

**Turcsányi Károly**  
Károly.Turcsányi@uni-nke.hu

**Hegedűs Ernő**  
erno.hegedus@hmth.hu

## **A NAGY TÁVOLSÁGÚ (STRATÉGIAI) LÉGI SZÁLLÍTÁS PERSPEKTIVIKUS ESZKÖZEI I. rész**

### **(EKRANOPLÁNOK ÉS LÉGHAJÓK FEJLESZTÉSÉNEK KÉRDÉSEI)**

*„A gázturbina és a légcsavar kombinálásával...a léghajók sebessége jó hatásfok mellett megnövelhető. Az ilyen léghajó óránként több mint háromszáz kilométert is megtenne...nagy távolságon nagy terhek és az utasok tömegeinek gazdaságos szállítóeszközüvé válhatnak”<sup>1</sup>*

*„A II. világháború előtt egy sor ravasz kérdést tettek fel nekem, arra vonatkozóan, hogy vajon az óceánon át a légi szállítás szárazföldi vagy vízi repülőgépekkel valósítható-e meg...A jövőben a repülőtereknek működésükhöz mind nagyobb helyre van szükségük. Ezért, s az egyre fokozódó zajártalom miatt, a lakott területektől egyre távolabb telepítik őket. A tengerparti városoknál esetleg vízi repülőtereket létesítenek, és kételtű repülőgépeket alkalmaznak.”<sup>2</sup>*

*Kármán Tódor*

### **Absztrakt**

*Nagy tömegű teher, nagy távolságú, stratégiai léptékű szállítási folyamataiban jelenleg a tengerhajózás és a vasút szerepe szinte egyeduralkodó, míg a légtér szerepe arányait tekintve csekélynek mondható. A jövőben azonban a technikai fejlődés egyre inkább versenyképessé teszi egyes légi szállítási formák – az ekranoplánok (határfelület repülőgépek) és a léghajók – alkalmazását többek között a stratégiai szállítás feladataira. Az ekranoplánok gazdaságossága az eddig alkalmazott szállító repülőgépek többszöröse is lehet. A hosszú távú légi teherszállítás területén a léghajók szintén figyelemre méltó gazdaságosságot mutatnak. A két eszköz gazdaságossága a Kármán-Gabrielli sebesség-teljesítmény optimum-függvény alapján értelmezhető. Ezeknek az eszközöknek egy ponton túli, szélesebb körű elterjedése a geostratégiai tér (katonaföldrajzi- és politikai tér) jelenlegi szerepének bizonyos fokú változását is eredményezheti.*

**Kulcsszavak:** szállítási logisztika, légi szállítás, geostratégiai tér, Kármán Tódor

<sup>1</sup> Kármán Tódor – Lee Edson: Örvények és repülők. Akadémia Kiadó, Budapest, 1994. 289. és 305. o.

<sup>2</sup> Uo. 146. o.

## Bevezető

Napjainkban a stratégiai szállítás terén – a polgári életben és a haderők esetében egyaránt – interkontinentális viszonyok között a tengerhajózás, míg kontinentális körülmények esetén a folyami hajózás és a vasút szerepe egyeduralkodó.<sup>3</sup> Nagy tömegű teher nagy távolságú szállítását – *a gazdaságosság szempontjait figyelembe véve* – hajókkal, illetve vasúton célszerű megoldani. A jövőben azonban nem feltétlenül lesznek egyeduralkodók ezen a területen a hajók és a vonatok, mivel a technikai fejlődés egyre inkább versenyképessé teszi az ekranoplánok és a léghajók alkalmazását. *A szállítási sebesség növelésével kapcsolatos igény* miatt a katonai és a civil tengeri szállítás hosszú távú fejlődésének egyaránt elkerülhetetlen eleme a legalább részleges áttérés az úszó eszközökről a repülő eszközökre. A szárazföldi üzemeltetésű szállító repülőgépek fejlődésének ezért egyik leágazása lett a vízi repülőgépek létrehozása. Utóbbiak (korábban, a hetvenes évekig főként hidroplánok, míg napjainkban főként az ekranoplánok) dinamikus fejlődésének számos oka van. A konstruktőrök – a hosszú távú szállítás területén – már a harmincas években is előnyben részesítették a hidroplánokat, mivel méretüknek és alkalmazásuknak nem szabott gátat a repülőterek mérete. Az ekranoplánok és a léghajók gazdaságossága az eddig alkalmazott szállító repülőgépek többszöröse, ami előrevetíti elterjedésüket a nagy távolságú légi szállítás területén. A jövőben ezt a folyamatot a szálerősítésű szerkezeti anyagok, a dízelmotorok és az elektronika, illetve a meteorológia dinamikus fejlődése teszi lehetővé. Az új típusú légi szállító eszközök gazdaságosságát – a modern, *globális térben kiterjedt* üzleti folyamatokkal működő piacgazdaság, és az ezt kiszolgáló korszerű logisztika *felgyorsult működési folyamatainak* figyelembe vételével – napjainkban a közvetlen energiafelhasználás mellett már *csak a szállítási sebesség, mint egyenrangú fontosságú tényező* figyelembe vételével lehet meghatározni. E felismerés mentén Kármán Tódor 1952-ben elsőként mondta ki, hogy a szállítás gazdaságosságára létezik egy reális határérték, a Kármán-Gabrielli sebesség-teljesítmény optimum-függvény.<sup>4</sup> A Kármán-Gabrielli határérték megmutatja, hogy milyen gyorsan és mekkora teljesítménnyel szállítható adott tömegű teher adott távolságon, ezzel lehetőséget teremt az egyes szállítási formák korszerű fogalmak mellett is reális összevetésére. Ennek a korszerű, sebesség-teljesítményigény elvű komplex vizsgálati módszernek az alkalmazására is törekedtünk tanulmányunkban.

Az **ekranoplán** olyan, a repülés során a párnahatás jelenségét kihasználó repülőgép, amely kis magasságban a felszín – jellemzően víz – felett, levegőt szorítva-préselve szárnya és a felszín közé, **a hagyományos nagy magasságú repüléshez képest jobb aerodinamikai hatásfokkal, gazdaságosabban hoz létre felhajtóerőt**. Az elnevezés a francia ecran (ernyő, vetítövászon) szóból származik, és arra a repülési sajátosságra utal, hogy valamely sík, sima választófelület – víz, jég, illetve sík földfelszín – közelében képes gazdaságosan repülni. Ugyanezt a fogalmat jelöli angol nyelvterületen a valamivel konkrétabb wing-in-ground-effect

<sup>3</sup> A 6500 km feletti – rendszerint transz- vagy interkontinentális – szállítások minősülnek stratégiaiak, illetve hadszínterek közöttinek. Dr. Turcsányi Károly – Dr. Vasvári Ferenc: Szógyűjtemény a vezetés-szervezés, a logisztika, a haditechnika területeiről. NATO szakkifejezések és meghatározások szógyűjteménye AAP-6 (V) alapján. ZMNE, Haditechnikai tanszék, Budapest, 2000. 200., 204. és 207. o.

<sup>4</sup> Gabrielli Kármán Tódor doktorandusz hallgatója volt.

(szárny-föld hatás) kifejezés, utalva a sima felszínhez közel repülő szárny és a felszín közti párnahatásra. A magyar szaknyelv ezeket a repülő eszközöket határfelület- vagy párnahatás-repülőgépeknek nevezi.<sup>5</sup> Az ekranoplán, a párnahatás érvényesítése érdekében a felszínhez közel repül. Közvetlenül a **(föld-, víz) felszín felett haladva a repülőgép szárnyán keletkező felhajtóerő nő, a légellenállás pedig csökken.** A felhajtóerő növekedését az okozza, hogy a felszín közvetlen közelében, amikor a repülési magasság kisebb, mint a szárny húr hossza, a szárny alsó felületén nagyobb lesz a nyomásnövekedés. A járulékos nyomásnövekedés további kedvező következménye, hogy szinte teljesen megakadályozza a szárnyprofil elhagyó áramlás elfordulását, ezáltal a homlokellenállás 50-60%-át kitevő induktív ellenállás sem jön létre.<sup>6</sup> Korlátozott hasznos terheléssel illetve *hatótávolsággal* az ekranoplán általában nagy magasságú repülésre is képes, *a hagyományos repülőgépnél alacsonyabb hatékonysággal.* Lényegében egy hagyományos vízi repülőgépre (hidroplánra) hasonlít, amely azonban attól eltérően alsószárnyas kialakítással és kisebb teljesítményű hajtóművel rendelkezik. Az alapvető különbséget tehát erőforrásának lényegesen kisebb teljesítmény igénye jelenti. A hidroplánok és ekranoplánok alkalmazásának kétségtelen hátránya azonban, hogy használatuk vízfelszínhez köthető, ami korlátozza startegiai szállító képességük szabad kihasználását. (Ugyanakkor *a hidroplán – az ekranoplántól eltérően – csak a le és felszállásához vízhez kötött, a repüléshez nem.*)

A hagyományos merevszárnyú repülőgépeknél jóval gazdaságosabban üzemeltethető **léghajók** esetében viszont elméletileg teljesen indifferens, hogy repülésüket vízfelület, vagy szilárd felszín felett végzik. Ám egy meghibásodásból adódó, illetve az időjárás rosszra fordulása miatt szükségessé váló kényszerleszállásnál ezeknek az eszközöknek a túlélése inkább szárazföld felett végzett repülések esetén lehetséges. Alkalmazásuknak főként időjárással szembeni érzékenységük szab gátat. Ezt a problémát két terület dinamikus fejlődése teszi napjainkra szinte teljesen kiküszöbölhetővé. Egyfelől a műholdakon, időjárás-lokátorokon és fejlett számítógépes szimuláción alapuló *meteorológiai rendszerek* mára már biztosítják az időjárás korábbinál jóval precízebb előrejelzését, másfelől a *korszerű léghajók nagy sebessége* kedvezőbb lehetőséget teremt a viharzónák elkerülésére. Napjainkban egyre gyakrabban kerülnek alkalmazásra kisebb méretű – lokátor-hordozó-, reklám-, illetve személyszállító – változatok is. A különféle kompozit szerkezeti anyagok, illetve a meteorológia dinamikus fejlődése következtében a légi teherszállítás területén nagymértékben előtérbe kerülhetnek a kis erőforrás-igényű, akár gazdaságos dízelmotorral is meghajtható konstrukciók.

Az ekranoplánok elterjedése inkább a tengeri szállítás, a léghajóké a kontinentális szállítás hagyományos formái számára jelenthet a jövőben konkurenciát. Kétrészes tanulmányunkban több szempontú vizsgálatot végzünk arra, hogy milyen hatással lehet az ekranoplánok és a léghajók elterjedése a légi áruszállítás gazdaságosságára. Ezzel összefüggésben vizsgáljuk a jelenleginél gazdaságosabb légi szállítás geostratégiai térszerkezetre gyakorolt hatását is. A hagyományos, távolság alapú földrajzi térszemléletet – az egyre fejlettebb közlekedési-szállítási

<sup>5</sup> Szabó József (főszerk.): Repülési lexikon. Akadémiai Kiadó. Budapest, 1991. 373. o.

<sup>6</sup> Óvári Gyula: Ekranoplánok polgári és katonai alkalmazhatósága. Haditechnika, 1993. évi 2. szám. 2. o.

rendszerek, a hajózás, a vasút, az autópályák, de különösen a repülés „térzsugorító” hatása következtében – napjainkban fokozatosan felváltja a gazdasági folyamatok szempontjából jobban értelmezhető, időtávolságon és gazdasági távolságon alapuló térszemléletet. A léghajók és az ekranoplánok műszaki és gazdasági szempontból is megalapozottnak tekinthető szélesebb körű elterjedése a *geostratégiai tér* napjainkban meglévő szerepének bizonyos fokú változását is magával hozza, amely hatással lesz a hadműveleti-hadászati szintű tevékenységekre is.

## 1. Vízi repülőgép fejlesztések

### 1.1. Hidroplánok

A vízi repülőgépek fejlődése során elsőként a hidroplánokat kezdték el alkalmazni, majd – az ötvenes évektől – megkezdődtek a korszerűbb ekranoplánokkal folytatott kísérletek is. Számos konstrukciós előnyük mellett (kerekes futómű elhagyhatósága, szerkezeti méret növelhetősége) nehezen megoldható műszaki problémák is gátolják a vízi repülőgépek hatékony működtetését, amelyek közül a legfontosabb az úszótest kiemelése a vízből a felszállás során.<sup>7</sup> A felszálló sebesség 40-60%-ához tartozó sebességnél már ugrásszerűen megemelkedik a hidrodinamikai ellenállás, ami aránytalanul nagy hajtómű-teljesítményt igényelhet. Ennek a káros jelenségnek az elkerülésére többféle megoldás kínálkozik:

- a felszálló sebesség alacsony szinten tartása megfelelő szárnyprofil, illetve szárny-mechanizáció alkalmazásával;
- lépcsőzött úszótest, illetve víz alatti szárnyfelületek alkalmazása a kiemelés meggyorsítására;
- a hajtómű-teljesítmény rövid idejű, 25-35%-os növelése pl. vízbefecskendezés alkalmazásával<sup>8</sup>;
- gázturbinás segédhajtómű alkalmazása, esetleg a fő hajtómű égésgázainak injektálása a szárnyfelület alá;
- az úszófelületen a vízzel érintkező, súrlódáscsökkentő buborékréteg kialakítása a hajtómű-kompresszortól elvezetett nagynyomású levegővel.

---

<sup>7</sup> Uo. 297. o.

<sup>8</sup> Hegedűs Ernő: Vízbefecskendezés és emulziók alkalmazása repülőgép hajtóműveknél In: Haditechnika 2000. XXXIV. évf. 2. sz. 8.-11. o.

A *hidroplánok polgári alkalmazásának fénykora* a harmincas években volt, amikor brit és amerikai légitársaságok ezekkel az eszközökkel szervezték meg a kontinensek közötti repülőjáratokat. A tisztán szárazföldi üzemeltetésű repülőgépek interkontinentális alkalmazása egészen az ötvenes évekig nem volt eldöntött. Kármán Tódor visszaemlékezése szerint a repülőgépgyártásban is jelentős érdekeltségekkel bíró Fiat konszernnél a harmincas évek végén tett látogatása során „egy sor ravasz kérdést tettek fel, arra vonatkozóan, hogy vajon az óceánon át a légi szállítás szárazföldi vagy vízi repülőgépekkel valósítható-e meg.”<sup>9</sup> Nem véletlenül került az óceánokon átívelő légi szállítás kérdése az érdeklődés középpontjába: megvalósítását követően a tengerhajózással konkuráló légi társaságok érezhetően „közelebb hozták egymáshoz” Európát és az Egyesült Államokat (és más térségeket is). Mindez a korszerű, nagy teljesítményű hidroplánok elterjedésével vette kezdetét.

A *hidroplánok katonai alkalmazásának* jelentős történeti előzményei vannak. A második világháború második és harmadik évére kiforrottá vált a légideszant-hadviselés, amelyet elsőként a német, ezt követően a brit, az amerikai és a szovjet haderő alkalmazott széles körben. Hamarosan minden korszerű haderőben megjelentek a hidroplánok a légideszantok légi szállítóeszközei között. Alkalmazásuk lehetővé tette a légideszant előképzettség (ejtőernyős specializáció) nélküli könnyűgyalogos egységek erőinek és eszközeinek deszantolását a part menti hídfőbe, tengeren, folyókon vagy tavakon. A rakomány és a haditechnikai eszközök kirakodása gumicsónakokkal és kisméretű, ideiglenesen összeállított teherkompokkal történt. Ezért – és a kisméretű tehertér-ajtók miatt – nagyméretű és nagy tömegű haditechnikai eszközök kirakodása nem volt lehetséges. A hidroplános szállítás viszont nem igényelt semmiféle kikötői infrastruktúrát, és ami még fontosabb: független volt a repülőterektől.

A *német haderő* észak- és nyugat-európai hadjárata során a légideszant-műveletek több, viszonylag kis mélységben, azonos időben végrehajtott bevetésből álltak. A németek 1940-ben Hollandiában folyóra, míg Norvégiában fjordokra hajtottak végre hidroplános deszant-műveleteket. 1942 végéig a Földközi-tengeren végrehajtott hidroplános légi szállítások során a 10 tonna hasznos terhelhetőségű **BV 222 Viking** típus 1400 tonna terhet és 19 400 katonát szállított különböző kikötőkbe. Hidroplánokkal végrehajtott század erejű német légideszant-műveletre került sor 1943 októberében Levítha és Asztipálea szigetén.<sup>10</sup>

A második világháború során partraszállások támogatására az *amerikai haderő* is nagy számban alkalmazott nagyméretű hidroplánokat, gyakran szállítási feladatokra is (pl. Boeing Modell 314 Clipper). A tengerészgyalogság pedig vízre leszállni képes légiszállító-eszközökkel (speciális vízi deszant-vitorlázógépek) kísérletezett, ezeket azonban végül nem rendszeresítették. Az amerikaiak a háborút követően is használták hidroplánokat deszant feladatra. A koreai háborúban is bevetettek néhány 16 tonna szállító kapacitású **Martin Mars hidroplánt** élőerő, utánpótlás- és sebesültszállító feladatokra. Légijerjük 1950-ben állította rendszerbe a **Convair R3Y Tradewind szállító-hidroplánt**. A felsőszárnyas, úszóképes

<sup>9</sup> Kármán Tódor – Lee Edson: *Örvények és repülők*. Akadémia Kiadó, Budapest, 1994. 289. és 305. o.

<sup>10</sup> Anthony Rogers: *Churchill baklövése: Lérosz és az Égei-tenger*. Gold Book Kiadó, Budapest, 2006. 75. és 77-78.o.

törzskialakítással és két szárny alatti segédúszóval rendelkező repülőgépet négy, koaxiális légcsavarokat forgató, egyenként 4100 kW teljesítményű, vízbefecskendezéses Allison T-40 A4 gázturbinás hajtómű emelte a magasba. A Tradewind már a légi gépesítés igényének is megfelelt. *Segítségével 103 felfegyverzett katonát vagy 24 tonna rakományt, illetve a hidraulikus működtetésű rámpán kigördülő gépjárműveket vagy páncélozott harcjárműveket deszantolhattak* közvetlenül a partra. Rakterében egy könnyű harckocsit, két páncélozott lövészszállítót, vagy három 155 mm-es löveget helyezhettek el. Maximális repülési sebessége 650 km/h volt, míg hatótávolsága terheletlenül 4400, teljes terheléssel mintegy 2000 km-t ért el. Tizenegy repülőgépet építettek meg 1956-ig, amikor fejlesztési keretmegvonás, illetve a hajtómű-légcsavar együttes folyamatos működési problémái miatt leállították a gyártást. A Tradewind program leállítását követően az amerikai repülőgépipar ugyan kifejlesztett még egy korszerű – nyilazott szárnyú, kétáramú gázturbinával szerelt, 0,9 M (1100 km/h) sebességre képes – hidroplánt (Martin P6M Seamaster), de ennek terhelhetősége mindössze 13,6 tonna volt és hatótávolsága is 30%-kal alatta maradt a Tradewindénak. Egy korszerű, nagysebességű, ugyanakkor nagy hatótávolságú és jelentős teherbírású eszköz létrehozása tehát egyáltalán nem bizonyult a mérnökök számára könnyű feladatnak.

A brit haderő 1941 májusában két, *Short Sunderland* hidroplánokkal felszerelt repülőszázad segítségével mintegy 800 főt menekített ki Krétáról légi úton. Burmai műveleteiket néhány nagy szállítóképességű hidroplán is támogatta, ezeket tavakról üzemeltették.<sup>11</sup> A második világháború kedvező tapasztalatai – és a német Blohm und Voss BV-222, illetve különösen a közel 30 tonna terhelhetőségű BV-238 nehéz szállító hidroplánok sikeressége alapján a brit haderő három **Saunders Roe SR.45 Princess nehéz szállító hidroplán** építését kezdte meg.

---

<sup>11</sup> Janusz Piekalkiewicz: *Légi csaták 1939-1945*. Ventus Libro Kiadó, Budapest, 2007. 305. o. továbbá Richard Townshend Bickers: *Military Air Transport – The Illustrated History*. Osprey, London, 1998. 110-111. és 117 o.



1. ábra. Saunders Roe SR.45 Princess hidroplán

A 67 méter fesztávolságú repülőgép meghajtásáról tíz légcsavaros gázturbina gondoskodott, hat *koaxiális* légcsavart meghajtva (nyolc gázturbina párban, kettő önállóan üzemelt). A kedvezően alacsony légellenállást a szárnyakba behúzható-felhajtható, a felszállást követően szárnyvégi záróelemként működő úszótalpak garantálták. A repülőgép maximális sebessége 580 km/h volt, míg hatótávolsága elérte a 9000 kilométert. A hidroplán 200 felfegyverzett katona szállítására volt képes, szállító kapacitása azonban nem érte el a kívánt értéket. A 90 tonna szerkezeti tömegű repülőeszköz maximális felszálló tömege 157 tonna volt, ám a terhelhetőség döntő többségét lekötötte a transzkontinentális repülési feladatok teljesítéséhez szükséges 66 000 liter kerozin, amelynek tömege meghaladta a 46 tonnát. *Hasznos terhelhetősége* így – az elvárt 40 tonna helyett – *alig haladta meg a 22-24 tonnát*. Mindez az első generációs, kiforratlan, nagy fajlagos fogyasztású gázturbinák igen magas üzemanyag-igényének volt betudható. Az ekkor még fejletlen, kisméretű és gyenge gázturbinák kényeszerű párosítása, az alkalmazott tengelyek és a speciális beépítés miatt számos műszaki probléma adódott. A megfelelő, nagy teljesítményű és kedvező hatásfokú gázturbinás hajtóművek hiányában nem sikerült megvalósítani a nagy hatótávolságú, 650 km/h sebességű, 40 tonna hasznos terhelhetőségű – így nehéz haditechnikai eszközök (köztük harckocsik) légi szállítására is alkalmas – hidroplánt. A RAF ilyen módon nem tartott igényt a második és a harmadik nehéz szállító hidroplán megépítésére, habár az egyetlen SR.45 még hosszú ideig és sikeresen látott el utas-repültetési feladatokat. A további két, 75%-ban elkészült eszköz jóval korszerűbb, Tyne gázturbinákkal történő átépítésének költségeit már nem vállalta magára a brit haderő, holott így a típus valószínűleg teljesítette volna az elvárt katonai követelményeket.

Csak hozzávetőleg becsülhető meg, hogy a korszerű, gázturbinás hidroplánok maximális terhelhetőségének ésszerű felső határa hol húzódik. A fentiek alapján a második világháborús német, majd a háború utáni brit és amerikai fejlesztések lehetnek irányadók ezen a területen. Az amerikai **Hughes H-4 Hercules hidroplán** 1947-ben szállt fel először. A költséges vízi repülőgép fejlesztési programját a háború befejezésével lényegében félbe szakították, építését nem fejezték be teljesen. A kitűzött cél olyan eszköz építése volt, amely részben átveszi a hajóktól a tengeri szállítás feladatait. A tervek szerint a 97,5 méter fesztávolságú, nyolc motorral felszerelt, nehéz szállító hidroplán 100 tonna hasznos teher szállítására lett volna képes 4800 km távolságon. Habár egyetlen repülése alapján nehéz megítélni, de az elemzők szerint ez az elképzelés – méretét és kapacitását tekintve – a rendelkezésre álló sárkányszerkezeti anyagok (részben fa) és hajtóművek (Otto-motor) mellett már irreálisnak volt mondható.<sup>12</sup> Erre utal a hidroplánok építése terén rendkívül nagy tapasztalatokkal rendelkező szovjet Beriev iroda 2-300 tonna szállítóképességű, 1000 tonna felszálló tömegű, nyolc hajtóműves, 70 méter fesztávolságú hidroplán létrehozására a hatvanas években készített terve is, amely végül soha nem valósult meg.<sup>13</sup> Az alkalmazási tapasztalatokra közzétett kísérleti eredményekre, és a tervezett típusok adataira támaszkodó becslésünk alapján a teherszállító hidroplán valahol a 60-80 tonnás szállítóképesség tartományban építhető meg ésszerű üzemeltetési paraméterekkel. Ezt a kapacitást ugyan napjainkra meghaladták a szárazföldi üzemeltetésű repülőgépek, ám a vízi repülőgépek építése – amint azt az ekranoplánokról szóló részben kifejtjük – nem jelentett zsákutcát, sőt még kedvezőbb eredmények eléréséhez vezetett.

## 1.2. Ekranoplánok

A vízi repülőgép-fejlesztések során a gyártók érdeklődése a gazdaságosabb ekranoplánok irányába fordult. Már a harmincas években felfigyeltek arra a jelenségre, hogy egyes hidroplánok (Dornier, Boeing stb.) vízfelszín közeli – álló helyzetben támasztó úszóként is funkcionáló – alsó szárnyfelülete víz közelben repülve nagy túlterheléssel is nagy hatótávolságú, gazdaságos repülés megvalósítását teszi lehetővé.<sup>14</sup> A második világháborút követően e felismerés mentén indult meg a különféle ekranoplánok fejlesztése.

Az **Antonov An-2E ekranoplán** szerkezeti tömege 3450 kg. Meghajtásáról eredetileg a bázis-repülőgép Svecov AS-62 típusú, kilenc hengeres, 29,87 liter űrtartalmú, 1000 LE teljesítményű csillagmotor gondoskodott, amelynek átlagfogyasztása 160 liter óránként. Az alaptípus átalakítását elsősorban a gazdaságosság fokozása indokolta. Az átalakított An-2 egy trapéz alakú, 45°-ban hátranyilazott szárnyal rendelkezik, amely egészen a törzs farokrészéig ér. (A prototípusa megjelenésekor egy kiállításon még az eredeti An-2-es futóművel és benzinüzemű csillagmotorral szerepelt.) Az ennél alkalmazott turbódízel erőforrás

<sup>12</sup> Grant, R. G.: A repülés évszázada. Magyar Könyvklub, Budapest, 2003. 378. o.

<sup>13</sup> Miloš Brabenec: Csapás a harmadik dimenzióból. Zrínyi Katonai Kiadó, Budapest, 1972. 117-120.

o.

<sup>14</sup> Wing in Ground Effect (WIG) aircraft Aerodynamics

<http://personal.mecheng.adelaide.edu.au/maziar.arjomandi/Aeronautical%20Engineering%20Projects/2007/Group%2012.pdf>



teljesítménye 580 LE, tömege 820 kg. Azonos hatótávolság esetén – az erőforrás magasabb hatásfokának és az ekranoplán kisebb hajtóműteljesítmény-igényének együttes hatásaként – a korábbi 1240 liter üzemanyag helyett mindössze 250 literre van szükség.<sup>15</sup> Ennek következtében az An-2 1000 kg-os terhelhetősége 2000 kg-ra nőtt.



2. ábra. Antonov An-2E ekranoplán

Hasonlóképpen közelíti meg az ekranoplánok erőforrás-választásának kérdését a brit-ausztrál Sea Wing International cég is. **Sea Wing 12** típusú ekranoplán-tervezetük meghajtására két 450 LE teljesítményű Detroit Diesel erőforrást választottak. A 6500 kg szerkezeti tömegű, 24 méter fesztávolságú alumínium sárkányszerkezetű ekranoplánt 300 km/h sebességre gyorsítja a két dízelmotor. A 4500 kg hasznos terheléssel (42 fő utassal) repülő ekranoplán 1800 km-es hatótávolságának megvalósításához a tervek szerint mindössze 500 liter üzemanyagra van szükség.<sup>16</sup>

A koreai **WSH-500 ekranoplán** alumínium szerkezetű, szárnyának fesztávolsága 27 méter. A 17 tonna maximális felszálló tömegű, 4,4 tonna hasznos terhelésű, 1 tonna maximális üzemanyag-töltéssel rendelkező repülőeszközt két 1400 LE teljesítményű légcsavaros gázturbina hajtja, amivel 200 km/h sebesség elérésére képes. Fedélzetén 50 főt szállíthat. Hatótávolsága 300 km. Első repülésére

<sup>15</sup> Jurij Makarov : Upgraded of plane An-2. <http://www.an2plane.ru/en/moderniz.htm#an2e>

<sup>16</sup> Liang Yun - Alan Bliault - Johnny Doo: WiG Craft and Ekranoplan: Ground Effect Craft Technology. Springer, New York – London, 2010. 87-89. o.

2011 októberében került sor. Napjainkig két példánya épült meg. A megszerzett tapasztalatok alapján tervezik megépíteni a WSH-1500 ekranoplánt, amely már 16 tonna hasznos teher – 400 km távolság megtételére elegendő üzemanyag-mennyiség és 150 fő utas – hordozására lesz képes.



*3. ábra. A koreai WSH-500 ekranoplán*

A Beriev cég sikeresnek mondható, korszerű kialakítású Be-12, Be-10, A-40 és Be-200 hidroplánjainak kifejlesztése, illetve (egyes típusoknál) széles körű rendszeresítése után a szovjetek a világon elsőként fordultak a gazdaságosabb, nagyobb hatótávolságú és terhelhetőségű – összességében deszant-szállító feladatokra jóval alkalmasabb – ekranoplánok, azaz határfelület repülőgépek fejlesztése felé.

A szovjet-országi program eredménye az 1979-től gyártott, 110 tonna szerkezeti tömegű, **A-90 Orlyonok közepes ekranoplán** típus, amelyből napjainkig tízet gyártottak le. Az Orlyonok szárnyfesztávja 31,5 méter, törzshossza 58 méter, magassága 16 méter. A szükséges vonóerőt egyetlen, a nyílazott „T” vezérsíkon elhelyezett, koaxiális légcsavarokat forgató, 11 033 kW teljesítményű NK-12M gázturbinás hajtómű adja. A vízből történő kiemelkedést és a gyorsítást a gép orr-résében elhelyezett két NK-8 gázturbina segíti elő.



4. ábra. Szovjet A-90 Orlyonok ekranoplán

Az orrészben elhelyezkedő, a menetiránnyal közel  $45^\circ$ -os szöget bezáró gázáramú segédhajtóművek a felszállás során nagy tömegű *forró hajtóműgázt* préselnek a szárnyak alá és – mintegy légpárnás járműként – segítenek kiemelni az úszótestet a gyorsítási, *nekifutási fázisban*. Utazó sebességnél a segédhajtóművekre már nincs szükség, hiszen a szárnyakon megfelelő mennyiségű felhajtóerő, illetve – ami a repülés szempontjából a legfontosabb – a szárnyak alatt jelentős párnahatás keletkezik. Ugyanakkor egyes különleges üzemmódokon – vészhelyzet, intenzív manőverek, repülés nagy magasságban nagy terheléssel - teljesítményük rendelkezésre áll. Az A-90 személyzete 5 fő. 25 m hosszú, 3,3 m széles törzsében 28 t hasznos terhet vagy 150 fő felfegyverzett katonát képes szállítani. 50%-kal kisebb hajtómű teljesítmény mellett 20%-kal nagyobb a teherbírása, mint az amerikai Tradewind hidropláné. Harc- és gépjárművek kirakodásakor a gép orrát oldalra lehet kihajtani. Hatótávolsága teljes terheléssel, a vízfelszín felett 4 m magasságban, 350 km/h sebességgel repülve 2000 km. Maximális sebessége 500 km/h, amelyet – biztonsági okokból, megfelelő számítógépes kormányvezérlő rendszer és kismagasságú repülést támogató „terepkövető” automatika hiányában – vízfelszín felett nem használnak ki. A szovjet tengerészgyalogság harcjárművei közül a rendszeresített A-90 a BTR, a BRDM, illetve a PT-76 típusokat, továbbá a napjainkban rendszeresítés alatt álló BMD-4 és Szprut harcjárműveket képes szállítani.

A hajók elleni fegyverzettel ellátott **Lun ekranoplánt** 1986-ban bocsátották vízre. A 73,8 m hosszú, 44 m fesztávolságú, 21 m magas Lun hajtóerejét az első

hajtómű-tartószárnyakon beépített nyolc darab 130 kN tolóerejű Kuznyecov sugárhajtómű szolgáltatta. A 400 tonna felszálló tömegű Lun 550 km/h sebesség elérésére képes, míg hatótávolsága 3000 km-t ért el. Alapfegyverzetét hat darab Moszkit (NATO-jelzés: SS-N-22 Sunburn) típusú, hajók elleni *robot repülőgép* képezte. **Szpaszatyel** néven megkezdték a típus szállító-változatának építését is, amelynél a függőleges vezérsíkon is elhelyeztek két menethajtóművet. A kétszintes jármű belső tere 300 személy, vagy 137 tonna rakomány szállítására lett volna alkalmas. A pénzühiány azonban végül nem tette lehetővé a Szpaszatyel befejezését.

A **KM-1 típusú szállító ekranoplán** terveit az Alexejev-iroda az 1960-as évek közepén dolgozta ki. Mintegy 100 m törzshosszával és 10 sugárhajtóművével, illetve 544 t felszálló tömegével a KM-1 ekranoplán az An-225 óriás szállító repülőgép geometriai és tömegadataihoz mérhető. A vízre bocsátás 1966-ban történt meg. A törzs elején kialakított, 26 m fesztávolságú, kacsza elrendezésű vezetősárnyakba mindkét oldalon négy-négy Kuznyecov NK-8-4K típusú, kétáramú sugárhajtóművet építettek, amelyek mindegyike 130 kN tolóerőt szolgáltatott. Ezeket a sós vízű környezetre való tekintettel rozsdamentes nemesacélok nagymértékű felhasználásával készítették. Beömlőnyílásaikat a vízpermet behatolása ellen áramvonalas védőburkolattal látták el. A megközelítően négyzet alakú szárnyak fesztávolsága mintegy 42 m, húr hosszuk 20 m volt. A nyílazott belépőélű, T-elrendezésű vezérsíkok fesztávolsága megközelítette a szárnyakét. A függőleges vezérsík két oldalára szereltek további két, Kuznyecov NK-8-4K típusú menethajtóművet. Az ekranoplán személyzete három főből állt. A párnahatás következtében a KM-1 legnagyobb repülési magassága 25-30 m lehetett, de a kedvezőbb felhajtóerő-viszonyok biztosítása érdekében általában 5-10 méteren repültek. 540 km/h legnagyobb sebességre volt képes. Üzemanyag-fogyasztása igen kedvező volt, mintegy negyede egy hasonló méretű és terhelhetőségű repülőgépnek. A KM-1 hasznos terhelése 200 tonnára becsülhető. Polgári szállító változatának fejlesztését a nyolcvanas években kezdték meg, ám a pénzügyi feltételek végül nem tették lehetővé a program befejezését.<sup>17</sup>

A **Be-2500 Neptun nehéz szállító ekranoplán** tervét a hidroplánok építése területén jelentős tapasztalatokkal rendelkező orosz Berijev tervezőirodában dolgozták ki az 1980-as években. A 123 méter hosszúságú, 156 méter fesztávolságú ekranoplán maximális felszálló tömege 2500 tonna, a hasznos teher tervezetten 1000 tonna. Az ekranoplán négyszer nehezebb lenne, mint a világ legnagyobb repülőgépe, az An-225.

---

<sup>17</sup> Diomidov, Vladislav: Ground-Effect Aircraft autopilots. ARMS – Russian Defence Technologies. 2001/3. 42. o.



5. ábra. A Berijev Be-2500 ekranoplán gyári makettje

Ilyen méretű repülő eszközt leginkább már csak vízi repülőgépként lehet megvalósítani. A nagy kétáramúsági fokú gázturbinás hajtóművek száma 6 db. A Kuznyecov tervezőiroda 1994-ben megtervezett NK-116 jelzésű hajtóművének tolóereje 1000 kN lenne. Ez kétszer erősebb, mint a jelenleg legnagyobb tolóerejű General Electric GE90 (a Boeing-777 hajtóműve.) A Be-2500 számított legnagyobb sebessége vízfelszín felett, határfelület-repülőgépként 450 km/h, hatótávolsága 17 000 km.

A **Boeing** 2004-ben jelentette be, hogy megkezdi a **Pelican típusjelzésű katonai** ekranoplán fejlesztését. A létrehozni kívánt típus mérete a világ jelenlegi legnagyobb szállító repülőgépéhez (Antonov An-225) képest mintegy kétszeres. A Pelican ismert adatai: fesztávolsága 152 méter, hossza 122 méter, szerkezeti tömege 1000 tonna, hasznos terhelhetősége 1300 tonna, hatótávolsága – az 1000 tonna maximálisan feltölthető üzemanyaggal – mintegy 12 000 kilométer. Az amerikai tervezők által megépíteni kívánt új ekranoplán egyértelműen a hadászati légi szállítás céljait kívánja szolgálni. Nagy hatótávolságú vízfelszín feletti repülését 5-15 méteres magasságban, 460 km/h utazósebességgel hajthatja végre. Teherterében 17 db M1 Abrams harckocsit szállíthat. Szabvány tengeri konténerek szállítása esetén 100 db a törzs alsó teherszinten, 50 db a felső teherszinten, 20 db pedig a szárnytőben kerülne elhelyezésre. Az ekranoplán meghajtásáról a tervek szerint négy, egyenként 82 000 LE teljesítményű légcavaros gázturbina fog gondoskodni, amelyeknél

fokozottan számolnak a madárütközés veszélyével.<sup>18</sup> (Ez a teljesítmény több, mint kétszer nagyobb a jelenleg legerősebbnek mondható – hajókon alkalmazott – tengelyteljesítményt adó gázturbinánál, a 33 600 LE-s GE ML2500-nál.) A jelenleg rendelkezésre álló hajtómű-paletta típusainak felhasználásával felmerült két kisebb teljesítményű gázturbina egy hajtómű-gondolában megvalósított beépítésének lehetősége is.

## 2. Léghajók

Katonai alkalmazásukra számos korábbi és jelenlegi példa létezik. A merev szerkezetű konstrukciót már az I. világháborúban katonai célokra alkalmas eszközként gyártotta a német **Zeppelin** cég. Napjainkban is alkalmaznak kisebb léghajókat a britek aknakutatási feladatokra, az Egyesült Államok fegyveres erői pedig határőrizeti, felderítő és partvédelmi-járőrözési feladatokra. Szállító feladatkörben történő alkalmazásukra – különösen a nagy tömegű terhek nagy távolságra szállítása területén – a jövőben, már középtávon számíthatunk.

A nagy távolságú és gazdaságos légi szállítás hatékony eszköze, a merev szerkezetű léghajó, az első világháború katonai célú fejlesztései során érte el haditechnikai kiforrottságát. A német légierő 113 nagyméretű léghajója közül többet is alkalmaztak teherszállító szerepkörben, az „afrikai gyarmatokra történő hadianyag-szállításokra.”<sup>19</sup> Az I. világháborút követően számos országban kezdték meg ilyen típusú légi szállítóeszközök gyártását és alkalmazását. A nagy számú technikai és technológiai probléma – kormányzás, gazdaságos, de egyúttal könnyű motorok, navigáció, szivárgásmentesség – azonban lelassították az elterjedés ütemét, végül a nem megfelelő technológiai háttérrel rendelkező országokban megtorpanásra késztették azt. A második világháború előestéjére a német léghajóépítés első világháborús tapasztalatai és a Zeppelin cég szabadalmi, illetve kifejlesztett konstrukciói és technológiai vezető pozícióba juttatták a német léghajó-gyártást, amely lényegében egyeduralmúvá vált a piacon.

Ugyanakkor német technológia megvásárlása és saját fejlesztés alapján az Egyesült Államok haditengerészete 1931-1935 között több léghajót is épített a haditengerészeti hadviselés egyes feladataira. Az **Akron** és a **Macon** nevű, ZRS4 és ZRS5 jelzésű Goodyear léghajók *gáztérfogata* 180 000 m<sup>3</sup>, hossza 239 méter, szerkezeti tömege 121 tonna, maximális felszálló tömege 201 tonna volt. A 17000 km maximális hatótávolság kihasználása mellett az óriási emelőerőt – 53 t üzemanyag, illetve 5 vadászpilóta, személyzetük és ellátó anyagaik (üzemanyag, fegyverzet, utánpótlás stb.) levegőbe emelésére használták fel. A benzinüzemű erőforrások – a nyolc, 560 LE-s motor – segítségével tekintélyes hasznos tömeget, **mintegy 20 tonnát – továbbítottak fedélzetükön** 133 km/h sebességgel. 1931. november 3-án a Goodyear cég egyik katonai léghajója **16 tonna tömegnek megfelelő 207 fő utast**

<sup>18</sup> Razrabotka perszpektyivnih szverthjajzselih voenno-transzportnih letalnih apparatove. Zarubezsnyie voennoe obozrenyie 2006. évi 8. szám 41-43. o.

<sup>19</sup> Szabó József (főszerk.): Repülési lexikon. Akadémiai Kiadó. Budapest, 1991. 556. o.

szállított fedélzetén.<sup>20</sup> Végül azonban – több baleset után – az amerikaiak is felhagytak a kimondottan nagyméretű, merev szerkezetű léghajók építésével.

Az angolok az I. világháborút követően egy olyan légi jármű megalkotását vették tervbe, amely képes 100 utast, valamint 16 tonna árut óránként 100 km/h átlagsebességgel, leszállás nélkül eljuttatni 6500 kilométernyi távolságra, vagyis Londonból Indiába. A 150 000 m<sup>3</sup> gáztartály térfogatú **R101 léghajó** 1929-ben **5 db 650 LE teljesítményű, egyenként 88 liter hengerűrtartalmú, 2150 kg tömegű Breadmore Tornado dízelmotor** segítségével 100 fő utas vagy 51 tonna teher 130 km/h sebességgel történő szállítására volt képes.<sup>21</sup> A motorokon a fajlagos fogyasztás csökkentése érdekében gőzhűtést alkalmaztak. Végül azonban balesetek miatt, 1931-ben a még építés alatt álló léghajó példányokat is lebontották, így az angol léghajó-program megszakadt.

A harmincas évek végére az olasz, a francia és a brit cégek sorra beszüntették léghajó építési programjaikat. Az USA mellett „egyedül Németország maradt a léghajók építésére szolgáló tudás és gyakorlat birtokában.”<sup>22</sup> (Ilyen képességek pl. kis tömegű, ugyanakkor nagy teljesítményű léghajó dízelmotorok és könnyű alumínium rácsszerkezetek, illetve a gáz elengedésének mértékét csökkentő kipufogógáz-vízlecsapató berendezések gyártása.) A német léghajók rendkívül kiterjedt és nagy távolságú utasforgalmi repüléseket folytattak a harmincas években, különösebb műszaki problémák és balesetek nélkül. Elméletileg az LZ 127, 129, 130 típusok – ha nem luxus személyszállításra alkalmazták – akkor *30-40 tonna hasznos teher, illetve 200-300 fő* szállítására lettek volna képesek. A **Zeppelin LZ 129 Hindenburg esetében a gáztartályok (cellák) térfogata 200 000 m<sup>3</sup>** volt, az utasok száma 50-150 fő között mozgott, kiegészülve a 45 fős személyzettel. Ehhez járult még 20 tonna posta és egyéb szállítmány. A 245 méter hosszú léghajón az utasoknak 400 m<sup>2</sup> terület állt rendelkezésre. Szerkezeti tömege 118 tonna, maximális felszálló tömege 240 tonna volt. A 122 t elméleti emelőerőt – a 16 000 km maximális hatótávolság kihasználása esetén – **61,5 t üzemanyag, 4,5 t kenőanyag és 40 t vízballaszt** levegőbe emelésére használták fel. Teljes hatótávolságnál **a maximális hasznos terhelés 30 t körüli értékre adódott**, ám „kisebb” – 2-3000 km-es – utak esetén ez az érték (a feltöltött üzemanyag mennyiségének csökkentése következtében) **elérhette a 40-60 tonnát is**. A léghajók így **elméletileg képesek voltak nagy tömegű teher hadászati mélységbe történő kijuttatására is**. A négy, V-elrendezésű, 16 hengeres **1300 LE-s, egyenként kéttonnás, 89 liter hengerűrtartalmú Daimler-Benz dízelmotor** kedvező hatásfoka lehetővé tette a szállítási feladatok gazdaságos végrehajtását. Utánpótlás-szállító feladatok ellátására a háború folyamán azonban – egyes erre vonatkozó műveleti tervek ellenére – nem került sor. A léghajókat – köztük az LZ 130 Graf Zeppelin II-t – 1940-re sorra lebontották.

<sup>20</sup> Michael Taylor – David Mondey: Repülés – tények és teljesítmények. Panem – Grafo Kiadó, Budapest, 193. 38. o.

<sup>21</sup> Ventry L. – Kolesnik E. M.: Jane's pocket book of airship development. MacDonald and Jane's, London, 1976. 138. és 145. o.

<sup>22</sup> Repülőcsónakok és léghajók. In: Grant, R. G.: A repülés évszázada. Magyar Könyvklub, Budapest, 2003. 155. o.

A második világháború hadszínterei azonban mégsem nélkülözték a léghajókat. A németek visszaközösítésével szöges ellentétben az *amerikai haditengerészet* folyamatosan alkalmazott (közepes méretű) lokátor-hordozó léghajókat a második világháború éveiben, amelyek rendkívül sikeresen vettek részt a német tengeralattjárók elleni küzdelemben.<sup>23</sup> A háború során összesen 154 darabot építettek a haditengerészet számára, többségében a **K-sorozat** 11-14 000 m<sup>3</sup> gáztérfogatú, 125 km/h sebességre képes, 140 km felderítési távolságú lokátort hordozó tagjait. A 3,5 tonna hasznos teher hordozására képes repülő eszközt két 425 LE teljesítményű repülőgép csillagmotor hajtotta 3500 km hatótávolságon. Személy- és teherszállító, ejtőernyős kiképző és tengeri aknakutató feladatokra a *szovjetek* is igénybe vettek három léghajót a háború során. A 3000 m<sup>3</sup> gáztérfogatú, 80 km/h sebességre képes kisméretű légi járművek mindössze 1100 kg terhet hordozhattak, ám ennek ellenére is 320 tonna ellátmányt és 1500 fő élőerőt szállítottak légi úton segítségükkel a háború éveiben.

A második világháború után is folyamatos maradt a fejlesztés. Az ötvenes évek végén az amerikai haditengerészet négy, fél-merev szerkezetű **ZPG-3W radarfelderítő léghajót** rendszeresített. A 122 méter hosszú, 138 000 m<sup>3</sup> gáztérfogatú léghajót két 1500 LE teljesítményű, utas-gondolához erősített Ottomotor hajtotta meg 130 km/h maximális sebességgel. Hasznos terhelhetősége – a nagy távolságú repülések esetén feltöltött jelentős üzemanyag-mennyiség következtében – mindössze 11 tonna volt.<sup>24</sup> Ezeket 1962 novemberében vonták ki a hadrendből.

A szovjetek az **Akla teherléghajót** a hatvanas években mindössze a tervek szintjén készítették el. 100 tonna hasznos terhet lett volna képes 1000 km távolságra szállítani, miközben – a 150 km/h sebesség biztosítása érdekében alkalmazott légcsaváros-gázturbinás hajtómű – csak annyi üzemanyagot fogyasztott volna, mint amennyit egy 12 tonna szállítóképességű MI-6 nehéz szállító helikopter 350 km távolságon. Így a szovjet kalkuláció szerint a léghajó 5-8-szoros szállító kapacitás mellett 25-ször gazdaságosabb lehetett volna, mint a nehéz szállító helikopter. Ugyanúgy képes lett volna a függőleges fel- és leszállásra és terhek emelésére, ám sebessége – a gázturbinás meghajtás ellenére – annak csak a fele lett volna. Megépült viszont a merev szerkezetű, gázturbinás hajtású **szovjet D-1 kísérleti léghajó**. Ennek egyetlen, TV-2 típusú, 1500 LE teljesítményű gázturbinás hajtóművét a farok-részben helyezték el. A hajtóműnek és az üvegszál erősítésű merev borításnak köszönhetően 14 tonna hasznos teher szállítására volt képes. A nagy teljesítményű hajtóműnek és az üvegszál erősítésű merev borításnak köszönhetően a 27 500 m<sup>3</sup>-es gázterű járművel elérték a 200 km/h sebességet.<sup>25</sup> Sikeres kísérleteket folytattak a szovjetek **hélium fűtéssel és hűtéssel a statikus felhajtóerő szabályozására** is. A további tervek egy D-4 jelzésű, 220 000 m<sup>3</sup> gáztérfogatú, 120 tonna teherbírású, nagy sebességű léghajó létrehozására irányultak, amelyet egyetlen, 15 000 LE teljesítményű, valószínűleg NK-12 típusú gázturbinával hajtottak volna meg. Ennek megépítésére azonban nem került sor.

<sup>23</sup> Szabó József (főszerk.): Repülési lexikon. Akadémiai Kiadó. Budapest, 1991. 555. o.

<sup>24</sup> Ventry L. – Kolesnik E. M.: Jane's pocket book of airship development. MacDonald and Jane's, London, 1976. 211. o.

<sup>25</sup> Uo. 165, 167-8. o.



(Kijevi ukrán repülőmérnökök személyes elmondása alapján a program a Szovjetunió szétesését követően politikai döntés áldozata lett.)

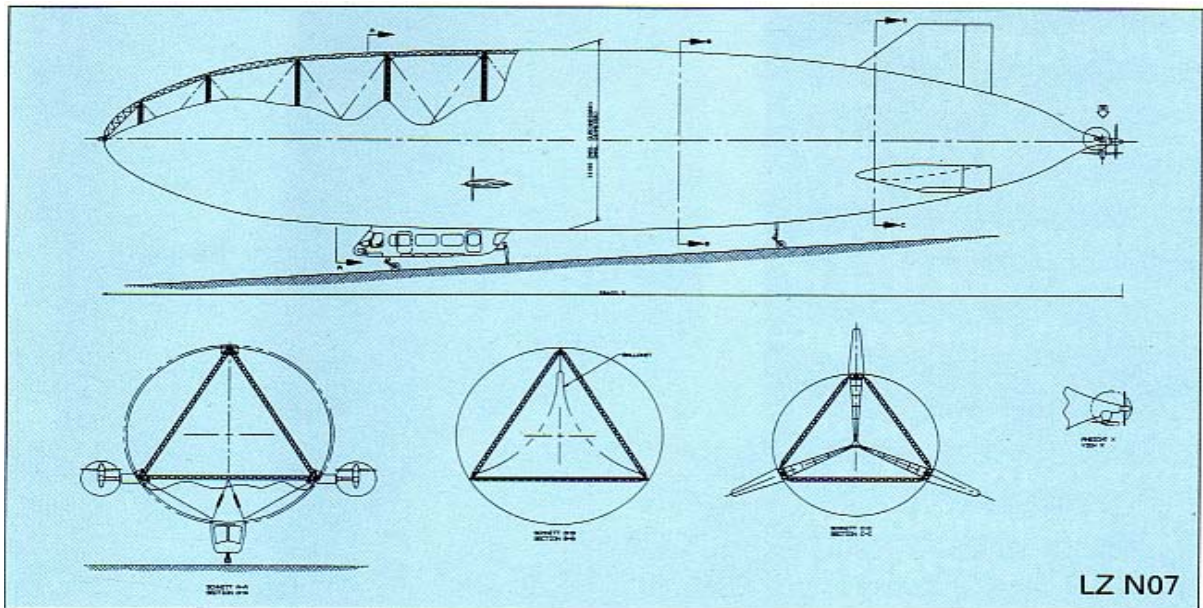


6. ábra. A gázturbinás meghajtású szovjet D-1 léghajó

A brit katonai léghajófejlesztés (amerikai együttműködéssel) a nyolcvanas években éledt újra a **Skyship-500**, majd a nagyobb teljesítményű **Skyship-600** létrehozásával. A 60 méter hosszúságú, **merevítés nélküli**, héliumtöltésű léghajó 13 utas vagy 2400 kg hasznos teher szállítására képes. Maximális sebessége 107 km/h, hatótávolsága 550 liter üzemanyaggal 1020 km. Meghajtásáról két 188 kW teljesítményű léghűtéses, turbófeltöltéses Otto-motor gondoskodik, amelyek ötlapátos, gyűrűs légcsavarokat forgatnak, amelyek elforgatásával és **fly-by-wire kormányrendszer** alkalmazásával a léghajó manőverező-képessége jelentősen megnövekedett. A héliumtöltésű léghajó **gázterének burkolata egyrétegű, poliészter alapú, speciális poliuretán alapú titánoxid bevonattal**. Belső teherviselő kábele, illetve az ezekre felfüggesztett **fülke kevlárból** készült. A katonai felhasználás során haditengerészeti lokátor-hordozó, aknakereső, illetve tengeri járőröző-ellenőrző feladatokat lát el. A Skyship-600-on már megjelennek a repülőgépiparban alkalmazott korszerű konstrukciós megoldások és technológiák, azonban a léghajókkal szemben támasztott legfontosabb követelményeknek – nagy tömegű terhek nagy távolságú szállítása – ez a típus még nem felel meg. A fejlesztés során felgyülemlett tapasztalatokat a britek a jóval nagyobb, 183 méter hosszúságú **Redcoat Skyship R-40 teherléghajó** építésénél kívánják felhasználni, amely a tervezők elgondolása szerint 140 km/h sebességgel lenne képes transzkontinentális szállítások végrehajtására.<sup>26</sup> A léghajó hasznos terhelése tervezetten 60 tonna. A kívánt sebesség eléréséhez négy, egyenként 1200 LE teljesítményű gázturbinás erőforrásra lenne szükség. A brit kalkuláció szerint egy ilyen léghajó beszerzési költsége mindössze 8%-a, élettartama hozzávetőleg 200%-a lenne egy 77 tonna hasznos terhelhetőségű repülőgépeznek. A tonnánkénti üzemanyag-igény az előzetes számítások alapján egy Boeing 747-es fogyasztásának negyede.

<sup>26</sup> The 1984 airship: roomy, slow, easy to land and cheap. Popular Mechanics, 1981. május, 162. o.

A 1990-es években a német Zeppelin társaság utóda, a Zeppelin Luftschifftechnik GmbH újrarendítette a léghajóépítést. **Zeppelin NT 07** típusjelzésű léghajójuk 75 méteres hossza valamivel nagyobb, mint a Skyship merevítés nélküli léghajóké. A nagyobb méretet és hasznos terhelést a **belső merevítőkkal ellátott félmerev szerkezet** teszi lehetővé. A burkolat különösen ellenálló, többrétegű laminátból készül, melyet háromszög keresztmetszetű tartóvázra rögzítettek. A szénszálalás kompozit alapanyagú merevítők súlya mindössze egy tonna.



7. ábra. Belső merevítővázis félmerev Zeppelin LZ N07 léghajó

A csekély túlnyomás alatt üzemelő léghajótestben levegővel teli légkamrákkal szabályozható a kívánt nyomás. Térfogata  $8225 \text{ m}^3$ , ebből a belső légkamra  $1805 \text{ m}^3$ . A léghajót három 200 LE teljesítményű motor hajtja, csúcssebessége 130 kilométer óránként. Terheléstől függően 14-28 órát repülhet. A légszavartokat hajtó motorok a léghajó oldalain lévő két, belső vázszerkezetre erősített konzolra és a farokrészre kerültek. Minden légszavartengely függőleges síkban bólintható a kormányzás segítése érdekében. Hátul a motor egy oldalirányba néző légszavart is meg tud hajtani, ami a léghajót a függőleges tengely körül fordítja el. Ez a szerkezeti felépítés nagy manőverező készséget nyújt, hiszen a léghajó a forgatható motorgondolák és a kormánylégszavar segítségével  $5 \text{ m/s}$  szélben is képes  $100 \text{ m}$  sugarú körön belül megfordulni. A vázszerkezet csomópontjaihoz erősített motorok gondolatól távoli elhelyezése csökkenti a rezonanciát és a zajt. A Zeppelin belső merevítővázis, félmerev konstrukció a jövőben költséghatékony és egyszerű megoldást jelenthet a félmerev léghajók teljesítmény-paramétereinek jelentős meghaladása területén. Az e felismerés mentén, a kikísérletezett új félmerev konstrukció alapján a közeljövőben létrehozni kívánt **LZ N 30 léghajó** már  $110 \text{ méter}$  hosszúságú,  $30\,000 \text{ m}^3$  térfogatú,  $15\,000 \text{ kg}$  hasznos terhelésű légi jármű lesz,

amely három 600 LE teljesítményű motorral 140 kilométer óránkénti csúcssebességgel terheléstől függően 23-82 órát repülhet<sup>27</sup>.

*Napjainkra az Egyesült Államok vált a léghajógyártás vezető nagyhatalmává,* hiszen a kilencvenes évek elejéig csak a Goodyear több mint 310 léghajót gyártott, ebből 250-et katonai célra.<sup>28</sup> A hatvanas években kivont ZPG-3W lokátor-hordozó léghajó pótlására számos terv született. Egyes tervek szerint a kilencvenes években az amerikai haditengerészet **YEZ-2A** jelzéssel rendszeresítette volna radarfelderítő léghajóit. A félmerev YEZ-2A (más néven Sentinel 5000, vagy Skyship 5000) terve 1989-ben készült el. (A britekkel közösen fejlesztett Skyship 500 és 600 léghajók e léghajó kisméretű demonstrátorai voltak.) A YEZ-2A hossza 143 méter, átmérője 32 méter, gáztere 70 864 m<sup>2</sup>. Személyzete a tervek szerint 10-15 fő lett volna. A radart a gondola tetejére, a belső gáztérbe tervezték elhelyezni. A léghajó meghajtásáról két 1800 LE (1340 kW) teljesítményű **CRM típusú dízel erőforrás és egy – kiegészítő meghajtás szerepkörben alkalmazott – 200 kg tömegű, 1500 LE-s** General Electric T700 gázturbina gondoskodott volna. A dízelmotorok a számítások szerint 150 km/h sebességre gyorsították a léghajót, amely csak egyes manőverek esetén (fel- és leszállás) vagy vészhelyzetben (viharzóna elkerülése) használta volna gázturbináját. Bonyolult időjárás-helyzet, továbbá veszély esetén, illetve felszállásnál a léghajó így fokozhatta volna sebességét, miközben normál üzemmódon a gázturbina nem jelent számottevő jelentős többlet-tömeget. A léghajó tervezett hasznos terhelése 30 tonna. Említésre érdemes még az 1995-ben részben megépített, mintegy 75 méter hosszú **Sentinel 1240 félmerev léghajó**, amely 40 utas – azaz hozzávetőleg 4 tonna hasznos teher – szállítására lett volna képes. Két 300 LE teljesítményű **Zoche dízelmotort** a gondola két oldalára, egyet a farokrészbe szereltek volna be, a számítások szerint mintegy 120 km/h sebességet elérve. (A prototípus az észak-karolinai Weaverville-ben semmisült meg 1995 nyarán egy hangártűzben.)

---

<sup>27</sup> Scharek Ferenc honlapja. <http://scharekf.hu/poppe.htm> (2012. 07.24.)

<sup>28</sup> Michael Taylor – David Mondey: Repülés - tények és teljesítmények. Panem – Grafo Kiadó, Budapest, 1993. 39. o.



*8. ábra. A félmerev szerkezetű amerikai M-1400 típusú léghajó*

Megépült viszont az automata repülési üzemmódban, illetve két fő pilótával egyaránt üzemeltethető **M 1400 Blue Devil 2 felderítő léghajó**, amely 113 méter hosszúágú, 150 km/h sebességre képes eszköz. A léghajó 11 000 km-es hatótáv mellett 4 tonna hasznos teher szállítására képes. A három, egyenként 310 LE teljesítményű **Thielert Cenurion 4.0 típusú repülőgép-dízelmotort** a gondolához erősítették, míg a vészüzemi és manőverhajtóműként funkcionáló három elforgatható gázturbina a léghajótest két oldalán, illetve farokrészén kapott helyet. A léghajó fő feladata a fedélzetén telepített Blue Devil komplex felderítőrendszer nagy hatótávolságú, hosszú időtartamú hordozása.



9. ábra. Léghajó dízelmotor az amerikai M-1400 típus gondola-rácsszerkezetén

Három Honeywell TPE331-12 típusú légcavaros-gázturbinás kiegészítő hajtóműve egyenként 207 kg tömegű, 1000 LE teljesítményű. A léghajó két fő pilótával és automata üzemmódon egyaránt képes repülésre.

Napjaink amerikai nehéz katonai szállítóléghajó-fejlesztése a **Walrus programban** ölt testet. A jármű tervezett hasznos terhelése 500 tonna, hatótávolsága 11 000 km, maximális sebessége 220 km/h. Képes egy kötelékben nehéz harckocsik és az azokat támogató páncélozott harcjárművek terepre történő kirakására. A Walrus léghajó kormányzása *elfordítható gyűrűs légcavarokkal* valósul meg. A ballasztanyag kidobást **gázfejlesztő berendezés** alkalmazásával váltják ki. A *gáztartály* burkolatát alkalmassá teszik kisebb harcászati sérülések elviselésére is.

### 3. Az ekranoplán és a léghajó konstrukciók fejlődése

#### 3.1. Ekranoplán konstrukciók

Napjainkig számos kis méretű ekranoplánt építettek meg (SDVP Volga-2; Ivvolga EK-12 P; FS-8; Aquaglide 5; X-114) de csak kevés, kereskedelmi szállítások során hatékonyan alkalmazható, nagy szállító kapacitású típus jutott el a tényleges megvalósításig. Ezek összesítésére vállalkoztunk az 1. sz. táblázatban, kísérletet téve a fejlődés lehetséges irányainak kiderítésére.

#### SZÁLLÍTÓ EKRANOPLÁNOK

1. sz. táblázat

Típus	Szerkezeti tömeg	Hasznos terhelhetőség	Maximális sebesség	Motor/hajtómű típusa/ teljesítménye	Hasonló repülőgép teljesítményigénye/ típusa
An-2E	3 450 kg	2 000 kg	260 km/h	dízel 580 LE	1000 LE (An-2)
Sea Wing 12 (terv)	6500 kg	4500 kg	300 km/h	dízel 900 LE	5600 LE (An-26)
WSH-500	17 000 kg	4 400 kg	200 km/h	lgcs. gázturbina 2800 LE	5600 LE (An-26)
A-90	110 000 kg	28 000 kg	500 km/h	lgcs. gázturbina 15 000 LE	60 000 LE (Tu-114)
Lun	380 000 kg	137 000 kg	550 km/h	gázturbina 1040 kN	918 kN (An-124)
KM-1	544 000 kg	200 000 kg	540 km/h	gázturbina 1300 kN	1377 kN (An-225)
Berjev Be-2500 (terv)	2 500 000 kg	1 000 000 kg	450 km/h	gázturbina 6000 kN	-
Pelican (terv)	1 000 000 kg	1 300 000 kg	460 km/h	lgcs. gázturbina 330 000 LE	-

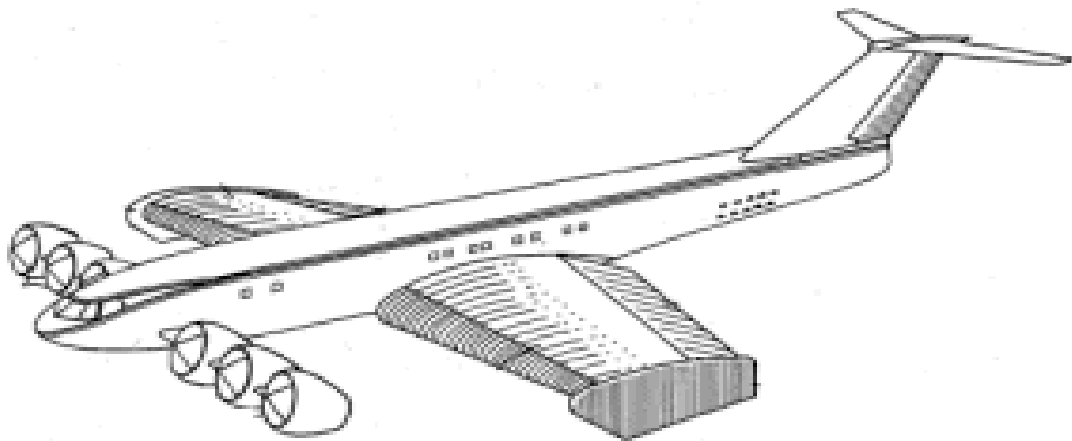
Az 1. sz. táblázatban felsorolt, kétáramú gázturbinákkal meghajtott, nagy sebességű típusok teljesítmény-igénye nem tér el lényegesen a hasonló szállító kapacitású hagyományos repülőgépektől, így gazdaságosságuk sem tér el lényegesen azokétól. A teljesítmény-igény összevetés alapján elmondható, hogy a folyami üzemre tervezett An-2E 290 LE/t, illetve a Pelican tengeri szállító-hidroplán 253 LE/t teljesítményigénye – eltérő szerkezeti méret, illetve különböző üzemeltetési

környezet mellett – hasonlóan kedvező képet mutat és mintegy háromszor gazdaságosabb egy C-130 szállító repülőgép 870 LE/t teljesítményigényénél. Az A-90 típus egyetlen, teljesítmény-kategóriájánál fogva viszonylag jó hatásfokú gázturbinával szállíthat 28 tonnát – ami jelentős gazdaságosság-növekedést mutat az ugyanakkora terhelhetőségű, ugyanolyan hajtóművekkel felszerelt hagyományos szállító repülőgépként kialakított négy hajtóműves Tupoljev Tu-114-hez képest. Az ausztrál *Sea Wing 12* típus számított jellemzőinek figyelembevételével feltételezhető, hogy – két, korszerű 1000-1500 LE teljesítményű dízel erőforrás felhasználásával – napjainkban egy 70-100 személy vagy 7-10 tonna teher szállítására alkalmas, magas fokú gazdaságossággal üzemeltethető ekranoplán reálisan megépíthető. A tisztán fém építésű WSH-500 típus paraméterei – különösen a szerkezeti tömeg és a hasznos terhelés kedvezőtlen aránya, illetve a nagy mennyiségű üzemanyag melletti kis hatótávolság – ugyanakkor jelzik, hogy a *kompozit sárkányszerkezeti anyagok széles körű alkalmazása és a dízelmotor beépítése* nélkül elmaradhatnak a kiemelkedően kedvező paraméterek. A kisebb kategóriába tartozó ekranoplánok műszaki jellemzőit figyelembe véve általában is igaz, hogy „az eddig megépült kb. 20 különböző típust többségében légcsavaros hajtóművekkel szerelték fel, mivel ezek hatásfoka a 200-550 km/h sebességtartományban jobb, mint a gázturbinás sugárhajtóműveké.”<sup>29</sup> De nemcsak a légcsavaros meghajtás gazdaságossága indokolja az alacsonyabb utazósebesség megválasztását. Az ekranoplánok gazdaságossága sárkányszerkezeti sajátosságaik miatt is főként kis sebességnél érvényesül, hiszen a hidrodinamikailag optimális úszótest (törzs-alsórész) aerodinamikailag kedvezőtlen, ami a sebesség növekedésével az ellenállás fokozott növekedését eredményezi.

Ugyanakkor az A-90 konstrukció esetében is van lehetőség a gazdaságosság fokozására: az egyetlen menethajtómű helyett több alkalmazásával és elől elhelyezésével – a 10. ábrán látható módon – elhagyhatóvá válik a két, orrban elhelyezett, a jármű felgyorsulását és vízből kiemelkedését segíteni hivatott gázturbina (amelynek üzemeltetése gazdaságtalan, emellett a repülés alatt lényegében csak holt teher).

---

<sup>29</sup> Óvári Gyula: Ekranoplánok polgári és katonai alkalmazhatósága. Haditechnika, 1993. évi 2. szám. 4. o.



10. ábra. Ekranoplán elöl elhelyezett kombinált emelő-menet hajtóművekkel

Az elöl elhelyezett hajtómű-csoport jellemzője azonban egyfelől a vízpárával való intenzív érintkezés, másfelől – az A-90 ekranoplánt viszonyítási alapként kezelve – a 15 000 LE teljesítmény 6 részre – 2500 LE teljesítményű kisebb blokkokra osztása.<sup>30</sup> Ezeknek a konstrukciós követelményeknek jobban megfelelhetnek a dízelmotoros meghajtású, csőlégcsavaros hajtómű-egységek. Ezek légnyelése (a sztöchiometrikus levegő-üzemanyag arány miatt) töredéke a gázturbinákénak, nem érzékenyek a kis magasságon fokozottan veszélyeztető madár-beszívásra sem, így zavartalan levegő-ellátásuk rugalmasabban megoldható. Az ekranoplánok fejlődése ilyen módon egyaránt elképzelhető gázturbinákkal és dízelmotorokkal meghajtott konstrukciókkal is, ám utóbbiak szállítóképesség határa – a rendelkezésre álló kis tömegű erőforrások teljesítmény-határa miatt – hozzávetőleg 30-40 tonna lehet.

### 3.2. Léghajó konstrukciók

Az előzőekben leírtakhoz hasonlóan, napjainkig számos kisméretű **léghajó** került megépítésre (Zeppelin NT; Sentinel 5000; CA-80; Skyship 600; MZ-3A). A kereskedelmi szállítások során hatékonyan alkalmazható, nagy szállítóképességű típusból csak kevés jutott el a tényleges megvalósításig, és ezeket is még 1929-1969 között gyártották. Jellemzőik összesítésére vállalkoztunk a 2. sz. táblázatban. A táblázat alapján a fejlődés irányaira is törekedtünk rámutatni.

<sup>30</sup> Wing In Ground-effect (WIG) Wingship.  
<http://www.globalsecurity.org/military/systems/aircraft/wig.htm>



## SZÁLLÍTÓ LÉGHAJÓK

2. sz. táblázat

Típus és szerkezet	Hatótáv	Hasznos terhelhetőség	Maximális sebesség	Motor/hajtómű típusa/ teljesítménye	Teljesítményigény rakomány-tonnánként
R-101 (merev)	6500 km	51 000 kg	130 km/h	dízel, 5x650 LE össz: 3250 LE	63,7 LE/t
Akron (merev)	17000 km (3000 km)	20 000 kg (50 000 kg)	133 km/h	Otto, 8x560 LE össz: 4480 LE	224 LE/t (89,6 LE/t)
L-129 (merev)	16000 km (3000 km)	30 000 kg (60 000 kg)	135 km/h	dízel, 4x1300 LE össz: 5200 LE	173 LE/t (86 LE/t)
ZPG-3W (félmerev)	20000 km (3000 km)	11 000 kg (40 000 kg)	130 km/h	Otto, 2x1500 LE össz: 3000 LE	272 LE/t (75 LE/t)
D-1 (merev)	n.a.	14 000kg	200 km/h	Gázturbina össz: 1x1500 LE	107 LE/t
D-4 (merev) (terv)	n.a.	120 000kg	200 km/h	Gázturbina össz: 1x15000 LE	125 LE/t
LZ N 30 (félmerev) (terv)	11500 km (3200 km)	15 000 kg	140 km/h	Dízelmotor 3x600 LE össz: 1800 LE	120 LE/t
Redcoat Skyship R-40 (terv)	n.a.	60 000kg	140 km/h	Gázturbina 4x1200 LE össz: 4800 LE	80 LE/t
YEZ-2A (félmerev) (terv)	n.a.	30 000 kg	150 km/h	Dízelmotor 2x1800 LE össz: 3600 LE	120 LE/t
Sentinel-1240 (félmerev) (terv)	n.a.	4 000 kg (6 000 kg)	120 km/h	Dízelmotor 3x300 LE össz: 900 LE	225 LE/t (150 LE/t)
M-1400 (félmerev)	n.a.	4 000 kg (6 000 kg)	140 km/h	Dízelmotor 3x310 LE össz: 930 LE	230 LE/t (155 LE/t)
Walrous (terv)	n.a.	500 000kg	220 km/h	Gázturbina (n.a.)	n.a.

Arra a kérdésre, hogy a jövő léghajói merevítés nélküli, félmerev vagy merev szerkezettel készülnek-e valószínűleg választ adhat a **félmerev** ZPG-3W típus műszaki paramétereinek tanulmányozása. Ez a 120 méter hosszúságú jármű mutathatja meg a korszerű félmerev léghajó-konstrukció határait. A két 1500 LE teljesítményű hajtóművet az utas-gondolához erősíthették, emellett ugyanitt helyezték el a hasznos terhelést és az üzemanyagot is. Mindez rontja a

kormányozhatóságot és a terhelhetőséget. Terhelhetősége – a léghajó hosszát és gázcelláinak térfogatát figyelembe véve – kedvezőtlenebb merev szerkezetű társaiénál. Kedvezőtlenül hat a gazdaságosságra, a félmerev konstrukció azonos sebesség eléréséhez szükséges nagyobb fajlagos teljesítményigénye. Ez a szinte merevítés nélküli szerkezet – merev léghajókkal összevetve adódó – kedvezőtlenebb átmérő-hossz arányából fakadhat. Ugyanakkor építésének fajlagos költségei kétségtelenül kisebbek a merev léghajókénál.

A 2. számú táblázatban felsorolt három nagyméretű, **merev szerkezetű léghajóval** (R-101, Akron, L-129) 50 tonnás átlagos terhelhetőség 5000 LE teljesítménnyel még elfogadható sebesség mellett szállítható, ha a hatótávolság 3000 km körüli érték (az e távolságot figyelembe vevő zárójeles adatok). **Ekkor 90 LE alatt van a teljesítményigény rakománytonnánként.** Ha figyelembe vesszük a D-1 esetében sikerrel alkalmazott kompozit anyagokat, illetve ha sikerül különböző technikai megoldásokkal (vízlecsapató berendezés, gázfejlesztő, gáz komprimálás, illetve fűtés és hűtés) kiküszöbölni a vízballaszt jelentős részét, akkor hasznos terhelésüket – a korábbi méretek megtartása mellett – 100 tonna feletti értékre lehet növelni. Emellett a dugattyús motorok *veszteség hőjével* fűtött hélium 30%-kal növeli az emelőerőt.<sup>31</sup> (A veszteség hő-betáplálás mellett egyes üzemmódokon külön fűtést is célszerű alkalmazni.) A 100 tonna feletti terhelhetőségi érték már versenyképes napjaink nehéz szállítórepülőgépeivel (C-17, An-124), amelyre példa lehet a D-4 léghajó tervezete.

Ugyanakkor 15 tonnás hasznos terhelésével már a C-130 kategóriájú repülőgépekkel versenyképes légi szállítóeszköz lehet a Zeppelin LZ N 30 belső merevítőkeretes szerkezetű **félmerev** léghajó, amelynek előállítási költsége messze a merev szerkezetű léghajóké alatt marad. Az új típusú félmerev szerkezet terhelhetősége és sebessége, illetve fajlagos teljesítmény-igénye is kedvezőbb a hasonló méretű félmerev ZP-3W-énél. Ilyen módon a Zeppelin konstrukció megépítése kedvező ár-érték kompromisszumot jelenthet a közepes léghajó kategóriában.

A jövőbeni fejlesztésekkel kapcsolatos másik nyitott kérdés, hogy meghajtásuk dízelmotorral, vagy gázturbinával kedvezőbb-e? Ha a jelenlegi technológiával reálisan megépíthető 50-100 tonna teherbírású eszközt – a leszállás során létfontosságú kedvező kis sebességű kormányzás miatt – több, (általában 4 db) elfordítható *gyűrűslégcsavarú* motorgondolával szerelik fel, akkor a gondolánként jelentkező teljesítményigény olyan alacsony, hogy nem éri el a nagyméretű gázturbinák magasfokú gazdaságosságát garantáló hajtóművenkénti 10 000 LE teljesítményt, így ilyen kialakításnál valószínűleg a dízel erőforrás választása a célszerűbb. Természetesen az 500 tonna teherbírású Walrus esetében még több hajtómű alkalmazásakor is gazdaságos a gázturbinák alkalmazása, emellett ilyen kategóriában nem is áll rendelkezésre alkalmas dízel erőforrás.

---

<sup>31</sup> Rapert, Maurice: A heat transfer modell for a heated helium airship. Nava Postgraduate School, Monterey, California, 1987. 1. és 49. o.

Jelenleg a léghajók rendszeresítésével és kiterjedt alkalmazásával kapcsolatos legnagyobb probléma nem is annyira technológiai eredetű vagy harcászati jellegű, hanem repülés-üzemviteli, mivel célszerűen el kell kerülniük a nagy energiájú turbulens áramlásokat, a viharok és hurrikánok centrum-területeit, ami rendkívül fejlett meteorológiai előrejelzést követel meg. E vonatkozásban a műholdakon és nagy teljesítményű számítógépes szimuláción alapuló meteorológiai rendszerek, illetve a fedélzeti időjárás-lokátorok hetvenes évektől lezajlott dinamikus fejlődése legalábbis biztató. A léghajók üzemeltetése napjainkra nagyságrendekkel biztonságosabb lehet, mint a harmincas-ötvenes években. A korszerű konstrukciók korábinál 50%-kal nagyobb sebessége – mint ahogyan az a D-1, a D-4 és a Walrous léghajó sebesség-adatánál látható – tovább fokozhatja az üzembiztonságot, hiszen a korábinál nagyobb manőverezési lehetőséget teremt a viharzónák elkerülésére.

### 3.3. Az ekranoplánok és léghajók perspektivikus hajtóművei

A légi szállítóeszközök mérete jelentős mértékben befolyásolja az adott eszköz gazdaságosságát. Ugyanakkor le kell szögezni, hogy – a szerkezet mérete mellett – csak az alkalmazott erőforrás típusának egyidejű ismeretével lehet eredményesen és reálisan feltérképezni az egyes légi szállító eszközök gazdaságosságát.

Általánosságban elmondható, hogy a **dízelmotor** hatásfoka kedvezőbb az Otto-motorénál és a gázturbináénál. A dízelmotorok légi járműbe építésének legfőbb gátló tényezője azok jelentős tömege. A hetvenes évektől azonban – a *turbófeltöltés*, a *töltőlevegő-visszahűtés* és a *keményfém bevonattal ellátott alumínium motorblokkok* széles körű elterjedése következtében – a dízel erőforrások teljesítmény-tömeg aránya dinamikusan javulni kezdett. Érdemes összevetni a dízel és az Otto-motorok teljesítmény-tömeg mutatóit. Egy példaként: az An-2 repülőgép meghajtásához alkalmazott Szvecov As-62IR léghűtéses Otto-motor teljesítménye mintegy 1000 LE, miközben tömege mindössze 567 kg. A centrifugál-feltöltővel felszerelt benzinmotor teljesítmény-tömege ilyen módon 1,76 LE/kg értékre adódik, ami mintegy kétszer kedvezőbb a 3. sz. táblázatban vizsgált dízelmotorokénál. **Ugyanakkor a légi járművek meghajtására alkalmazott erőforrások tömege önmagában nem vizsgálható, ezt az adatot csak az adott hatótávolság megtételéhez szükséges üzemanyag tömegével együttesen lehet értelmezni.** A dízelmotorok mintegy 30%-kal kedvezőbb fajlagos fogyasztás értékei eleve lehetővé teszik az üzemanyag-mennyiség csökkentését, amit a sárkányszerkezet gazdaságosabb repülést lehetővé tevő kialakítása (pl. ekranoplán – An-2E) tovább fokoz. Ilyen módon a dízelmotorok Otto-motorokhoz viszonyított nagyobb motortömege egyes konstrukcióknál (ekranoplán, hidroplán) illetve egyes feladatköröknél (nagy hatótávolságú repülés) bizonyos mérethatárok között kedvezően kompenzálható. Ebből következik, hogy **hosszú távú repülések esetén a 3000 LE-ig terjedő teljesítmény-tartományon a korszerű turbófeltöltéses dízelmotor a repülésben is versenyképes lehet az Otto-motorokkal és a gázturbinákkal.** Különösen érvényes ez olyan repülő-szerkezetekre, mint az ekranoplán, vagy a léghajó.

Megfelelően könnyű, ugyanakkor nagy teljesítményű repülőgép dízelmotorok fejlesztésén napjainkban is dolgoznak a NASA-nál.<sup>32</sup> A német *Zoche* részvezérlésű, kompresszor- és turbófeltöltésű kétütemű repülőgép dízelmotorja kedvező, 2.2 LE/kg arányt valósít meg 300 LE teljesítménynél. Ez azonban egy rendkívül speciális szerkezeti kialakítású, kis szériában gyártott motor. Sokkal figyelemre méltóbbak a **nagy sorozatú jármű-dízelmotorok** fejlődési folyamatai. Az MTU a 2003-tól gyártásban lévő 890-es HDP motorcsaláddal az 500-2000 LE közti teljesítmény-kategóriában érte el a rendkívül kedvező, a repülőgép Otto-motorok értékeit megközelítő 1,45 LE/kg értéket. Mindez a dízel légijármű-motorok elterjedésének fokozott lehetőségét veti fel a jövőben, mivel a gépjármű-motorok kis átalakításával létrehozott repülőgép-motorok – alacsony előállítási költségük következtében – látványosan terjednek a felhasználók körében az utóbbi tíz évben.<sup>33</sup> Erre példa a 3. sz. táblázatban bemutatott Audi gépjármű motorból átalakított RED A03 V13 típusú erőforrás, amelyet sikeresen alkalmaznak különféle repülőgépekben.

### KORSZERŰ JÁRMŰ-DÍZELMOTOROK 500-3000 LE TARTOMÁNYBAN

3. sz. táblázat

Típus, gyártó	Konstrukció	Lökettér- fogat	Teljesítmény (fordulatszám)	Tömeg, teljesítmény- tömeg	Méret
6TD-2 (orosz)	Ellendugattyús kétütemű	16,5 l	1200 LE	1180 kg 1,01 LE/kg	1600x1000x600 mm, 0,96 m <sup>3</sup>
Teledyne Continental AVDS- 1790-5B (amerikai)	turbófeltöltésű négyütemű léghűtéses	29,8 l	910 LE (2400 1/min)	2132 kg 0,427 LE/kg	n.a.
Deutz BF12L513CV-12 (német)	turbófeltöltésű négyütemű léghűtéses	19,14 l	560 LE (2300 1/min)	1500 kg 0,373 LE/kg	1600x1800x1400 mm, 4,03 m <sup>3</sup>
Audi 6.2 V-12 TDI (német)	turbófeltöltésű négyütemű folyadékhűtéses	6,134 l	500 LE	372 kg <b>1,34 LE/kg</b>	840x650x800 mm, 0,44 m <sup>3</sup>
MTU MB 873 (német)	turbófeltöltésű négyütemű folyadékhűtéses	39,6 l	1800 LE	1990 kg 0,9 LE/kg	1672x1060x826 mm, 1,65 m <sup>3</sup>
MTU 883 Ka-524 (német)	turbófeltöltésű négyütemű folyadékhűtéses	27,4 l	2740 LE	2725 kg 1,00 LE/kg	1885x1060x1320 mm, 2,6 m <sup>3</sup>
MTU MT 892 (2003) (német)	nagynyomású turbófeltöltésű négyütemű folyadékhűtéses	10 l,	1250 LE <b>(4250 1/min)</b>	860 kg, <b>1,45 LE/kg,</b>	1050x700x620 mm, 0,46 m <sup>3</sup>
Wärtsilä SACM V8X-1500 Hyperbar (finn-francia)	nagynyomású segéd-égőteres turbófeltöltésű négyütemű folyadékhűtéses	16,5 l	1500 LE (2500 1/min)	2100 kg 0,71 LE/kg	1375 x 1462 x 930 mm 1,86 m <sup>3</sup>

<sup>32</sup> Liang Yun - Alan Bliault - Johnny Doo: *WiG Craft and Ekranoplan: Ground Effect Craft Technology*. Springer, New York – London, 2010. 337. o.

<sup>33</sup> Hannel Sándor: A repülésben alkalmazott dízelmotorok *Katonai Logisztika*, 2012. évi 3. szám.

A korszerű dízelmotorok fajlagos teljesítménye és gazdaságossága tovább növelhető néhány speciális, repülőmotorokra jellemző műszaki megoldással. A **magas hőmérsékletű hűtést** korábban nagyteljesítményű, Otto-rendszerű dugattyús repülőgépmotoroknál alkalmazták, mivel a hűtő felületének jelentős csökkenése mellett növekszik a hűtőben felmelegedő levegő hőmérséklete, ami összességében kedvező a hűtő-ellenállás csökkenése miatt.<sup>34</sup> Napjaink szakirodalma főként a kopogásos égéstől mentes gépjármű-dízelmotorok esetén taglalja a külső hűtés tiszta propilén-glikol (vagy etilén-glikol) hűtőfolyadékok alkalmazásával megvalósított hatékonyságnövelő szerepét. Az eljárás növeli a gazdaságosságot, mivel **a hűtőközeg hőmérséklet emelése 10 °C-onként hozzávetőleg 1% termikus hatásfok növekedést eredményez**, miközben a hűtőn távozó hőmennyiség közelítőleg 4%-kal csökken.<sup>35</sup> **A hűtőfolyadék hőmérsékletének 160 °C-ra növelésével 8 %-kal nő a motor gazdaságossága, 5-6%-kal nő a teljesítmény, közel harmadára csökken a hűtő felülete.**<sup>36</sup> A nyolcvanas években vezették be az Egyesült Államok haderejénél a **360 °C forráspontú, metoxi-propanol és szerves szilícium vegyületekből készült szintetikus hűtőfolyadékot.**<sup>37</sup> Az eljárás növeli a kipufogógázok hőmérsékletét, ami javítja a jóval a felső hőhatár alatt dolgozó turbódízel feltöltők energetikai viszonyait, tovább javítva a teljesítményt. Megjegyzendő, hogy a *léghűtéses dízelmotorok* (Tatra, Magirus-Deutz, Continental) eleve magasabb hengerfal-hőmérséklet mellett üzemelnek, emellett beépítésük során nem okoz problémát a folyadék-hűtő elhelyezése és tömege sem.

**Az állandó fordulatszámon dolgozó repülőgépmotorok kipufogógázainak energiáját hatékonyan alakítja tengelyteljesítménnyé a turbocompound, azaz a főtengellyel összekötött kipufogó-turbina.** A turbocompoundot a Wright TC TC189 Turbo Compound repülőgép-csillagmotoron alkalmazták elsőként 1949-ben, mintegy **20%-os, tisztán veszteségéből nyert tengelyteljesítmény-növekedést** érve el az eljárással.<sup>38</sup> Napjainkban ez a megoldás a haszongépjárművek turbódízel-motorjain (Detroit Diesel, Scania, Iveco) nyer alkalmazást tengelyteljesítményt adó második turbinafokozatként.

Ugyanakkor a **dízelmotorok fajlagos szerkezeti tömege** egy 50-60 literes hengerűrtartalom-határ felett *az elérhető teljesítménynövekménynél lényegesen intenzívebben növekszik*, ami – repülőgép-fedélzeti alkalmazás esetén – már nem kompenzálható. A 3000 LE feletti dízelmotoroknál – a jelentős tömegeik miatt – csökken a maximálisan megengedhető fordulatszám és a literteljesítmény, romlik a

<sup>34</sup> Fodor Ferenc: Dugattyús repülőgép hajtóművek. Jegyzet. MN Killián György Repülő Műszaki Főiskola, Szolnok. 1984. 130-131. o.

<sup>35</sup> Kovácsházy Ernő: Nehéz dieselmotorok a vasúttechnikában. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1968. 248. o.

<sup>36</sup> Martynesz, L. K. – Csudakov, S. A. : Gépipari enciklopédia 10. k. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1957. továbbá Brodszky D.: Repülőgép hajtóművek I. Tankönyvkiadó, Budapest, 1952.

<sup>37</sup> Uo. 329. o. továbbá Kovácsházy Ernő: Nehéz dieselmotorok a vasúttechnikában. Műszaki Könyvkiadó. Bp., 1968. 248. o.

<sup>38</sup> Leonard Bridgman (szerk.): Jane's All The World's Aircraft 1957-58. Morton, Pennsylvania, 1959.483. o.

teljesítménytömeg és nő a rezonancia. A 3-5000 LE-s dízelmotorok tömege már eléri, vagy meg is haladja a 3-5 tonnát, ennek következtében alkalmazásuk repülőgépmotorként *nem célszerű*.

**A 3000 LE feletti tartományon egyértelműen a fajlagosan kedvező teljesítménytömegű gázturbinák alkalmazása válik egyeduralmukodóvá.** A C-130 típuson alkalmazott Allison T-56 gázturбина teljesítménye 5000 LE (3700 kW), amelyhez mindössze 828 kg-os szerkezeti tömeg tartozik. A 6 LE/kg-os teljesítménytömeg négyszerese a dízelmotorok legjobb értékeinek. A kompresszor nyomásviszonya ennél az ötvenes évekből származó hajtóműnél 9,5:1 érték, ami viszonylag kedvezőtlen fajlagos fogyasztás értékeket biztosít. Napjaink korszerű gázturbinás hajtóműveinél – mint például a 2500 LE-s Turbomeca – Rolls-Royce RTM-322-01/9 – egy magasabb, 15:1 kompresszor nyomásviszony mellett már a 270 g/kWh fajlagos fogyasztás érték is megvalósítható, ami nem sokkal kedvezőtlenebb a dízelmotorok átlagos, 230 g/kWh-s értékénél. A 3000 LE értéket jóval meghaladó, **10 000 LE feletti teljesítmény-tartományban – a kompresszor-hatásfok kedvezőbb értéke miatt, az alkalmazott magasabb kompresszor-nyomásviszony mellett – a légcsavaros gázturbinák már a dízelmotorokkal közel azonos fajlagos fogyasztás-értékek megvalósítására képesek.** Az Airbus A400M katonai szállító-repülőgép hajtóműve a TP400-D6 légcsavaros gázturбина, amely 11 000 LE teljesítményű, 25:1 nyomásviszonyú. A hajtómű 238 g/kWh fajlagos fogyasztás értéke nem tér el lényegesen a dízelmotorokétól. A hajtómű 1890 kg-os szerkezeti tömege az adott teljesítmény mellett 5,8 LE/kg teljesítménytömeget biztosít. A háromtengelyes konstrukció belső, hasznos munkát leadó munkaturbinájának tengelye állítható állásszögű, 5,3 méter átmérőjű, nyolclapátos kompozit légcsavarokat hajt meg, magas fokú gazdaságosságot biztosítva. Az A-90 ekranoplánnál alkalmazott 15000 LE teljesítményű NK-12 légcsavaros gázturбина is ebbe a teljesítmény-kategóriába tartozik, így fajlagos fogyasztása 219 g/kWh értékre adódik. Még kedvezőbb fajlagos fogyasztás értékeket valósítanak meg az olyan, hajókon alkalmazott, nagyméretű, magas kompresszor-nyomásviszonyú gázturbinák, mint az 5100 kg tömegű General Electric LM2500, amely 33600 LE teljesítményét 37% effektív hatásfok mellett adja le. Ez gyakorlatilag megegyezik a korszerű dízelmotorok hatásfokával.

## **Összegzés és következtetések**

Az ekranoplánok és a léghajók műszaki fejlesztési törekvéseivel illetve a stratégiai légi szállításban betöltött várható jövőbeni szerepével kapcsolatban a tanulmányunkban kifejtettek alapján néhány **összegző megállapítást illetve általános érvényű következtetést** tartunk megfogalmazhatónak. Az ekranoplánok és a léghajók műszaki fejlesztésének lehetőségei vonatkozásában:

- az ekranoplánokkal és a léghajókkal a hagyományos repülőgépeknél valamivel kisebb, de a hajókénál jóval nagyobb sebességgel, és a gazdaságossági

szempontokat is érvényesítve végezhető nagy távolságú szállítások, így jövőbeni elterjedésük jelentősen megváltoztathatja az áruszállítást;

- a nagy szállítóképességű ekranoplánok *mozgatáshoz szükséges* teljesítmény-igénye hatékonyan csökkenthető a menet- és az emelő-hajtóművek kombinálásával, ami a jövőben még gazdaságosabbá teheti alkalmazásukat;
- a léghajók jövője a gázfejlesztő berendezések, kipufogógáz-vízlecsapató rendszerek és a gáz hűtés-fűtés, illetve komprimálás rendszereinek fejlesztésétől függ, amelyekkel részben vagy egészében kiváltható a hagyományos ballasztvizes-gázleengedéssel felhajtóerő-szabályozási rendszer, ugyanakkor továbbra is korlátot jelenthet a hélium rendkívül drága előállításának költsége;
- ekranoplán, vagy léghajó nagy hatótávolságú alkalmazása esetén a **2-3000 LE-ig terjedő teljesítmény-tartományon** a korszerű turbófeltöltésű dízelmotor a repülésben is versenyképes lehet az Otto-motorokkal és a gázturbinákkal szemben;
- **10000 LE feletti teljesítmény-tartományban** – a *gázturbinás hajtómű* kompresszor hatásfokának kedvezőbb értéke miatt, az alkalmazott magasabb nyomásviszony mellett – a légcsaváros gázturbinák már a dízelmotorokkal közel azonos fajlagos fogyasztás értékek megvalósítására képesek, így a nagyméretű ekranoplánok vagy a nagyobb sebességű léghajók gazdaságos hajtóművei lehetnek.

## Felhasznált irodalom

Anthony Rogers: Churchill baklövése: Lérosz és az Égei-tenger. Gold Book Kiadó, Budapest, 2006.

Brodzsky D.: Repülőgép hajtóművek I. Tankönyvkiadó, Budapest, 1952.

Diomidov, Vladislav: Ground-Effect Aircraft autopilots. ARMS – Russian Defence Technologies. 2001/3.

Fodor Ferenc: Dugattyús repülőgép hajtóművek. Jegyzet. MN Killián György Repülő Műszaki Főiskola, Szolnok. 1984.

Grant, R. G.: A repülés évszázada. Magyar Könyvklub, Budapest, 2003.

Hegedűs Ernő: Vízbefecskendezés és emulziók alkalmazása repülőgép hajtóműveknél In: Haditechnika 2000. XXXIV. évf. 2. sz.

Hennel Sándor: A repülésben alkalmazott dízelmotorok Katonai Logisztika, 2012. évi 3. szám.

Janusz Piekalkiewicz: Légi csaták 1939-1945. Ventus Libro Kiadó, Budapest, 2007.

Richard Townshend Bickers: Military Air Transport – The Illustrated History. Osprey, London, 1998.

Jurij Makarov : Upgraded of plane An-2.  
<http://www.an2plane.ru/en/moderniz.htm#an2e>

Kármán Tódor – Lee Edson: Örvények és repülők. Akadémia Kiadó, Budapest, 1994.

Kovács házy Ernő: Nehéz dieselmotorok a vasúttechnikában. Műszaki Könyvkiadó. Budapest, 1968.

Leonard Bridgman (szerk.): Jane's All The World's Aircraft 1957-58. Morton, Pennsylvania, 1959.

Liang Yun - Alan Bliault - Johnny Doo: WiG Craft and Ekranoplan: Ground Effect Craft Technology. Springer, New York – London, 2010.

Martynesz, L. K. – Csudakov, S. A. : Gépipari enciklopédia 10. k. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1957.

Michael Taylor – David Mondey: Repülés - tények és teljesítmények. Panem – Grafo Kiadó, Budapest, 193.

Miloš Brabenec: Csapás a harmadik dimenzióból. Zrínyi Katonai Kiadó, Budapest, 1972.

Óvári Gyula: Ekranoplánok polgári és katonai alkalmazhatósága. Haditechnika, 1993. évi 2. szám.

Rapert, Maurice: A heat transfer modell for a heated helium airship. Nava Postgraduate School, Monterey, California, 1987.

Razrabotka perszpektyivnih szverthjajzselih voenno-transzportnih letalnih apparatove. Zarubezsnyie voennoe obozrenyie 2006. évi 8. szám.

Repülőcsónakok és léghajók. In: Grant, R. G.: A repülés évszázada. Magyar Könyvklub, Budapest, 2003.

Scharek Ferenc honlapja. <http://scharekf.hu/poppe.htm> (2012. 07.24.)

Szabó József (főszerk.): Repülési lexikon. Akadémiai Kiadó. Budapest, 1991.

The 1984 airship: roomy, slow, easy to land and cheap. Popular Mechanics, 1981. május.

Turcsányi Károly – Vasvári Ferenc: Szógyűjtemény a vezetés-szervezés, a logisztika, a haditechnika területeiről. NATO szakkifejezések és meghatározások szógyűjteménye AAP-6 (V) alapján. ZMNE, Haditechnikai tanszék, Budapest, 2000.

Ventry L. – Kolesnik E. M.: Jane's pocket book of airship development. MacDonald and J ane's, London, 1976.



Wing in Ground Effect (WIG) aircraft Aerodynamics

<http://personal.mecheng.adelaide.edu.au/maziar.arjomandi/Aeronautical%20Engineering%20Projects/2007/Group%2012.pdf>

Wing In Ground-effect (WIG) Wingship.

<http://www.globalsecurity.org/military/systems/aircraft/wig.htm>