsíkként is működtethetők.

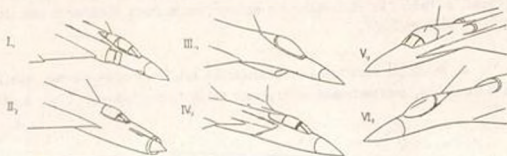
Bombázó repülőgépekre (pl. B-2) még ilyen kompromisszumok mellett sem építhető függőleges irányfelület (4. és 11. ábra 18.). Ennek következtében rend-



4. ábra

szerint aktív kormányvezérlés alkalmazása is szükségessé válik. (Ld. pld. TUDOMÁNYOS KIKÉPZÉS KÜZLEMÉNYEK 1989/2. szám 6-21. oldal!)

A STEALTH-technológia nem teszi lehetővé egyetlen aerodinamikailag kedvező tulajdonságokkal bíró szívócsatorna kialakítását sem (5. ábra I-IV.), mivel azok falai (II. kivételével) külön visszaturbuláló felületet képeznek, illetve "jó rálátást" biztosítanak a hajtómű kompresszorára.

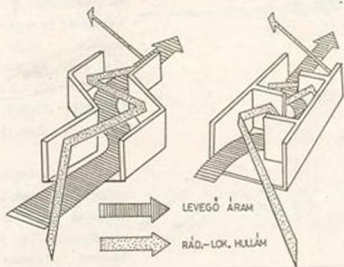


5. ábra

A szívócsatorna lokátorhullám visszaverőképessége lényegesen kisebb lesz, ha azt a törzs felső részén helyezik el (5. ábra V-VI. és 11. ábra 7. és 8.). Ezáltal azonban a szívócsatorna és a hajtómű gazdaságossága és megbízhatósága nagymértékben csökken. A kompresszor visszaturbulózásának teljes megszüntetésére a szívócsatornában a 6. b. ábrán látható módon közbetét lemezeket helyezhetnek el. Ezek viszont $M < 1$ tartományban drasztikusan csökkentik

a szívócsatorna (hajtómű) hatásfokát, $M > 1$ esetén pedig egyáltalán nem is alkalmazhatók. Az ilyen gépeknél - aerodinamikai okokból - csak a szívócsatorna néhányszori, 20-

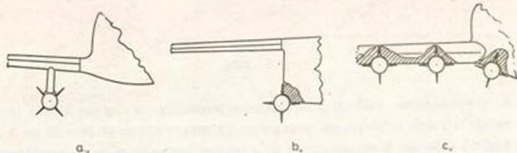
-40°-os iránytörése engedhető meg. Ennek hatására a belső falakon a beeső lokátor hullámok többször átükröződnek, ami energiájuk csökkenését eredményezi (6.a. ábra és 11. ábra 7. és 8.). Ilyen figyelhető meg a 3. és 10. ábrán bemutatott repülőgépeknél is, ahol a törzsben elhelyezett hajtóművekhez a szárny belsejében kialakított görbe-



6. ábra

bevonuló szívócsatornán keresztül vezetik a levegőt. További előnyt jelent, ha a szívócsatorna mellső szakasza sem emelkedik ki a sárkányból, hanem például a belépő keresztmetszete a szárny lekerekített orrdobozán van (ld. 3. ábra előlnézetből).

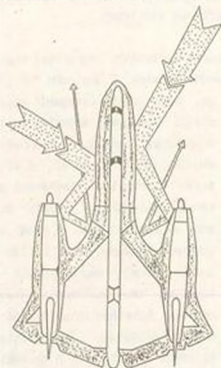
A repülőgép oldalirányú visszatükröző felületét számottevően növelik a konzolokon, indítósinéken elhelyezett külső függesztmények (7.a. ábra),



7. ábra

ezért a STEALTH-technológiával épült gépeken ilyenek csak a törzsbe (7.b. ábra pl. F-15 rg-nél), vagy a szárnyba (7.c. ábra pl. F-14 és F-16 XL rg-nél) rögzíthetők, teljesen vagy részben bevont állapotban (ld. még 11. ábra 9. és 21.!).

Egyes konstrukcióknál nem lehet eltekinteni a szívócsatorna, hajtómű vagy külső függesztmények törzsön, szárnyon kívüli elhelyezésétől. Ilyenkor



8. ábra

körültekintő meghatározást igényel a sárkány-elemek olyan optimális elrendezése, amelyekkel a gépet érő hullámok legnagyobb mértékű belső áttükrözése biztosítható (8. ábra). A visszatükrözési tulajdonságok tovább gyengülnek, amennyiben a rádióhullámokat átbocsájtó szabályos, áramvonalas borítólemezek alatt (8. ábra satírozott részek!) szabálytalan, geometriai formájú - a beeső hullámokat a tér minden irányába szétszóró - felületeket helyeznek el. Hasonló elven gátolják a felderíthetőséget a sárkány külső védőfestéke alatti mestersegesen érdesített fémfelületek. A speciális megmunkálás eredményeként a külső borítást egymással szöglet bezáró, számtalan mikrométerű síkklap alkotja, amelyek a beeső sugarakat a tér minden irányába szétszórják.

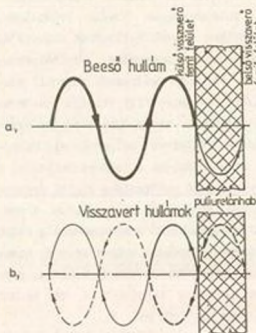
2./ A sárkány visszatükröző képességének megszüntetése (gyengítése) speciális anyagok és bevonatok alkalmazásával

Valamennyi megismert visszaverődést csökkentő eljárás eredményes kiegészítője lehet az **acélporos védőfesték bevonat**. A festéket, a belekevert mikroszkópikus acélrészecskék vezetővé teszik, ennek következtében a visszatükrözés nemcsak a megvilágított felületrészen, hanem a sárkány egészén, a tér minden irányába megvalósul. Így a gépet érő hullámok csak egy jelentéktelen hányada kerül vissza a felderítőlökátor antennájára.

A repülőgépeknél alkalmazott **kompozit anyagok** többsége gyakorlatilag teljesen elnyeli (átbocsájtja) a rádió-hullámokat. Az egyik legkorszerűbbnek számító "szénnel 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, mely különösen előnyösen alkalmazható a fűvécsovek zónájában.

Adott hullámhosszú, vagy szűk hullámhossz tartományú sugárzást megbízhatóan képesek elnyelni az ún. rezonáns védőbevonatok. E megoldás lényege,



9. ábra

lokátor üzemi hullámhossz-tartományának egy adott spektrumára terjedhet ki.

A rezonáns bevonattal szemben eredményes "ellenzereknek" bizonyultak a széles hullámhossz-tartományban működtetett és extra hosszú hullámú (méteres!) lokátorok, valamint a légi (pl. AWACS) és kozmikus felderítő rendszerek.

A jelenleg fejlesztés alatt álló sugárzást elnyelő anyagok közül a legígéretesebbnek az ún. ATRSBS-bevonat mutatkozik. (Elnevezését az angol Anion Transverse Reduction of Salt on Base Schiff kifejezés kezdőbetűiből nyerte. Felfedezése nem katonai, hanem orvosi, természeti kutatások adaptációjának köszönhető!) A Schiff-bázisú sók csoportjába tartozó, bonyolult

ge, hogy ferrit-rétegeket egymástól pontosan meghatározott távolságra (pl. poliuretánnal) elkülönítenek (9. ábra). A rétegek mindegyike visszaveri a riasó hullámok egy részét, de azok a köztük lévő - éppen a lokátor szokásos üzemi hullámhossza alapján meghatározott - távolság következtében a külső réteget követően interferálódnak, kioltódnak. Több réteg egymásra helyezésével a bevonat több hullámhosszú sugárzással szemben is védelmet biztosíthat. Belátható azonban, hogy az egymáson elhelyezhető ferritrétegek száma korlátozott, ennek megfelelően a védelem is csak a

vegyület szénláncához ún. perklorát ionok kapcsolódnak. A három oxigén és egy klóratomból 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 szénláncához. A fény adszorbeálódása és a visszarendeződés a másodperc tört része alatt reverzibilisen, többször is végbemehet.

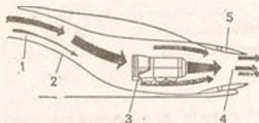
3./ A repülőgép kisugárzásainak csökkentése

A repülőgép hőkisugárzását alapvetően

- az üzemelő forró hajtómű és annak fúvócsöve, valamint a belőle távozó gázok;
- $M > 2,5$ esetén a levegővel súrlódó sárkány felmelegedése

okozza.

A hajtómű fúvócső és a távozó forró gázok infrásugárzása a hozzájuk vezetett, illetve kevert környezeti hűtőlevegővel csökkenthető leghatékonyabban (10. ábra 1. és ld. 11. ábra 13.).



10. ábra

A felmelegedett hűtőlevegőben felhalmozott hőmennyiség hőcserélőkben (pl. tüzelőanyag-levegő radiátorban) újra felhasználható. A felderíthető hőkisugárzás csökkentésének további, az előzővel kombinálva is alkalmazható módszerei:

- a törzs felső részén, lehetőleg a függőleges vezérsíkok között elhelyezett, szabályozható keresztmetszetű síkfúvócső alkalmazása (2-4. ábrák, 10. ábra 5. és 11. ábra 15.);
- külön hővédő pajzs (récs) felszerelése (11. ábra 14.);
- hangsebesség feletti repüléshez is utánégetés nélküli hajtómű (-üzemmód) alkalmazása (pl. YF-23 vadászrepülőgép, ld. 13. ábra);

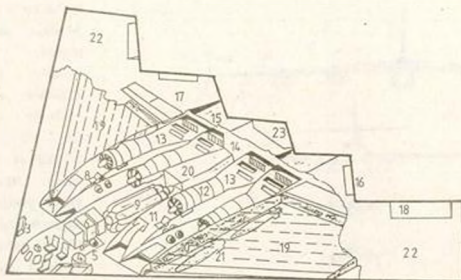
- a kondenzcsík képződés megelőzésére a hajtóműből távozó gázokba klór-fluór szulfonsav adagolása (e módszer hátránya, hogy a sav erőteljesen korrodáló hatású, valamint a kiáramló gázok ultraviolett tartományban változatlanul észlelhetők).

A sárkány aerodinamikai felmelegedése - különösen a belépőleken - súrlódás-csökkentő bevonattal részben csökkenthető.

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

- a jelenleg használatos berendezések cseréje kisebb kisugárzásúra, vagy más elven működőre (pl. Doppler-elven működő helyett lézer);
- a kisugárzó berendezések
 - + minimálisan szükséges energiájú,
 - + a lehető legkisebb bekapcsolási idejűműködtetése;
- többségében passzív (vevő üzemi) rávezető és parancsadó rendszerek használata;
- műholdas és asztronavigációs rendszerek alkalmazása;
- az elektromos berendezések kisugárzást át nem bocsájtó konténerekbe történő elhelyezése a sárkányon belül;
- a rádióantennák üzemi kívüli törzsbe történő bevonása vagy a földfelszínnel ellentétes irányba fordítása, esetleg rádióhullámot elnyelő, mozgatható zsaluzat mögé történő beépítése.

A STEALTH - építési mód néhány megoldása együttesen tanulmányozható a 11. ábrán.

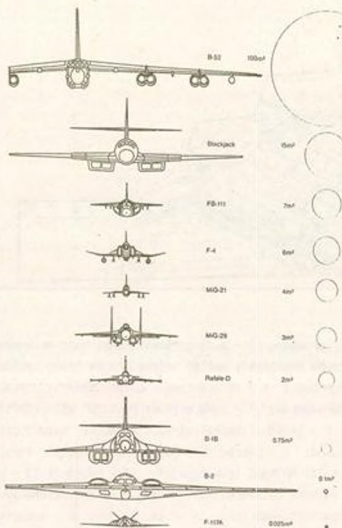


1 - rgv. fülke; 2 - R-L rendszer; 3 - a rádiielektronikai harc berendezéseinek antennái; 4 - törzsbe bevonható, mellső infravörös és lézer lokátorrendszer; 5 - orrfutó gondola; 6 - az elektromos berendezéseket tároló, kisugárzásukat elnyelő konténerek; 7 - lekerekített profilú szívócsatorna belépő keresztmetszet; 8 - rádióhullámokat elnyelő anyaggal bevont falú, görbe vonalú szívócsatorna; 9 - forgótáras bomba (robotrepülő) tároló; 10 - főfutó; 11 - kiegészítő hajtómű levegőgyűjtő; 12 - hajtómű; 13 - kiegészítő levegőgyűjtő a hajtómű hűtésére; 14 - infravörös és rádióhullámokat elnyelő rács; 15 - szabályozható GSF; 16 - flapperonok; 17 - interceptor; 18 - oldal- és magassági kormány, valamint féklapként működő külső kormányoszlopok; 19 - szárnytartályok; 20 - törzstartály; 21 - törzsben tárolt robotrepülő; 22 - külső rádióhullám elnyelő réteg; 23 - vízszintes stabilizáló felület és fékszárny.

11. ábra

A STEALTH-technológiával épült gépek felderíthetősége - csak a felsorolt megoldások célszerű kombinációjának következményeként is - több nagyság-

renddel csökkenthető. Például 100 m^2 -nek véve hagyományos építésű B-52-es bombázó hatásos visszatükröző felületét, a STEALTH-követelmények szerint



12. ábra

kialakított B-1B-jé ennek már kevesebb, mint $1/100$ -a, a B-2-jé $1/1000$ -e, az F-117A-jé pedig nem éri el az $1/10000$ -et (12. ábra). Mindezek eredményeként a hagyományos, lokációs felderítő rendszer egyáltalán nem, vagy csak késve jelzi e légi járművek megjelenését (pl. egy konvencionális, dm-es tartományban dolgozó lokátor, amely a vadászpilóta típusú célt 350 km -es távolságról képes észlelni, a B-2 megjelenését kevesebb, mint 50 km -ről jelzi).

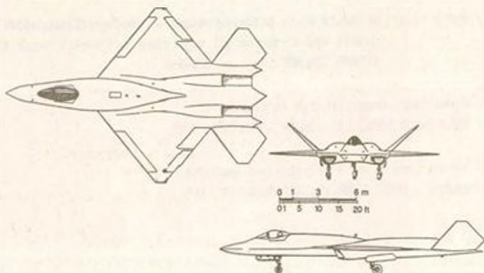
A felsorolt előnyök, kedvező tapasztalatok ellenére egyetlen repülőgép számára sem biztosítható belátható időn belül konstrukciósan az abszolút felderíthetetlenség; "láthatatlanság". A jelenlegi és eljövendő lopakodók elleni védelmet:

- a további mérhető jelek keresése;

- a hagyományos mérési módszerek mérési intervallumának kiszélesítése;
- új detektálási eljárások kidolgozása

biztosíthatja.

A STEALTH-gépek széleskörű, rövidtávú elterjedését rendkívüli költségek, a létrehozott konstrukciók esetenkénti kedvezőtlen aerodinamikai, stabilitási és gazdaságossági mutatói késleltetik. Természetesen nem elhanyagolható a nemzetközi katonai enyhülés hatása sem az új, drága fegyverrendszerek továbbfejlesztésére, a konstruktóri elképzelések helyességét azonban mindenképpen igazolja az is, hogy 1990. június 22-én a kaliforniai Edwards légitámaszponton bemutatták az új, **szuperszónikus STEALTH**-vadászgépet az YF-23-at (13. ábra).



13. ábra

Az Öböl-háború befejeztével csak reménykedni lehet, hogy a XX. század csúcstechnológiáit koncentráló, kimagasló harci és repülési tulajdonságokkal bíró légi jármű "éles helyzetben" történő kipróbálására még nagyon sokáig nem kerül sor.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- 1./ American Stealth Emerges
DEFENCE 1989. február p. 126-130.
- 2./ Brauch, A.: Camouflage: The whole spectrum
MILITARY TECHNOLOGY 1984/4. p. 14-30.
- 3./ B-2 in flight reveals new details
FLIGHT INTERNATIONAL 1989. 136. p. 8-9.
- 4./ Isztrebitel-bombardíróvsík máloj zematnoszti
LOCKHEED F-117/A (obzor)
AVIASZTROENIE 1990. N^o16. p.1-11.
- 5./ Óvári Gyula: A légi járművek gazdaságosságát és manőverezőképességét
javító sárkányszerkezeti megoldások (főiskolai jegyzet)
KGYRMF SZOLNOK 1990. p. 278-292.
- 6./ Richardson, Doug: Stealth Warplanes
SALAMANDER BOOKS LTD LONDON - NEW YORK 1989.
- 7./ Tamási Ferenc, dr.: Rádiólokátor-technika
ZRÍNYI - MŰSZAKI KÖNYVKIADÓ BUDAPEST, 1986.