



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

LETECKÝ ÚSTAV

INSTITUTE OF AEROSPACE ENGINEERING

**KONSTRUKČNÍ SPECIFIKA PALUBNÍCH
LETADEL**

CONSTRUCTION FEATURES OF NAVAL AIRCRAFT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Lukáš Vavrinec

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Lukáš Dubnický

BRNO 2022

Zadání bakalářské práce

Ústav: Letecký ústav
Student: **Lukáš Vavrinec**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. Lukáš Dubnický**
Akademický rok: 2021/22

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Konstrukční specifika palubních letadel

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Palubní letouny a vrtulníky, čili letadla uzpůsobená pro službu na letadlových lodích a vrtulníkových nosičích, se svojí konstrukcí a výbavou značně liší od strojů určených pro provoz z pozemních základů. Práce mapuje konstrukční prvky specifické pro palubní letadla, jako jsou mechanismy skládání křídel, přistávací háky apod.

Cíle bakalářské práce:

Zpracovat rešerši konstrukčních prvků typických pro palubní letouny a vrtulníky:

- Skládání křídel, ocasů, rotorů, stabilizačních ploch,
- Záchytné/přistávací háky letounů,
- Způsoby spojení letounů se startovacími katapulty,
- Požadavky na přistávací zařízení,

Uvést odlišnosti v provozu letadel na letadlových lodích od pozemních základů.

Provést technické zhodnocení vzájemně srovnatelných prvků konstrukce.

Seznam doporučené literatury:

BISHOP, Ch., CHANT, Ch. Aircraft Carriers: The World's Greatest Naval Vessels and Their Aircraft. Leicester: Silverdale Books, 2004. ISBN 978-1845090791.

IRELAND, B., CROSBY, F. The World Encyclopedia of Naval Aircraft. Southwater, 2016. ISBN 978-1780194394.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2021/22

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Jaroslav Juračka, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

Abstrakt

Cieľom tejto bakalárskej práce je objasniť konštrukčné špecifiká a prevádzkové odlišnosti palubných lietadiel, vyhotoviť rešerš o typických a špecifických prvkoch palubných lietadiel a porovnanie ekvivalentných konštrukčných prvkov pozemných a palubných lietadiel.

Abstract

The aim of this bachelor's thesis is to clarify construction specifics and operational differences of carrier-based aircraft, to produce list of typical and specific parts and systems of carrier-based aircraft and to compare equivalent parts and systems of land-based aircraft with carrier-based aircraft.

Kľúčové slová

Sklopné krídla, palubný katapult, záchytný hák, pristátie na lietadlovej lodi

Key words

Folding wings, aircraft launch catapult, arrestor hook, carrier landing/recovery

Bibliografická citácia

VAVRINEC, Lukáš. *Konstrukční specifika palubních letadel*. Brno, 2022. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Letecký ústav. Vedoucí práce Lukáš Dubnický.

Čestné prehlásenie

Čestne vyhlasujem, že som túto bakalársku prácu vypracoval samostatne s použitím uvedenej literatúry pod dozorom Ing. Lukáša Dubnického.

Obsah

Úvod.....	9
1. História palubného letectva	10
2. Mechanizmy zlepšenia skladnosti palubných lietadiel	11
2.1. Grummanov mechanizmus	11
2.2 Vertikálne skladanie krídel a koncov	12
2.3 Asymetrické skladanie krídel.....	13
2.4 Oversweep.....	14
2.5 Skladanie rotujúceho krídla	15
2.6 Skladanie chvostových plôch.....	16
2.7 OV-22Osprey	17
3. Spôsoby vzletu a konštrukčné prvky umožňujúce vzlet z lietadlovej lode.....	19
3.1. Katapultom asistovaný vzlet	19
3.1.1. Spôsoby spojenia letúnu s katapultom.....	19
3.2. Skokanský mostík	21
3.3. Voľný vzlet	22
3.4. Kolmý vzlet.....	23
4. Spôsoby pristátia, použitie záchytných hákov	24
4.1. Hydroplánové pristátia	24
4.2. Konceptia zachyteného pristátia.....	24
4.3. Konštrukcia záchytného háku	24
4.4. Porovnanie palubných záchytných hákov s pozemnými	25
4.5. Porovnanie podvozkov palubných letúnov s pozemnými	27
5. VTOL a STOVL.....	29
5.1. História letúnov typu VTOL/STOVL	29
5.2. Námorné letúny VTOL/STOVL v aktívnej službe	29
5.2.1. Lockheed Martin F-35B	29
5.2.2. British Aerospace Sea Harrier	30
5.2.3. McDonnell Douglas/BAE AV-8B Harrier II.....	30
6. Meniteľná incidencia krídla	32
7. Odlišnosti prevádzky palubných lietadiel	33
7.1. Pilotné odlišnosti.....	33
7.1.1. Porovnanie postupu asistovaného a konvenčného vzletu.....	33
7.1.2. Porovnanie postupu zachyteného a konvenčného pristátia	34
7.2. Odlišnosti údržby a skladovania	37
8. Požiadavky na lietadlovú loď	38

8.1. Požiadavky na letovú palubu	38
8.2. Požiadavky na hangárovú palubu	39
8.3. Požiadavky na technické vybavenie lietadlovej lode.....	39
Záver.....	40
Použitá literatúra	41
Zoznam skratiek	43

Úvod

Vzhľadom na to, že mnohé letectvá sveta sa potýkajú s problémom zastarávania svojich lietadiel a rozhliadajú sa po možnosti modernizácie svojej leteckej flotily a mnohé krajiny prejavili záujem aj o palubné lietadlá, akými sú Boeing F/A-18 Super Hornet alebo Lockheed Martin F-35B Lightning II, aj napriek tomu, že nedisponujú lietadlovými loďami, je vhodné, aby odborná verejnosť bola oboznámená práve so špecifikami konštrukcie a prevádzky palubných strojov. Cieľom tejto práce je oboznámiť odbornú verejnosť s typickými znakmi lietadiel schopných štartu z paluby lietadlových lodí a ich porovnaníu s obdobnými konštrukčnými prvkami lietadiel určených pre operácie z pozemných základní. Takisto táto práca bude porovnávať prevádzku palubných a pozemných lietadiel. Pre pochopenie problematiky a konštrukčných problémov námorného letectva je potrebné oboznámiť odbornú verejnosť so stručnou históriou palubného letectva. Rozbor konštrukčných špecifík bude pojednávať o dôvodoch skladania krídel a chvostových plôch, historickom vývoji rôznych konštrukčných riešení a o v súčasnosti využívaných riešení problematiky skladnosti palubných lietadiel. Ďalej bude táto práca pojednávať o spôsoboch vzletu z paluby lietadlových lodí, v tejto časti práce budú spracované metódy riešenia tohto problému v rámci konštrukcie rôznych námorníctiev, v tejto časti bude vykonaný rozbor riešení spojenia palubných letúnov s palubným katapultom. Táto práca takisto bude pojednávať o historickom vývoji a súčasných spôsobov pristátia na palube lietadlových lodí, o použití záchytných hákov a o technológii VTOL. V oblasti pristávacích nárokov bude táto práca porovnávať konštrukciu podvozku palubných lietadiel a ich ekvivalentmi určenými k operáciám z konvenčných letísk. V neposlednej rade bude taktiež vykonané porovnanie typických postupov palubného letectva s konvenčným pozemným letectvom.

1. História palubného letectva

Za prvú lietadlovú loď sa označuje HMS Ark Royal v službách Royal Navy zaradená do výzbroje 5.9.1914.[13] Táto loď umožňovala len vzlet a pristátie prebiehalo do vody neďaleko lode, následne letúny boli vytiahnuté na palubu. Z tohto dôvodu sa v námornom letectve v angličtine označuje pristátie ako recovery a nie landing. Ark Royal využívala letúny Sopwith Admiralty Type 807, Wight Pushers, Short Folder a Sopwith Tabloid, ktoré boli vybavené pontónmi umožňujúcimi pristátie na hladine.[13]

V priebehu 1. svetovej vojny došlo k úpravám lodí tak, aby umožňovali vzlet aj pristátie na ich palube. Vďaka nízkym vzletovým rýchlostiam letúnov tej doby umožňovala dĺžka paluby neasistovaný vzlet a stretávame sa v tomto období s použitím záchytných lán. Požitie zachyteného pristátia kládlo požiadavku na úpravu lietadiel a ich vybavenie záchytným hákom. Táto koncepcia voľného vzletu a zachyteného pristátia sa využívala do päťdesiatych rokov 20.storočia. V tomto období dochádza k využitiu prúdových motorov a pokrokov v oblasti aerodynamiky, ktoré spôsobili zvýšenie letových rýchlostí, čo viedlo aj k zvýšeniu rýchlosti pádovej. Z toho dôvodu sa objavuje nárok na lietadlové lode asistovať pri vzlete, čo sa premieta do vzniku koncepcie CATOBAR (Catapult Assited Take Off But Arrested Recovery- katapultom asistovaný vzlet, ale zachytené pristátie). Tento vývoj viedol k novým nárokom na letúny. V 70-tych rokoch sa objavuje odklon od koncepcie CATOBAR ku koncepcii STOBAR z ekonomických dôvodov. Koncepcia STOBAR (Short Take Off But Arrested Recovery- krátky vzlet ale zachytené pristátie) využíva takzvaný skokanský mostík (Ski jump) a záchytné laná. V tomto období sa objavuje aj koncepcia STOVL (Short Take Off and Vertical Landing- krátky vzlet a kolmé pristátie) so zaradením strojov British Aerospace Sea Harrier. Lode tejto koncepcie nevyžadujú inštaláciu záchytných lán na rozdiel od koncepcie STOBAR. Neskorším vývojom došlo k vzniku koncepcie VTOL (Vertical Take Off and Landing- kolmý vzlet a pristátie).

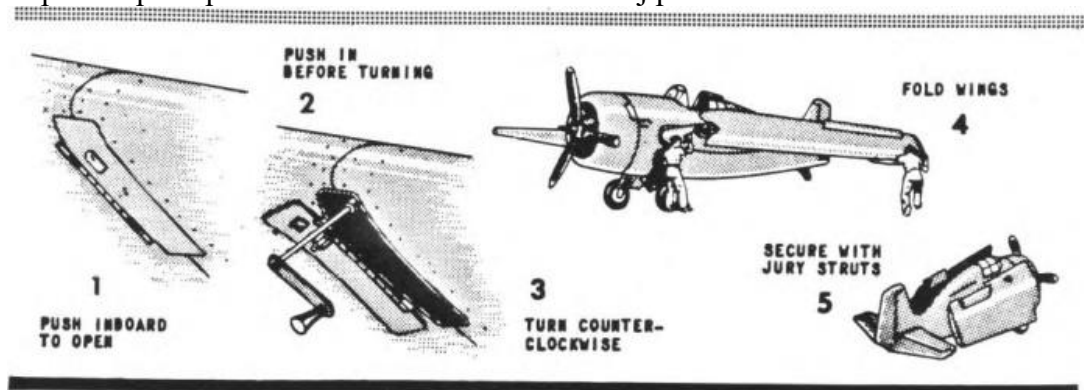
V súčasnej dobe prevádzkuje 14 krajín lietadlové lode, z toho 8 vlastní lietadlové lode so schopnosťou prevádzky lietadiel s pevnými krídlami. Z počtu 8 krajín, ktoré majú vo výzbroji lietadlové lode určené k prevádzke lietadiel s pevným krídlom, len dve námorníctva disponujú loďami koncepcie CATOBAR (Catapult Assited Take Off But Arrested Recovery- katapultom asistovaný vzlet ale zachytené pristátie) a to Námorníctvo Spojených štátov (US Navy) a Námorníctvo Francúzskej Republiky (Marine Nationale). Námorníctvo Indie, Ruska a Číny disponuje loďami koncepcie STOBAR (Short Take Off But Arrested Recovery- krátky vzlet ale zachytené pristátie). Zvyšné krajiny používajú lietadlové lode koncepcie STOVL (Short Take Off and Vertical Landing- krátky vzlet a kolmé pristátie). Z tohto dôvodu je možné rozlíšiť tri skupiny požiadaviek na palubné lietadlá v závislosti na koncepcie lietadlovej lode, z ktorej majú operovať.

2. Mechanizmy zlepšenia skladnosti palubných lietadiel

Z dôvodu obmedzenosti priestoru na palubách a v hangároch lietadlových lodí sa stretávame s požiadavkou na zvýšenie skladnosti (zmenšenie zaberanej plochy) palubných lietadiel. Najčastejšie ide o mechanizmy zmenšujúce rozpätie alebo celkovú dĺžku lietadla. Z historického hľadiska sa objavili rôzne mechanizmy a spôsoby dosiahnutia tohto cieľa. V súčasnej dobe sa môžeme stretnúť s mechanizmami sklápania častí krídel, Grummanovým mechanizmom (Sto-wing folding system), skladacie rotujúce krídlo, sklápanie chvostových plôch a pootočenie krídla na Bell Boeing OV-22 Osprey. Medzi v súčasnosti nepoužívané spôsoby môžeme zaradiť asymetrické skladanie krídel, oversweep (zvýšenie šípovitosti krídla nad maximálne letové hodnoty) u lietadiel s meniteľnou šípovitosťou krídla t.j. F-14A/B/D Tomcat.

2.1. Grummanov mechanizmus

Autorom tohto mechanizmu je Leroy Grumman, ktorý ho pod názvom Sto-wing folding system navrhol pre prototyp palubného stíhacieho letúnu Grumman XF4F-3 pre námorníctvo Spojených štátov prijatého do výzbroje v roku 1941. Tento mechanizmus si firma Grumman nechala patentovať. Z konštrukčného hľadiska ide o upnutie krídla na kĺbe umožňujúcom jeho pootočenie do skladovacej pozície. Zaistenie krídla v letovej polohe zaisťuje mechanický zámok uvoľňovaný ručnou kľukou v blízkosti nábehovej hrany krídla. Po odomknutí je krídlo za koniec krídla odtlačené do skladovacej pozície vid' obr.1. Opätovné umiestnenie krídla do letovej pozície je presným opakom postupu skladania krídla do skladovacej pozície.



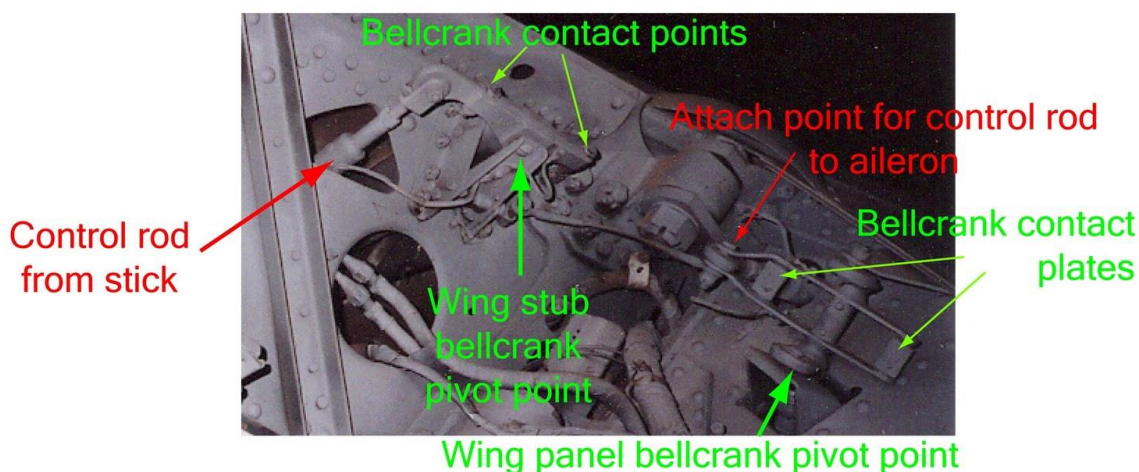
Obr. 1 Postup skladania krídla stíhacieho letúnu F4F [30]

Hlavnou výhodou tohto systému je mimoriadne vysoká miera skladnosti letúnov vybavených Sto-wing folding system. Avšak tento systém vyžaduje komplexnejšie riešenie ovládania pohyblivých prvkov krídla, akými sú krídelka, klapky a sloty. Medzi využívané riešenia vedenia hydraulických systémov riadenia ovládacích prvkov na sklápanej časti krídla je využitie flexibilných častí hydraulického systému viditeľné na obrázku 2. V prípadoch konštrukcie využívajúcej tiahla sa tento problém riešil využitím pákového mechanizmu. Tento mechanizmus pozostával z dvoch pák, jedna sa nachádzala na pevnej časti krídla a druhá sa nachádzala na sklopnej časti krídla. Jednotlivé páky boli konštruované tak, aby zapadali do seba vid' obrázok 3. Taktiež z dôvodu vyššieho namáhania kĺbu je nutné použitie robustnej konštrukcie tohto prvku, čo vedie k zvýšeniu hmotnosti v porovnaní s inými metódami zvýšenia skladnosti. Vzhľadom na to, že ide o mechanizmus chránený patentom bol a v súčasnosti je využívaný len lietadlami vyrábanými firmou Grumman. Historicky bol využitý na strojoch Grumman F6F Hellcat. V súčasnosti tento mechanizmus využívajú letúny Grumman C-2 Greyhound a Grumman E-2 Hawkeye. U letúnov C-2

Greyhound a E-2 Hawkeye je systém skladania krídel ovládaný hydraulicky, čo umožňuje skladania krídel aj bez zásahov palubnej posádky.



Obr. 2 Hydraulické ovládanie Grummanovho mechanizmu na letúne E-2 Hawkeye [33]

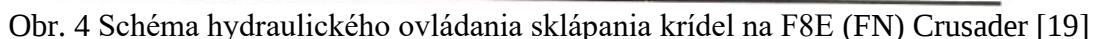


Obr. 3 Systém napojenia ovládania krídelok letúnu F4F [34]

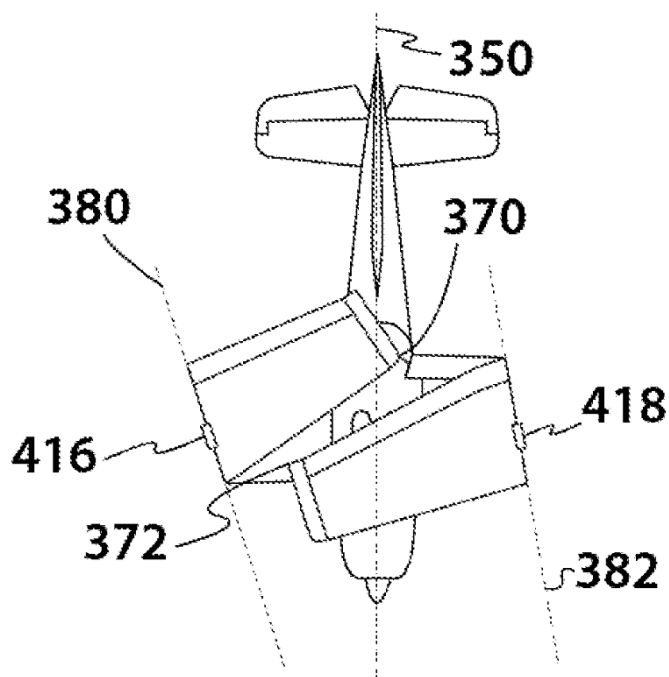
2.2 Vertikálne skladanie krídel a koncov

Ide o jeden z najpoužívanějších systémov skladania krídel, kde krídlo alebo jeho časť je uchytená na pántoch umožňujúcich jeho rotáciu okolo jeho osi. Koniec krídla alebo celé krídlo je následne v závislosti na konštrukcii letúnu uskladnené nad alebo pod jeho letovú polohou. V prípade uskladňovania krídla nad letovú polohou je možné sklápať väčšie úseky krídel ako napríklad na letúne Grumman F9F Panther, narozdiel od sklápania smerom nadol, kde je limitujúcim faktorom výška krídla nad povrchom paluby. Vďaka svojej jednoduchosti na obsluhu a výrobu bol tento systém používaný na širokom spektre letúnov a širokom spektre ovládania

Napojenie hydraulických systémov krídla je riešené obdobne ak v prípade krídel s Grummanovým mechanizmom, t.j. flexibilným prvkom vo vedení v mieste sklopenia krídla.



Ide o mechanizmus, ktorý je viazaný americkým patentom US8387913B2, ide o upevnenie časti krídel na pántoch s rovnobežnými osami, ktoré sú rôznobežné s osou trupu vid' Obr.5

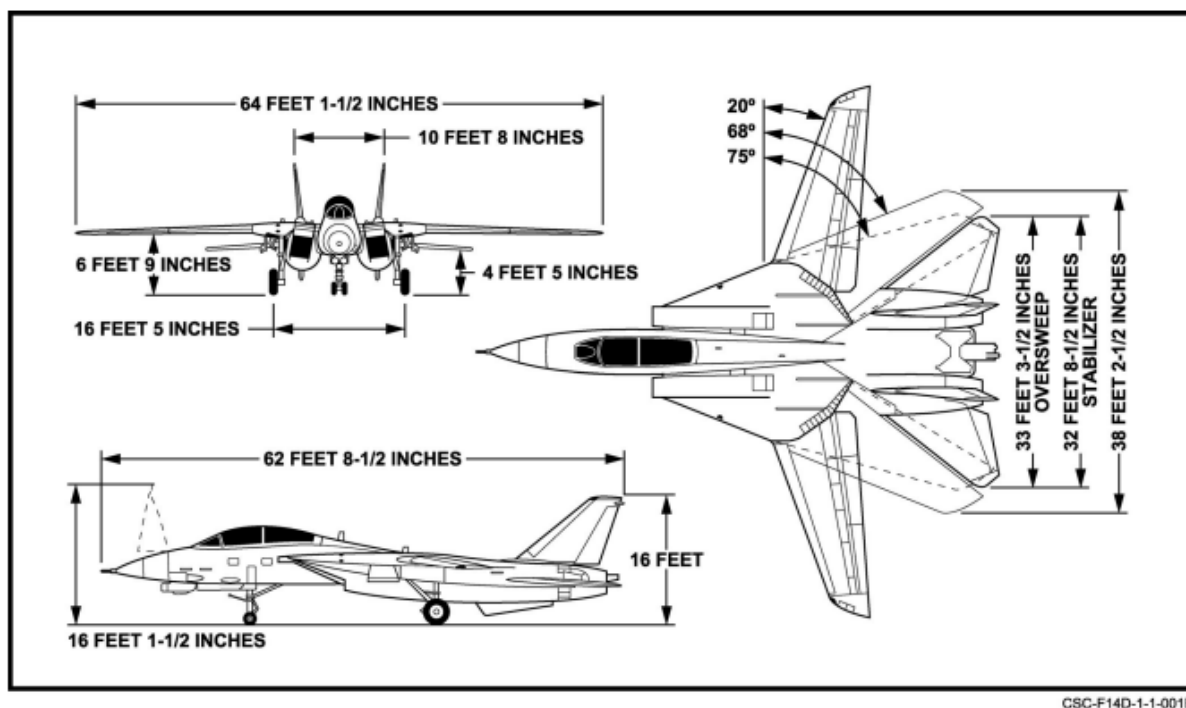


Obr. 5 Schéma zložených krídel [8]

Z obrázku je jasné, že ide o špeciálny typ skladania koncov krídel, ktorý umožňuje preloženie a ukotvenie dlhších úsekov krídel. Keďže dôjde k zloženiu krídla takmer do horizontálnej polohy, tento systém eliminuje problém vertikálneho sklápania krídla, kde je možné sklopiť len takú dĺžku úseku krídla aby nedochádzalo k interferencii s prvkami stropu alebo stropných zariadení hangárovej paluby. Z toho dôvodu tento systém bol využívaný na letúnoch s relatívne veľkými rozpätiami krídel akými boli Lockheed S-3 Viking a Grumman C-1 Trader. Nespornou výhodou je možnosť zvýšenia skladnosti aj lietadiel s veľkým rozpätím, ale z dôvodu nesymetrickej konštrukcie ide o logisticky náročnejší systém. Vzhľadom na rozmery skladaných plôch je takmer vždy nutné, aby bol tento systém hydraulicky ovládaný. Samotný spôsob ovládania je principiálne obdobný ako v prípade jednoduchého vertikálneho sklápania krídla.

2.4 Oversweep

V prípade palubných lietadiel ide o využitie na letúnoch F-14 Tomcat a na projekte F-111B, ktorý bol zrušený a nahradený F-14. Tento systém pozostáva z mechanizmu menenia šípovitosti krídla, ktorý umožňuje zvýšenie šípovitosti nad prípustné letové hodnoty. Toto vedie k zmenšeniu rozpätia krídel skladovaných letúnov. Vzhľadom na to, že pri skladovaní nedochádza k pohybom letových ovládacích plôch, nehrozí riziko interferencie v prípade prekrývajúcich sa dráh pohyblivých plôch. V prípade jediného služobne zaradeného letúnu s meniteľnou šípovitosťou krídla ide o uvedenie krídla do šípovitosti na 75° , pre porovnanie maximálne prípustné letové hodnoty dosahujú 68° vid' obrázok 4.



Obr. 6 Porovnanie rozmerov Grumman F-14D pre rozdielne uhly šípovitosti [23]

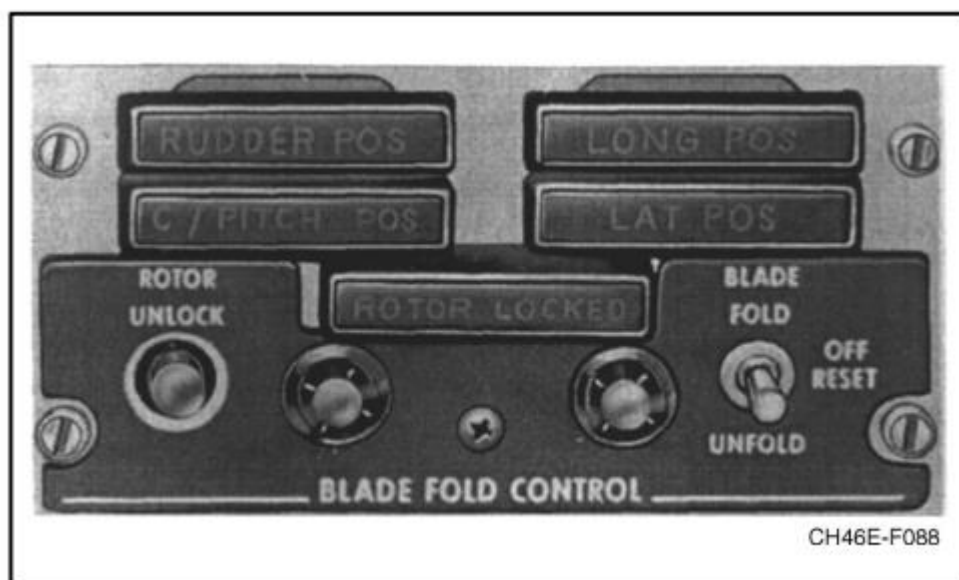
Použitie módu oversweep je možné len na zemi, k aktivácii dochádza nadzdvihnutím a posunutím páky mechanického riadenia šípovitosti krídla do polohy pre uhol 75° , následne dochádza k mechanickému obmedzeniu uhlov náklonu horizontálnych chvostových plôch za pomoci airbagov na rozsah -12° až 18° . Proces nafukovania airbagov trvá 15 sekúnd. Spätné uvedenie letúnu do letovej pohotovosti prebieha nadzdvihnutím a posuvom páky mechanického riadenia šípovitosti krídla do polohy pre požadovaný uhol, v prípade požiadavky 68° je nutné nastaviť uhol 60° a po ukončení procedúry uvoľňovania horizontálnych riadiacich plôch zmeniť šípovitosť na 68° . Proces uvoľňovania chvostových plôch trvá 6 sekúnd.[23]

Medzi najhlavnejšie výhody toho systému patrí nezvýšenie hmotnosti lietadla vybaveného týmto systémom, limitujúcim faktorom je možnosť využitia tejto technológie len na strojoch, ktoré sú vybavené meniteľnou geometriou krídla.

2.5 Skladanie rotujúceho krídla

Lietadlá s rotujúcim krídlom vo výzbroji amerického námorníctva – US Navy sú vybavené hydraulicky ovládaným systémom skladania listov rotoru pozdĺž trupu. Tento systém automaticky po prepnutí spínača zmení polohu listov za pomoci pootočenia hlavy rotoru do predefinovanej polohy. Po pootočení je hlava v skladovacej polohe uzamknutá. Následne elektricky operované ramená odistia listy, ktoré sú následne pootočené do skladovacej polohy v smere trupu vrtuľníka za pomoci hydraulického systému, následne sú tieto rotorové listy uzamknuté voči náklonu. Tento proces vyžaduje napájanie hydraulického a elektrického okruhu jednotkou APU (Auxiliary Power Unit- Záložný zdroj energie) alebo externým zdrojom.[25][26]

Aktiváciu skladania rotorových listov iniciuje posádka po splnení predpokladov uvedených v kontrolnom zozname prepnutím spínača skladania listov rotoru, ktorý sa na vrtuľníku Sikorsky CH-53 Sea Stallion nachádza na paneli nad hlavami pilotov.[26] V prípade helikoptéry Boeing Vertol CH-46 Sea Knight sa nachádza tento prepínač na paneli nad hlavami pilotov.[25]

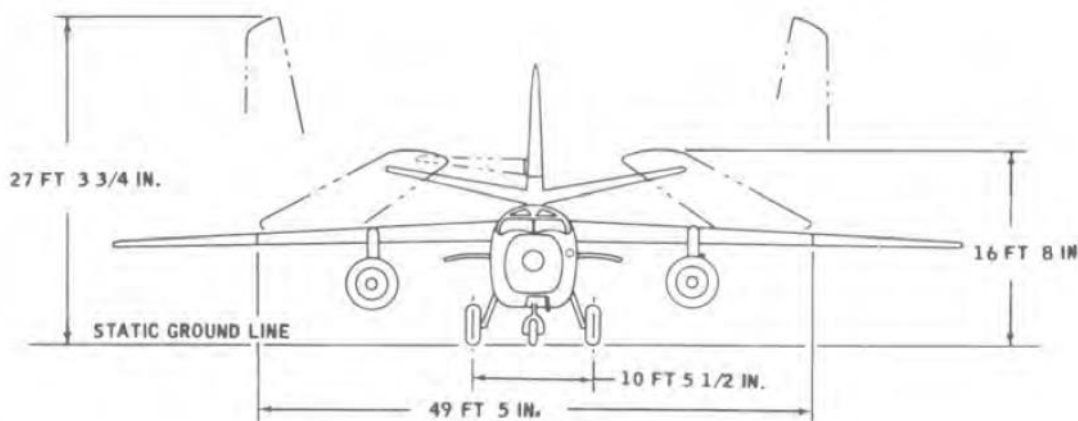


Obr. 7 Panel ovládania skladania listov rotoru na CH-46E Sea Knight [25]

2.6 Skladanie chvostových plôch

Systém skladania chvostových plôch je využívaný aj na lietadlách s pevným krídlom ako aj na vrtuľníkoch, tieto dve použitia sa odlišujú v odôvodnení použitia. Pri letúnoch prevažne ide o sklápanie vertikálnych plôch chvostu, z dôvodu zníženia celkovej výšky skladovaného lietadla, aby bolo umožnené jeho skladovanie v hangárových priestoroch podpalubia, kde by mohlo dochádzať k interferencii vertikálnych plôch so zníženými časťami stropu ale iným vybavením hangárovej paluby. Medzi letúny vybavené týmto mechanizmom patrí Douglas A-3 Skywarrior, Lockheed S-3 Viking. Po konštrukčnej stránke ide o systém identický so systémom sklápania koncov krídel. Samotná vertikálna plocha je upevnená na pánte, ktorý umožňuje odklopenie tejto plochy do strany.

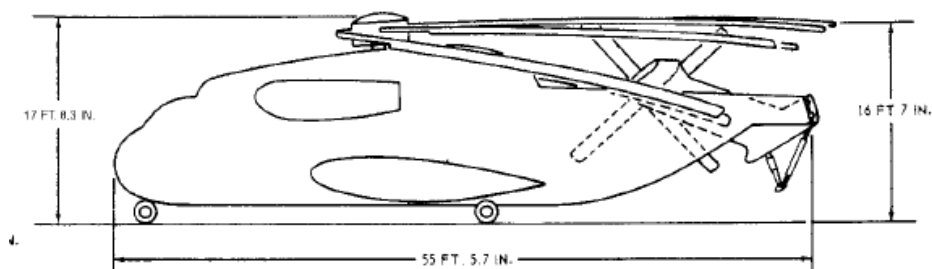
V prípade letúnu Douglas A-3 Skywarrior je riadenie sklápania chvostu zjednotené s panelom sklápania krídel. Tento systém je hydraulicky ovládaný. Sklápanie prebieha v dvoch etapách, v prvej etape dôjde k odisteniu zámkov vertikálnej chvostovej plochy a následne v druhej etape dôjde k samotnému sklopeniu.



Obr. 8 Schematické zobrazenie skladovacej a operačnej konfigurácie letúnu A-3 Skywarrior [20]

U vrtuľníkov sa chvost skladá hlavne z dôvodu zníženia celkovej dĺžky skladovaného lietadla, sklápanie chvostovej časti prebieha odklopením chvostu smerom k trupu. Pri využití sklonených pántov sa dosahovalo aj zníženie celkovej výšky lietadla. Helikoptéry vybavené touto technológiou u US Navy sú Sikorsky CH-53D Sea Stallion, Sikorsky SH-60 Sea Hawk a u Royal Navy (Britské Kráľovské námorníctvo) ide o Lockheed Merlin Mk.2 a Agusta Westland HM1 Merlin.

U CH-53D Sea Stallion bolo ovládanie sklápania chvostu sprostredkované hydraulickým vedením a ovládanie sa nachádzalo na to istom paneli ako skladanie listov rotoru. Ovládacia jednotka umožňovala samostatné sklápanie listov rotoru a chvostu, avšak listy rotoru mohli byť zložené len, ak nedošlo k odklopeniu chvostu.[26]



Obr. 9 Schematické zobrazenie rozmerov CH-53D Sea Stallion v skladovacej konfigurácii [26]

Tento spôsob zmenšenia celkovej dĺžky lietadla zvyšuje komplexitu ovládacích prvkov stabilizačného rotoru.

2.7 OV-22 Osprey

Konvertoplán Bell Boeing OV-22 Osprey bol zaradený do výzbroje v roku 2007. Je konštrukcia kombinujúca výhody letúnov s výhodami lietadiel s rotujúcim krídlom. Konštrukčné riešenia na stroji OV-22 umožňujú operácie STOVL a VTOL, v závislosti na konfigurácii a hmotnosti nákladu. Ide o stroj vyrobený pre špecifické potreby rýchlych výsadkových operácií USMC a USMC MARSOC, ktoré vyžadujú vysadenie na presnej lokácii za nepriateľskými líniami. OV-22 je vybavený rôznymi originálnymi riešeniami a technológiami.



Obr. 10 OV-22 Osprey v skladovacej konfigurácii [32]

Spôsob skladania krídla sa odvíja od toho, že konvertoplán OV-22 Osprey je hornoplošník využívajúci uchytenie krídla rotačnou väzbou k trupu, tento spôsob uchytenia umožňuje po odistení otočenie krídla o 90°, čím dôjde k redukcii rozpätia v skladovacej/prepravnej konfigurácii. Ďalej je vybavený mechanizmom sklápania listov vrtule/rotoru. Toto umožňuje použitie palubných výťahov a teda aj skladovanie OV-22 Osprey na hangárovej palube. Vzhľadom na to, že ide o stroj v aktívnej službe nie je presne známe akým spôsobom je tento mechanizmus poháňaný, avšak je možné predpokladať, že ide o pohon hydraulický alebo elektrický. V súčasnej dobe sú používateľmi tohto typu stroja US Marine Corps (námorná pechota spojených štátov) a Japonského námorníctva.

3. Spôsoby vzletu a konštrukčné prvky umožňujúce vzlet z lietadlovej lode

Požiadavka na schopnosť vzletu z paluby lietadlovej lode bola riešená na základe dispozícií námorníctiev sveta, t.j. mnohé námorníctva boli alebo sú obmedzené rozpočtovými hranicami, ktoré neumožňujú z prevádzkových a akvizičných dôvodov využívanie koncepcie CATOBAR, z toho dôvodu sa stretávame so širokým využitím koncepcie STOBAR respektíve koncepcie STOVL ktoré umožňujú zníženie nákladov na prevádzku a stavbu lietadlovej lode. Keďže lode koncepcie STOBAR a STOVL nekladú požiadavku na nákladný a komplikovaný systém asistovaného vzletu, požadujúceho využitie palubného katapultu, ktorého konštrukcia ovplyvňuje celkové rozmery lode, a tiež vnáša do systému pohyblivý prvok, ktorý je vysoko namáhaný, čo môže pri nedostatočnej údržbe viesť k poruchám.

3.1. Katapultom asistovaný vzlet

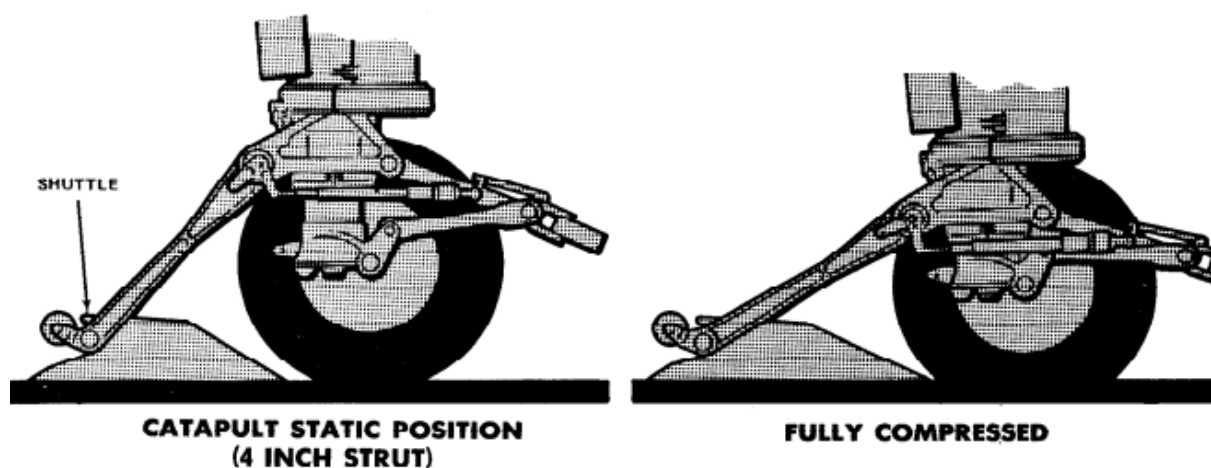
Koncepcia CATOBAR pozostáva z dvoch primárnych prvkov umožňujúcich prevádzku palubného letectva a to palubný štartovací katapult (v angličtine označovaný ako aircraft launch catapult) a záchytného systému. Štartovací katapult plní funkciu urýchlenia palubného letúnu, aby bolo umožnené skrátenie vzletovej dráhy. Palubný katapult v spolupráci s ťahom pohonnej sústavy letúnu umožní letúnu dosiahnutie vzletovej rýchlosti a tým umožní bezpečný vzlet palubného letúnu na dráhe kratšej než pri konvenčnom/volnom vzlete. Z historického hľadiska sa stretávame s použitím palubných katapultov už v ranných fázach vývoja námorného letectva. Pri využití hydroplánových lietadiel na palubách prvých lietadlových lodí boli lode so skrátenou palubou vybavené mechanickými palubnými katapultmi, ktoré využívali kladkami spojené protizávažie k pohonu katapultu, podobné systémy boli používané aj na iných plavidlách vybavených hydroplánovými delostreleckými letúnmi. Tento systém fungoval využíval vo výške umiestnené závažie, ktoré cez kladkové spojenie prenášalo energiu letúnu a tým ho urýchlilo. S dominanciou využitia palubného katapultu sa stretávame v 50-tych rokoch s rozvojom prúdových motorov, ktoré umožňovali dosahovanie vyšších výkonov palubných letúnov. Nutnosť využívania katapultov, z dôvodu vyšších vzletových a pádových rýchlostí letúnov viedla k vývoju a použitiu parných palubných katapultov, ktoré aj v súčasnej dobe zotrávajú ako najpoužívanejšie konštrukčné riešenie vzletového katapultu. Najmodernejšie lietadlové lode triedy Gerald Ford využívajú EMALS (Electromagnetic Aircraft Launch System – Elektromagnetický vzletový systém pre letúny), ktorý využíva elektromagnetické pole generované cievkami k pohonu katapultu. Z dôvodu nákladov spojených s nákupom a prevádzkou lietadlových lodí s palubným katapultom len US Navy a Marine Nationale prevádzkujú lietadlové lode koncepcie CATOBAR a námorníctvo ľudovej oslobodeneckej armády vyvíja lietadlové lode tejto koncepcie

3.1.1. Spôsoby spojenia letúnu s katapultom

V priebehu vývoja palubných letúnov určených pre lietadlové lode koncepcie CATOBAR sa stretávame s konštrukčným problémom uchytenia letúnu ku katapultu počas asistovaného vzletu. Riešenia tohto problému je možné rozdeliť do dvoch kategórií, spojenie pevným prvkom a flexibilnými prvkami.

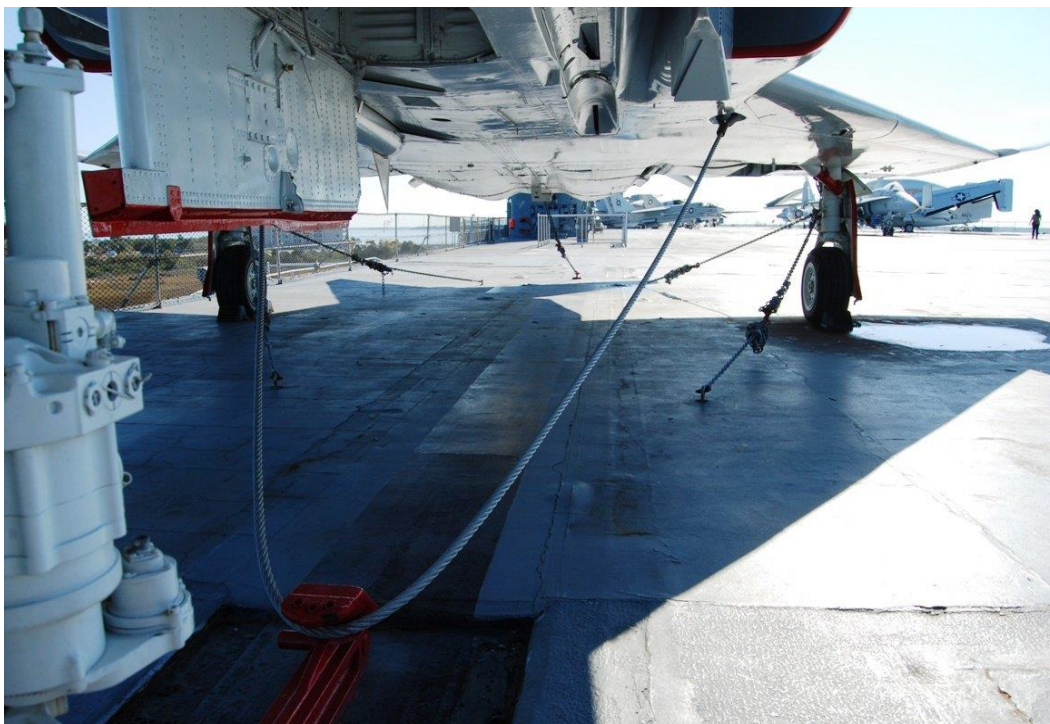
V súčasnej dobe je používané spojenie pevným prvkom s prednou/provovú podvozkovú nohou za pomoci T kotvy zapadajúcej do výrezu v behúni katapultu. Tento systém využíva tvarové spojenie letúnu s katapultom a umožňuje prenášanie energie katapultu len jedným smerom, čiže aj v prípade poruchy katapultu nemôže dôjsť k spätnému chodu, ktorý by odoberal kinetickú energiu

letúnu. Konštrukcia behúňa taktiež po ukončení odovzdávania hybnosti letúnu spôsobuje pozitívnu rotáciu letúnu, čím umožňuje vzlet bez zásahu pilota (hands off launch). Ďalej vďaka tomu, že ide o tvarový spoj, nie je nutná zdĺhavá príprava. V prípade letúnu F-14 Tomcat je postup použitia tohto systému nasledovný, po nasmerovaní letúnu na letovej palube ku katapultu, palubná posádka navádza pilota do pozície, ktorá umožňuje spojenie letúnu s katapultom, následne pod dozorom dezinovaného technika pilot prepne nosewheel strut switch do polohy kneel, ktorý zapríčini hydraulickým systémom stlačenie tlmiča prednej podvozkovej nohy (pravá polovica obrázku 11), následne je T kotva spustená do výrezu behúňa, táto kotva slúži ako ťažný spoj medzi letúnom a katapultom. Následne palubná posádka manuálne pripojí Holdback Bar (záchytnú kotvu) k zadnej časti provového podvozku, ktorá bráni letúnu v pohybu pri sile menšej než 76000-pound force čiže 338 kN ťažnej sily. Pri dosiahnutí limitnej sily je automaticky záchytná kotva uvoľnená za pomoci mechanizmu zámku na podvozkovej nohe letúnu. [23] Využitie záchytnéj kotvy je opodstatnené k zamedzeniu voľného rozbehu letúnu spôsobeného ťahom motorov. Letúny v aktívnej službe využívajúce tento systém spojenia s katapultom sú McDonnell Boeing F/A-18 Hornet, Lockheed Martin F-35C Lightning II, modernizované letúny Grumman C-2 Greyhound, Grumman E-2 Hawkeye, Dassault Rafale M.



Obr. 11 Schéma spojenia behúňa katapultu (Shuttle) s T kotvou letúnu Grumman F-14D[23]

Historicky sa využívalo spojenie flexibilnými prvkami na letúnoch s ostrohovým podvozkom a US Navy s cieľom uniformizácie využívalo na tento mechanizmus na letúnoch F8U Crusader, F4 Phantom II, ktoré slúžili spoločne s letúňmi AD-4 Skyraider. Spojenie letúňov flexibilnými prvkami v podstate prebiehalo podobne ako spojenie pevným prvkom, avšak posádka musela manuálne upevniť všetky lanové spojované prvky na háky rozmiestnené po letúne. Lanové spojenie z hákmi umožňovalo ťah letúnu katapultom, konštrukcia hákov umožňovala sklznutie lán v prípade, že letún sa pohybuje rýchlejšie než katapult, čím bolo zabezpečené uvoľnenie letúnu po ukončení činnosti behúňa. S cieľom zabezpečenia vzletu bez zásahu pilota (hands off launch) boli tieto stroje vybavené hydraulickým systémom umožňujúcim zvýšenie výšky prednej podvozkovej nohy u letúňov s provovým podvozkom. Letúny F4 Phantom II využívali kotviace laná pripevnené k hlavnému podvozku, ktoré boli automaticky uvoľnené pri vzlete. [24] Francúzske námorníctvo kotviacich lán na hlavnom podvozku na letúňoch Dassault Super Etendard využívalo spojenie prednej podvozkovej nohy s kotvou čapom, ktorý bol navrhnutý tak, aby pri dosiahnutí limitného ťahu došlo k jeho poškodeniu strihom, kompletným strihom čapu sa uvoľnil letún.



Obr. 12 Lanová konfigurácia na letúne McDonnell Douglas F4J Phantom II[31]



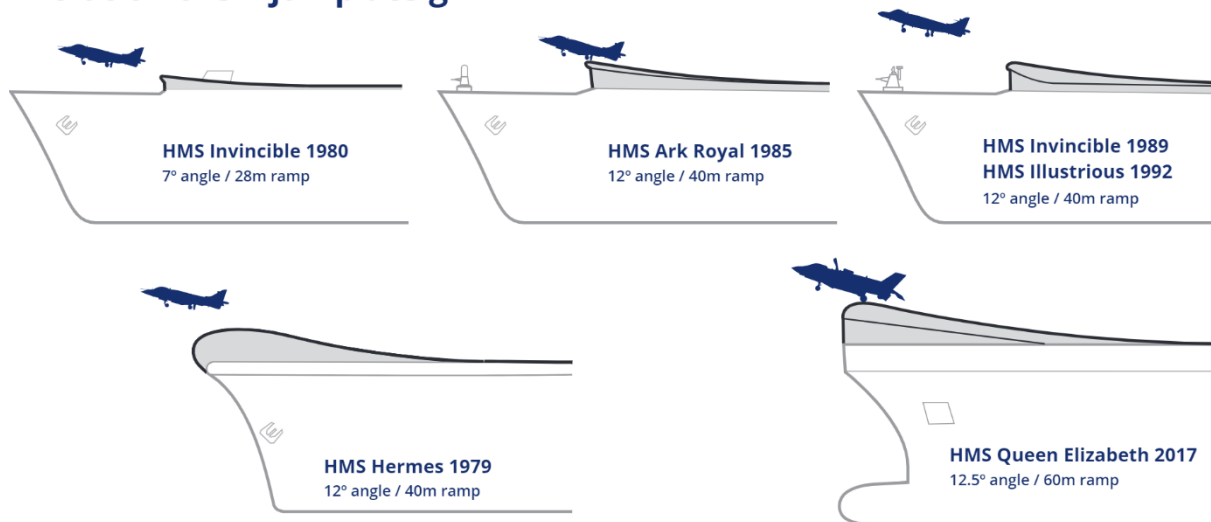
Obr. 13 Detail háku pre zachytenie štartovacieho lana McDonnell Douglas F4J Phantom II[31]

3.2. Skokanský mostík

Využitie skokanského mostíka sa viaže s koncepciou STOBAR a STOVL, kde umožňuje vzlet aj neupraveným letúnom. Princípom fungovania tohto prvku je zvýšenie uhlu nábehu opúšťajúceho letúnu náklonom vzletovej dráhy. Vďaka tomu, že letún opúšťa rampu s nenulovým *aoa* dochádza k zvýšeniu vztlakovej sily, čím sa umožňuje zníženie vzletovej rýchlosti v *případe použitia letúnov Mig-29K na lietadlovej lodi Admirál Kuznecov ide o schopnosť vzletu pri rýchlosti 70 kn oproti konvenčnému vzletu pri 140 kn.*[12] V princípe ide o zaoblenú naklonenú rovinu pod

uhlom v rozmedzí 7°-15°. Britské námorníctvo prišlo s lietadlovou loďou vybavenou skokanským mostíkom v 70-tych rokoch s cieľom zníženia nákladov oproti predchádzajúcej triede lietadlových lodí koncepcie CATOBAR. Royal Navy sa rozhodlo využiť kombináciu upravených letúnov Harrier a skokanského mostíku, ktorá umožňovala vytvorenie ľahkej lietadlovej lode. V rámci vývoja lietadlovej lode britské námorníctvo dospelo k názoru, že optimálny uhol rampy skokanského mostíku pre letúny Sea Harrier je 12°. [11].

Evolution of ski jump design



Obr. 14 Porovnanie vývoja konštrukcie skokanského mostíku u Royal Navy [11]

V súčasnosti je značná časť lietadlových lodí určených pre operácie lietadiel s pevným krídlom vybavená skokanským mostíkom. So zaradením skokanského mostíka do výzbroje bol vyvinutý postup vzletu pre tento prvok. U Royal Navy a iných západných námorníctiev je letún nasmerovaný palubnou posádkou smerom k rampe skokanského mostíka. Po dosiahnutí východzej pozície pilot stlačí brzdy, nastaví optimálny uhol výpustí (ak ide o letún vybavený vektorovaním ťahu) motoru a zvýši otáčky motoru. Keď motor dosiahne vzletový ťah motoru, pilot uvoľní brzdy, čím umožní rozjazd letúnu. Ruské lietadlové lode tejto koncepcie sú vybavené zarážkami, ktoré sa vysunú a zabráňujú letúnu v pohybe do doby dosiahnutia požadovaného ťahu, následne na základe pokynu zodpovednej osoby dôjde k zasunutiu týchto zarážok a letún sa začne pohybovať. V oboch prípadoch letún opustí rampu s nenulovým uhlom nábehu, čo vedie k vyššiemu vztlaku generovaného krídlom oproti vzletu asistovanému katapultom, kde je uhol nábehu blízky nule.

3.3. Voľný vzlet

Voľným alebo konvenčným vzletom rozumieme techniku vzletu bez prídavných prostriedkov. Tento spôsob vzletu bol dominantnou technikou vzletu počas druhej svetovej vojny a v medzivojnovom období, kedy konštrukcia letúnov umožňovala dosiahnutie vzletovej rýchlosti aj na dĺžke vzletovej paluby. S rozvojom použitia prúdových motorov došlo k odklonu od tejto metódy, v súčasnosti tento spôsob vzletu umožňujú len lietadlá STOVL ako napríklad F-35C, AV-8A a AV-8B, ktoré majú túto schopnosť vďaka vektorovaniu ťahu motora, ktorý im umožňuje aj pri nižšej hmotnosti vykonať aj kolmý vzlet.

3.4. Kolmý vzlet

Kolmý alebo vertikálny vzlet je taký spôsob štartu, pri ktorom lietadlo nevyžaduje žiadnu doprednú rýchlosť. Jedná sa typicky o vzlety lietadiel s rotujúcim krídlom, ktoré sú špecificky usporiadané pre operácie vyžadujúce kolmý vzlet a pristátie. Vývoj letúnov s kolmým štartom bude podrobnejšie rozobraný v kapitole venovanej VTOL/STOVL. Vrtuľníkový vývoj začal počas 2. svetovej vojny. Počas vojny v Kórei boli Američanmi experimentálne nasadzované helikoptéry, ktoré mali schopnosť operovať z lodí. Tieto experimenty viedli k rozšírenému použitiu vrtuľníkového palubného letectva. Vzhľadom na nenáročné požiadavky vrtuľníkov na lietadlové lode sú obľúbenou voľbou námorníctiev.

4. Spôsoby pristátia, použitie záchytných hákov

V rámci vývoja palubného letectva a technologických aspektov letúnov a lietadlových lodí dochádzalo v závislosti na predispozíciách paluby lietadlovej lode k rôznym postupom pristátia. Prvé lietadlové lode boli koncipované ako nosiče hydroplánov lietadiel, schopných pristátia

4.1. Hydroplánové pristátia

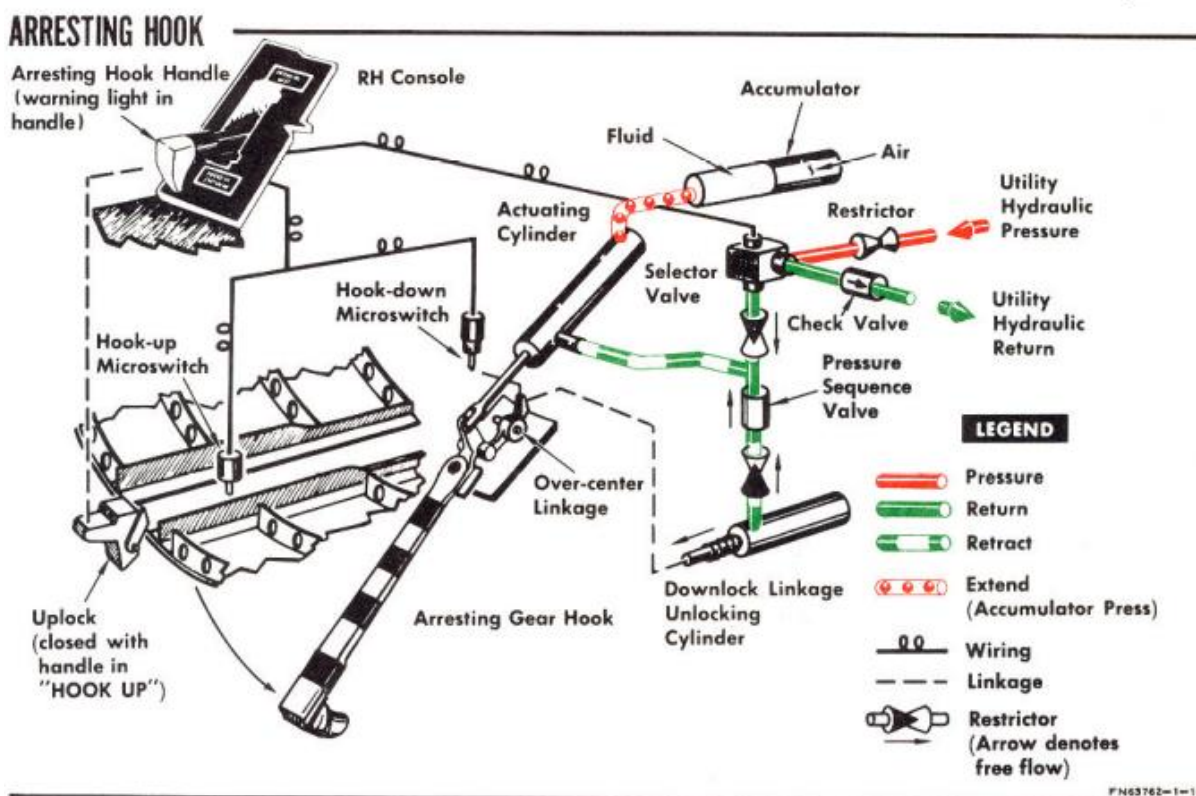
Prvé lietadlové lode boli koncipované ako nosiče hydroplánových lietadiel, schopných pristátia na hladinu mora a následného vyzdvihnutia pre opätovné použitie. Táto koncepcia kládla vysoké nároky na pilotné schopnosti, keďže dochádzalo k pristátiu na vodnú plochu. Stav mora mohol výrazne obmedziť použiteľnosť palubného letectva tejto koncepcie. Z toho dôvodu bol v medzivojnovom a v období druhej svetovej vojny len na palubách bojových lodí a krížnikov, kde dochádzalo k nasadeniu katapultom asistovaného vzletu hydroplánového letúnu, ktorý slúžil na vyhľadávanie cieľov a korekciu paľby. Ďalším dôvodom upustenia od konceptu hydroplánového pristátia bola nutnosť vyzdvihnutia letúnu, čo znižovalo mobilitu operačnej skupiny.

4.2. Koncepcia zachyteného pristátia

Z vyššie uvedených dôvodov došlo k prechodu k zachytenému pristátiu, ktoré viedlo k nutnosti použitia špecializovaných prostriedkov na palube lode ako aj na palube letúnu. Prvé experimenty s použitím zachyteného pristátia sa objavujú v období prvej svetovej vojny. Využitie tejto koncepcie pozostáva z použitia záchytného háku, ktorý zachytáva elastické záchytné lano na palube lietadlovej lode. Energia letúnu je disipovaná natiahnutím lana a hlavne trením na trecích plochách pri jeho posuve. Vývoj tejto koncepcie umožnil využitie letúnov vzlietajúcich aj pristávajúcich na palube lietadlovej lode. Tento faktor umožňuje pružnejšie a dynamickejšie nasadenie palubného letectva vo vojnových situáciách. Došlo k umožneniu plavby na stálom kurze počas pristávacej sekvencie palubných letúnov, čím sa neobmedzovala mobilita operačnej skupiny. Koncept zachyteného pristátia je využívaný u lodí koncepcie CTOBAR, CATOBAR a STOBAR. V súčasnej dobe je koncept zachyteného pristátia využívaný námorníctvami Spojených štátov, Francúzskej republiky, Ruskej federácie, Čínskej ľudovej republiky a Indickej republiky.

4.3. Konštrukcia záchytného háku

Záchytný hák je zariadenie na palube letúnu určené k úplnej alebo čiastočnej disipácii kinetickej energie letúnu za pomoci zachytenia záchytného lana. Záchytný hák je lokalizovaný v zadnej časti lietadla, v prípade letúnu s provovým podvozkom je v zákryte s prednou podvozkovou nohou, pri letúnoch s ostrohovým podvozkom sa záchytný hák nachádza v pozícii pred ostrohovým kolesom alebo za v závislosti na konkrétnej konštrukcii letúnu. Pôvodne bol tento mechanizmus určený pre palubné letúny, avšak našiel využitie na letúnoch západnej konštrukcie určených pre operácie z pozemných základní. V závislosti na určení stroja sa odlišuje konštrukcia a postup použitia záchytného háku. Spoločnými znakmi hákov pre pozemné a palubné lietadlá sú tvar hákovej hlavy, určený k zachyteniu lana, ide o kovovú súčasť v tvare písmena „c“. Háková hlava je pri moderných strojoch s výsuvným hákom spojená nosníkom s mechanizmom vysunutia. Nosník je upevnený na rotačnom čape umožňujúcom jeho vysunutie použitím hydraulického/pneumatického piestu prepojenom s nosníkom (telom) háku. Po zachytení lana dôjde k zasunutiu piestu pôsobením brzdnnej sily a tým dôjde k uvedeniu háku do letovej polohy, čím sa zmení typ namáhania tela háku z ohybového na ťahové, hák udržiava vďaka tvaru hlavy háku lano prepojené s brzdiacim letúnom.



Obr. 15 Schéma hydraulicky ovládaného záchytného háku letúnu F8E (FN) Crusader [19]

Použitie vysúvateľných hákov sa datuje k letúnom z medzivojnového obdobia. V období 1.svetovej vojny bol používaný pevný hák, nahrádzajúci ostrohové koleso, išlo o náhradu tejto časti podvozku hlavou háku. Pri konštrukciách z medzivojnového obdobia a z obdobia druhej svetovej vojny sa využíva umiestnenie výsuvného háku za ostrohoým kolesom. Medzi letúny tejto konštrukcie je možné zaradiť Grumman TBF Avenger, Grumman F4F Wildcat, Grumman F6F Hellcat, Grumman F8F Bearcat,, Supermarine Seafire, Hawker Sea Fury a Vought F4U

4.4. Porovnanie palubných záchytných hákov s pozemnými

Z dôvodu rozdielneho spôsobu použitia záchytných hákov palubných letúnov a konvenčných letúnov sa v konštrukcii záchytných hákov stretávajú s rozdielmi. Palubné letúny si z dôvodu obmedzených rozmerov letovej paluby vyžadujú zastavenie na skrátenej dráhe, z tohto dôvodu je požiadavka na úplne zastavenie pri využití záchytného háku. Palubné háky z toho dôvodu musia byť schopné disipovať väčšinu kinetickej energie letúnu, z toho dôvodu je požiadavka na odolnosť voči vyšším pôsobiacim silám na konštrukciu háku. Tento fakt je možné odvodiť z popisu deju brzdenia za pomoci druhého Newtonovho zákona a kinematických rovníc

$$F = m \cdot a$$

Pri predpoklade konštantného brzdného zrýchlenia

$$s = v_{0x} \cdot t - 0,5 \cdot a \cdot t^2$$

$$v_x = v_{0x} - t \cdot a$$

Vyjadrením času z rovnice rýchlosti za predpokladu úplného zastavenia dostávame

$$t = \frac{v_0}{a}$$

Dosadením času do rovnice dráhy

$$s = v_{0x} \cdot \frac{v_{0x}}{a} - 0,5 \cdot a \cdot \frac{v_{0x}^2}{a^2} = 0,5 \cdot \frac{v_{0x}^2}{a}$$

Z tejto rovnice je možné vyjadriť potrebné brzdné zrýchlenie

$$a = 0,5 \cdot \frac{v_{0x}^2}{s}$$

Čo pri dosadení:

$$v_0 = 121 \text{ kn} = 62,2 \text{ ms}^{-1}; [21]$$

$$aoa = 17,5 \text{ units} = 4^\circ; [21]$$

$$v_{0x} = v_0 \cdot \cos aoa = 62,1 \text{ ms}^{-1};$$

$$s = 150 \text{ m (konzervatívny odhad dĺžky pristávacej plochy, reálna brzdná dráha bude kratšia);}$$

$$m = 12000 \text{ lbs} = 5443 \text{ kg} [21]$$

$$a = 0,5 \cdot \frac{62,1^2}{150} = 12,853 \text{ ms}^{-2}$$

$$F = 5443 \cdot 12,853 = 69960 \text{ N}$$

Pri použití predpokladu, že brzdná sila je kompletne prenášaná záchytným hákom je možné prehlásiť, že záchytný hák letúnu Douglas A-4F je pri pristáti zaťažený silou 69,96 kN (bez pričítania efektu pridaného ťahu motora, ktoré pôsobí len po určitú dobu pristátia. V prípade pripočítania statického ťahu motoru stroja A-4F táto sila činní 119,78 kN), z toho dôvodu je zjavná požiadavka na odolnosť voči vysokým pôsobiacim silám, z toho dôvodu je palubný záchytný hák robustnej konštrukcie, s masívnym upevnením k trupu lietadla. Nosník háku vyžaduje väčší prierez v porovnaní s pozemnými letúnmi, ktoré využívajú záchytné háky len ako jeden z prostriedkov zníženia rýchlosti.



Obr. 16 Palubný letún Dassault Rafale M s vysunutým záchytným hákom [10]

Využitie záchytných hákov na letúnoch určených pre operácie z pozemných základní je len pri pozemných testoch pohonných jednotiek alebo v núdzových prípadoch. Pri požiadavke zníženia pristávacej vzdialenosti. Pri zohľadnení pridanej hmotnosti a údržbovej náročnosti a záťaže na konštrukciu letúnu pri plnom zastavení s pomocou záchytného háku je u pozemného letectva volená konštrukcia s menším prierezom a menej robustným spojením s trupom. Postupom použitia u pozemných letúnov je okrem zachytenia lana hákom aj brzdenie brzdami a aerodynamickými brzdiacimi prvkami t.j. brzdiaci padák, spojler a aerodynamická brzda. Z dôvodu nižšieho predpokladaného zaťaženia je časté použitie teleskopického nosníka/tela háku ako napríklad na letúne McDonnell Douglas F-15.



Obr. 17 Detail teleskopického záchytného háku letúnu F-15C [16]

4.5. Porovnanie podvozkov palubných letúnov s pozemnými

Palubné lietadlá s pevným krídlom vykonávajú pristávací manéver bez podrovnania, čím dochádza k dosadeniu pri vyššej vertikálnej rýchlosti v porovnaní s konvenčným pristátím. Preto sú na podvozky palubných lietadiel kladené odlišné rázové nároky ako u letúnov ekvivalentnej hmotnosti určených pre operácie z pozemných základní. Z dôvodu rázových nárokov sú podvozkové nohy palubnej konštrukcie mohutnejšie využívajúce väčšie oleo-pneumatické tlmiče, so zosilnenými stenami umožňujúcimi dosiahnutia vyššieho vnútorného tlaku bez poškodenia. Ľahko demonštrovateľné vizuálne viditeľné rozdiely je možné vidieť na letúnoch Dassault Rafale C určenom pre operácie z konvenčných letísk a Dassault Rafale M určenom pre nasadenie na lietadlových lodiach.



Obr. 18 Letún Rafale B francúzskeho letectva [15]



Obr. 19 Letún Rafale M Francúzskeho námorníctva [10]

Ďalším rozdielom je prítomnosť mechanizmu spojenia letúnu s katapultom, ak sa jedná o letún koncepcie CATOBAR, ktorého konštrukcia bola bližšie rozobratá v predchádzajúcej kapitole.

5. VTOL a STOVL

Letúny koncepcie VTOL (Vertical Take Off and Landing – kolmý vzlet a pristátie) alebo STOVL (Short Take Off and Vertical Landing – krátky vzlet a kolmé pristátie) sa vyznačujú schopnosťou neasistovaného vzletu na krátkej dráhe v prípade STOVL alebo kolmého vzletu prípad VTOL. Mnohé stroje typu VTOL umožňujú kolmý vzlet len pri určitých nákladoch t.j. ich schopnosť kolmého štartu je obmedzená hmotnosťou. Obe koncepcie sa vyznačujú schopnosťou kolmého pristátia, ktoré je najmä výhodné pre použitie u palubných lietadiel. Tejto schopnosti dosahujú prevažne využitím vektorovania ťahu (v angličtine Thrust Vectoring) alebo alternatívne použitím zdvihových motorových jednotiek orientovaných zvislo. Z dôvodu možnosti kolmého pristátia s rozvojom letúnov VTOL/STOVL sa mnohé námorníctva priklonili k návrhu lietadlových lodí určených pre operácie lietadiel tejto koncepcie. Medzi prominentných zástancov tejto koncepcie patrí Royal Navy, ktoré operuje dve lietadlové lode triedy Queen Elizabeth usposobených pre operácie letúnov Lockheed Martin F-35B Lightning II a vrtulníkov.

5.1. História letúnov typu VTOL/STOVL

Prvé pokusy o letúny schopné kolmého štartu sa objavujú počas 2. svetovej vojny zo strany Luftwaffe, s raketovým záchytným stíhacím letúnom Ba 349. V povojnovom období koncept rozvíjali Briti. S modernou požiadavkou na letúny s charakteristikami kolmého štartu sa stretávame v priebehu 60-tych rokov 20.storočia v požiadavke NBMR-3 (NATO Basic Military Requirement – základná vojenská požiadavka NATO), v ktorej boli špecifikované požiadavky na nadzvukový záchytný stíhací letún schopný kolmého vzletu – NBMR-3A a na podzvukový stíhací bombardér so schopnosťou niesť taktické nukleárne zbrane a možnosťou vertikálneho vzletu – NBMR-3B. Táto požiadavka vychádzala z predpokladu znefunkčnenia konvenčných letísk aktivitou nepriateľa v prípade otvorenej vojny so Sovietskym zväzom. Na základe požiadavky NBMR-3A boli dodané prototypy letúnov Dassault Balsac V, Dassault Mirage IIIV a z požiadavky NBMR-3B vznikol Hawker P.1127 s nasledným vývojom do Hawker Sidley Kestrel, z ktorého bol neskôr vyvinutý Hawker Sidley Harrier. Letúny Harrier boli zaradené do výzbroje RAF (Royal Air Force) v roku 1969 ako stíhací bombardér respektíve ako bojový letún.

5.2. Námorné letúny VTOL/STOVL v aktívnej službe

S úspechom letúnu Harrier u RAF sa objavila snaha Royal Navy modifikovať tieto letúny pre operácie z lietadlových lodí a nimi doplniť schopnosti Royal Navy. Následne aj Sovietsky zväz začal svoj vývoj letúnov STOVL Jak-38, ktoré boli v obmedzenom počte zaradené do výzbroje. Avšak s rozpadom Sovietskeho zväzu a následnému zníženiu rozpočtu armády boli vyradené z výzbroje. Vývojovým krokom v Sovietskom námorníctve bola aj vylepšená verzia Jak-38 pod označením Jak-144, ktorej vývoj bol zastavený s koncom studenej vojny. V tomto období začal vývoj viacúčelového stíhacieho lietadla F-35 určeného pre operácie z pozemných základní vo variante F-35A pre USAF a v konfigurácii STOVL F-35B pre USMC a palubnej verzii F-35C pre US Navy. Letúny F-35B a F-35C sú postupne zaraďované do výzbroje USA a ich spojencov.

5.2.1. Lockheed Martin F-35B

Projekt JSF (Joint Strike Fighter – spoločný úderný stíhač) viedol k vývoju letúnov pre USAF, US Navy a USMC v troch rôznych konfiguráciách, v závislosti na požiadavkách rôznych vetiev ozbrojených síl USA. Ide o viacúčelový stealth stíhací letún piatej generácie. Vyrábaný firmou Lockheed Martin. Verzie určené pre Britské námorníctvo a Americkú námornú pechotu

zdieľajú sklopné konce krídel schopnosť vektorovania ťahu a sú tiež vybavené vertikálnou pohonov jednotkou. Zdvihový motor je vybavený dverami, ktoré pokrývajú kompresor zdvihového motora v režimoch letu nevyžadujúcich chod tejto pohonnej jednotky.

F-35B je letún koncepcie STOVL určený pre USMC a Royal Navy, schopný operovať z lietadlových lodí koncepcie STOBAR a STOVL. Táto modifikácia neumožňuje využitie záchytných lán ako hlavného spôsobu pristátia avšak nie sú ani vybavené záchytným hákom, ktorý je určený na spomalenie letúnu.



Obr. 20 F-35B Vzlietajúca z lode HMS Queen Elizabeth [11]

F-35C objednaná US Navy je určená pre lietadlové lode koncepcie CATOBAR, z toho dôvodu je jediným odberateľom práve námorníctvo Spojených štátov. Na rozdiel od F-35B sú vybavené mechanizmom spojenia s palubným katapultom.

F-35A určená pre operácie z pozemných základní sa odlišuje od verzie B prítomnosťou záchytného háku určeného k spomaleniu letúnu. U tejto verzie podobne ako u F-35C zdvihový motor nie je prítomný.

5.2.2. British Aerospace Sea Harrier

Ide o námornú verziu stíhacieho bombardéru Harrier vyvinutého firmou Hawker Sidley neskôr BAE. V roku 1979 nahradil letúny Phantom v Royal Navy, ktoré boli vyradené spolu s lietadlovou loďou HMS Ark Royal. Letúny Sea Harrier využívajú zhodnú pohonnú jednotku Rolls-Royce Pegasus Mk. 104, generujúcu 96 kN ťahu. Rovnako ako pozemné Harriery tak aj Sea Harriery využívajú ku kolmému letu len vektorovanie ťahu. Vektorovanie ťahu sa na letúnoch Harrier vykonáva za pomoci nakláňania 4 trysiek výpustí motora, z ktorých dve sa nachádzajú pred ťažiskom a dve za ťažiskom lietadla. Vďaka tejto konfigurácii je možné dosiahnuť stabilitu vo vertikálnom móde.

Prvé bojové nasadenie Sea Harrierov bolo počas vojny o Falklandy, kde vďaka prednostiam týchto letúnov dosiahlo Royal Navy vzdušnú nadvládu. Počas operácii nad Falklandami dosiahli 22 potvrdených zostrelov pri strate šiestich letúnov. [1] V roku 2002 boli letúny Sea Harrier vyradené z aktívnej služby u Royal Navy, avšak dodnes zotrávajú v službe v Indii.

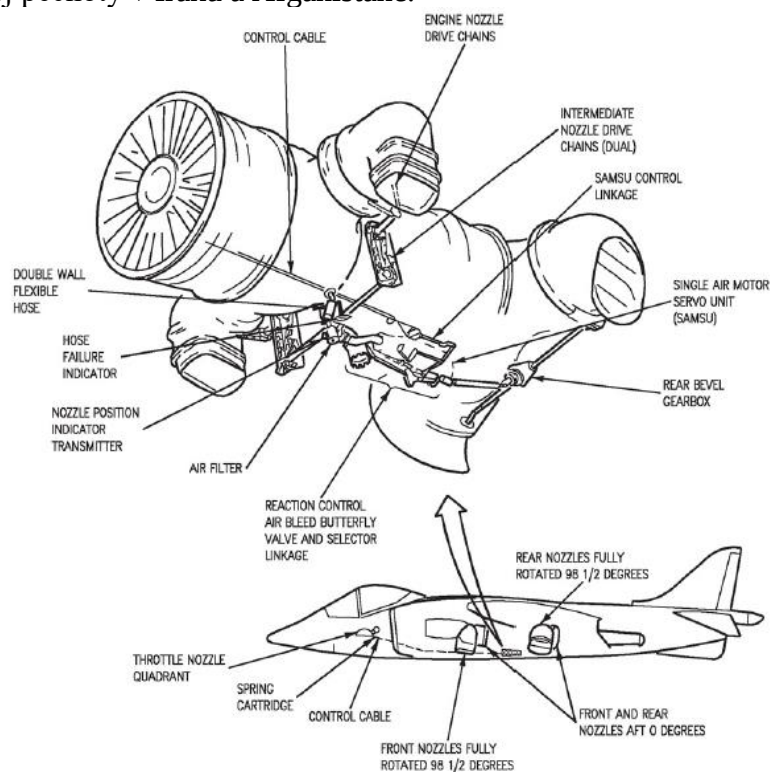
5.2.3. McDonnell Douglas/BAE AV-8B Harrier II

Po kladných skúsenostiach USMC s letúnm AV-8A Harrier, ktoré boli upravené Harriery GR.Mk.3 slúžiace RAF na základe požiadaviek USMC, niektoré navigačné a útočné systémy boli

vyraďené z palubného vybavenia, sa USMC rozhodlo pre podporu vývoja zdokonaleného Harrier II ktorý v USMC slúži pod označením AV-8B Harrier II. Od roku 1983 došlo k vyrobeniu 286 kusov. USMC, Talianske námorníctvo (Marina Militare Italiana) a Španielske námorníctvo (Arma Aérea de la Armada) nakúpili tieto letúny.

V porovnaní s jeho predchodcom má Harrier II výkonnejší motor Rolls-Royce F402-RR-408A so statickým ťahom 106 kN, ďalej došlo k modernizácii pilotného priestoru a vybavenie systémom HOTAS. Nová pohonná jednotka využívala rovnakú konfiguráciu trysiek výpustí motora. Neskôr došlo ešte k modernizácii avionických systémov letúnu, ktorá je označovaná ako AV-8B Harrier II Plus, ktorá umožňuje plné využitie týchto letúnov za zlého počasia.[1]

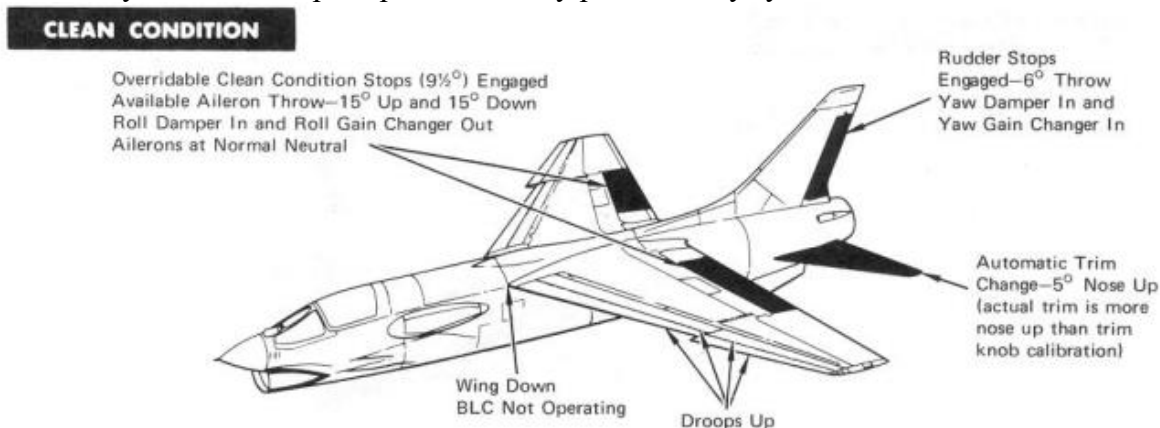
Bojové nasadenie tieto letúny zažili počas Operácie Púštna Búrka, kde ich USMC využívalo ako CAS (Close Air Support – Blízka vzdušná podpora) letún, následne slúžili počas operácií Americkej námornej pechoty v Iraku a Afganistane.



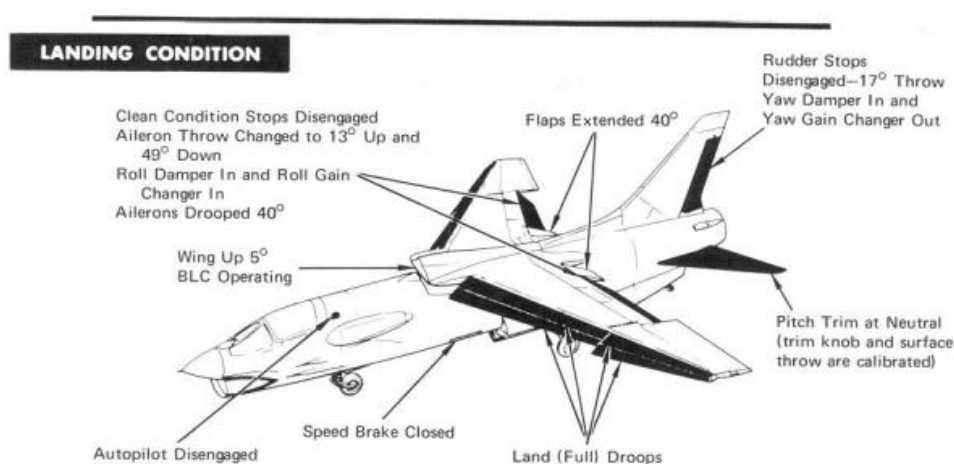
Obr. 21 Pohonná sústava letúnu McDonnell Douglas AV-8B Harrier II [22]

6. Meniteľná incidencia krídla

Ide o mechanizmus ktorý môže meniť incidenciu krídla, t.j. meniť uhol krídla voči trupu stroja. Tento systém umožňuje zlepšenie výhľadu z kokpitu tým, že dočasne zvýši uhol nastavenia krídla pri zachovaní pozdĺžneho uhlu tým, že zvýši incidenciu krídla voči trupu o 7°. Vďaka tomu nemusí pilot uviesť letún do vyšších uhlov. Tento systém bol využívaný na strojoch F8U Crusader a F8E(FN) Crusader. V prípade týchto dvoch strojov sa jednalo o hornoplošníkovú konfiguráciu, ktorej závesy boli upevnené na rotačnej väzbe v zadnej časti krídla a v prednej časti sa nachádzali mechanické zámky, ktoré mohol pilot odistiť a tým umožniť hydraulickému systému za pomoci piestu ovládať uhol náklonu krídla voči trupu. Tento systém bol využívaný pri vzlete, pristáti a mohol byť využitý aj k stabilizácii plochej vývrtky. Letúny Crusader využívali dvojpolohový systém, ktorý umožňoval použitie čistej/letovej konfigurácie alebo vysunutej konfigurácie krídla. Vysunutá konfigurácia bola sprevádzaná vysunutím slotov na nábežnej hrane krídla. Letúny F8U a F8E(FN) boli taktiež vybavené núdzovým ovládaním incidencie krídla, v prípade poruchy hydraulického systému mohol pilot použiť záložný pneumatický systém.



Obr. 22 Čistá konfigurácia stroja F8E(FN) – letová incidencia krídla [19]



Obr. 23 Pristávacia konfigurácia: vysunuté klapky, sloty a zvýšená incidencia krídla [19]

Manuál špecifikuje následný postup pre vysunutie krídla:

1. Páka uzamykania krídla v dolnej polohe – poloha odomknuté (Unlock)
2. Spínač uvoľnenia incidencie - stlačený

3. Páka incidencie - v polohe vysunutú (UP)

Manuál špecifikuje následný postup pre zasunutie (uvedenie do čistej konfigurácie) krídla:

1. Spínač uvoľnenia incidencie - stlačený
2. Páka incidencie - v polohe zasunutá (DN)
3. Páka uzamykania krídla v dolnej polohe – poloha zamknutá (Lock)

Manuál špecifikuje následný postup pre pneumatické/núdzové vysunutie krídla:

1. Páka uzamykania krídla v dolnej polohe – poloha odomknutá (Unlock)
2. Páka incidencie - v polohe zasunutá (DN)
3. Chránič núdzového vysunutia slotov a incidencie krídla – zodvihnutý
4. Spínač uvoľnenia incidencie - stlačený
5. Páka incidencie – plne vpred pre vysunutie slotov, následne smerom k pilotovi a dozadu pre aktiváciu núdzového zvýšenia incidencie

7. Odlišnosti prevádzky palubných lietadiel

Z dôvodu odlišností v určení a konštrukcii vyplýva nutnosť rozdielnosti aj v používaní, údržbe a skladovaní palubných letúnov. Dokonca v prípade aj tej istej série letúnu dochádza k rozdielnym postupom u použitia tohto letúnu u pozemného letectva a námorného letectva, perfektným príkladom, na ktorom je možné tento fenomén demonštrovať sú letúny McDonnell Douglas F-4E Phantom II v službách USAF a McDonnell Douglas F-4J Phantom II pre US Navy alebo prípadne McDonnell Douglas RF-4B vo výzbroji US Navy. Ďalším možným príkladom porovnávania tej istej série letúnov by mohlo byť porovnanie letúnov Dassault Rafale C a Dassault Rafale M. Z dôvodu nedostupnosti oficiálnych manuálov a iných oficiálnych podkladov k letúnom Rafale bude táto kapitola založená na porovnaní letúnov Phantom II.

7.1. Pilotné odlišnosti

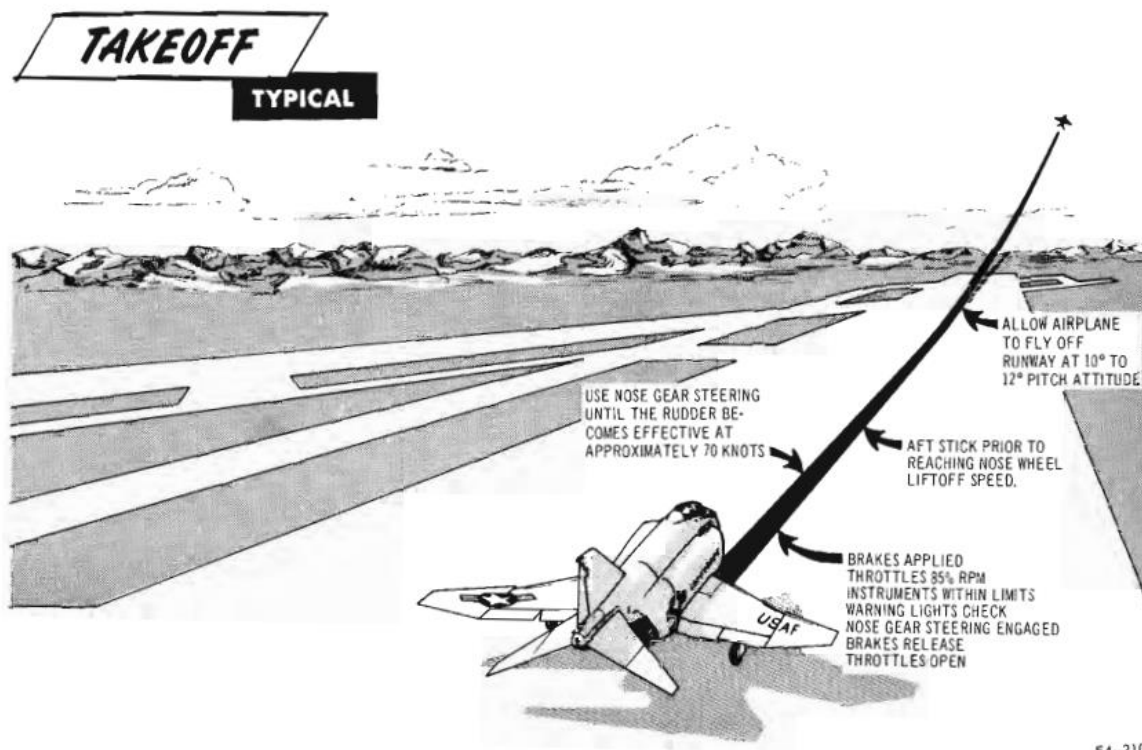
U letúnov Phantom II letectva aj námorníctva Spojených Štátov, predletová príprava je takmer totožná, líši sa len poradie krokov pri vizuálnej kontrole letúnu. Zatiaľ čo letúny USAF majú v manuále popísaný aj spôsob štartu motorov za pomoci pyrotechnickej náplne, manuály námorníctva popisujú len konvenčný pneumatický štart s externým zdrojom elektrickej energie. Ďalej letecké letúny Phantom II v manuále majú ďaleko rozsiahlejšie predpouzdané kontroly, zatiaľ čo manuál námorných je časť týchto krokov presunutá, k predvzletovej kontrole. Rozdielne postupy sa dajú nájsť pri vzletoch, letectvo vzhľadom na operácie z pozemných základní neuvádza žiadne metódy asistovaného vzletu pri letúnoch Phantom II zatiaľ čo námorníctvo uvádza obe možnosti vzletu. Vzlet z pozemných základní je v oboch manuáloch totožný. Katapultom asistovaný vzlet je popísaný len v námornom manuáli aj napriek tomu, že letúny F-4E Phantom II si zachovali schopnosť asistovaného vzletu.

7.1.1. Porovnanie postupu asistovaného a konvenčného vzletu

Postup asistovaného vzletu pozostáva z pojazdu k behúňu katapultu a zdvihnutie predného podvozku, následné spojenie s katapultom a zaistenie letúnu proti pohybu. Na základe vzletovej hmotnosti je zvolený vzletový výkon Mil Power (Vojenský výkon) alebo Max Power (Maximálny ťah). V prípade zvolenej konfigurácie, ktorej postačuje Mil Power, pilot po prijatí signálu zvýši plynule ťah motorov na požadovaný ťah následne po kontrole veliteľ katapultu udelí pokyn k uvoľneniu behúňu. V prípade požiadavky na Max Power je tento postup obohatený o medzi krok

v podobe druhého signálu k zvýšeniu ťahu. Konštrukcia letúnov F-4J a RF-4B umožňujú vzlet bez zásahu pilota

Vzlet z konvenčnej pozemnej základne pozostáva z pojazdu na dráhu, vykonania predvzletového kontrolného zoznamu. Následná stlačenie brzd a zvýšenie výkonu na 85% RMP, po dosiahnutí vzletového ťahu uvoľnenie brzd a pritiahnutie ovládacej páky pred dosiahnutím rýchlosti rotácie. Vzlet je zakončený pozvoľným stúpaním pod uhlom 10° až 12° , ak ide o konvenčný vzlet. V prípade bojového pohotovostného vzletu je postup odlišný vo vyššom nastavení ťahu motorov. Tesne po odlepení letúnu od dráhy sa pri tomto spôsobe vzletu zrovná letún v nízkej výške a následné prudké stúpanie do požadovanej výšky s použitím prídavného spaľovania.



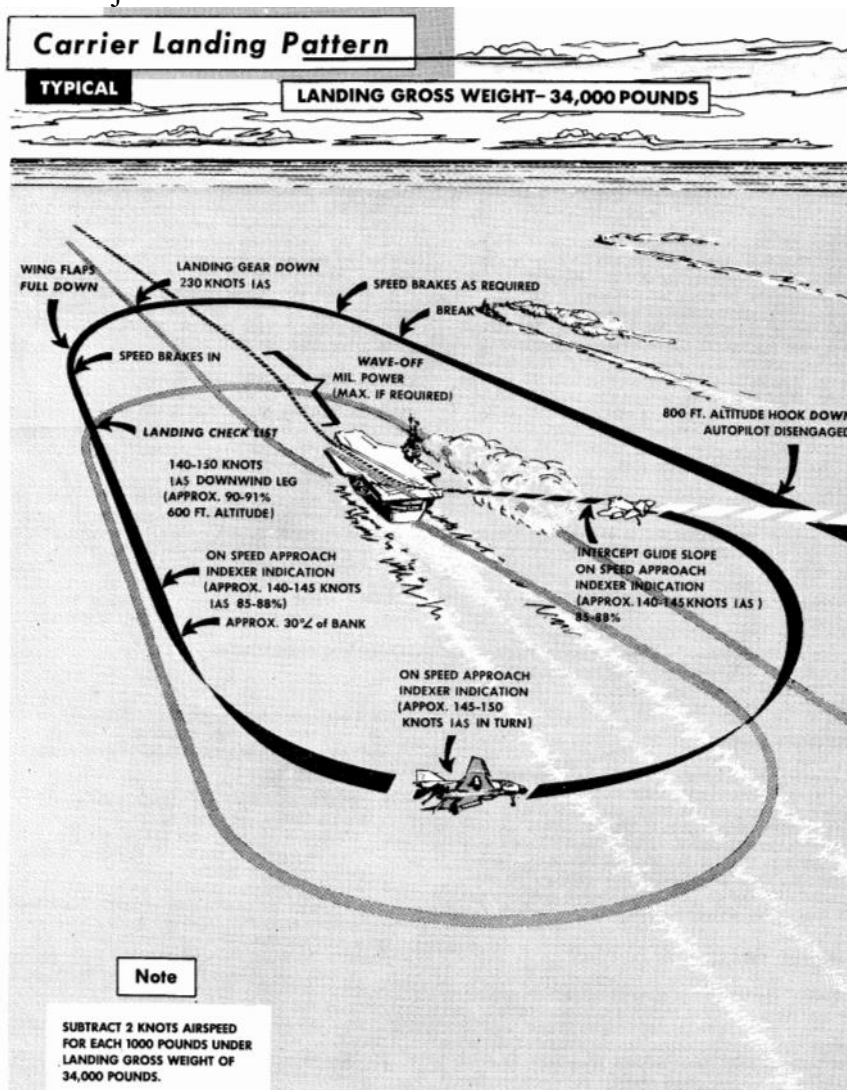
Obr. 24 Postup vzletu z pozemnej základne letúnu McDonnell Douglas F-4E Phantom II [18]

7.1.2. Porovnanie postupu zachyteného a konvenčného pristátia

Základným rozdielom medzi pristátím na palube lietadlovej lode a pozemnej základni pozostáva zo spôsobu zastavenia. Zatiaľ čo pozemné pristátia využívajú kombináciu brzd, aerodynamických brzd, brzdných padákov a záchytných hákov v závislosti na povahe pristátia, letúny palubného letectva na zastavenie využívajú len záchytný hák. Celkové odlišnosti začínajú už pri priblížení.

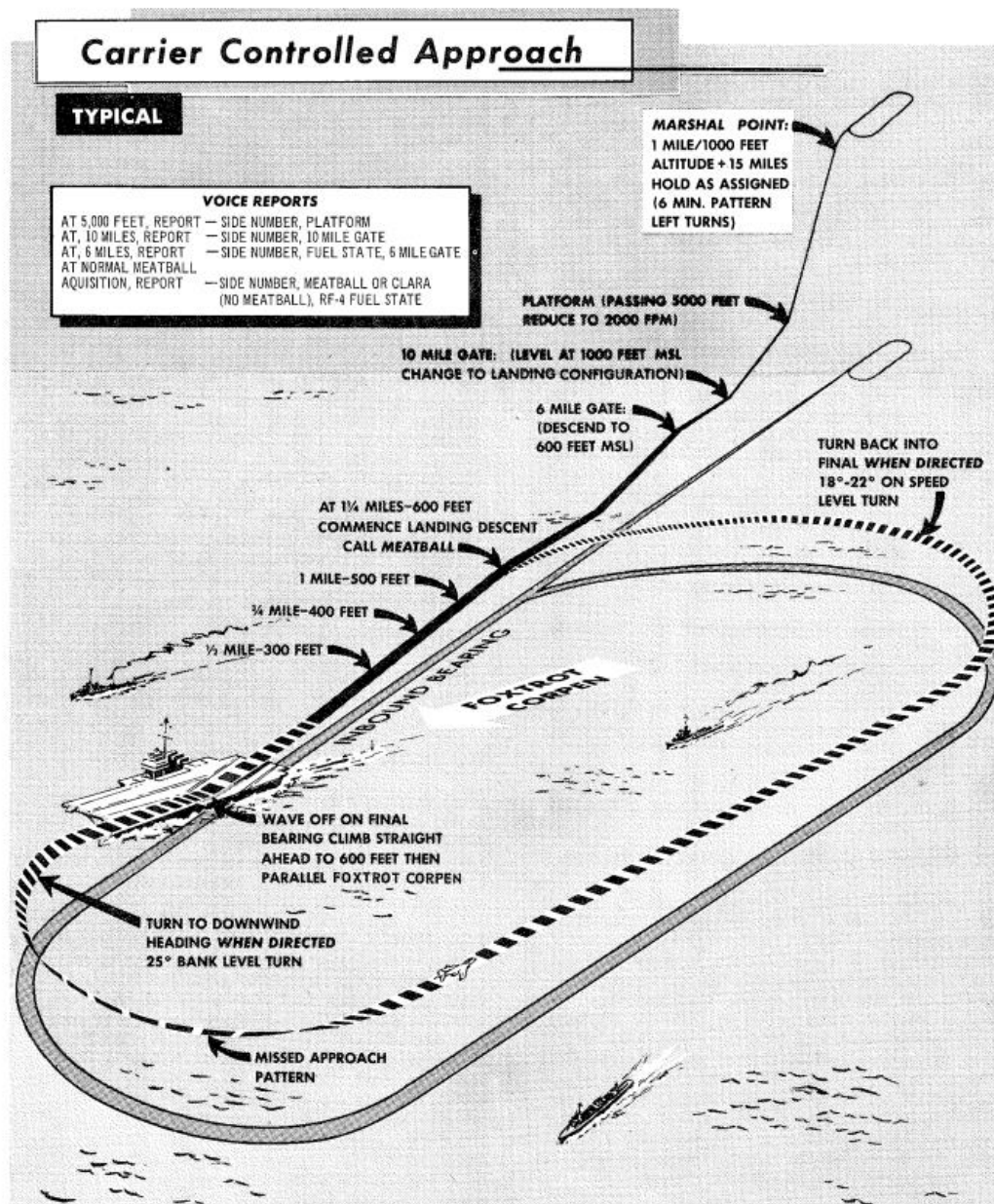
Priblíženie k loďou neriadenému pristátiu na palube lietadlovej lode sa pre letúny F-4J a RF-4B začína vo výške 800ft a pri rýchlosti v rozmedzí 250-300 kn. Prelet nad pravobokom lode a následný obrat o 180° s predletením (Overshoot) lode. Počas obratu dochádza k zníženiu rýchlosti a uvedeniu letúnu do pristávacej konfigurácie, zasunutiu aerodynamickej brzdy a pri dosiahnutí optimálnej polohy letúnu voči lodi dochádza k obratu o 180° pri udržiavaní rýchlosti v rozmedzí 140-145 kn. Po ukončení obratu by mal pilot byť schopný zachytiť optimálny uhol klesania a klesať pri udržiavaní rýchlosti v rozmedzí 140-145 kn. Dosadnutie sa vykonáva bez podrovnania (cieľeného prerušenia klesania), v momente dosadnutia pilot uvedie prípuste ťahu motorov do polohy Mil Power z dôvodu udržiavania dostatočnej rýchlosti v prípade nepodareného pristátia. Po zastavení letúnu zníži ťah na voľnobeh a opustí pristávací priestor. V prípade nepodareného

zachytenia, z dôvodu neúspešného zachytenia lana alebo pretrhnutia lana je vykonané opakované priblíženie a z toho dôvodu pilot zasúva podvozok v okamihu kontroly pozitívnej rýchlosti stúpania. V prípade podozrenia na explóziu alebo iné poškodenie pneumatiky je zasunutie klapiek prípustné až po vizuálnej kontrole tejto oblasti.



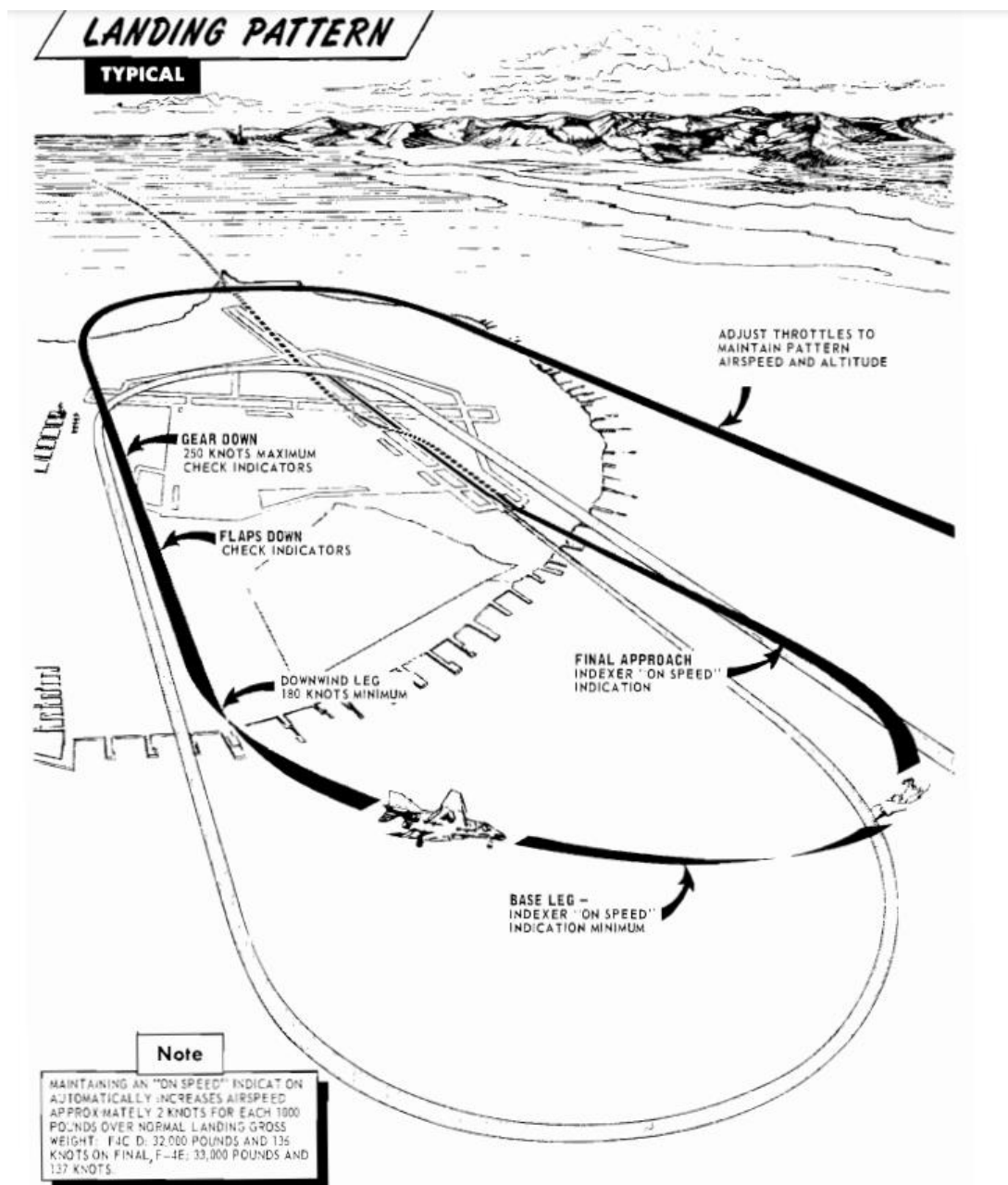
Obr. 25 Pristávací vzor letúnu Phantom II na lietadlovú loď [24]

Loďou riadené alebo niekde označované aj ako priame priblíženie je vykonávané z vyčkávacieho miesta na základe pokynov vedenia letovej prevádzky lode. Pozostáva zo série zostupov a úprav letovej rýchlosti. Počiatočná výška pre tento spôsob priblíženia prevyšuje 5000 ft. Pre letúny Phantom II US Navy bol postup nasledovný vo vzdialenosti 10 míľ je požadovaná výška 1000 ft, to je požadovaná vzdialenosť pre uvedenie letúnu do pristávacej konfigurácie. Vo vzdialenosti 6 míľ je požadovaná výška 600 ft, táto výška je udržiavaná v tejto fáze priblíženia až do vzdialenosti 1,25 míle, v tejto vzdialenosti sa začína samotné pristávacie klesanie, ktoré prebieha o 100 ft na každých 0,25 míle. Postup samotného pristátia je totožný s dosadnutím neriadeným loďou, teda pristátie bez podrovnania v snahe o zachytenie lana číslo 3, ktoré poskytuje ideálne zastavovacie podmienky. V prípade nepodareného pristátia je postup obdobný s postupom v prípade loďou neriadeného pristátia, ide o dvojicu obrátov o 180°, počas ktorých je letún nasmerovaný na zachytenie optimálneho uhlu klesania.



Obr. 26 Loďou riadené priblíženie [28]

Pristátie na pevnej pristávacej ploche je vykonávané preletom nad pristávacou dráhou, následným obratom o 180°, letom paralelne s pristávacou dráhou, zakončené klesavým obratom o 180°, zrovnaním s dráhou a zachytením optimálneho uhlu klesania. Tesne pred dosadnutím dochádza k podrovnaniu, t.j. cielené dočasné prerušenie klesania s cieľom zníženia vertikálnej zložky pristávacej rýchlosti a tým k zníženiu namáhania podvozku, hlavne tlmičov



Obr. 27 Vzor pristátia na pevnej pristávacej ploche pre letúny F-4E, F-4J a RF-4B [28]

7.2. Odlišnosti údržby a skladovania

Po stránke údržby je starostlivosť o letúny Phantom II u USAF a US Navy veľmi podobná, jedným z rozdielov je kontrola stavu podvozku a záchytného zariadenia po každom pristátí.

V rámci skladovania sú rozdiely spôsobené rozmermi lode a povahou morskej hladiny. Z toho dôvodu sú palubné lietadlá vybavené prvkami umožňujúcimi prichytenie parkovacích lán, ktoré zamedzujú pohybu lietadla vplyvom náklonu lode. Taktiež narozdiel od USAF US Navy parkuje lietadlá so zloženými krídlami alebo rotormi, z dôvodu úspory skladovacieho priestoru.

8. Požiadavky na lietadlovú loď

8.1. Požiadavky na letovú palubu

Najvýznamnejšie požiadavky na lietadlovú loď sa týkajú schopnosti umožniť operácie palubného letectva. Tento fakt vedie k tomu, že požiadavky na letovú palubu sú tie, ktoré určujú do ktorej koncepcie lietadlová loď zapadá. V závislosti na požiadavkách na vybavenie letovej paluby rozlišujeme koncepcie CATOBAR, STOBAR, STOVL a vrtuľníkové lietadlové lode

Koncepcia CATOBAR je najnáročnejšia koncepcia, čo sa týka požiadaviek na letovú palubu. Pre dosiahnutie tejto koncepcie je potrebné splniť nasledovné podmienky. Prítomnosť palubného katapultu, umožňujúceho asistovaný vzlet letúnov. Katapult si vyžaduje v závislosti na svojej konštrukcii minimálnu dĺžku vzletovej paluby, takisto v závislosti na použitej konštrukcii katapultu vyžaduje zdroj tlakovej pary v prípade parných katapultov alebo stabilný prívod elektrickej energie v prípade elektromagnetického katapultu. Parný katapult poskytuje vyššiu spoľahlivosť avšak požaduje parovodné potrubie vedené od zdroja tlakovej pary, čo zvyšuje vstupné náklady konštrukcie lietadlovej lode. Elektromagnetický katapult požaduje prítomnosť stabilného napätia počas odpaľovacej sekvencie, čo rieši použitím kondenzátorov. Ďalšou požiadavkou na letovú palubu pri plavidlách tejto koncepcie je mechanizmus zachyteného pristátia. V súčasnej dobe sa využívajú systémy štyroch zachytných lán, ktorých konce sú navinuté na bubnoch nachádzajúcich sa pod letovou palubou, tieto bubny umožňujú čiastočné odvíjanie lana a disipáciu energie do podoby tepla z dôvodu trenia pri odvíjaní lana.

Lietadlové lode koncepcie STOBAR sa líšia od CATOBAR lodí spôsobom vzletu letúnov, teda aj požiadavkou na vzletovú časť paluby. V prípade tejto koncepcie je požiadavka na prítomnosť skokanského mostíka, ktorý umožňuje skrátenie vzletovej dráhy, spôsobom ktorý, bol podrobnejšie popísaný v kapitole 3.2.. Možnosť odstránenia palubného katapultu umožňuje znížiť vstupné náklady na akvizíciu lietadlovej lode.

STOVL lietadlové lode majú najnižšie špecifické požiadavky na letovú palubu, pretože táto koncepcie nevyžaduje systém zachyteného pristátia a pre vzlet letúnov využíva skokanský mostík, ktorý je v porovnaní s palubným katapultom menej nákladný a jednoduchší na údržbu, pretože neobsahuje žiadne pohyblivé komponenty. Z toho dôvodu ide o najmenej nákladné lietadlové lode schopné využívať palubné letúnu.

Vrtuľníkové lietadlové lode vyžadujú dostatočný priestor rovnej paluby aby umožňoval kolmý vzlet a pristátie vrtuľníkov, tento typ lietadlovej lode môže umožňovať aj použitie letúnov VTOL.

Spoločné požiadavky pre všetky typy lietadlových lodí je dostačujúci priestor umožňujúci vzlet a pristátie ich palubných lietadiel, z čoho vyplýva požiadavka na dostatočnú pevnosť paluby pri minimalizácii nákladov a maximalizácii bojovej odolnosti. Bez ohľadu na koncepciu je možné letovú palubu možné rozdeliť na nasledovné časti: vzletová časť paluby, obvykle sa na nachádza na proxe lietadlovej lode. Slúži na vzlet letúnov, v závislosti na koncepcii je vybavená príslušným vybavením. Následne sa na letovej palube nachádza časť určená pre pristátie pri koncepciách využívajúcich zachytené pristátie je táto časť vedená s uhlom 9° voči strednici lode, na ktorej sa nachádza vzletová časť paluby. Koncepcia STOVL a VTOL umožňujú súčasne vzlety a pristátia aj pri využití pristávacej časti paluby umiestnenej na strednici lode. Ďalšou časťou letovej paluby sú odstavné plochy pre lietadlá, tieto plochy sa nachádzajú po bokoch pristávacej časti letovej paluby. Nachádzajú sa tu zariadenia slúžiace k ukotveniu letúnov a vrtuľníkov. Na týchto plochách dochádza k prezbrojovaniu a drobným opravám lietadiel. Poslednou významnou časťou letovej paluby

je priestor výťahov. V závislosti na konštrukcii lietadlovej lode sa tieto zariadenia nachádzajú buď na bokoch lode, typické pre moderné lietadlové lode, alebo sú súčasťou pristávacej, prípadne vzletovej časti paluby.

8.2. Požiadavky na hangárovú palubu

Hangárová paluba lietadlovej lode slúži na uskladnenie a údržbu palubných lietadiel operujúcich z paluby lietadlovej lode. Z toho dôvodu je potrebný prístup na túto palubu z letovej paluby. Toto spojenie je vykonávané pomocou palubných výťahov. Požiadavka na dostačujúcu výšku, ktorá umožňuje uskladnenie letúnov a zariadení potrebných na údržbu týchto lietadiel. Hangárová paluba slúži aj ako sklad munície z toho dôvodu je nutné ju chrániť proti zásahu nepriateľskou paľbou, preto je typické chrániť hangárovú palubu zosilneným pancierovaním. Z dôvodu, že sa na tejto palube nachádza veľké množstvo výbušných alebo horľavých látok hangárové paluby bývajú vybavené pokročilým systémom protipožiarnej ochrany, ktorý využíva kombináciu penovej hasiacej látky a inertných alebo iných plynov zamedzujúcich horenie.

8.3. Požiadavky na technické vybavenie lietadlovej lode

Pri zohľadnení úloh plniacich lietadlovou loďou sa objavuje požiadavka na technické vybavenie takéhoto plavidla. Toto vybavenie je možné rozdeliť do týchto kategórií a to vybavenie slúžiace k údržbe lietajúcich prostriedkov lode, vybavenie týkajúce sa riadenia letových misií, vybavenie týkajúce sa ochrany lode a vybavenie plavebné. Z dôvodu toho, že táto práca rozoberá vybavenie týkajúce sa lietadiel, tak nebude popisovať plavebné vybavenie lode.

Vybavenie slúžiace k údržbe lietadiel, lietadlové lode sú vybavené rôznymi prostriedkami umožňujúcimi udržiavať lietadlá. Hangárová paluba býva vybavená žeriavovými prostriedkami umožňujúcimi vykonávanie údržby a opráv na podvozku. Takisto lietadlové lode sú vybavené softwarovými prostriedkami k diagnostike palubných lietadiel.

Medzi vybavenie riadenia letových misií je možné zaradiť radarové stanovišťa umožňujúce kontrolu vzdušného priestoru v okolí lietadlovej lode, ďalej je možné sem zaradiť komunikačné vybavenie a v neposlednej rade vybavenie spojené s pristátím lietadla ako je IFLOLS (Improved Fresnel Lens Optical Landing System – vylepšený optický systém na bázy Frenselových šošoviek). V podstate ide o optický pristávací systém pozostávajúci zo série svetiel, ktoré vysielajú svetlo len pod istými uhlami vďaka tomu je pilot schopný určiť svoju polohu oproti ideálnemu uhlu zostupu.

V rámci vybavenia ochrany lietadlovej lode je možné zaradiť agresívnu a pasívnu ochranu. Medzi aktívnu ochranu je možné zaradiť všetky hlavné zbrane lode a všetky strely s ich navádzacími systémami. Zatiaľ čo pasívna ochrana lode pozostáva z prostriedkov kontroly škôd a z prostriedkov elektronického boja.

Záver

Problematika konštrukcie a prevádzky palubného letectva je komplexná téma, ktorá za svoju históriu priniesla mnoho inovatívnych riešení, z ktorých niektoré našli uplatnenie aj mimo námorného alebo palubného letectva. Na základe vykonanej rešerše došlo k vyhotoveniu zoznamu a popisu typických prvkov konštrukcie palubných lietadiel, ktoré slúžia k zvýšeniu skladnosti, spojenie s palubným katapultom, umožňujúce zachyteného pristátia ako aj technológia VTOL/STOVL.

V oblasti vzletov z paluby lietadlových lodí došlo k rozboru alternatív k asistovanému vzletu a ich porovnaniu. V rámci tejto oblasti výskumu došlo k vysvetleniu dôvodov rozšírenia spomínaných alternatív.

V rámci špecifik konštrukcie bola jedna kapitola venovaná špecializovanému konštrukčnému riešeniu zlepšujúcemu výhľad z kokpitu na strojoch F8U a F8E (FN), ktorým je mechanizmus meniteľnej incidencie krídla.

Taktiež bolo vyhotovené porovnanie letových postupov u letúnov určených pre operácie z konvenčných letísk a palubných letúnov.

V neposlednom rade boli v tejto práci rozobraté všeobecné požiadavky na lietadlové lode z pohľadu využívania palubného letectva.

Použitá literatúra

1. Winchester, Jim. *ENCYKLOPEDIA MODERNÍCH LETADEL*. Praha : NAŠE VOJSKO, 2011. 978-80-206-1208-3.
2. Ford, Roger. *Nemecké Tajné Zbrane Druhej Svetovej Vojny*. Praha : OTTOVO NAKLADATELSTVÍ, 2016. s. 51-56. ISBN 978-80-7451-564-4.
3. Dougherty, Martin J. *Moderní letecká výzbroj*. Praha : NAŠE VOJSKO, 2013. s. 52-60, 100-116, 132-140. ISBN 978-80-206-1370-7.
4. *Zbraně 20. století*. Praha : OTTOVO NAKLADATELSTVÍ, 1997. s. 129-131, 147-149, 163-169. ISBN 80-7181-200-5.
5. Willmott, H. P. a kol. *Njeslávnější letadla II. Světové války*. Praha : NAŠE VOJSKO, 2010. s. 201-265. ISBN 978-80-206-1133-8.
6. Niccolini, Riccardo. *Bojová letadla nejproslulejší letouny v historii vojského letectva*. Bratislava : Slovart, 2016. s. 117-125, 129-133, 145-149, 165-168. ISBN 978-80-7529-212-4.
7. Lüdeke, Alexander. *Bojová technika druhej svetovej vojny*. Bratislava : Slovart, 2010. s. 247, 257, 263-265. ISBN 978-80-8085-730-1.
8. Karem, Abe. *US8387913B2* Spojené Štáty, 2011.
9. Secretary of the Air Force. TECHNICAL MANUAL STRUCTURAL REPAIR ORGANIZATIONAL AND FIELD GENERAL INFORMATION USAF SERIES F-4C, F-4D, F-4E, AND RF-4C AIRCRAFT. TECHNICAL MANUAL STRUCTURAL REPAIR ORGANIZATIONAL AND FIELD GENERAL INFORMATION USAF SERIES F-4C, F-4D, F-4E, AND RF-4C AIRCRAFT. Washington D.C. : Secretary of the Air Force, 15. Október 1971. T.O. 1F-4C-3-1-1.
10. Rafale M. *seaforges.org*. [Online] [Dátum: 3. Apríl 2022.] <https://www.seaforges.org/marint/French-Navy/AVIATION/Rafale-M.htm>.
11. Royal Navy aircraft carrier ski jumps – a history. *Navy Lookout*. [Online] [Dátum: 7. Apríl 2022.] <https://www.navylookout.com/royal-navy-aircraft-carrier-ski-jumps-a-history/>.
12. Gordon, Yefim. *Mikoyan MIG-29*. Shepperton : Midland Publishing, 2006. s. 80-90. ISBN 978-1-85780-231-3.
13. *HMS Ark Royal – Pegasus 1914–1950*. Layman, R. D. XIII, Toledo : International Naval Research Organization, 1976, Warship International, s. 90–114. ISSN 0043-0374.
14. Bishop, Ch., Chant, Ch. *Aircraft Carriers: The World's Greatest Naval Vessels and Their Aircraft*. Leicester : Silverdale Books, 2004. ISBN 978-1845090791.
15. Yves-Q. Airport-Data.com. *Aircraft 127 Photo*. [Online] Airport-Data.com, 1. Január 2000. [Dátum: 10. Apríl 2022.] <https://www.airport-data.com/aircraft/photo/001338827.html>.
16. Middleton, Ken. The Aero Cafe. *F-15A/C Eagle Walk Around Details*. [Online] September 2003. [Dátum: 12. Marec 2022.] http://www.kenmiddleton.net/real_aviation/F-15/walk/images/F-15A_KFMH_Captive_AIM120_Sept2003_KenMiddleton_image_13809437.jpg.
17. Service Central de L'Aeronatique Navale. MANUEL PILOTE SUPER ETENDARD A TURBO-REACTEUR "ATAR" 8K50. Paríž : Service Central de L'Aeronatique Navale, 6. Apríl 1978. UCC AN 105.
18. Secretary of the Air Force. FLIGHT MANUAL USAF SERIES F-4C, F-4D AND F-4E AIRCRAFT. Washington D.C. : Secretary of the Air Force, 1. Október 1970. T.O. 1F-4C-1.

19. Department of Navy. NATOPS FLIGHT MANUAL F-8E(FN) AIRCRAFT. Washington D.C. : Department of Navy, 1. August 1964. FN 01-45HHD-1.
20. Department of Navy. NATOPS FLIGHT MANUAL NAVY MODEL A-3 A/B AIRCRAFT. Washington D.C. : Department of Navy, 1. September 1966. NAVAIR 01-40ATA-1.
21. Department of Navy. NATOPS FLIGHT MANUAL NAVY MODEL A-4E/F AIRCRAFT. Washington D.C. : Department of Navy, 15. November 1968. NAVAIR 01-40AVC-1.
22. Department of Navy. NATOPS FLIGHT MANUAL NAVY MODEL AV-8B/ TAV-8B 161573 AND UP AIRCRAFT. Washington D.C. : Department of Navy, 15. Marec 2008. 0801LP1082212. A1-AV8BB-NFM-000.
23. Department of Navy. NATOPS FLIGHT MANUAL NAVY MODEL F-14D AIRCRAFT. Washington DC : Department of Navy, 15. April 2002. 0801LP1032160. NAVAIR 01-F14AAD-1.
24. Department of Navy. NATOPS FLIGHT MANUAL NAVY MODEL F-4J AIRCRAFT. Washington D.C. : Department of Navy, 15. Február 1973. NAVAIR 01-245FDD-1.
25. Department of Navy. NATOPS FLIGHT MANUAL NAVY MODEL CH-46E HELICOPTER. Washington D.C. : Department of Navy, 30. April 2004. 0801LP1035718. A1-H46AE-NFM-000.
26. Department of Navy. NATOPS FLIGHT MANUAL NAVY MODEL CH-53D AIRCRAFT. Washington D.C. : Department of Navy, 1. Marec 2001. 0801LP1011141. NAVAIR 01-230HMA-1.
27. Department of Navy. NATOPS FLIGHT MANUAL NAVY MODEL RA-3B AIRCRAFT. Washington D.C. : Department of Navy, 15. November 1966. NAVAIR 01-40ATB-1.
28. Department of Navy. NATOPS FLIGHT MANUAL NAVY MODEL RF-4B AIRCRAFT. Washington D.C. : Department of Navy, 15. December 1965. NAVWEPS 01-245FDC-1.
29. Secretary of Air Force. Pilot's Handbook for NAVY MODELS F8F-1, F8F-1B, F8F-1N, F8F-2, F8F-2N, F8F-2P AIRCRAFT. Washington D.C. : Secretary of Air Force, 1. December 1949. AN 01-85FD-1.
30. Department of Navy. Pilot's Handbook of Flight Operating Instructions NAVY MODEL FM-2 BRITISH MODEL WILDCAT VI Airplanes. Washington D.C. : Department of Navy, 15. Jún 1945. AN 01-190FB-1.
31. Hills, Waring. NAVY CATAPULT LAUNCH IMPROVEMENT 1962. *Patriots Point*. [Online] Patriots Point, 19. December 2011. [Dátum: 6. Február 2022.] <https://www.patriotspoint.org/news-and-events/navy-catapult-launch-improvement-1962/>.
32. Boeing. V-22 OSPREY. *Boeing.com*. [Online] Boeing. [Dátum: 15. Február 2022.] <https://www.boeing.com/defense/v-22-osprey/>.
33. Wikipedia. E-2 Folding Wing 2. *Wikipedia.org*. . [Online] 28. Marec 2012. [Dátum: 14. Máj 2022.] https://commons.wikimedia.org/wiki/File:E-2_Folding_Wing_2.JPG.
34. Thomason, Tommy H. Grumman Sto-Wing Redux. [Online] 30. Marec 2011. [Dátum: 14. Máj 2022.] <http://thanlont.blogspot.com/2011/03/grumman-sto-wing-redux.html>.

Zoznam skratiek

AOA – Angle of Attack – Uhol nábehu

DN – DOWN – Zasunutý (v kontexte incidencie krídla)

ft – Feets – Stopy

kg – Kilogram – Kilogram

kN – Kilonewton – Kilonewton

kn – Knots – Uzly

m – Meter – Meter

ms^{-1} – Meter per second – Meter za sekundu

ms^{-2} – Meter per second squared – Meter sekunda na mínus druhú

N – Newton – Newton

RPM – Revolutions per minute - otáčok za minútu

USAF – United States Air Force – Vzdušné sily Spojených štátov

US Navy – United States Navy – Námorníctvo Spojených štátov