

Gyurján László

## A LOPAKODÓ TECHNOLÓGIA

*A Lopakodó technológia korunkban az egyik legfejlettebb, legdrágább és talán legfontosabb kutatási és alkalmazási terület a hadviselésben. Segítségével a katonai tevékenységek határfoka és a saját erők túlélési aránya nagymértékben megnő. Cikkemben a technológiát mutatom be annak is főleg a passzív megoldásait.*

**Kulcsszavak:** STEALTH, repülőgép, lopakodó, kompozit, modern hadviselés

### BEVEZETÉS

A saját erők és felszerelések minél jobb hatásfokkal való megóvásának igénye már az első háborúk óta jelen van a hadseregekben. Az ókori időkből is maradtak feljegyzések arról, hogy zseniális hadvezérek miként tudták kijátszani ellenségük felderítését és ennek segítségével hogyan tudtak győzelmet aratni. Ahogy a technológia fejlődött és a csatatereken a távolságok egyre nőttek, a közelharcból és az íjjak hatótávolságából lassan évezredek alatt eljutottunk oda, hogy gyakorlatilag a föld bármely pontjáról vagy akár a kozmoszból is tudunk megsemmisítő csapást mérni ellenségeinkre. A korszerű, hatékony, és nagyon drága haditechnikai megóvása, az ellenség elől való elrejtése, felderítésük megakadályozása vagy legalább megnehezítése a harc sikeres megvívásának alap pillére. A történelem korai időszakában a felderítés elkerülésére, a rejtettség biztosítására a seregek az erdő mélyén vertek táborot, vagy megbújtak egy árokban és várták, míg az ellenség a kardok és szuronyok hatótávolságába ér. A XX. században a repülőeszközök megjelenése és azzal szorosan összekapcsolódva a légi felderítés képesség kifejlődése meghatározó tényezővé vált az első világháborúban, majd az első elektronikai felderítő berendezés a radar megjelenése a második világháborúban. Később a kém műholdak léptek színre, infravörös kamerák, és az egyre fejlettebb letapogató berendezések megjelenése mind arra terelte a hadi ipart, hogy folyamatos fejlesztési tevékenységgel újabb és újabb megoldásokat, eljárásokat, módszereket alakítsanak ki ezek kijátszására. A harc az álcázás, rejtés és a felderítés frontján igen magas technológiai szintre emelkedett [1][9][11][12].

A XXI. században a hadiipari egyik legmeghatározóbb törekvése az úgynevezett STEALTH technológia létrehozása és mind szélesebb körű gyakorlati alkalmazása. Lényegét tekintve ez jelentheti a vizuális felderítés elleni védelmet, a radarok számára láthatatlanná válást, vagy az ellenség hatótávolságán kívülről való működés megvalósítását. Az eszközök túlélőképessége függ a konstrukciós jellemzőiktől, azok alkalmazásától [5][6][9][10][13][15][19][23][24].

A cikkben a lopakodó technológia passzív megoldásairól szeretnék bővebben beszámolni azaz, hogy milyen anyagokat alkalmaznak a hadi eszközökön és milyen geometriai kialakításokat fejlesztettek ki a hatásosság érdekében.

## A STEALTH TECHNOLÓGIA FEJLŐDÉSE

Maga az álcázás, mint igény már jóval a modern hadviselés előtt megjelent. A 17. században Angliai területein az irreguláris erők már alkalmazták az álcafestés mely segített nekik a növényzetben rejtőzni, mivel a festés csökkentette a láthatóságukat azáltal, hogy sötét festéket alkalmaztak, valamint megtörték a kontúrokat.

Az Első Világháborúban a német mérnökök kísérleteztek a Cellulóz-Acetátból<sup>1</sup> készült repülőgép elemekből összeállított katonai gépekkel, mellyel csökkenteni kívánták a gépek láthatóságát. Ilyenek például a Fokker E III vagy az Albatros C I repülőgépek. Az a tény viszont, hogy az ilyen gépek erős napsütésben gyakorlatilag ragyogtak épp a kívánt hatás ellenkezőjét eredményezték.



1. ábra Fokker E III replika<sup>2</sup>

1916-ban a Britek egy módosított kisméretű repülőgéppel éjszakai felderítő repüléseket hajtottak végre a német területek felett a Nyugati fronton. A gépet úgy szerelték fel, hogy annak motorját hangtompítóval látták el, a kipufogón kilépő gázokat pedig fekete gáz zsákokban gyűjtötték be. Ezekkel a megoldásokkal a gép vizuálisan nehezebben volt felderíthető és mivel a zajszintet is csökkentették a hang alapján történő észlelés is sokkal később történhetett meg, mint az a korszak átlagos repülőgépeinél szokásos volt. Ez a megoldás a gyakorlatban nem vált be, bár számos ilyen repülés történt, végül az ötlet megbukott.

Az U-boat<sup>3</sup>-ok voltak az első STEALTH tengeralattjárók. A koncepció az Anechoic csempe<sup>4</sup> borítást alkalmazta, mellyel a szonárokat sikeresen kijátszották.

Az egyik legelső STEALTH repülőgép a Hornet Ho 229 volt. Ez a gép már kompozit anyagból készült borítást kapott (szénpor volt ragasztóval keverve), ami elnyelte a rádióhullámokat. A technológia kiforratlansága miatt azonban csak pár prototípus példány épült és éles bevetésben egyáltalán nem került kipróbálásra.

---

<sup>1</sup> A XIX. század végén fedezték fel, a Cellulóz- Acetátból (CA) készült tárgyak színező anyag nélkül víztisztán átlátszóak, felületük fényes, tapintásuk kellemes, szívósak és ütésállóak, valamint olajoknak, zsíroknak ellenállóak.

<sup>2</sup> <http://cdn.airplane-pictures.net/images/uploaded-images/2013/5/30/292841.jpg> (2016.03.10.)

<sup>3</sup> A Náci Németország a II. világháborúban nagy sikerekkal alkalmazta ezeket a tengeralattjárókat melyek korának egyik legmodernebb hadieszközének számított.

<sup>4</sup> Gumiból vagy szintetikus polimerből készült csempe alakú elem, amely több száz apró üreget tartalmaz, ezeket a katonai hajókon és tengeralattjárókon alkalmazzák. Fő funkciójuk, hogy elnyeljék az aktív szonárok jeleit, csökkentik és torzítják a visszavert jeleket. Továbbá csökkentik a hajótest által kibocsátott hangokat, főleg a motorzajt, melyet a passzív szonárok érzékelnek. [9]

1960-ban az első STEALTH technológiai kutatási programot az USAF kezdeményezte, melyben a kutatási cél a légi jármű hatásos radar keresztmetszetének csökkentése volt. A kísérleteket egy Ryan Q-2C Firebee típusú drónon végezték. Ezt sikerült is elérniük a légbeömlő nyílások speciális kialakításával, radar jel elnyelő anyagok alkalmazásával a repülőgép sárkányszerkezetén valamint speciális a radar által kibocsájtott jelet elnyelő festék felhasználásával.

Még 1958-ban az U.S. CIA kezdeményezésére pályázatot hirdettek olyan felderítő repülőgép megtervezésére mellyel helyettesíteni tudnák az U-2-es kémrepülőgépet. A Lockheed cég nyerte el a pályázatban kiírt repülőgép kifejlesztésének és legyártásának jogát. A cég és tervezőcsapata megalkotta az A-12-es repülőgépet, amely első a „Blackbird” szériában. A repülőgép jellemzői közül kiemelkedik, hogy képes 70000 és 80000 láb magasságban tartósan repülni, maximális sebessége eléri a 3.2-es Mach szám értéket. Mindezen mutatók azt a célt szolgálták, hogy elkerülhesse a radarral való felderítést, vagy ha az sikerült is az ellenségnek, az A-12-es megsemmisítésére nem volt esély az akkori technikai színvonalon álló vadászrepülőekkel, vagy légvédelmi rakétákkal. 1964-ben egy továbbfejlesztéssel optimalizálták a meglévő A-12 típust, létrejött a „Blackbird” széria következő repülőgépe a Lockheed SR-71. Az új repülőgép túlszárnyalta a korábbi típust, mivel képes volt a 90000 láb magasságba emelkedni és a 3.3 Mach számnak megfelelő repülési sebességet elérni. Az SR-71-es magába foglalt számos STEALTH technológiai elemet, nevezetesen a döntött függőleges vezérsíkot, a kompozit anyagokat a kulcsfontosságú helyeken és a különleges radar jel elnyelő festést.



2. ábra SR-71 Blackbird<sup>5</sup>

Az 1970-es évek során az U.S Védelmi Minisztériuma elindított egy projektet a „Have Blue”-t, melynek a fő célja egy lopakodó vadász repülőgépgép kifejlesztése volt. Természetesen volt néhány cég, amely a többmilliárdos pályázatért versenget. A Lockheed cégnél 1971-ben lefordítottak angolra és megjelentettek egy, az orosz/szovjet fizikus Pyotr Ufimtsev által írt tanulmányt, melyből olyan kulcsfontosságú ismeretekhez juttattak a mérnökök, amelyek alapján később megtervezték az F117-est és a B-2-est. Ezeknek a repülőgépeknek a fő STEALTH technológiai sajátosságuk a szerkezeti kialakításukban rejlik, mivel formájukból adódóan a radar jeleket „szétszórják”, ezzel drasztikusan csökkent az úgynevezett „hatásos radarkeresztmetszetüket”. Ezen gépek terveit már számítógépes szimulációkban tesztelték, és az eredmények elég meggyőzőek voltak ahhoz, hogy az F-117 Nighthawk gyártása 1975-ben megkezdődhessen. 1979-ig a „Have Blue” projekt számos kulcsfontosságú technológiát szabadalmaztatott a STEALTH technológia területén, amelyek a mai gépekben is jelen vannak. Természetesen a fejlődés nem állt le az 1980-as években sem és napjainkban sem [5] [26], mind az alkalmazható anyagok, mind

---

<sup>5</sup> <http://cdn.airplane-pictures.net/images/uploaded-images/2013/5/30/292841.jpg> (szerkesztve)

a bevonatok, mind az egyéb álcázást, rejtést támogató fedélzeti berendezések, rendszerek terén. A kísérleteket, fejlesztéseket jól demonstrálják azok a típusok, (például: X-32, X-35, F-22A Raptor, PAK-FA stb.), melyek széleskörűen ismertek [9][14][15][16][17][18][22][25].

## A STEALTH TECHNOLÓGIA ALKALMAZÁSA

### Repülőgépek passzív elektronikai védelmének lehetőségei

Erről akkor beszélhetünk, hogy ha olyan anyagokat, technológiákat alkalmaznak, amelyek a repülőgépek számára folyamatos rádióelektronikai felderítés elleni védelmet biztosítanak. Korunk harci repülőgépeit ez nagyban jellemzi, el kell érni a harcsczközökön, hogy minimális legyen a vizuális, infravörös, hang és rádiólokációs felderíthetősége [9][19][22][25][26].

#### *A vizuális védelem*

A legrégebben ismert módja a vizuális felderítés elleni védelemnek, az évszaknak és földrajzi övezetnek megfelelő álcázó festés alkalmazása. A korszerű repülőgépeken a hajtóművek égésterméke már teljesen füstmentes ezzel is csökkentik a gép vizuális felderíthetőségét. Kísérletek folynak olyan speciális polimer burkolatok kifejlesztésére, amelyek úgy biztosítják azt az álcázó képességet a repülőgépnek, hogy az a kaméleonhoz hasonlóan teljesen beleolvadjon a környezetébe ezzel minimálisra csökkenteni a láthatóságukat [8][20].

#### *A rádiólokációs védelem*

A lopakodó gépeket úgy tervezték meg, hogy azok a földi telepítésű lokátorokkal szemben legyenek a legvédehetőbbek. Ezt részben a repülőgép kialakításának, részben a gyártása során beépített kompozit anyagoknak köszönheti. A kialakítás a rádióhullámok szétszórását segíti elő, míg a kompozit anyagok azok elnyelését biztosítja, ezáltal teljesen láthatatlanok a radarok számára vagy csak késve jelzi a repülőgép megjelenését. A fejlesztések során a tapasztalatokból azt szűrték le, hogy ha a gép borításának síkjai különféle szögeket zárnak be a beeső rádióhullámokkal, akkor minden felület másfelé veri vissza. Minél több különböző síkból áll a gép annál több felé szórja szét a visszavert jeleket. Mivel a radar rendszer működésének alapja, hogy azokat a visszavert jeleket értelmezze, amelyeket a radar vevő antennája érzékel, így jelentősen lecsökken azon jelek intenzitása, amelyek visszaérkeznek a vevő bemenetére. Rájöttek, hogy a besugárzás irányára merőleges felületek verik vissza leginkább a jeleket, így ezeket kerülni kell, de ettől eltekintve a gép lehet még aerodinamikailag előnyös formájú. „A pilóta feje, sisakja, illetve a műszerfal paneljei is jelentős radarvisszaverő felületek. A „Have Glass” technológia a gép radarvisszaverő felületének további csökkentését célozza. A fülketető kap egy speciális festést, amely egy aranyrétegből, ezen pedig indium- és ónoxid rétegből áll. Az így létrehozott felület nem engedi át a radarhullámokat, hanem visszaveri és szétszórja. Mérések szerint ez 15%-kal csökkenti a gép által visszavert radarhullámokat. A lopakodó repülőgép a fegyverzetét belső kamrákban hordja, a gépágyú torkolatát is ajtó rejt, amikor nem használja” [8][20].

#### *Akusztikai védelem*

Ismereteim szerint jelenleg nem létezik hangjelek alapján vezérelt automatikus fegyver, vagy legalábbis nincs publikálva, de a gép és hajtóműve által keltett hang intenzitásának csökkentésével nagyban lehet javítani a gép felderítés elleni védelmén. A hang csökkentés érdekében a hajtóművek köré hangszigetelő anyagokat építenek be, bár ezek jelentősen megnövelhetik a gép tömegét [8].

### *Az infravörös tartományban való védelem*

Az infravörös kisugárzás a gépek egyik nagy ellensége, ha lopakodó technológiáról beszélünk. A levegőben az infravörös sugárzás csillapodása jóval kisebb, mint a látható fény tartományban, ezért az infravörös tartományban 2–3-szor nagyobb a felderítési lehetőség. Ezen területen a repülőgépek álcázása különösen nagy kihívás mivel az üzemelésükkel együtt ját, hogy nagy mennyiségű hőt bocsájtanak ki, amelyet nem tudnak nyomtalanul szétszórni a környezetben. A vadászgépek infravörös sugaraik közel 90%-át a hajtóművön keresztül bocsájtják ki a környezetbe. A repülőgépeknél az elsődleges álcázási eljárás a hajtóművekből kiáramló gáz hőmérsékletének csökkentése, mivel ezek a gázok nagy mennyiségben távoznak el a fúvócsövön át a szabadba és magas hőmérsékletüknek köszönhetően a gáz ionizálódik, amely nagymértékben képes visszaverni az elektromágneses hullámokat. „A hajtóművek hő kibocsátását csökkentő technológiáknak köszönhetően a korszerű repülőgépek alig bocsátanak ki a környezetükben melegebb levegőt, még hangsebesség fölötti repülési sebességnél sem, mivel azt képesek az ún. „utánégető” nélkül is elérni. Másik probléma, hogy hangsebesség fölötti repülési sebességeknél már a súrlódás is termel gyenge hőt, amelyet az érzékeny infra keresőfejjel ellátott légi harc rakéták érzékelhetnek.” Az infravörös sugárzás mértékét lehet csökkenteni a fúvócsövek körkörös árnyékolásával valamint a kiáramló gázok előhűtésével és azok áramlási irányának módosításával úgy, hogy azok a lehető legkisebb idő alatt elkeveredjenek a környezeti levegővel [8][20].

### **Aktív védelmi lehetősége**

A modern hadviselésben az aktív védelem majdnem olyan fontos, mint annak passzív formája. Korunkban a legelterjedtebb légvédelmi fegyverei az infra vezérlésű rakéták, amelyek jellegzetessége, hogy vezérlő egységük a legerősebb infraforrás felé irányítja a fegyvert. Ezek ellen az úgynevezett infra csapdákkal lehet hatásosan védekezni, melyek minden modern harci repülőeszközön megtalálhatóak. Ezek működési elve, hogy izzó magnéziumot lő ki a tároló rekeszeiből a gép, amelynek infrajele jóval erősebb, mint a gép egyéb részeié, így azt fogja célba venni a fegyver.

A STEALTH technológiát mindezidáig főleg repülő eszközökön alkalmazták, de egyre elterjedtebb a vízi és a szárazföldön eszközök esetében is. A haditengerészet, – hasonlóan, mint a légi járművökön – speciális festékekkel és a szögvisszaverős felületek kialakításával védekezik a hajófedélzeti radarok hatékonysága ellen, valamint a lehető legjobb zajszigetelésre is nagy hangsúlyt helyeznek az akusztikus felderítés hatékonyságának csökkentése érdekében. A szárazföldön már jóval összetettebb a STEALTH technológia alkalmazása. E területen jelenleg a legfejlettebb STEALTH rendszer a bizonyos ADAPTIV rendszer, mely képes az ezzel a technológiával felszerelt harcjárművet az infra érzékelők számára teljesen láthatatlanná tenni.

## **A LOPAKODÓ TECHNOLÓGIA ELŐNYEI, HÁTRÁNYAI**

A lopakodó technológia előnye, hogy a járművet, melyen alkalmazzák, sokkal kisebb valószínűséggel fedezik fel és semmisítik meg, így az rejtetten meg tudja közelíteni a célját és elpusztítani vagy megfigyelni azt. Kézenfekvő, hogy mivel a radar képernyőn nem jelenik meg az eszköz, és vizuálisan sem tudják azt felderíteni, egyszerűen ezért magas fokú védelmet nyújt a járműnek és a vezetőjének is, ezzel megóvják a költséges berendezéseket és a pilóta életét is. Ide kívánczik még az az előnyös oldala a technológiának, hogy az ellenséges hírszerzés hatékony működésének gátlásában is kulcsfontosságú szerepet játszik a megfelelő álcázás.

A technológiának persze vannak hátrányai is. Elsősorban sokkal drágább az ilyen tulajdonságú anyagok alkalmazása, mint a hagyományos szerkezeti anyagoké (pl. duralumínium) valamint sokkal nagyobbak a karbantartási költségek is. A lopakodó technológia egyik fő hátránya, hogy a megfelelő hatásosság érdekében sok tényező rovására, kompromisszumok révén, kell a gép szerkezetét kialakítani vagy például a borítását elkészíteni, ami bizonyos mértékben a jármű teljesítményének, harcászati képességeinek csökkenését vonja maga után.

### A STEALTH technológia

#### A repülőgép-sárkány szerkezetének kialakítása

A technológia folyamatos fejlesztése során a mérnökök a különböző méretű és szerkezeti kialakítású repülőgépeken a rádiólokációs felderíthetőség tanulmányozása során megállapították, hogy a legjobban a repülőgépeken a sárkány szerkezet nagy összefüggő sík fémfelületeiről verődnek vissza a jelek, valamint a külső függesztményekről, főként oldal irányba. A tapasztalatok azt mutatták, hogy a visszaverődő rádióhullámok intenzitása nagymértékben csökkenthető, ha a repülőgép sárkányszerkezetét úgy alakítják ki, hogy annak felületei egymással szöget bezáró síklapokból álljanak. Így a rájuk sugárzott radarjeleket szétszórják főleg a világűr felé. A lopakodó gépeken a hagyományos repülőgépekkel ellentétben a függesztmények a sárkányszerkezeten belül helyezkednek el, a hajtóművek szívócsatornáit a törzs felső részén alakítják ki. „A visszatükrözési tulajdonságok tovább gyengülnek, amennyiben a rádióhullámokat átbocsátó áramvonalas borítólemezek alatt a sárkány fém teherviselő elemeinek (pl. bordák) kialakításánál is belső áttükrözést biztosító felületeket képeznek ki.” [8][21][25]



3. ábra F-117 Nighthawk<sup>6</sup>

#### A visszatükröző képesség gyengítésére felhasznált anyagok és bevonatok

Korunk fejlett rádiólokációs berendezései széles frekvenciatartományban üzemelnek, ezért az alkalmazott speciális anyagokat úgy kell megválasztani, hogy azok a leoptimálisabban elnyeljék ezeket a sugarakat. Ez a trend az utóbbi években ugrásszerű fejlődésnek indította a rádióhullámokat elnyelő anyagok gyártását és fejlesztését.

A repülőgépeken a rádióhullámokat átengedő valamint a visszaverő kompozitok találhatóak. Ezen tulajdonságuk az anyaguk fizikai jellemzőitől függenek, elsősorban a dielektromos és mágneses

---

<sup>6</sup> <https://s-media-cache-ak0.pinimg.com/736x/fe/eb/88/feeb88911e6b655c3a5d5516a1899f9e.jpg> (2016.03.03)



permeabilitásuktól valamint az elektromos karakterisztikájuktól. „További fontos jellemzők a dielektromos állandó és a veszteség szögének tangense, amely az alkalmazott kompozit szálának és mátrixának anyagától függ. A mágneses kompozitok elnyelő-képességét a mágneses hiszterézis fajtája határozza meg.” Ebből következik, hogy az anyagok kétfélék lehetnek, dielektromosak és mágnesesek. „A dielektromos és mágneses sajátosságaik, vastagságuk, veszteségeik, impedanciájuk, belső optikai tulajdonságaik szabályozásával optimalizálható a rádióhullám elnyelő képesség egy, vagy több, vagy a teljes frekvenciatartományban.” [8][21]

„A rezonáns-elnyelők 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 tér impedanciáját, ezáltal minimális lesz az elektromágneses anyagról a visszaverődés. Az ekránt érő sugárzás egy része közvetlenül visszaverődik (R), további része a felületen megtörve a fémrétegről tükröződik vissza. Mivel az ekrán és a fémfelület távolsága  $\lambda/4$ , az utóbbi hullám  $180^\circ$ -os fáziskésésbe kerül az R hullámhoz képest, interferálnak és kioltják egymást.” [8]

„A raszteres sugárzáselnyelő (PD) olyan többrétegű dielektromos bevonat, amit fémek vagy szilícium (fémkerámia) gőzeinek kicsapatásával állítanak elő. Felületére a rádiólokációs sugarakat gyengítő, négyzethálós mintázatot maratnak, amelyek a hullámhossztól függően egy-, vagy több frekvenciát visszavernek, míg a többit átbocsátják.” [8]

„Fizikai-kémiai elven működő sugárzást elnyelő anyag, ún. *ATRSBS-bevonat* (Anion Transverse Reduction of Salt on Base Schiff) is. A Schiff-bázisú sók csoportjába tartozó, bonyolult 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 csekély mennyiségű hőenergia felszabadulása közben és terjed szét, majd a perklorát ion visszakapcsolódik a szénláncához. A fény adszorbeálódása és a visszarendeződés a másodperc tört része alatt tetszőleges gyakorisággal, reverzibilisen, végbemehet.” [8]

### A repülőgép által kisugárzott jelek csökkentése

A repülőgép üzemelése során jelentős nagyságú infra jelet bocsát ki, a hajtóművének köszönhetően, melyet könnyen felderíthetnek. Egyik módja a probléma orvoslásának, hogy a kiáramló forró gázokhoz környezeti levegőt vezetnek be és így keveréket alkotva jelentősen csökkenthető a kiáramló gázok hőmérséklete. Ezt a módszert tovább lehet javítani, ha kombinálják a következő módszerekkel:

- hangsebesség feletti repülés esetén az utánégető használatának mellőzése;
- más megoldási próbálkozás, ha a kiáramló gázokhoz egy speciális vegyületet adagolnak, (klór-foszforsav), ezzel a kondenz-csík képződése megelőzhető. Ennek az eljárásnak hátránya az erő korróziós hatás.

A repülőgépen minden elektromos berendezés, amely üzemel mérhető és érzékelhető elektromágneses kisugárzást okoz. A harctevékenység vagy felderítő tevékenység közben aktivált berendezéseket az ellenséges felderítő rendszerek könnyen észlelhetnek. Továbbá a repülőgépen található antennák kikapcsolt állapotban is jelentős mértékben vernek vissza rádiójeleket. Ezeket a lopakodó képességre káros tényezőket a következő módszerekkel lehet csökkenteni:

A berendezéseket, amelyek a kisugárzásért felelősek a lehető legkisebb energiaszinten a lehető legrövidebb ideig üzemeltetik, valamint ezeket olyan konténerekbe vagy a sárkányon belül úgy helyezik el, hogy azok jeleit a burkolat elnyelje.

Passzív navigációs és rávezető rendszerek alkalmazása, továbbá műholdas navigáció és cél-megjelölés használata, (a műhoddal kommunikál így a rádiójeleket a világűr felé sugározza nem a talaj felé, habár ezeket az ellenséges műholdak észlelhetik)

A rádió antennákat a törzsbe bevonják vagy a földfelszínnel ellentétes irányba elforgatják, amíg azok üzemen kívül vannak, vagy mozgatható zsaluzat mögé építik be és ki-be mozgathatóvá teszik.

A berendezéseket olyan fejlettebb berendezésekre cserélik melyeknek a kisugárzásuk jóval kisebb, vagy magát a működési elvet dolgozzák át.

A STEALT technológia ezekkel a módszerekkel és ezek megfelelő kombinációjával lehet minél hatásosabbá tenni, és akár a gépek radarkeresztmetszetét vagy felderíthetőségét nagyságrendekkel csökkenteni [8][21].

## A STEALTH TECHNOLÓGIÁBAN ALKALMAZOTT KOMPOZIT ANYAGOK

### A kompozit anyagok

A kompozit olyan anyag, amelyet két vagy több anyag társításával alkotnak meg. Ezen anyagok a műszaki életben a legmodernebb szerkezeti anyagoknak számítanak jelenleg. A kialakításuk lényege, hogy az alkatrészeket a tervezés során úgy méretezik, hogy tekintetbe veszik, melyek lesznek az alkatrész szempontjából a fő terhelési irányok mivel a legkritkább esetben azonos a tér minden pontján. A fő terhelési irányokban gyakran nagyságrendekkel nagyobb a terhelés, ez indokolja, hogy megerősítsék a szerkezeti anyagot nagyobb szilárdságú anyagokkal.

A kompozit többfázisú, összetett, több anyagból álló struktúra, amely erősítő anyagból és befogadó anyagból áll. A kompozitokat jellemzi, hogy a szilárdságuk és rugalmasságuk az erősítő anyagban nagy és a kisebb szilárdságú mátrix anyaga között kitűnő adhéziós kötés vagy tapadás van, amely nagy igénybevételnél is fennmarad vagy deformáció esetén is tartja magát, tartósan megmaradnak szilárdságtani jellemzői. Az erősítő anyag szerepe a megfelelő merevség valamint szilárdság biztosítása, a befogadó mátrix anyag feladata, hogy összefogja a szálkötegeket és védje azokat a külső környezeti és fizikai hatásoktól valamint, hogy biztosítsa a terhelés megfelelő eloszlását [2][3][4][25].

A repülőgépgyártásban az 1970-es években kezdődött meg a kompozit anyagok széleskörű használata és intenzív fejlesztése. A katonai repülésben a Northrop Grumman cég B-2-es bombázójában a fő szerkezeti elemek már majdnem teljes egészében kompozit anyagokból készültek. Itt grafitral erősített epoxigyantát alkalmaztak elsősorban és méhsejt szerkezet alkalmazásával érték el, hogy 1989-re próbarepüléseket végezhesse el. Az 1990-es évektől már a civil gépekben egyre inkább megjelent a kompozit anyagok felhasználása. A mai harcászati repülőgépekben átlagosan 20–25% közé tehető a különféle kompozit szerkezeti elemek előfordulása [2][25].

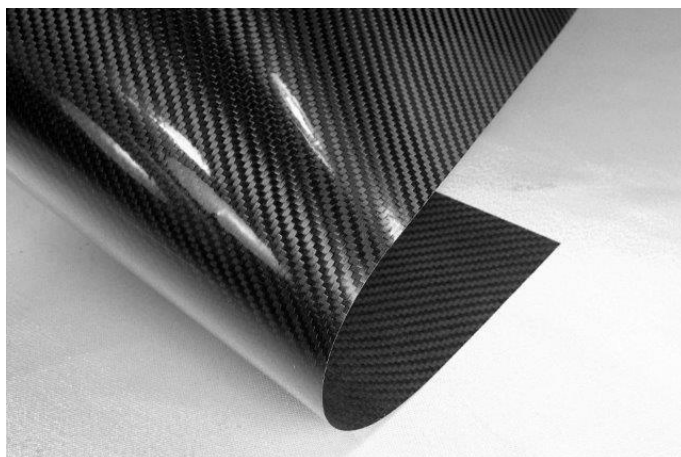


### A repülőgépgyártásban felhasznált főbb kompozitok

#### A Szénszálás szerkezet (carbon fiber)

A szénszálás polimerek rendkívül sokoldalúak éppen ezért a polimerek műszaki anyagtudományának a középpontjában állnak. A polimer lánc szilárdságát a szén-szén kötések szilárdsága biztosítja. A legnagyobb szén-szén alapú kötőerőt a gyémántban találhatjuk. Ezt a nagyon rendezett kovalens kötésnek köszönheti, ezáltal vált a gyémánt a keménység etalonjává. A gumi mátrixú kompozit aktív töltőanyaga is régóta ismert. A szénből erősítőszálakat formálunk és a szén grafitos szerkezetét hasznosítjuk. A grafit szerkezetnek köszönhetően a hatszögletű egységekből felépített lamellák síkjában a szilárdság rendkívül nagy. A szénszálban ezt a rendkívüli grafit szilárdságot alkalmazzuk.

A szénszál gyártása során többféle polimer szál is lehet elő termékként, ha úgy tudjuk elszenesíteni azt, hogy ne égjen el és nem olvadjon meg. Ezzel tudjuk kialakítani a kívánt szerkezetet. A hőfok és a hőn tartás határozza meg a későbbi mechanikai tulajdonságokat. Ezeket mindig az igénynek megfelelően állítják be. A szénszál még félkész állapotban hasonlít egy egyszerű fóliához amelyet a gyártás során az igényeknek megfelelően szabhatnak ki és vastagíthatnak vagy vékonyíthatnak meg, a hőkezelés után viszont az acélnál is jóval szilárdabb lesz.



4. ábra Szénszálás szerkezet még alakítható állapotban<sup>7</sup>

#### A szénszál előnyei:

- alacsony sűrűség,
- magas szilárdság,
- jó dinamikai tulajdonság,
- hajlékony,
- lángtalan égési jellemzők.

#### A szénszál hátrányai:

- a környezethatásokkal szemben gyenge az ellenálló képessége,
- alacsony a nyomó szilárdságai értéke,
- költséges.

---

<sup>7</sup> <https://www.acpsales.com/images/C/DL%20-%20Flex-06.jpg> (2016.03.03.)

A szénszálalaskatrészeket, borításokat széles körben alkalmazzák napjainkban a repülőgépgyártásban továbbá gyakorlatilag minden iparágban. A jelentő súlycsökkentés érdekében előszeretettel alkalmazzák az orvostudományban is a művégtagok gyártásában [2][3][25].

### *Az Üvegszálalaskerkezet (glass fiber)*

„Az üveg, mint szerkezeti anyag a szilikátok családjába tartozik. Elsősorban szilíciumoxidokból ( $\text{SiO}_2$ ) áll, ez adja az üveg 55–65%-át. Emellett tartalmaz egyéb fénoxidokat is, amelyek a szilíciummal lényegében egyetlen óriásmolekulává egyesülnek, mégpedig elsődleges (primer), nagy kohéziós energiát képviselő kovalens- és ionos kötésekkel. Az üveg ömledékből megfelelő fonófejen át nagyszilárdságú szálat húzhatunk, rendszerint 103 nagyságrendű elemi szálból álló köteg (roving) formájában. Az elemi szálak átmérője jellemzően 8–17  $\mu\text{m}$  között található. Az üvegszál, a többi elemi szállhoz hasonlóan, felületkezelést igényel. Egyrésztől meg kell védeni a feldolgozás – pl. szövés – során esetlegesen fellépő károsodástól; ezt nevezzük írezésnek. Az írező anyag feladata tehát az ideiglenes védelem, és az összetartás. Másfelől biztosítani kell az üvegszál és a polimer mátrix közötti kapcsolódást, lehetőleg minél több elsődleges kötéssel, amelyet epoxivegyületek, vinilszilánok, esetleg fenol gyanta típusú kapcsolószerek felvitele biztosít. Az üvegszál a legelterjedtebben alkalmazott erősítő szál.” [3]

#### **Az üvegszál előnyei:**

- olcsó és nagy mennyiségben áll rendelkezésre,
- UV stabil, elektromosan szigetel (rendkívül fontos a STEALTH technológia számára) és vegyszerálló.

#### **Az üvegszál hátrányai:**

- törékeny, alacsony a rugalmassági modulusza,
- nagy a sűrűsége,
- nagy a kopása közvetlen súrlódás esetén. [3]

### *Üvegszál és alumíniumból álló laminátum*

Ez az anyag az úgynevezett Glare névre hallgat, mely alumínium- és erős üvegszál rétegek sokasága egymásra laminálva, és amely azt eredményezi, hogy a fémekre jellemző szívós, és az anyagkifáradással szemben ellenálló kompozit anyagot alkot. Ezt az anyagot a Stork Aerospace cég gyártja, és rendkívüli mértékben képes ellenállni a korrózióknak és az UV sugárzásnak [2].

## ÖSSZEFOGLALÁS

Cikkemben a Lopakodó technológiát, annak is a passzív megoldásait próbáltam bemutatni melyeket jelen korunkban alkalmaznak. Az első fejezetben rövid történelmi áttekintést foglaltam össze, hogy a ma ismeretes STEALTH fogalom hogyan is alakult ki az évek során.

A következő fejezetben a technológia alkalmazását tárgyalom ki, annak is a passzív megoldásait valamint, hogy milyen előnyöket és milyen hátrányokat hordoz magával ez a technológia.

A harmadik fejezetben a sárkányszerkezeti kialakításokat részletezem, milyen problémákat kell megoldani a tervezés során majd az utolsó fejezetben a technológia alkalmazása során felhasznált kompozit anyagokra térek át és röviden jellemzem azokat.

Úgy vélem a jövő hadviselését mind szárazföldön, mind levegőben és vízben a Lopakodó technológia fogja uralni a fejlesztések terén. Széleskörű alkalmazhatóságának köszönhetően ez a trend nem fog változni úgy vélem a következő évtizedekben sem, mivel a saját erők megóvása a legfontosabb.

### FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Óvári Gyula: Korszerű csapásmérő helikopterek harcászati-technikai jellemzői, alkalmazási lehetőségei. Katonai Logisztika, MH Logisztikai Főigazgatóság Kiadványa, Budapest, 2000/2. pp. 147-180.
- [2] Kovács Levente: Kompozitok a repülőgépgyártásban. (online), url: <http://www.muanyagipariszemle.hu/2004/04/kompozitok-a-repuloegpyartasban-11.pdf> (2016.03.10.)
- [3] Kompozitok. Hőre Keményedő Polimer Mátrixú Kompozitok Változat: 5. Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Gépészmérnöki Kar Polimertechnika Tanszék: Kiadva: 2014. február 11. (online), url: [http://www.pt.bme.hu/segedletek/a5\\_kompozitok\\_v5.pdf](http://www.pt.bme.hu/segedletek/a5_kompozitok_v5.pdf) (2016.03.10.)
- [4] Nem fémes szerkezeti anyagok. Kompozitok. (online), url: [http://www.bgk.uni-obuda.hu/~aat/oktatas/mechatronika/mernany/4\\_2\\_kompozitok.ppt](http://www.bgk.uni-obuda.hu/~aat/oktatas/mechatronika/mernany/4_2_kompozitok.ppt) (2016.03.10.)
- [5] Békési Bertold, Szegedi Péter: Napjaink fegyverrendszer fejlesztési trendjei, *Economica (Szolnok)*, 2015 (4/2. szám) pp. 158–168.
- [6] Óvári Gyula: A légijárművek gazdaságosságát és manőverezőképességét javító sárkányszerkezeti megoldások, Kilián György Repülő Műszaki Főiskola, Szolnok, 1990. pp. 278–292.
- [7] Dr. Bodnár Ildikó: Lebontható Műanyagok Előadás anyag környezetmérnök szakos hallgatóknak 2011. (online), url: <http://eng.unideb.hu/userdir/bodnari/lebonthato%20muanyagok/lbm-ea-1112-1.pdf> (2016.03.10.)
- [8] Keszthelyi Gyula, Óvári Gyula: A Stealth technológia hatása a XXI. század katonai repülőeszközeinek alkalmazhatóságára Repüléstudományi Közlemények, Szolnok, 2000/1. pp. 155–166.
- [9] Békési Bertold, Szegedi Péter: Ötödik generációs vadászrepülőgépek fejlesztésének filozófiai, Műszaki Tudomány az Észak-kelet Magyarországi Régióban, Debrecen, 2015. pp. 194–206.
- [10] Békési Bertold, Szegedi Péter: Gondolatok a jövőbeni fegyverek alkalmazási lehetőségeiről, XIV. Természeti, Műszaki- és Gazdaságtudományok Alkalmazása Nemzetközi Konferencia, Nyugat-magyarországi Egyetem, Szombathely 2015. pp. 183-188. (ISBN: 978-963-359-053-9), (online), url: [http://publicatio.nyme.hu/613/1/TTK\\_14\\_Nemzetkozi\\_Konf\\_Eloadasok\\_201500516.pdf](http://publicatio.nyme.hu/613/1/TTK_14_Nemzetkozi_Konf_Eloadasok_201500516.pdf) (2016.03.03)
- [11] Óvári Gyula: Biztonság- és repüléstechnikai megoldások katonai helikopterek harci túlélőképességének javítására Repüléstudományi Közlemények, Szolnok, 2005/2, pp. 1–14.
- [12] Kavás László: Harcászati repülőgépek túlélőképessége. Szolnoki Tudományos Közlemények XII. Szolnok, 2008. pp. 1–10. (online), url: <http://tudomany.szolnok-mtesz.hu/kulonszamok/2008/cikkek/kavas-laszlo.pdf> (HU ISSN 2060-3002) (2016.03.10.)
- [13] Keszthelyi Gyula, Óvári Gyula: A stealth – technológia hatása a XXI. század katonai repülőeszközeinek alkalmazhatóságára, Repüléstudományi Közlemények, Szolnok, 2000/1 pp. 155–166.
- [14] Békési Bertold, Szegedi Péter: A XXI. század egységes csapásmérő vadászrepülőgépe (JSF) várható megvalósításai, Repüléstudományi Közlemények, Szolnok, 2000/2. pp. 117–124.
- [15] Wikipedia The Free Encyclopedia: Stealt Technology (online), url: [https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Stealth\\_technology&oldid=706357267](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Stealth_technology&oldid=706357267) (2016.03.10.)
- [16] Békési Bertold, Szegedi Péter, Szilvássy László: Changed by New Generation Aircraft Possibilities in the Military Forces, Third International Conference on Unconventional Flight, Budapest, 2001.09.12-2001.09.14. Budapest, 2001. pp. 1–11. (online), url: [http://dr.sziszilaci.hu/pub/2001-10\\_SzL-BB-SzP\\_Ch\\_by\\_new\\_gen\\_ac\\_oss\\_in\\_the\\_mil\\_for.pdf](http://dr.sziszilaci.hu/pub/2001-10_SzL-BB-SzP_Ch_by_new_gen_ac_oss_in_the_mil_for.pdf) (2016.03.10)
- [17] Békési Bertold, Szegedi Péter: Az egységesített csapásmérő vadászrepülőgép (JSF) fejlesztésének jelenlegi helyzete, Bolyai Szemle 2001/1. pp. 9–18.
- [18] Békési Bertold, Szegedi Péter: Az új generációs vadászrepülőgép nemzetközi fejlesztése, Bolyai Szemle 2001. Különszám, pp. 151–162.
- [19] Békési Bertold, Szegedi Péter: Changed by Joint Strike Fighter possibilities in the military forces. The 29th Conference of Research Topics „Modern Technologies in the XXI Century”. Bucuresti, Románia, 2001. pp. 1–6.
- [20] Vass Sándor: Korszerű Repülőgépek Elektronikai Védelmét Biztosító Új Eljárások, Eszközök 2006 (online), url: [http://uni-nke.hu/downloads/bsz/bszemle2006/1/08\\_Vass\\_Sandor.pdf](http://uni-nke.hu/downloads/bsz/bszemle2006/1/08_Vass_Sandor.pdf) (2016.03.10.)
- [21] Wikipedia The Free Encyklopedia: Anechoic tile (online), url: [https://en.wikipedia.org/wiki/Anechoic\\_tile](https://en.wikipedia.org/wiki/Anechoic_tile) (2016.03.10.)

- [22] Békési Bertold, Szegedi Péter: History of active X-flyers programme, 7th MINI Conference on Vehicle System Dynamics, Identification and Anomalies, Budapest, University of Technology and Economics, 2000. pp. 481–489, ISBN 963-420-704-9
- [23] Rozovicsné Fehér Krisztina, Kavas László, Békési László: A hajtómű alkatrész alapanyagok jelene és jövője, Repüléstudományi Közlemények (1997-től), Szolnok, 2014/2. pp. 24–34. (online), url: [http://www.repulestudomany.hu/kulonszamok/2014\\_cikkek/2014-2-03-0116\\_Kavas\\_L-Bekesi\\_L-Rozovicsne\\_FK.pdf](http://www.repulestudomany.hu/kulonszamok/2014_cikkek/2014-2-03-0116_Kavas_L-Bekesi_L-Rozovicsne_FK.pdf) (2016.03.10)
- [24] Rozovicsné Fehér Krisztina, Kavas László, Békési László: Korszerű kompozitok megjelenése a repülőgépek szerkezetében, Műszaki Tudomány az Észak-kelet Magyarországi Régióban, Szolnok, MTA Debreceni Akadémiai Bizottság, 2014. pp. 231–241. (ISBN: 978-963-508-752-5)
- [25] Békési Bertold, Szegedi Péter: Trendek a vadászrepülőgépek legújabb generációinak fejlesztésére alkalmazására. XIV. Természet-, Műszaki- és Gazdaságtudományok Alkalmazása Nemzetközi Konferencia. Nyugat-magyarországi Egyetem, Szombathely 2015. pp. 151–162. (ISBN: 978-963-359-053-9), (online), url: [http://publicatio.nyme.hu/613/1/TTK\\_14\\_Nemzetkozi\\_Konf\\_Eloadasok\\_201500516.pdf](http://publicatio.nyme.hu/613/1/TTK_14_Nemzetkozi_Konf_Eloadasok_201500516.pdf) (2016.03.03)
- [26] Békési Bertold, Szegedi Péter: Napjainkban fejlesztett fegyverrendszerek megjelenése a jövő hadszínterein, a tudásalkalmazás és fejlesztés szempontjából. Repüléstudományi Közlemények, Szolnok, 2015/3, pp. 105–116.

---

### *The Stealth technology*

*The Stealth technology is one of the most advanced, most expensive and maybe the most important research and development branch in the modern warfare. With this technology the military activities have better efficiency and the survive rate of our forces is much better. In my article I present for you this technologies passive solutions.*

**Keywords:** *Stealth, aircraft, composite, modern warfare*

---

---

Gyurján László  
Honvéd tisztjelölt  
Nemzeti Közszerződési Egyetem  
Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar  
Katonai Repülő Intézet  
[gyurjan.laszlo.1990@gmail.com](mailto:gyurjan.laszlo.1990@gmail.com)  
[orcid.org/0000-0001-5724-3992](http://orcid.org/0000-0001-5724-3992)

---

Gyurján László  
Officer candidate  
National University of Public Service  
Faculty of Military Science and Officer Training  
Institute of Military Aviation  
[gyurjan.laszlo.1990@gmail.com](mailto:gyurjan.laszlo.1990@gmail.com)  
[orcid.org/0000-0001-5724-3992](http://orcid.org/0000-0001-5724-3992)

---



[http://www.repulestudomany.hu/folyoirat/2016\\_1/2016-1-11-0325\\_Gyurjan\\_Laszlo.pdf](http://www.repulestudomany.hu/folyoirat/2016_1/2016-1-11-0325_Gyurjan_Laszlo.pdf)