

# A LÉGVÉDELMI RAKÉTA KOMPLEXUMOK KIALAKULÁSA, FEJLŐDÉSE, A PERSPEKTIVIKUS RENDSZEREK JELLEMZŐI

Gáspár Zoltán<sup>1</sup>

*A légvédelmi rakéta komplexumok megjelenéséhez két tudományos előfeltételnek kellett teljesülnie: egyfelől meg kellett jelenniük a légi célokat megfelelő távolságon és pontossággal felderíteni és követni képes rádiólokátoroknak, azon kívül ki kellett fejleszteni a komplexumok szerves részét képező vezérelhető légvédelmi rakétákat.*

A légi célok felderítésének korábbi, a légvédelmi tüzer eszközöknél alkalmazott módjai (akusztikus, optikai) hatótávolság és pontosság szempontjából nem biztosították a légvédelmi rakéták hatékony alkalmazhatóságát. A harmincas évek végén és különösen a Második Világháború első éveiben kifejlesztett felderítő rádiólokátorok viszont már lehetővé tették a légi támadó eszközök megfelelő távolságból történő felderítését, követését és koordinátaiknak viszonylag pontos meghatározását. A radarokkal együtt kifejlesztett rádióvezérlő rendszerek pedig biztosították a felderített ellenséges légi cél irányába indított légvédelmi rakéta távvezérlését.

Az általános rakétaelmélet alapjait *Konsztantyin Eduardovics Ciolkovszkij (1857-1935)* orosz-szovjet rakétakutató rakta le. Az 1903-ban kiadott munkájában („*A világtűr kutatása sugárhajtású eszközökkel*”) megalkotta a rakétamozgás alapegyenletét (a rakéta sebességének meghatározása – Ciolkovszkij képlet).

A rakéták katonai célú felhasználásának úttörője *Wernher von Braun* (1912-1977) volt, aki 1932-ben az A-2 rakétával 2.5 km-es magasságot ért el. 1936-ban részt vett a peenemündei rakétakísérleti telep létrehozásában. 1937 és 1945 között tudományos és műszaki vezetőként a II. Világháborúban alkalmazott több német rakétafegyver, elsősorban az A-4 (V-2) főkonstruktor.

*Az első légvédelmi rakétákat német tudósok fejlesztették ki a Második Világháború végét megelőzően. Ezen komplexumok kiforratlan-*

---

<sup>1</sup> Gáspár Zoltán alezredes, MH ÖHP logisztikai főnökség, kiemelt logisztikai főtiszt.

*ságuk, megkérdőjelezhető hatékonyságuk és bonyolultságuk ellenére a légvédelmi rakéta fegyvernem úttörőinek tekinthetők.*

Az **R-1, R-3 „Reintochter”** légvédelmi rakéták a nagy magasságban tevékenykedő szövetséges bombázó kötelékek megsemmisítésére kerültek kifejlesztésre. A szükséges magasságtartomány és hatótávolság elérése érdekében a rakétáknál kétlépcsős meghajtást alkalmaztak. Az első lépcsőt szilárd hajtóanyagú gyorsító hajtómű alkotta, míg az utazó hajtómű folyékony hajtóanyaggal működött. *A rakéták mobil indító állványon helyezkedtek el, oldalszögben forgatható talapzaton.* A rakéták parancsközlő rávezetési módban működtek. Egy-egy radar meghatározta a cél és a rakéta helyzetét, a számító-megoldó berendezés pedig kidolgozta a vezérlő jeleket a rakéta számára. A rakéták rendelkeztek távirányítással működő közelségi gyújtóval. A **„Reintochter”** légvédelmi rakéta maximális hatótávolsága 25 km volt.

Paraméterei alapján a **„Wasserfall”** volt a legjobb konstrukciójú német légvédelmi rakéta. A rakéta rendelkezett önállóan működő közelségi rádiógyújtóval. Rávezetése a röppálya első szakaszán a **„Reintochter”** rakétához hasonlóan parancsközlő üzemmódban történt, míg a végső rávezetés a fedélzeti passzív infravörös rávezető fejjel valósult meg. A mobil indító állványról a folyékony hajtóanyaggal működő rakéta indítása függőlegesen történt, majd 6 sec elteltével az első rádióparancs a cél irányába vezérelte a rakétát. **Wasserfall** légvédelmi rakéta maximális hatótávolsága 50 km volt.

A II. Világháború befejezését követően a nagyhatalmak számára szükségessé vált a nagy magasságban tevékenykedő, nukleáris fegyvereket célba juttatni képes, nagy hatótávolságú bombázók elleni hatékony légvédelem biztosítása. Ezen feladatot ellátó légvédelmi rakéta komplexumok első képviselői az Amerikai Egyesült Államokban a **„NIKE-AJAX”**, és a **„NIKE-HERCULES”** voltak, míg a Szovjetunió első légvédelmi rakéta komplexumaként az **„SZ-25 BERKUT”** (**SA-1 „Guild”**) rendszert lehet megemlíteni.

A **„NIKE AJAX”**, (rendszeresítés éve: 1953) komplexumnál az elenséges légi cél és a **„MIM-3”** légvédelmi rakéta követésére ütegenként egy-egy rádiolokátor került rendszeresítésre, a földi telepítésű számító-megoldó berendezés által kidolgozott pályaadatok a parancsközlő radar állomáson keresztül jutottak el a rakéta fedélzetére. A **„MIM-3”** légvédelmi rakéta képes volt a maximum 48 kilométer távolságban és 18 kilométer magasságban tevékenykedő légi célok megsemmisítésére.

A „NIKE-HERCULES” komplexum 1958-ban került rendszeresítésre, leváltva a „NIKE-AJAX” rendszert. A komplexum felépítése, a rakéta rávezetési módja megegyezett a „NIKE-AJAX” komplexumával. A „NIKE-HERCULES” komplexum elsőként rendelkezett rakétaelhárító képességgel. Harcászattechnikai paraméterei alapján képes volt az 1000 m/s sebességgel repülő harcászati ballisztikus rakéták megsemmisítésére maximum 130 km távolságból. *Tömeges légicsapás elhárítása érdekében a hagyományos harci rész helyére nukleáris töltet került elhelyezésre a rakétán.*

A nagyhatalmak arzenáljában az 1960-as években jelentek meg a „klasszikus” értelemben vett légvédelmi rakéta komplexumok. Az alapvetően elektroncsövekre és félvezetőkre épített felderítő, követő, parancsközlő és célmegvilágító rádiólokátorok egy vagy több sugárnyalábjának a mozgatása mechanikusan, az antenna forgatásával történt. *A tűzalegységek egy célsatornásak voltak, mivel az egy mechanikusan vezérelt sugárnyalábbal rendelkező célkövető radar csupán egy cél követésére volt képes.* Az egy légi célra egyidejűleg rávezethető rakéták száma a rávezetési mód függvénye volt. Parancsközlő rávezetés esetén ez a szám általában egy (SA-4 „GANEF”, „KRUG” légvédelmi rakéta komplexum) vagy kettő (SA-8 „GESKO”, „OSZA” légvédelmi rakéta komplexum). Két rakétacsatorna esetén azonban két különálló parancsközlő radarra volt szükség. Félaktív önrávezetés esetén a rakétacsatornák száma elméletileg nem korlátozott.

A „klasszikus” légvédelmi rakéta komplexumok korszakának legjelentősebb képviselői az amerikai „HAWK”, és a szovjet „KUB”, „KRUG”, „DVINA”, „VOLHOV” rendszerek.

A „KUB” légvédelmi rakéta komplexum (rendszerbe állítás: 1967-ben) az elmúlt évtizedek során több modernizáción átesett, legújabb módosításai a mai napig rendszerben vannak a világ közel 30 országában. *A komplexum hatékonyságát jól tükrözi az a tény, hogy az első harci alkalmazása során, 1973. október 6-24 között, a közel-keleti konfliktus során 95 darab 3M9ME típusú légvédelmi rakétával a szíriai légvédelem 64 darab izraeli repülőgépet semmisített meg.*

A rendszer fő elemei az 1SZ91M2 önjáró felderítő és rávezető állomás és a 2P25M2 önjáró indító állvány a 3M9M3E légvédelmi rakétával.

Az 1SZ91M2 önjáró felderítő és rávezető állomás két önálló rádiólokátorból áll. A 15 fordulat/perc sebességgel forgó 1SZ11M2 felderítő

állomás végzi a légi célok felderítését és célmegjelölés kiadását a célkövető radar számára 70 km távolságú és 10 km magasságú tartományban, amennyiben az **IFF** berendezés ellenségesnek ítélte a repülő eszközt. A kapott célmegjelölés alapján az **1SZ31M2** célkövető és célmegvilágító állomás mintegy 50 km távolságban elfogja, majd szögkoordináták, sebesség valamint távolság szerint automatikusan követi, azután „**megvilágítja**” (besugározza) a légi célt, ugyanakkor kidolgozza és továbbítja a szükséges parancsokat és céladatokat a **2P25M2** önjáró indítóállványon elhelyezett **3M9M3E** légvédelmi rakéták számára. Ezen információk, illetve a besugárzás következtében a légi célról visszavert jelek alapján a rakéta rádiolokációs önrávezető feje elfogja és automatikusan követi a céltárgyat. Amint az ellenséges repülő eszköz beért a komplexum tüzelési szektorába, az **1SZZ91M2** állomásról érkező parancs alapján megtörténik a rakéta indítása.

*A rakéta irányítását a passzív rádiolokációs önrávezető fej adatai alapján a fedélzeti robotpilóta hajtja végre. A célhoz közeledve működésbe lép az aktív rádiolokációs rádiógyűjtő, mely vezérlő parancsot dolgoz ki a harci rész robbantására abban az esetben, amikor a rakéta mintegy 8-10 m-re megközelítette az ellenséges repülő eszközt. Az 57 kg súlyú harci rész repesz-romboló hatásával megsemmisíti a légi célt.*

Az 1960-as években, részben a félvezetős technológia fejlődésének köszönhetően, megjelentek a hordozható légvédelmi rakéta komplexumok, mint például az amerikai „**Red-eye**”, az angol „**Blowpipe**” vagy a szovjet „**Sztrela-2**”. Kifejlesztésükre azért került sor, mert szükségessé vált hatékony légvédelmi fegyver alkalmazása a váratlanul, kis távolságban és magasságban felbukkanó légi célok leküzdésére. *A közeli hatótávolságú hordozható, légvédelmi rakéta komplexumok megjelenéséig a légvédelmi tüzér csapatok arzenáljában nem volt olyan fegyver, mely képes lett volna hatékonyan leküzdeni a 60-as években kifejlesztett helikoptereket.* Ez a tény a koreai és a vietnámi háborúk során fényesen igazolást nyert. A rendszerben lévő légvédelmi rakéta komplexumok a viszonylag hosszú reakció idejük miatt nem voltak képesek számottevő veszteséget okozni a váratlanul, kis távolságban és a földközeli légtérben felbukkanó harci helikoptereknek.

*A légvédelmi rakéta komplexumok felépítésüktől függően rendelkeztek minimális hatótávolsággal (3-7 kilométer), mely távolságon belül az indított légvédelmi rakétát nem tudták rávezetni a légi célra.* Ez és az a tény, hogy a komplexumok radarjai nem voltak képesek a szükséges valószínűséggel felderíteni az alacsonyan repülő légi célokat, valamint hogy a légvédelmi rakéták rádiolokációs gyűjtői kis magasságban a domborzat-

ról visszavert jelek hatására idő előtt beindíthatták a harci részt, gyakorlatilag lehetetlenné tették a komplexumok helikopterek elleni alkalmazását.

*A légvédelmi csapatok rendelkeztek ugyan légvédelmi tüzer eszközökkel, ezek hatékonysága azonban nem bizonyult elégségesnek, különösen a menetben lévő saját csapatok oltalmazása szempontjából. Márpedig az ellenséges helikopterek a támadó hadműveleteket kivéve, éppen a menetben lévő páncélos és gépesített lövész alegységeket támadhatták magas hatásfokkal a fedélzeti páncéltörő rakéta fegyverzetükkel.*

A hordozható légvédelmi rakéta komplexumok megjelenésével egyidejűleg felmerült az igény olyan komplexum kifejlesztésére, mely képes lefedni a hordozható légvédelmi rakéta komplexumok 5-6 kilométeres, illetve a kis hatótávolságú komplexumok 25-30 kilométeres hatótávolsága közti távolságtartományt, valamint felépítése lehetővé teszi, hogy a menetben lévő alegységgel együtt haladva oltalmazza azokat a kismagasságban váratlanul felbukkanó ellenséges légi támadó eszközök ellen. A megfogalmazott követelmény szükségesé tette, hogy egy, jelentős terepjáró képességgel rendelkező eszközön kerüljenek elhelyezésre a célfelderítő és rakétaravezető rádiólokátorok, a légvédelmi rakéták, valamint a kiegészítő berendezések.

Gyakorlatilag a létrehozandó eszköznek egyesítenie kellett egy klasszikus légvédelmi rakéta üteg funkcióit. Ezt az egyedülálló feladatot a szovjet konstruktőröknek sikerült megoldaniuk, melynek következtében 1971-ben a Szovjet Hadseregben rendszeresítésre került a **9K33 „OSZA”** légvédelmi rakéta komplexum.

*A légvédelmi rakéta komplexumoknak az utóbbi 20 évben bekövetkezett ugrásszerű fejlődése a következő négy tényező együttes hatásának az eredménye:*

- Rohamos fejlődés a számítástechnikában, és a mikroelektronikában;
- A radarok nagyfrekvenciás alkatrészeinek a miniatürizálása;
- A minőségileg új légi támadó eszközök és fegyverek megjelenése;
- Az új generációs rádióelektronikai harceszközök rendszerbe állítása.

*Az elmúlt negyedszázad informatika forradalma biztosította, hogy a légvédelmi rakéta komplexumok szerves részét képező automatizált vezetési pontok, felderítő és rávezető rádiólokátorok, valamint légvédelmi rakéták korábban elképzelhetetlen kapacitású vezérlő számítógépekkel kerüljenek felszerelésre.* Ezek a berendezések a korábbi számítógéppel megoldható eszközökhöz képest nagyságrendekkel több információ tárolására, értékelésére és feldolgozására képesek, ami lehetővé teszi az automatizált vezetési pontok, valamint a felderítő és rávezető rádiólokátorok számára akár több száz légi cél egyidejű követését, paramétereik értékelését, az ellentevékenységet megalósítását.

*A radarok nagyfrekvenciás alkatrészeinek a miniatürizálása szintén forradalmi változást eredményezett a légvédelmi rakétatechnikában.* Megjelentek a több ezer passzív vagy aktív elemet tartalmazó fázisvezérelt antennarácsok, melyek a vezérlő számítógép támogatásával képesek mechanikus mozgás nélkül egy vagy több rádiólokációs sugárnyaláb mozgatására a térben. Ez a technológiai fejlődés biztosítja, hogy egy és ugyanaz a radar képes legyen egyidejűleg több ellenséges légi cél felderítésére, követésére és rakéta rávezetésére ezen célpontokra.

A minőségileg új légi támadó eszközök (irányított bombák, **ASALM** és **ALCM** típusú szárnyasrakéták) megjelenése ösztönzően hatott a légvédelmi rakéta komplexumok fejlődésére. A fejlesztés két irányban valósult meg. Egyrészt megjelentek a nagy hatótávolságú, mobil komplexumok, melyek hatékonyan vették fel a harcot az ellenséges harcászati, illetve harcászati-hadműveleti rakétákkal (**PATRIOT**, **SZ-300V**, **SZ-300P**), ugyanakkor kifejlesztésre kerültek azok a kis-hatótávolságú rendszerek, melyek feladata a legújabb fejlesztésű harci helikopterek hatékony leküzdése volt (**RBS-23 BAMSE**, **TOR**).

A **PATRIOT** légvédelmi rakéta komplexum fő elemei az **AN/MPQ-53** multifunkcionális, fázisvezérelt antennarácsal (5160 darab passzív sugárzó) felszerelt rádiólokátor, az **M-901** indítóállvány a **MIM-104** légvédelmi rakétákkal

*A multifunkcionális rádiólokátor egyidejűleg felderítő és rávezető radarként is funkcionál,* mivel a számítógép irányította elektronikus vezérlésnek köszönhetően a másodperc tört része alatt képes különböző modulációjú, formájú és hullámhosszúságú elektromágneses impulzusokat kidolgozni és kisugározni különböző irányokban. Az 1 másodperces működési ciklus első 100 msec-a alatt a multifunkcionális rádiólokátor végrehajtja a felderítési, követési és a parancsközlő rávezetésből adódó feladatokat, a fennmaradó 900 msec alatt pedig a célok „*megvilágítása*”

történik. Ennek megfelelően a multifunkcionális rádiólokátor rendeltetése az ellenséges légi célok felderítése, azonosítása (**IFF** funkció), „**megvilágítása**” a légvédelmi rakétában található félaktív önrávezető rádiólokációs fej számára, a célok és az indított rakéták követése, valamint az utóbbiakra vezérlő parancsok továbbítása. 160 különböző frekvencián képes sugározni a 4-6 GHz-es tartományban, ami magas fokú zavarvédeltséget biztosít részére. Felépítésének köszönhetően képes egyidejűleg nyolc ellenséges légi célra rakétát rávezetni.

Az egylépcsős, kombinált rávezetésű **MIM-104** típusú légvédelmi rakéta indítása a tároló-indító konténerből állandó 38 fokos szög alatt történik. A rakéta **1750 m/s** sebességgel közelíti meg a légi célt. A pálya első szakaszán a rakéta az indítás előtt beprogramozottak szerint bejut a multifunkcionális rádiólokátor sugárnyalábjába, a továbbiakban a rávezetése parancsközlő üzemmódban történik, míg a végső szakaszban a félaktív önrávezető rádiólokációs fej lép működésbe.

***A jelenlegi fejlesztési irányokat és az elért eredményeket figyelembe véve a közeljövő légvédelmi komplexumait a következő két jól elkülöníthető csoportba sorolhatjuk:***

- Hagyományos elven felépülő légvédelmi rakéta komplexumok;
- Irányított-energia komplexumok.

***A hagyományos felépítésű légvédelmi rakéta komplexumok az ellenséges légi cél megsemmisítéséhez irányított légvédelmi rakétát használnak.*** Az új generációs komplexumoknál alkalmazott rakéták ugyanakkor jelentősen különböznek elődjeiktől. Az alapvető különbség abban áll, hogy míg a tradicionális légvédelmi rakéták közelségi rádiógyújtó által működtetett harci résszel semmisítik meg az ellenséges légi célt, addig a technológiai fejlődésnek köszönhetően az új rakéták „**hit-to-kill**” („**közvetlen becsapódással pusztító**”) rendszerűek. Kiváló példa erre a **Patriot** légvédelmi rakéta komplexumhoz kifejlesztett **PAC-3** (Patriot Advanced Capability) rakéta. Az 5 méter hosszú és 25 centiméter átmérőjű rakéta a legújabb tudományos eredmények felhasználásával megépített, minimális rávezetési hibával működő aktív önrávezető fejjel rendelkezik, mely a pálya utolsó szakaszán képes biztosítani a rakéta közvetlen becsapódását a céltárgyba. 2004 márciusában két PAC-3 légvédelmi rakétával sikerült „**hit-to-kill**” üzemmódban megsemmisíteni 2 darab kis hatótávolságú harcászati ballisztikus rakétát.

*Az orosz fejlesztésű SZ-400 „TRIUMPH” légvédelmi rakéta rendszer 48N6E és 48N6E2 típusú légvédelmi rakétái rendelkeznek ugyan közelségi rádiógyújtóval, de a végrehajtott éleslövészetek tapasztalatai alapján gyakorlatilag „hit-to-kill” képességgel bírnak.*

A lézer légvédelmi területen történő felhasználására évtizedek óta folynak kísérletek a vezető katonai hatalmak kísérleti telepein. A lézertechnika katonai alkalmazására már számtalan példa kínálkozik (távolságmérő és célmegjelölő berendezések, rakéták közelségi gyújtói stb.), de a korszakalkotó áttörést az jelenti majd, amikor sikerül előállítani olyan lézer komplexumot, amely képes megfelelő távolságban és kielégítő valószínűséggel megsemmisíteni a légi célokat.

*A hatékony légvédelmi lézer komplexum kifejlesztéséhez a következő technikai problémák megoldása szükséges:*

- A mobil, valamint a repülőeszközre telepíthető nagy energiájú harcászati lézerfegyver (MTHHEL-Mobile Tactical High Energy Laser; ATHHEL- Airborne Tactical High Energy Laser) mérete és súlya nem haladhat meg bizonyos értékeket;
- A lézer eszköznek legalább 1 megawatt teljesítménnyel kell rendelkeznie a hatékony célmegsemmisítés érdekében. A feladat bonyolultságát jól példázza az a tény, hogy 1977-ben a Philips cég laboratóriumában létrehozott első oxigén-jód lézer teljesítménye mindössze 0,01 watt volt és 10 évvel később sem tudtak 40 kilowattnál nagyobb teljesítményű lézert megalkotni;
- Megoldást kell találni arra a problémára, hogy a lézersugár terjedése nem azonos a különböző hőmérsékletű és szennyezettességű levegőrétegekben.

*Az új évezred első éveit úgy tűnik meghozták az áttörést a légvédelmi lézer komplexumok kifejlesztése területén. 2000-ben az Egyesült Államok és Izrael által finanszírozott **Tactical High Energy Laser (THEL) Project (Nagy Energiájú Harcászati Lézer Program)** keretében először sikerült megsemmisíteni egy ballisztikus pályán repülő föld-föld rakétát. 2002-ben ugyanezen program keretében sikeresen megsemmisítettek több, 1600 km/h sebességgel repülő lövedéket és néhány ballisztikus rakétát.*

2005 elején szintén a **THEL** program eredményeként elkészültek a légvédelmi lézer komplexum **ATHHEL** és **MTHHEL** változatai. Az **ATHHEL** változat egy átalakított **Boeing 747**-re telepítve képes 200-300



km távolságból megsemmisíteni az ellenséges rakétát (3-5 másodperces nagy energiájú „*megvilágítással*” átégetni a burkolatát). Az MTHEL földi telepítésű lézerfegyver a tesztlövészeteken csaknem az összes létező tüzérségi lövedéket sikeresen megsemmisítette. Hatékonyak mutatkoztak cirkáló rakéták, és aknagránátok ellen is, sőt rendkívül kis reakció-idejét kihasználva képes volt elpusztítani akár egy sorozatvetőből leadott egész sorozat valamennyi rakétáját. Mindkét lézerfegyver az infravörös tartományban üzemel (a lézersugár hullámhossza 1,315 mikron), így a lézersugár láthatatlan, megneheztve ezzel a hordozóeszköz felderítését. A különböző sűrűségű levegőrétegeknek a lézersugár terjedésére gyakorolt hatását „*gumitükör*” segítségével sikerült kompenzálni. A lézersugarat fókuszáló tükör alakját a vezérlő számítógép ezred másodpercenként változtatja, biztosítva ezzel az állandó optimális fókuszálást.

*A rendkívül eredményes tesztlövészetet követően az MTHEL berendezés prototípusát Izrael 2005 végén a Gáza övezethez közel letelepítette. Ezzel a fegyverrendszerrel próbálják megvédeni Izrael területét a palesztin milicisták által indított rakétáktól.*

A valóban korszakalkotó eredmények ellenére a THEL program keretében megalkotott lézerfegyver még korán sem tökéletes. Például a folyamatos kisugárzás során túlmelegedés lép fel a berendezésben. A hadihasználható eszköz megjelenésére még körülbelül öt évet kell várunk.

*A lézerfegyverek tényleges alkalmazása természetesen mérföldkő lesz a légvédelmi komplexumok evolúciója során, de nem szabad figyelmen kívül hagyni, hogy soha nem fogják teljes mértékben kiváltani a hagyományos légvédelmi rakéta komplexumokat, különösen a közép-, és nagy-hatótávolságúakat. Még rendszerbe sem álltak a légvédelmi lézer komplexumok, de már folynak a lézerfegyverek hatástalanítását célzó kísérletek a vezető hadüipari konszerneknél. Három fő megoldási terület körvonalazódik: próbálkozások történnek a lézersugarat vezérlő rendszer zavarására, kísérletek folynak a fókuszált lézersugarat szétszóró anyag kifejlesztésére, illetve tanulmányok készülnek a rakéták és a repülőgépek részére speciális, a lézersugár energiáját közömbösítő külső burkolat megalkotására.*