

EKRANOPLANOK
POLGÁRI ÉS KATONAI ALKALMAZHATÓSÁGA

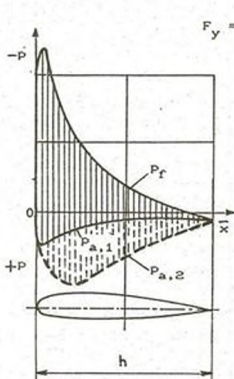
A hetvenes években kirobbant energiaválság, az egyre szigorodó környezetvédelmi előírások új prioritásokat, a korábbiaktól minőségileg is különböző követelményeket állítottak a konstruktorok elé. Ennek egyik eredményeként korábban elvetett tervek, műszaki megoldások kerülhettek újból az érdeklődés középpontjába, mivel a megváltozott körülmények között immár rentábilisnak bizonyultak. Ezek sorában értékelték át az e k r a n o p l a n o k, mint a nagytömegű terhek, közepes és nagy távolságú, olcsó, légiszállításra alkalmas repülőeszközök előállításának és alkalmazásának lehetőségét.

A nemzetközi szaknyelvben leginkább használatos ekranoplan elnevezés a francia écran (ernyő, vetítődvesszon) szóból származik és a légi jármű azon repülési sajátosságára utal, hogy valamely sík, vízfelület (víz, földfelszín) közelében képes gazdaságosan haladni. Angol nyelvterületen e fogalmat jelöli még - hasonló értelmezéssel - a WIGE mozaikszó is, mely a wing-in-ground-effect kifejezésből származik. A Magyar Repülési Lexikon határfelület-, vagy párnahatás-repülőgépre nevezi ezeket a repülőeszközöket (I. kötet 373. oldal).

1. AZ EKRANOPLANOK AERO- ÉS HIDRODINAMIKAI SAJÁTÓSÁGAINAK, STABILITÁSI TULAJDONSÁGAINAK, VALAMINT SZERKEZETI KIALAKÍTÁSÁNAK KÖLCSÖNHATÁSA.

Az e k r a n o p l a n o k (tehát) közvetlenül a vízfelszín (esetleg síma földfelszín) felett, a párnahatás

A párnahatás jelensége, illetve a repülés egyes fázisai-
ban (le-, felszállás, túlterhelve haladás, stb.) alkalmazása
nem új keletű, hiszen már a 20-as, 30-as években ismerték és
a gyakorlatban is hasznosították. Lényege az, hogy közvetle-
nül a (föld-, víz-)felszín felett haladva a repülőgép szár-
nyán keletkező felhajtóerő



$$F_y = \int_0^h (p_a - p_f) dx$$

megnö, a légellenállás (F_x) pedig
lecsökken. A felhajtóerő növeke-
dését az okozza, hogy a felszín
közvetlen közelében, amikor a rep-
ülési magasság (H) kisebb mint a
szárny hűrhossza (h), vagyis $H < h$
a szárny alsó felületén nagyobb
lesz a nyomásnövekedés ($p_{a,2}$),
mint $H > h$ magasságban ($p_{a,1}$) re-
pülve. Így az alsó és felső
szárnyfelület nyomáskülönbsége
(azaz a felhajtóerő!) is növek-
szik (1. ábra):

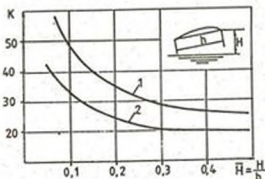
$$p_{a,2} - p_f > p_{a,1} - p_f$$

1. ábra

Ez arányaiban úgy érzékelhető,
hogy, amíg a hagyományos repülő-
gépen létrejövő felhajtóerő 70-80 %-ban a szárny feletti nyo-
másnövekedés következménye, addig ekranoplan esetében ugyan
ez 50-60 %-ban a szárny alatti nyomásnövekedés eredménye.

A járulékos nyomásnövekedés ($p_{a,2}$) további kedvező kö-
vetkezménye, hogy szinte teljesen megakadályozza a szárnypro-

filt elhagyó áramlás lefelé való elfordulását, ezáltal a homlokellenállás (F_x) 50-60 %-át kitevő induktív ellenállás ($F_{x,i}$) sem jön létre.



2. ábra

módon 15-17 körül van). A K nagyságát - adott hűrhosszságú (h) szárny esetében - alapvetően a repülési magasság (H) határozza meg (2. ábra), vagyis minél közelebb halad az ekranoplan a felszínhez, annál nagyobb lesz a jóssági szám (pl. ha \bar{H} értéke 0,5-ről 0,1-re csökken, K a kétszeresére növekszik). A biztonságos repülés érdekében azonban nem célszerű a repülés minimális magasságát $H_{\min} = 1-3$ m alá csökkenteni (terepakadály, hullámzó vízfelszín, stb. miatt). Így a gép a e r o d i n a m i k a i s a j á t o s s á g a i figyelembevételével a repülésbiztonsági és gazdaságossági feltételek együttesen (vagyis $H = 1-3$ m és $\bar{H} = 0,1-0,2$) egy biztosíthatók, ha a szárny szerkezetiileg

Mindezek eredményeként a - felhajtóerő és légellenállási erő hányadosaként értelmezett, aerodinamikai (gazdaságossági) minőséget kifejező - j ó s á g i s z á m ($K = F_y/F_x$) értéke 20-40-et is elérhet.

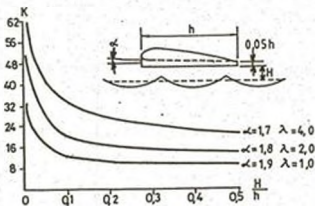
(Összehasonlítául egy korszerű, szubszónikus utasszállító repülőgépnél ez számított üzem-

- nagy hűrhosszságú (és ebből adódóan a többi geometriai mérete is nagy!);
- a törzs alsó részéhez van rögzítve;

- lehetőleg szárnyvégzárólap (winglettel) is fel van szerelve (ami 30-50 %-kal is növelheti K értékét; lásd 2. ábra 1-es görbét).

Mindezek alapján az is belátható, hogy a fenti jellemzőkkel bíró ekranoplanok biztonságos üzemeltetéséhez a nagy szabad vízfelületek kínálják a legmegfelelőbb alkalmazási területet.

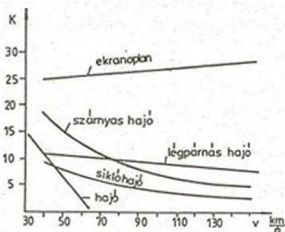
A szárny karcsúságának $\lambda = \ell^2/A$ növelése is növeli a jósági számot (K). (Itt ℓ -feszítávolság, A-szárnyfelület). E sajátosság azonban az ekranoplanoknál alig hasznosítható, mivel a közvetlenül vízfelszín felett haladó légi jármű szárnyvégei már viszonylag kismérvű bedöntés (bedőlés) esetén is a vízbe verődhetnek. Ebből adódóan feszítávolságuk és az ezzel összefüggő karcsúságuk is kicsi lesz ($\lambda=1-3$), ami a légi üzemeltetés gazdaságosságát rontja (3. ábra).



3. ábra

A többi vízi, vízfelszíni járművel összehasonlítva az ekranoplanoknál kedvező ($M \ll 1$ -nél!), hogy a haladási sebesség növekedésével sem csökken aerodinamikai jóságuk (4. ábra).

A vízfelszínről induló és érkező ekranoplánok sarkánya hidrodinamikai követelményeknek is meg kell feleljen. Ezek közül első a törzs jó uszóképes-

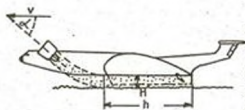


4. ábra

ellenállás. A vízfelszínről történő elemelkedés megkönnyíté-

ségének és megfelelő bil-
lenés-biztonságának
fenntartása úgy, hogy a
gép könnyen elemelked-
hessen a vízfelszínről.
Ez utóbbi azért jelent
nehézséget, mert szerke-
zeti megoldástól függet-
lenül valamennyi ekranop-
lán (de sikló- vagy szár-
nyashajó) nekifutásakor,
a kiemelkedési sebesség
40-60 %-ánál ugrásszerűen
megnö a hidrodinamikai

- hagyományos szárnymechanizációt (féklap, fékszárny, halárréteg-vezérlés, orrszegédszárny stb.);
- vizalatti szárnyfelületeket (6. ábra);
- bevonható siklótalpakat;



5. ábra

- felszállás idejére "α" szöggel elfordított légcsa-
var, vagy a gázturbinás haj-
tómű szárny alá injektált gá-
zait (5. ábra és v.ö. 7. és
8. ábrákkal);

- a törzs alatt külön hajtóművel létesített légpárnát
(9. ábra)

szükséges alkalmazni.

Az ekranoplanok hajtóműhelyezése konstrukciósan is meg kell akadályozza, hogy a szívócsatornába víz kerüljön, vagy légszavariapátok végei a vízbe verődjenek. Ezért általában a hajtóműveket jóval a sárkány-építési vízszintese felé helyezik el (6., 8., 9., 11., 12. ábrák).

Az ekranoplanok stabilitási jellemzői több tekintetben hasonlóak a hagyományos repülőgéphez. A hosszten-
gelyük (x) körüli bedőlés során (Hh
esetén) statikusan stabilak. Ez a 2.,
illetve 3. ábra alapján könnyen belátható, mivel a süllyedő
szárnyon (felszárnyon) ugrásszerűen nő, míg az emelkedőn ha-
sonló mértékben csökken a felhajtóerő. Lényegesen bonyolul-
tabb a statikus hossz-stabilitás kérdése, amit a súlypont
(\bar{x}_{sp}) és az aerodinamikai centrum (\bar{x}_{AC}) kölcsönös helyzete,
 $\bar{x}_{sp} - \bar{x}_{AC}$ különbsége határoz meg. Ebből \bar{x}_{sp} rendszerint ál-
landó értékű, \bar{x}_{AC} helyzetét - a hagyományos repülőgépekétől
eltérően, ahol ezt csak a szárny állásszöge befolyásolja - az
ekranoplánoknál az állásszög (α) és a repülési magasság (Hh
tartományban) együttesen határozza meg. Ebből adódóan az ek-
ranoplan szárnyán az AC-tengelyt úgy kell elhelyezni, hogy
légerőváltozások hatására a gép stabilitását megőrizze. A vo-
natkozó kutatások bebizonyították, hogy e követelményeknek a
sárkány fő funkcionális elemeinek (szárny, wínglet, törzs,
vezérsíkok, uszók) célszerű kiválasztásával, illetve összeál-
lításával lehet megfelelni. Az így kialakított szárny úgy mű-
ködik mintha két AC-tengely lenne rajta: egyik súlyponthoz
közelebb ($\bar{x}_{AC,H}$), az itt ható légerő a magasság szerint sta-
bilizál, a másikat a súlyponttól valamivel távolabb ($\bar{x}_{AC,\alpha}$)
ez az állásszög szerinti stabilitást biztosítja. Azaz, példá-

ul a külső zavarás hatására bekövetkező magasság-csökkenéskor a felhajtóerő megnövekszik az $\bar{x}_{AC,H}$ pontban, ami a gépet visszaemeli az eredeti repülési magasságra, de közben járulékosan el is fordítja a kereszt tengelye (z) körül, az állásszög-csökkenés irányába. Ennek következményeként viszont $\bar{x}_{AC,\alpha}$ pontban lecsökken a légerő, ami faroknehéz nyomatókat eredményez, így már az eredeti repülési magasság stabilizálá-



6. ábra

sához szükséges állásszöget is visszanyeri a gép. A "kettős" AC-tengely kialakítására speciális profilú és felülnézeti alaprajzú, vastag töprofilú, wingletes szárny, illetve a párnahatás határmagasságán elhelyezett, vízszintes vezérsík együttes alkalmazásával nyílik lehetőség. E konstrukciós elvek megvalósítására egyaránt példaként szolgálhat a 6.a. ábrán látható hagyományos sárkány kialakítású ekranoplán (NSZK), illetve a (szovjet) kísérleti csupaszárny ESZKA-1 gép (6.b. ábra).

A 6. ábrán látható megoldásokhoz hasonlóan az eddig megépült (és ismerté vált!) kb. 20 különböző típusú ekranoplánt többségében légcsavaros hajtóművekkel szerelték fel, mivel ezek hatásfoka $v = 200-550$ km/ó sebességtartományban jobb, mint a gázturbinás sugárhajtóművéké.

A hajtóművek, légcsavarak kényszerű, vízfelszíntől távoli, magas elhelyezése következtében a vonó-/tolóerővektor is eltávolodik a gép építési vízszintesétől. Így minden hajtómű üzemmódváltás (gázadás vagy levétel) megbontja a kereszt-tengely (z) körüli nyomatéki egyensúlyt, ami csak a külső kormánysszervek kitérítésével kompenzálható.

2. AZ EKRAÑOPLANOK GAZDASÁGOS ES HATEKONY ALKALMAZÁSÁNAK LEHETŐSÉGEI

Az ekranoplanok polgári és katonai területen egyaránt jól hasznosíthatók, mindenekelőtt nagytömegű terhek (fegyverzet) és/vagy utasok (deszant) közepes, illetve nagytávolságra történő szállítására.

A vízfelszín felett minimálisan szükséges magasságban haladó, nagy geometriai méretű ekranoplanok sárkányának két változata valószínűsíthető:

- hagyományos repülőgépipítésű megoldás, amelynél a hajtóművek a törzs első részére kerülnek (8.a. ábra). Ezek a szöggel történő elfordításával felszálláskor légpárna hozható létre;
- "szárnytörzsű" ún. "span loader" kialakítás (7. és 8.b. ábrák), amelynél az egyszerűbb építés érdekében a törzs funkcióit - annak teljes vagy részleges hiánya miatt - a szárny veszi át.



7. ábra

A két változat összehasonlító vizsgálatához jól hasznosítható az 1. táblázat (mely a Lockheed-Georgia kutatási eredményei alapján készült).

Az 1. táblázat negyedik oszlopában (Δ , %) az összehasonlítás százalékos eltérései találhatók (a hagyományos sárkány kialakítású ekranoplan adatait 100 %-nak véve).

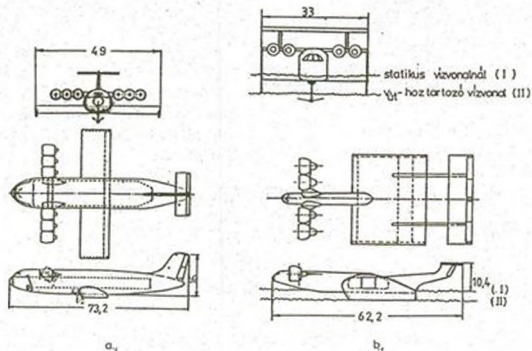
1. táblázat

N ^o	Vizsgált jellemző	Sárkány kialakítás		Δ %
		spanloader	hagyományos	
1.	Hasznos terhelés (t)	200		
2.	Hatótávolság (km)	7410		
3.	^M utazó	0,4		
4.	Szárnykarcsúság	1,19	3,94	
5.	Jósági szám, K	15,59	19,79	-21
6.	Hajtóművek száma (db)	4	6	-33
7.	$\frac{G_{rg}}{\Sigma F_p}$	0,2808	0,2526	+11
8.	$\frac{F_{p,utazó}}{F_{p,max}}$	0,65	0,57	+14
9.	Üres rg.tömege (t)	162	149,6	+ 9
10.	Szüks.tüza.tömege (t)	296	193	+33
11.	Max.felsz. tömeg (t)	618	543	+14
12.	^m hasznos / ^m max.felsz.	0,324	0,369	+12
13.	Teherszállítási hatékonyság t·km/kg (tüa)	6,85	9,10	-25

A felsorolt jellemzők (mindenekelőtt a N^o 13!) alapján megállapítható, hogy a hagyományos sárkány-kialakítás hatékonyabb a spanloader-nél.

A spanloader alacsonyabb szállítási hatékonysága alapvetően - még a hagyományos repülőgép-felépítésű ekranoplánhoz képest is - kis szárnykarcsúságával (1. táblázat N^o 4) magyarázható. Ennek az az oka, hogy míg a hagyományos sárkánymeg-

oldásnál csak a kismagasságon végrehajtott bedöntés (bedőlés) biztonságát kell figyelembe venni, addig a szárnyban történő



B. ábra

teherelhelyezés esetén, az előbbi mellett a hossz tengelyre vett tehetetlenségi nyomaték

$$J_x = \int r_x^2 dm$$

megengedett maximuma miatt is korlátozni kell a fesztávolságot.

Repülőgép kialakítású sárkánnyal rendelkező ekranoplan (9. ábra), valamint korszerű szállítóhajó és szállító-repülőgép (B 747-200 F) gazdaságossági mutatóinak összevetéséből további következtetés vonható le a hatékony alkalmazásra. Az összehasonlítást az ekranoplanok várható ezredforduló utáni

széleskörű felhasználás miatt hagyományos kerozinos (Jet A),



9. ábra

valamint cseppfolyósított H_2 -vel üzemelő hajtóműves konstrukcióra egyaránt elvégezték (2. táblázat). (Néhány szakirodalom eleve kétségbe vonja a különböző kategóriájú szállító-járművek gazdaságossági összehasonlíthatóságát a teherszállítási hatékonyság alapján!).

A 9. ábrán látható repülőgép a felszíni párnahatás nélkül $H=6$ km magasságban, hagyományos repülőgépként $v=480$ km/ó sebességgel, $L=2200$ km távolságot tehet meg. (Ekranoplanként $H=6-9$ m-en, $K=25$, $v=231$ km/ó, a hatósugár $R=6382$ km /!).

2. táblázat

N ^o	Vizsgált jellemző	Repülőgép B 747-200 F	Ekranoplán Kerozin Jet A	Folyékony H_2	Hajó GMAN- hattan USA
1.	Teljes tömeg (t)	387,5	900	900	153300
2.	Hasznos terhelés(t)	100	405	455	115300
3.	Ut.sebesség (km/ó)	891	231	231	32,7
4.	Tüze.fogyasztás v_{ut} -nál (kg/ó)	11754	3143	1692	9193
5.	Jósaági szám, K	18	30	30	-
6.	Teherszáll.haté- konys. t·km/kg(tUa)	7,57	29,7	62,1	411

A táblázat adataiból megállapítható, hogy a hajó gazdaságossága messze meghaladja bármelyik légi járművét (2. táblázat).

zat N⁰0). A nagy távolságú, rövid határidejű szállításoknál (pl. 24 óra alatt 5500 km.) vagyis transzkontinentális utakra azonban az ekranoplanok szerepe meghatározó lehet.

Az ekranoplanok gazdaságossági mutatóit a hagyományos repülőgépekhez képest tovább javítják az alacsonyabb fajlagos gyártási költségek. Az egyszerű, kis sebességű, sok szabályos, egyszerű geometriai alakzatból felépülő, azonos keresztmetszetű elemet tartalmazó sárkány 1 kg szerkezeti tömegének előállítására több, mint 30 %-kal olcsóbb, mint egy szubszónikus szállítóképe.

3. AZ EKRANOPLANOK KATONAI ALKALMAZÁSÁNAK ES FEJLESZTÉSENEK LEHETŐSÉGEI

Az alacsony fajlagos üzemköltségük, a hajókét nagyságrenddel meghaladó sebességük mellett az ekranoplanok katonai alkalmazását felderítő és megsemmisítő eszközökkel szembeni viszonylagos természetes védettségük is indokolja. A közvetlenül vízfelszín felett haladó, felépítmény nélküli, "lapos" légi jármű felderítése hajóról, tengeralattjáróról igen nehéz. A torpedóval való megsemmisítésük gyakorlatilag nem lehetséges, de "hajó-hajó" kategóriájú rakétával is csak korlátozottan megvalósítható. Ez utóbbi tulajdonságok következtében célszerű lehet - az egyébként kevésbé hatékony - kisméretű űrjáratózó, szállító ekranoplanok létrehozása is. Ilyeneket állított hadrendbe 1977-ben, X-114 jelöléssel a Bundeswehr (6. a. ábra). A hat személy szállítására alkalmas légi járművek a szárazföld felett 800 m-es magasságig emelkedhetnek. A gép főbb adatai a 3. táblázatban találhatóak.

3. táblázat

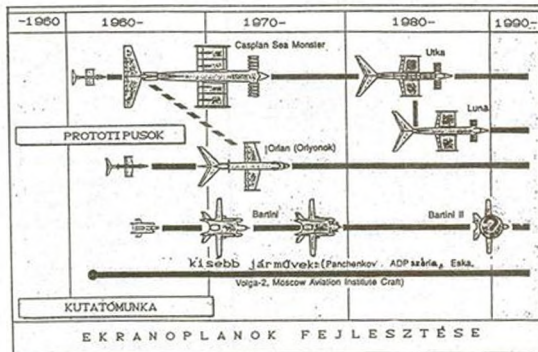
X-114	
GEOMETRIAI ADATOK:	
- fesztávolság	7,00 m
- hossz	12,80 m
- magasság	2,90 m
- hordfelület	29,10 m ²
TÖMEG-ADATOK:	
- Üres tömeg	890 kg
- felszálló tömeg	1350-1500 kg
HAJTÓMŰ-ADATOK:	
- típus: Lycoming 10-360	
- teljesítmény:	147 kW
REPÜLESI ADATOK:	
- max. sebesség	200 km/ó
- min. sebesség	80 km/ó
- hatótávolság	2150 km

Az ekranoplanok fejlesztésében - egybehangzó nyugati szakvélemények szerint is - legkiemelkedőbb eredményeket a volt Szovjetunió (Pacsenkov és Alekszejev vezette) tervező irodái érték el. A gradiózus fejlesztési elképzelésekről a 10. ábra alapján nyerhető kép.

A bekövetkezett politikai változások ugyan sok tekintetben kérdésessé teszik a folytatást, a 10. ábrán látható Orlan (Orlyonok) fantázia nevű hatalmas légijármű megléte azonban már így is évek óta létező realitás.

A hivatalosan A-90-150 típusjelű 110 tonna normál-, illetve 125 tonna maximális felszálló tömegű ekranoplan (11. ábra) hasznos terhelhetősége 28 tonna, vagyis a 25 m hosszú, 3,3 m széles, kétszintes fedélzetén 300 utas szállítható, 400-500 km/ó-s sebességgel, 2000 km távolságra. A gép hossza 58 m, fesztávolsága 31,5 m, magassága 18 m. A haladásához szükséges vonóerőt egyetlen - AN-22-ről, TU-114-ről ismert - a nyilazott "T" vezérsíkon elhelyezett, koaxiális légcsavaro-

kat forgató 11,033 kW (15000 LE) maximális teljesítményű NK-12M gázturbinás hajtómű biztosítja. A vízből történő tör-

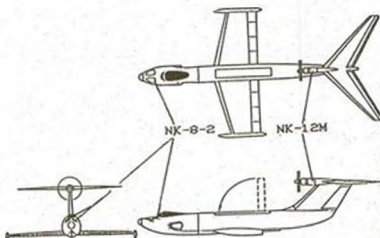


10. ábra

től kiemelkedést és a gyorsítást két, a gép orr-résében elhelyezett (TU-154 és IL-62M repülőgépeken használatos) NK-8-2 gázturbinás hajtómű segíti. A vízfelszín felett 4-5 m magasságban repülő légi járművet 5 főnyi személyzet irányítja. Az eddig megépült 10 gép katonai változatain a repülőgépvezető fülke mögött külön toronyban 40 mm-es gépágyút helyeztek el, a teherter SS-20-as rakéták befogadására (indításra?) is alkalmas.

A konstrukció életképes voltát bizonyítja, hogy közös amerikai-orosz vállalat alakult ekranoplanok gyártására. A fejlesztés becsült költsége 15 milliárd USD. Elsőként az A-90-150 gyártását kívánják beindítani neves amerikai cégek

bevonásával. Tervek szerint a Lockheed és a General Dynamics szerkezeti elemeket, a Pratt and Whitney, valamint a General Electric hajtóműveket szállítana.

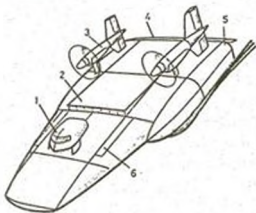


11. ábra

A nagy geometriai méretű katonai ekranoplanok létrehozását más amerikai vállalatok is fontolgatják. A 12. ábrán egy, a Grumman-cég által javasolt csupa-szárny rakéta-cirkáló vázlatrajza látható. A

két, légszavaros gázturbinás hajtóművet a függőleges vezérsíkokkal közös blokkban (3) kívánják elhelyezni, így is javítva azok hatá-

sosságát. A magassági kormány (4) a törzs hátsó részére kerül, csőröként a repülés közben differenciáltan felle mozgatható szárnyvégzáró lapok (5) szolgálnak. A vízfelszínről történő felemelkedéshez külön hajtóművek hoznak létre légpárnát, ezek kompresszorához zsalus szivatorokkal (2) vezethető a levegő. A rakéta-fegyverzetet a vezetőfülke (1) két oldalán lévő zárt konténerekben (6) szállítják.



12. ábra

A felsoroltakon kívül eldtervek készültek még, de - szant - szállító, tengeralattjáró - elhárító és repülőgépm - szállító ekranoplanok létrehozására is. Az utóbbi 20-30 könnyű, vadász vagy felderítő repülőgépet szállíthatna. A nagy maximális haladási sebesség következtében ($v=250-300$ km/ó) a szállított (hagyományos!) repülőgépek fel- és leszállásához nem lenne szükség nekifutási (kigurulási) pályára, így fedélzeti indító, elfogó-fékező berendezésekre sem.

Arra a kérdésre, hogy a megismert előnyök valóban elégségesnek bizonyulnak-e az ekranoplanok széleskörű elterjedésére, már az elkövetkező évek megadják a feleletet.

FELHASZNÁLT IRODALOM

1. Ando Shigenori: Kritikai körkép a szállító ekranoplanok korszerű fejlesztési koncepcióiról.
JOURNAL JAPAN SOC. AERONAUT. AND SPACE SCI. 1990. N^o 99. p. 28-40.
(Japán cikk angolról oroszra történt fordítása alapján).
2. Ando Shigenori: Az ekranoplanok repülési távolságának számítása.
JOURNAL JAPAN SOC. AERONAUT. AND SPACE SCI. 1990. N^o 440. p. 50-54.
(Japán cikk angolról oroszra történt fordítása alapján).
3. Belavin N.I.: Letajusie korabli
IZDATELSZTVO DOSZAF, Moszkva 1983.
4. Dressel, Joachim - Griehl, Manfred: Flugzeuge und Hubschrauber der Bundeswehr
MOTORBUCH VERLANG, Stuttgart 1990. p. 248-249.

5. Dodds, Henry: Secrets of a Soviet skimmer emerge at last
INTERAVIA 1991. október p.7.

6. Ekranoplanok
MITSUBISHI DZUKO GIHO N°5 p.475-477.
(Japán cikk Angolból oroszra történt fordítása
alapján).

7. Elliot, Simon: UTVA lanches WIG Ekranoplan
FLIGHT INTERNATIONAL 1990. N° 4238. p.17.

8. Gaines, Mike: USA joins Russia on Wingship
FLIGHT INTERNATIONAL 1992. március 11-17. p.5.

9. Lange Roy H.: Review of unconventional aircraft design
concepts
JOURNAL AIRCRAFT 1988. N°5. p.385-392.

10. Óvári Gyula: A légi járművek gazdaságosságát és manőverező
képességét javító sárkányszerkezeti megoldások
(főiskolai jegyzet).
KGYRMF, Szolnok 1990. p.293-303.

11. Velovich, Alexander: Soviet navy tests "Ekranoplan"
FLIGHT INTERNATIONAL 1992. január 15-21. p.12.