



**FAKULTA
ŠTROJNÍ
ČVUT V PRAZE**

Ústav letadlové techniky

Návrh plavákov pre malé športové lietadlo

Design of floats for a small sport aircraft

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2022

Matúš PRIŠČÁK

Studijní program: N 3958 LETECTVÍ A KOZMONAUTIKA

Studijní obor: 3906T008 Letadlová a kosmická technika

Vedoucí práce: Ing. Jiří Brabec Ph.D.



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Priščák** Jméno: **Matuš** Osobní číslo: **420465**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávací katedra/ústav: **Ústav letadlové techniky**
Studijní program: **Letectví a kosmonautika**
Studijní obor: **Letadlová a kosmická technika**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Návrh plováků pro malý sportovní letoun

Název diplomové práce anglicky:

Design of floats for a small sport aircraft

Pokyny pro vypracování:

Pro vypracování proveďte:
1) Rešerši stávajících řešení
2) Návrh geometrie
3) Stanovení zatížení
4) Ideový návrh konstrukce

Seznam doporučené literatury:

Dle pokynů vedoucího

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. Jiří Brabec, Ph.D., ústav letadlové techniky FS

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **30.10.2021**

Termín odevzdání diplomové práce: **07.01.2022**

Platnost zadání diplomové práce: _____

Ing. Jiří Brabec, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

Ing. Robert Theiner, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Čestné prehlásenie

Prehlasujem, že som svoju diplomovú prácu s názvom „Návrh plavákov pre malé športové lietadlo“ vypracoval samostatne pod vedením Ing. Jiřího Brabce Ph.D. s použitím literatúry, uvedenej na konci mojej diplomovej práce v zozname použitej literatúry.

v Prahe 7.1.2022

.....
podpis

Poďakovanie

Chcel by som týmto poďakovať svojmu vedúcemu práce, Ing. Jiřímu Brabcovi Ph.D. za odborné vedenie, trpezlivosť, cenné rady a pripomienky pri tvorbe tejto diplomovej práce.

Rád by som taktiež poďakoval mojím rodičom a priateľom za podporu a dôveru v celom mojom štúdiu i mimo neho.

Anotačný list

Meno autora:	Matúš Priščák
Názov diplomovej práce:	Návrh plavákov pre malé športové lietadlo.
Title of masters thesis:	Design of floats for small sport aircraft
Rok:	2022
Studijní program:	NLAK Letectví a kosmonautika
Obor studia:	3906T008 Letadlová a kosmická technika
Ústav/odbor:	Ústav letadlovej techniky
Vedoucí:	Ing. Jiří Brabec Ph.D.
Bibliografické údaje počet stran:	75
počet obrázků:	53
počet tabulek:	8
počet příloh:	0
Klíčová slova:	Návrh, plavák, hydroplán, EASA CS-23
Keywords:	Design, float, seaplane, EASA CS-23
Abstrakt:	Cieľom tejto práce je predbežný návrh plavákov pre malé športové lietadlo do 650 kg. Práca sa v úvode zaoberá rešeršou stávajúcich riešení hydroplánov. Ďalej výberom geometrie plaváku, základnými hydrodynamickými výpočtami pre stabilitu a určením návrhového zaťaženia plavákov.
Abstract:	This thesis deals with preliminary design of floats for small sport aircraft up to 650kg. The thesis deals with the search for existing seaplane solutions. Furthermore it deals with selecting the appropriate geometry of the float, basic hydrodynamic calculations for stability of the float and determining the design load of the float.

Obsah

1. Úvod	1
2. Rešerš stávajúcich riešení	2
2.1. História a základné rozdelenie hydroplánov.....	2
2.2. Názvoslovie plaváku a vybrané pojmy	9
3. Návrh geometrie	16
3.1. Štíhlostný pomer plaváku.....	20
3.2. Prehľad súčiniteľov	26
3.3. Dĺžka a šírka plaváku.....	29
3.4. Tvar kýlu prednej časti plaváku	34
3.5. Tvar dna trupu plaváku	36
3.6. Uhol priečneho sklonu prednej časti plaváku	38
3.7. Stupeň.....	40
3.8. Uhol stúpania kýlu zadnej časti plaváku.....	42
3.9. Uhol priečneho sklonu zadnej časti plaváku	43
3.10. Tvar plaváku	44
3.11. Zhrnutie geometrických charakteristík plaváku	47
4. Hydrostatika a Stabilita	48
4.1. Vzlaková sila.....	48
4.2. Ťažisko plaváku.....	49
4.3. Metacentrum	50
4.4. Vratný moment	50
4.5. Metacentrická výška	52
4.6. Priečna stabilita plaváku	52
4.7. Vzájomná vzdialenosť plavákov.....	53
4.8. Pozdĺžna stabilita plaváku	55
5. Stanovenie zaťaženia	58
5.1. Symetrické pristanie na stupeň	58
5.2. Pristanie na prednú časť plaváku symetrické	59
5.3. Pristanie na zadnú časť plaváku symetrické	62
5.4. Nesymetrické pristanie na stupeň a prednú a zadnú časť plaváku.....	64
5.5. Zaťaženie pri vzlete	64
5.6. Prehľad zaťaženia	65
6. Ideový návrh konštrukcie	66
6.1. Ideový návrh plaváku	66
6.2. Váha plaváku	68
7. Záver	69
Zoznam použitej literatúry	70
Zoznam obrázkov.....	74
Zoznam tabuliek	75

1. Úvod

Letúny, ktoré majú namiesto klasického podvozku plaváky uspořobené na pristávanie na vode na letiskách nestretávame bežne. V oblastiach s veľkým výskytom vodných plôch, však tvoria neodmysliteľnú súčasť reťazca prepravy nákladu a pasažierov. Práve na miestach, kde vybudovanie konvenčných pristávacích plôch nie je strategicky a ekonomicky príliš výhodné je nutné využiť letúny s týmto usporiadaním.

Cieľom tejto diplomovej práce je vytvorenie ideového návrhu plaváku pre malý športové lietadlo o celkovej hmotnosti 650kg. Návrh plaváku bude založený na predošlých výskumoch a testoch ARC a NACA v tejto oblasti. Nami vytvorený obrysový ideový návrh plaváku by mal slúžiť ako podklad pre ďalšie simulácie a testy plaváku.

Tento plavák by mal splňovať nasledujúce predpoklady:

- Geometria plaváku by mala byť čo možno najjednoduchšia, no zároveň má poskytovať dobré hydrodynamické a aerodynamické vlastnosti stanovené na základe dostupných údajov.
- Splnenie v súčasnosti platných predpisov pre vztlakové zariadenia hydroplánov.
- Konštrukcia plaváku by mala byť schopná vysporiadať sa zo zaťažením, ktorému bude plavák vystavený hlavne pri pristávaní.

2. Rešerš stávajúcich riešení

2.1. História a základné rozdelenie hydroplánov

História hydroplánov a všetky jej mílniky sú mimo rozsah tejto práce. V nasledujúcej kapitole sú stručne popísané hlavné obdobia vývoja, začiatky, dôvody rozmachu a dôvody konca éry hydroplánov. Každé obdobie obsahuje vybraný letún, ako zástupcu, pomocou ktorého budeme demonštrovať vývoj týchto strojov v jednotlivých obdobiach.

Počiatky hydroplánov. Letúny, ktorými sa budeme zaoberať sa vyznačujú schopnosťou pristávania a vzletu z vodnej hladiny. Myšlienka skonštruovať takýto lietajúci stroj existovala vo svete 19. storočia už niekoľko rokov. Henri Marie Léonce Fabre, francúzsky letecký inžinier a avionik, bol však prvý ktorému sa to podarilo. V marci roku 1910 uskutočnil prvý úspešný let z hladiny zálivu Etang de Berre v dĺžke 457 m. Lietadlo Le Canard (francúzsky: „Kačica“), osadené motorom Sociétés des Moteurs Gnome Omega, sa vznieslo vlastnou silou nad hladinu (Obr. 1). Za zmienku stojí fakt, že Fabre nikdy pred týmto pokusom lietadlo nepilotoval. Jeho poznatky neskôr využili ďalší pionieri hydroplánov a to napríklad Glenn Curtiss. V roku 1911 skonštruoval v USA Curtiss Model D (Obr. 2). Jeho ďalšie modely Curtiss Model H boli už v 1. svetovej vojne využívané britským letectvom. [1] [2]



Obr. 2 La Canard. [2]



Obr. 1 Curtiss Model D. [2]

Dĺžka [m]	Rozpetie [m]	MTOW [kg]	Výkon [kW]
8,45	15	475	37,28

Tabuľka 1 Vybrané parametre letúnu Le Canard. [1]

Zlatá éra lietajúcich člnov. „Every lake is an airport.“ alebo aj „Každé jazero je letisko.“ bol populárny marketingový slogan v zlatej ére „lietajúcich člnov“, v medzivojnovom období 20. a 30. rokov 20. storočia. V tomto období bola veľká časť letísk zatiaľ neprispôsobená lietadlám s veľkým počtom pasažierov, ktoré boli priamym dôsledkom zvyšujúcej sa popularity leteckej prepravy. Spoločnosti ako Dornier (Nemecko), Savoia (Taliansko) a Short Brothers (Anglicko) produkovali stroje, ktoré sa stali mílnikmi tejto doby.

Jedným z najznámejších predstaviteľov tejto doby bol Boeing 314 Clipper (Obr. 3). Osadený motorom Wright GR-2600 Double Cyclone. V roku 1938 sa stal najväčším lietajúcim člnom na svete. Lietadlo prepravovalo až 74 pasažierov na zaoceánskych (New York-Marseilles) a domácich trasách (USA) a v Karibiku. [2] [3]



Obr. 3 Boeing 314 Clipper. [3]

Dĺžka [m]	Rozpätie [m]	MTOW [t]	Výkon [kW]	Cestovná rýchlosť [km/h]	Dostup [m]	Dolet [m]
32,31	46,33	38,1	1193	294,51	4 084	6 759

Tabuľka 2 Vybrané parametre letúnu Boeing 314 Clipper. [2]

V období druhej svetovej vojny slúžili hydroplány ako bombardéry/protiponorkové bombardéry a prepravné lietadlá a taktiež pre záchranné operácie na vode. Lietadlo The Consolidated PB2Y Coronado (Obr. 4) osadené motorom Pratt & Whitney R-2000 Twin Wasp z roku 1937 bolo v tom čase najväčším hydroplánom v americkom námorníctve. Nemecko disponovalo napríklad letúnom Dornier Do.24 a Do.26. Do.24, ten bol pôvodne navrhnutý ako cestovné lietadlo dokončený bol však ako bojový stroj a už jeho prototypy sa zúčastnili bojov v Nórsku. Naopak Do.26 bol od počiatku konštruovaný pre účely armády. Británia sa pýšila letúnom Short S.25 Sunderland. Lietadlom veľmi úspešným v love nemeckých U-boatov. Japonský letún Kawanishi H8K je letún všeobecne uznávaný ako najlepší štvormotorový letún z hľadiska výkonu a hydrodynamických parametrov.

Koniec druhej svetovej vojny priniesol väčšie a vybavenejšie letiská schopné teraz pojať i obrovské konvenčné lietadlá. Táto skutočnosť a určité nevýhody hydroplánov (Ako napríklad: korózia konštrukcie vo vode, nákladné opravy, nasiakavosť materiálov a

následná degradácia) prispeli k ich postupnému zostupu. Hydroplány začali pomaly nahradzovať vrtuľníky a konvenčné lietadlá. [2]



Obr. 4 The Consolidated PB2Y-5 Coronado. [2]

Dĺžka [m]	Rozpetie [m]	MTOW [t]	Výkon [kW]	Maximálna rýchlosť [km/h]	Dostup [m]	Dolet [m]
24,16	35	30,84	746	360,5	6370	5021

Tabuľka 3 Vybrané parametre letúnu The Consolidated PB2Y-3 Coronado [2]

V povojnovom období tu boli snahy o ďalší rozvoj hydroplánov. Vrtuľové piestové motory sa stali pre potreby leteckého priemyslu no najmä armády príliš ťažkými. Experimentovalo sa s rôznymi modifikáciami napríklad vybavením lietadla prúdovým motorom. Príkladom takéhoto stroja je The Martin P6M SeaMaster (Obr. 5) poháňaný štyrmi motormi Alison J71-A-6 (Turbojet) a jeho derivácie. SeaMaster bolo posledným lietadlom vyrobeným spoločnosťou Martin. Bol navrhnutý ako prieskumný letún a zároveň bombardér. Mal byť dokonca použitý ako nosný letún atómovej bomby.

Ďalším príkladom letúnu s prúdovým motorom je stíhací letún Convair SeaDart (Obr.6). Tento letún bol zároveň vybavený ďalším typom pristávacieho zariadenia a to tzv. Vodnou lyžou (z ang. Hydroski). Ďalším typom pristávacieho zariadenia, ktorý sa začal vyvíjať bolo Vodné krídlo (z ang. Hydrofoil). [2] [7]



Obr. 5 P6M-2 SeaMaster. [2]



Obr. 6 YF2Y-1 SeaDart. [2]

Dĺžka [m]	Rozpetie [m]	MTOW [t]	Výkon [N]	Maximálna rýchlosť [km/h]	Dostup [m]	Dolet [m]
40,94	31,27	75,75	42258	1 039.64	10668	4 417.65

Tabuľka 4 Vybrané parametre letúnu The Consolidated PB2Y-3 Coronado. [2]

V súčasnosti upadol dopyt po veľkých lietajúcich člnoch no niektoré aerolinky stále prepravujú osoby na pravidelných trasách v menších lietadlách tohoto typu. I dnes má napríklad spoločnosť Seaborn Airlines vo svojej flotile letún Twin Otter 400 s motorom Pratt & Whitney PT6A-34 (Obr. 7). Stroj pôvodne navrhnutý firmou De Havilland pod označením Series 300 Twin Otter. [4]

Hydroplány sú používané pobrežnou strážou, sú neoceniteľnou pomocou pri hasení lesných požiarov, pri preprave nákladu a pasažierov v oblasti s veľkým výskytom vodných plôch alebo bez možnosti vybudovania konvenčných pristávacích dráh.



Obr. 7 Viking Air Series 400 Twin Otter. [4]

Hydroplány rozdeľujeme na tieto základné kategórie:

Lietajúci čln – Je hydroplán využívajúci celý trup ako vztlakové zariadenie-plavák. Trup je konštruovaný tak, aby svojím tvarom umožnil čo najväčšiu pozdĺžnu stabilitu lietadla a zároveň kládol čo najmenší odpor pri vzlete. U niektorých typov týchto hydroplánov sa pre zvýšenie pozdĺžnej stability inštalovali i bočné plaváky obvykle visiace z krídel. [2] Príkladom je lietajúci čln The Viking Canadair CL-515 v prevedení amfíbia (Obr. 8).



Obr. 8 The Viking Canadair CL-515. [4]

Plavákové lietadlo – Je hydroplán s trupom konvenčného lietadla. Má dvojicu plavákov uchytených k trupu vzperami, čo mu zaisťuje dobrú stabilitu na hladine. Nevýhodou je vyššia hmotnosť a vyšší aerodynamický odpor (Obr. 9) spojený s nižšou rýchlosťou stúpania i nižšou rýchlosťou letu a samozrejme vyššou spotrebou.



Obr. 9 de Havilland Canada DHC-2 Turbo Beaver. [4]

Plavákové lietadla boli v medzivojnovom období konštruované i v usporiadaní s jedným hlavným plavákom a bočnými plavákmi pre stabilitu na krídlach .

Plavák bol rovnako ako u dvoj-plavákového usporiadania pripojený k trupu vzperami. Príkladom takéhoto letúnu je Douglas (Obr. 10). [2] [7]



Obr. 10 The Douglas X02D. [2]

Amfíbia – Je typ hydroplánu vybavený zaťahovacím podvozkom, dokáže teda pristávať na hladine i na konvenčnom letisku. Môže sa jednať o lietajúci čln i o plavákové lietadlo. Výhodou je možnosť pristávania na väčšom množstve pristávacích plôch. Nevýhodou je vyššia konštrukčná náročnosť pri použití zaťahovacieho podvozku, zvýšenie odporu, váhy a i náročnosti výroby (Obr.9 a Obr. 11). [2] [6]



Obr. 11 De Havilland Canada DHC-2 Beaver. [4]

Vodná lyža – toto usporiadanie je v súčasnej dobe u hydroplánov menej rozšírené. Ich najväčšia výhoda je, že po vzlete z vodnej hladiny dovoľuje usporiadanie zasunutie pristávacieho zariadenia do trupu, čo znižuje odpor vzduchu v lete, zvyšuje rýchlosť stúpania hydroplánu a rýchlosť letu.

Ich nevýhodou bola malá výška trupu nad hladinou. Citlivé časti letúnu (Ako napríklad motor, vrtuľa a.i.) nachádzajúce sa blízko vodnej hladiny boli v rozbúrenej vode

náchylnejšie k poškodeniu než u iných usporiadaní hydroplánov, predstaviteľom tohto typu hydroplánu je YF2Y SeaDart (Obr. 12). [7]



Obr. 12 YF2Y-1 Seadart [2]

Vodné krídlo – Hydroplán tohto typu (Obr. 13) začína fázu vzletu s trupom vo vode. Pri pohybe vpred sa pomocou “vodných krídel”, zariadenia podobného krídlam namontovaných na spodnej strane trupu lietadla vynorí nad hladinu. Vodné krídla generujú vo vode vztlak, podobne ako krídlo lietadla generuje aerodynamický vztlak, obtekaním tekutiny na jeho povrchu, vytvára rozdiel tlakov na spodnej a vrchnej strane krídla. Spodná strana krídla s vyšším tlakom tlačí krídlo smerom nahor do oblasti s nižším tlakom smerom k hornej strane krídla.

Nevýhodou tohto usporiadania je kavitácia tvoriaca sa na vrchnej strane krídla. Kavitácia redukuje vztlak a zvyšuje odpor a nestabilitu letúnu pri vzlete. Kavitácia spôsobuje poškodenie vodných krídel. V princípe si môžeme predstaviť tisíce malých bubliniek tvoriacich sa na povrchu vodného krídla vďaka poklesu tlaku spôsobeného jeho zakriveným tvarom. Pri tomto javе dochádza k poklesu bodu varu kvapaliny, ktorá obteká daný tvar. Tieto bubliny naplnené plynom po implózii vytvoria miniatúrny prúd vzduchu zasahujúci materiál vodného krídla. Tento proces opakujúci sa tisícnásobne pri množstve vzletov a pristání časom spôsobí narušenie integrity povrchu vodného krídla a tým jeho vlastnosti.

Výhodou môže byť ich schopnosť zdvihnúť letún nad hladinu v dostatočnej výške i pri väčších vlnách. [7]



Obr. 13 Lisa Akoya. [5]

2.2. Názvoslovie plaváku a vybrané pojmy

V tejto podkapitole uvedieme základné názvoslovie plaváku. Plavák je vztlakové zariadenie lietadla, generujúce vztlakovú silu v kľudovom stave a hydrodynamickú vztlakovú silu, pri pohybe dopredu.

Tvar plaváku nápadne pripomína tvar trupu lodí a bol z nich do istej miery aj odvodený. Názvoslovie plavákov bolo dokonca prevzaté z názvoslovia jednotlivých častí lode.



Obr. 14 Poloha základných častí plaváku. Letún Cessna 185. [20]

Trup, (ang. Hull) – Súhrný názov pre telo plaváku. [6]

Dno, (ang. Bottom) – Spodná strana plaváku. [6]

Paluba, (ang. Deck) – Vrchná časť plaváku. [6]

Predná časť tela plaváku – Vzďialenosť od provy k stupňu. [6]

Zadná časť tela plaváku – Vzďialenosť od stupňa ku korme. [6]

Prova, (ang. Bow) (1) – Označuje začiatok prednej časti trupu plaváku. [6]

Korma, (ang. Stern) (2) – Označuje koniec zadnej časti trupu plaváku. [6]

Stupeň, (ang. Step) (3) - Náhle prerušenie kýlu, nachádzajúce sa v najširšom mieste plaváku. Delí plavák na prednú časť a zadnú časť. Slúži k zníženiu hydrodynamického odporu pri vzlete z vodnej hladiny vytvorením oblasti nízkeho tlaku vzduchu. Výsledný sací efekt spôsobí privedenie väčšieho množstva vzduchu medzi turbulentný prúd vody, obtekajúcej plavák a spodok trupu plaváku. Tento prúd vzduchu pomáha k rýchlejšiemu odtrhnutiu prúdu vody od spodnej strany plaváku a redukuje tak vodou omočenú plochu trupu, čím znižuje hydrodynamický odpor a dovoľuje letúnu, vďaka zvýšenej rýchlosti, odpútať sa od vodnej hladiny.

Práve vďaka spomínanej schopnosti generovať oblasť s nízkym tlakom vzduchu, ktorá je tak potrebná pre pohyb vo vode, stupeň značne zhoršuje aerodynamické charakteristiky. [6]

Kýl, (ang. Keel) (4) – Hlavní nosník nachádzajúci sa pozdĺžne na spodnej strane trupu plaváku v rovine osi symetrie. Hlavnou funkciou je celkové vystuženie tvaru plaváku proti nárazom pri pristání. Tvar kýlu taktiež pomáha smerovať trup v priamom smere a zamedzuje bočným zmenám smeru. [6]

Chrbát, (ang. Chine) (5) – Pozdĺžny šev spájajúci vrchné a spodné opláštenie tvoriace trup plaváku. Rozdeľuje trup plaváku na hornú a spodnú časť. [6]

Plutva, (ang. Skeg) (6) – Hrubá platňa, ktorá je pokračovaním kýlu v mieste stupňa. Pokračuje niekoľko centimetrov od stupňa. Jej primárna funkcia je zamedzenie preklopenia letúnu na chvost pri jeho vynesení na pevninu. [6]

Kellson (7) – Dodatočné členy plaváku umiestnené na spodnej strane trupu. Hlavnou funkciou je pomoc pri udržiavaní priameho smeru plavákov a dodanie tvarovej pevnosti. [6]

Ostrekové lišty, (ang. Spray rail) (8) – Namontované na chrbte v prednej časti plaváku blízko provy. Znižujú objem vody zasahujúcej vrtuľu a ďalšie citlivé časti letúnu tým, že smerujú prúd vody nadol a do strán. [6]

Kormidlo, (ang. Rudder) (9) – Umiestnené na korme plaváku. Slúži k usmerneniu pohybu letúnu vo vode.

Vzpery, (ang. Strut) (10) – Spojujú trup plaváku s trupom letúnu. U dvojplavákového letúnu horizontálne vzpery spájajú i oba plaváky.

Vybrané pojmy z problematiky hydroplánov

Pohyb trupu vo vode

Pohyb trupu tlačí molekuly vody nadol a do strany, čím vytvárá vlnu. Pri pohybe na vode vytvárá trup vlny šíriace sa od provy a od kormy do strany. Z pribúdajúcou rýchlosťou trupu vo vode sa ich dĺžka i výška zväčšuje. S vyššou rýchlosťou rastie i výška a vlnová dĺžka vln. Zväčšuje sa omočená plocha trupu a teda hydrodynamický odpor. Hydrodynamický odpor je zvyšovaný aj tým, že so zväčšujúcou sa výškou vln musí trup neustále meniť sklon, aby sa „vyšplhal“ po vlne, ktorú vytvárá prova. Toto zvyšovanie nábehového uhla provy na začiatku režimu kĺzania je spôsobené zvyšujúcim sa normálovým tlakom na prove plaváku a podtlakom na korme. Podtlak v zadnej časti tela plaváku, na začiatku režimu kĺzania spôsobuje poskakovanie. Poskakovanie (ang. Porpoising) je odstránené privedením prúdu vzduchu do tejto časti, čo zaisťuje stupeň. [6]

Dno plaváku je tvarované pre čo najväčší hydrodynamický vztlak. To zamedzí zvyšovaniu hydrodynamického odporu, znížením plochy omývanej vodou a plavák sa dostáva nad rýchlosť trupu.

Režim výtlaku, (ang. Displacement regime) – Statický režim, kedy je letún bez pohybu, nazývame výtlakový režim. Pri ňom drží plavák nad hladinou hlavne hydrostatická vztlaková sila rovná objemu vody vytlačenej plavákom, ako je tomu u lodí a iných vztlakových zariadení [15].

Režim pojazdu, (ang. Taxiing) – V podstate sa jedná o režim, kedy sa letún pohybuje vo vode len veľmi pomalou rýchlosťou, potrebnou pre presun napr. po pristání a decelerácii a presune k doku, alebo naopak pre presun do pozície vhodnej pre vzlet. Po akcelerácii v tomto režime nastáva režim kĺzania [7].

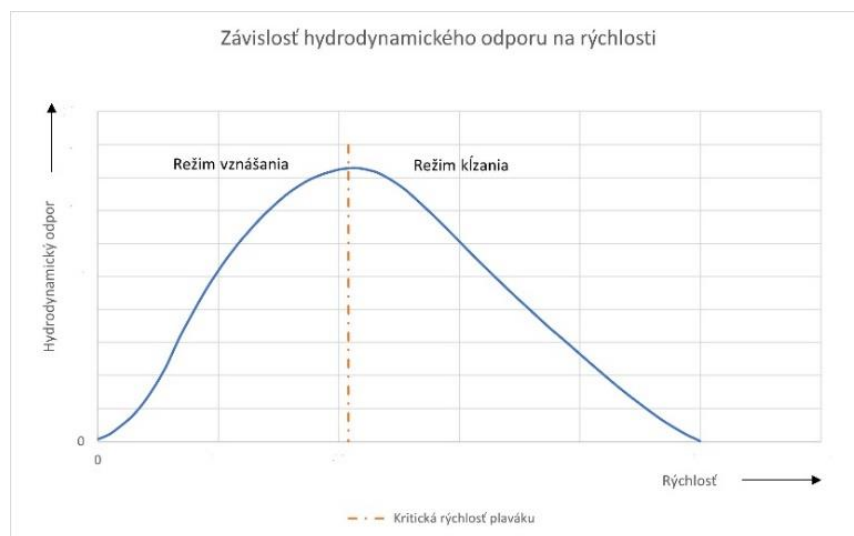
Režim kĺzania, (ang. Planing) – Režim vzletu určený skutočnosťou, že plavák drží nad hladinou hlavne hydrodynamická vztlaková sila. Zvyšovaním rýchlosti rastie hydrodynamická vztlaková sila a trup plaváku sa pomaly dostáva viac a viac nad hladinu. Omočený povrch plaváku sa vďaka hydrodynamickej vztlakovej sile neustále znižuje, čím sa znižuje hydrodynamický odpor a to vďaka rapídne klesajúcemu povrchu omočenej plochy plaváku. Na konci režimu kĺzania dochádza k vzletu. Oba režimy a ich vzťah k hydrodynamickému odporu sú spoločne s kritickou rýchlosťou plaváku naznačené na Obr. 15. [15]

Režim kritickej rýchlosti plaváku, (ang. Hump speed) – Rýchlosť pri ktorej je hydrostatický odpor plaváku maximálny. Oddeľuje režim vznášania a režim kĺzania.

“Na stupni” je lietadlo podporované hydrodynamickým vztlakom, uhol nábehu sa zvyšuje. Na Obr. 15 je tzv. “Hrb” popisujúci príkre stúpanie hydrodynamického odporu.

Čiarkovanou čiarou je označené maximum hydrodynamického odporu prislúchajúce kritickej rýchlosti plaváku. Za týmto bodom klesá hydrodynamický odpor vďaka faktu, že hydrodynamický vztlak vytlačuje plavák nahor a plocha povrchu omývaného vodou sa zniží. Za týmto bodom letún akceleruje rýchlejšie vďaka nižšiemu hydrodynamickému odporu až do vzletu.

Zadná časť tela plaváku sa vplyvom klopenia na chvost a geometrie vnára do vody, kde zvyšuje hydrodynamický odpor vďaka jej tvaru a uhlu stúpania minimálne a podporuje vztlak. Toto vnáranie sa zadnej časti sa nazýva oranie. [15] [18]



Obr. 15 Závislosť hydrodynamického odporu na rýchlosti. [15]

Hydrodynamický odpor – Je odporová sila pôsobiaca na pohybujúce sa teleso v plyne či kvapaline. So zvyšujúcou sa rýchlosťou letúnu stúpa pre plavák hydrodynamický odpor.

Plaváky regulujú silu tohto javu implementáciou stupňa, ktorý pomáha k odtrhnutiu prúdu vody od plaváku, čím zniží omývaný povrch plaváku. A stúpaním prednej časti plaváku, ktorá navyše znižuje ostrek citlivých častí letúnu.

Plavák musí byť tvarovaný tak, aby pomocou hydrodynamického vztlaku, ktorý generuje pri pohybe dopredu, dokázal zdvihnúť plavák na stupeň, čím znižuje hydrodynamický odpor pri pohybe po vodnej hladine a umožňuje letúnu vzlietnuť.

„Dostať sa na stupeň“ – Termín používaný pre popis režimu s minimálnym hydrodynamickým odporom, kedy je váha celého lietadla prakticky výhradne podporovaná hydrodynamickým vztlakom na tzv. “Stupni”. Po tejto poslednej fáze štartu na vodnej hladine je lietadlo schopné nabrať dostatočnú rýchlosť a vzlietnuť. [7]

Dynamická stabilita na vode

Existujú tri hlavné druhy dynamickej nestability u plavákov v režime na stupni: odskakovanie, poskakovanie a trepanie.

Odskakovanie (z ang. Porpoising) – Divergentaná oscilácia spôsobujúca klopenie na nos a na chvost s veľkými amplitúdami a dlhou periódou spôsobená dynamickou nerovnováhou síl pôsobiacich na dno plaváku. Jav sa odohráva pri zmene uhlu nábehu letúnu pri štarte vo chvíli, keď sa letún nachádza v kritickej rýchlosti plaváku a podtlak pôsobiaci na zadnú časť plaváku drží kormu dole.

Môže byť spôsobené:

- Prekročením bezpečného rozmedzia klonenia (Např. pri príliš vysokom uhle klopenia na stupni.).
- Nevhodným umiestnením stupňa buď príliš vpred, alebo príliš za ťažisko lietadla.

Môže byť odstránené:

- Konštrukčným prvkom - stupňom. Ten zlepšuje privedenie prúdu vzduchu medzi zadnú časť plaváku a vodu, čím odstraňuje podtlak držiaci zadnú časť plaváku prisatú k hladine a tým jav odskakovania.

Poskakovanie, (ang. Skipping) – Odrážanie sa od vodnej hladiny. Pohyb podobný pohybu kameňa pri hádzaní žabky. Spôsobené pristávaním pri vysokých rýchlostiach s nosom letúnu v príliš veľkom pozitívnom uhle, vzhľadom k vodnej hladine. Môže byť spôsobená:

- Privysokou rýchlosťou pri pristávaní.
- Stupňom s malou výškou neúčinnom vo vytvorení dostatočného podtlaku a privedení dostatočne veľkého objemu vzduchu, postačujúceho na skoré odtrhnutie objemu vody od plaváku. [7]

Trepanie, (ang. Pattering) – Oscilácia spôsobujúca klopenie na nos a na chvost malými amplitúdami a krátkou periódou. [6]

Sací efekt a jeho dopad na teleso

Sací efekt je založený na skutočnosti, že teleso so zakriveným povrchom pohybujúce sa v kvapaline, vytvorí vďaka obtekanej kvapaline v tejto oblasti krivosti oblasť so záporným tlakom a teda vzniká tzv. podtlak. Tento jav je predpokladom pre návrh krídel, kedy rozdiel tlakov na hornej a spodnej strane krídla, spôsobený obtekaním krídla vzduchom, vytvorí výslednú vztlačovú silu a umožní tak let.

Tento efekt je menší pri nízkych rýchlostiach no zvyšuje sa so zvyšujúcou sa rýchlosťou. Sací efekt v dostatočnej miere spôsobený nevhodnou geometriou, spojenou

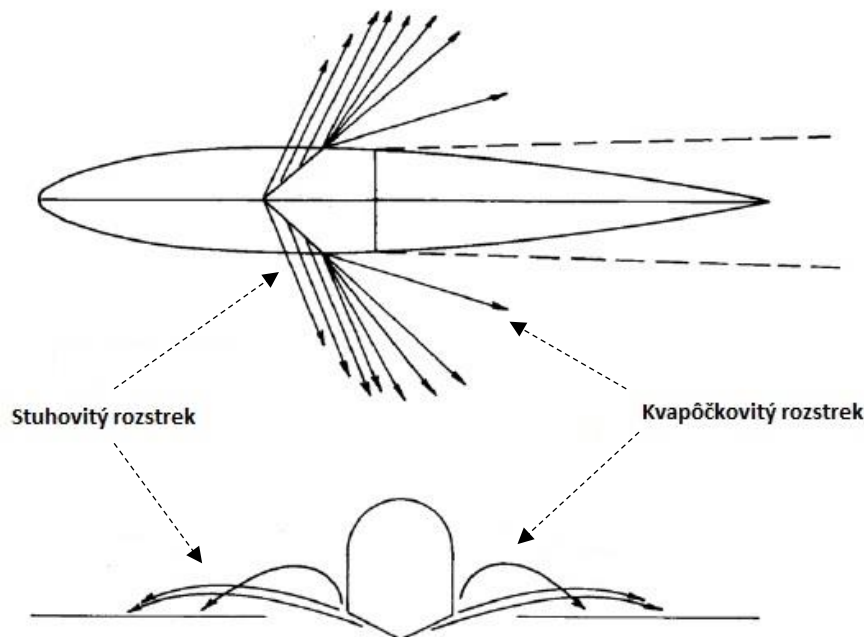
s nedostatočným výkonom stroja, spôsobí neschopnosť letúnu odpútať sa od vodnej hladiny, alebo predĺženie vzletovej dráhy. [21]

Rozstrek plavákov

Rozstrek je spôsobený maximálnym tlakom v mieste, kde najnižšie miesto (Kýl) pristávacej plochy vstupuje do vody. Maximálna výška rozstreku nesmie zasahovať do citlivých častí letúnu. Neustále vystavenie citlivých komponentov letúnu vode, vyúsťuje vo vyššie poškodenie a teda vyššie náklady na prevádzku stroja s pohľadom opráv. Rozstrek plaváku je najväčší práve pri kritickej rýchlosti plaváku. [7] Na Obr. 16 vidíme dva druhy rozstreku:

Stuhovitý rozstrek – Tvorí sa v línii medzi bokom plaváku a hladinou vody. Prúd vody je vymršťovaný do strany od plaváku. Je relatívne ľahký a zahmlieva pilotovi sklo. [7]

Kvapôčkový rozstrek - Je ťažší a oveľa škodlivejší, ako struhovitý rozstrek. Je vymršťovaný nahor a dozadu od plaváku. [7]



Obr. 16 Kvapôčkovitý a Stuhovitý rozstrek. [7]

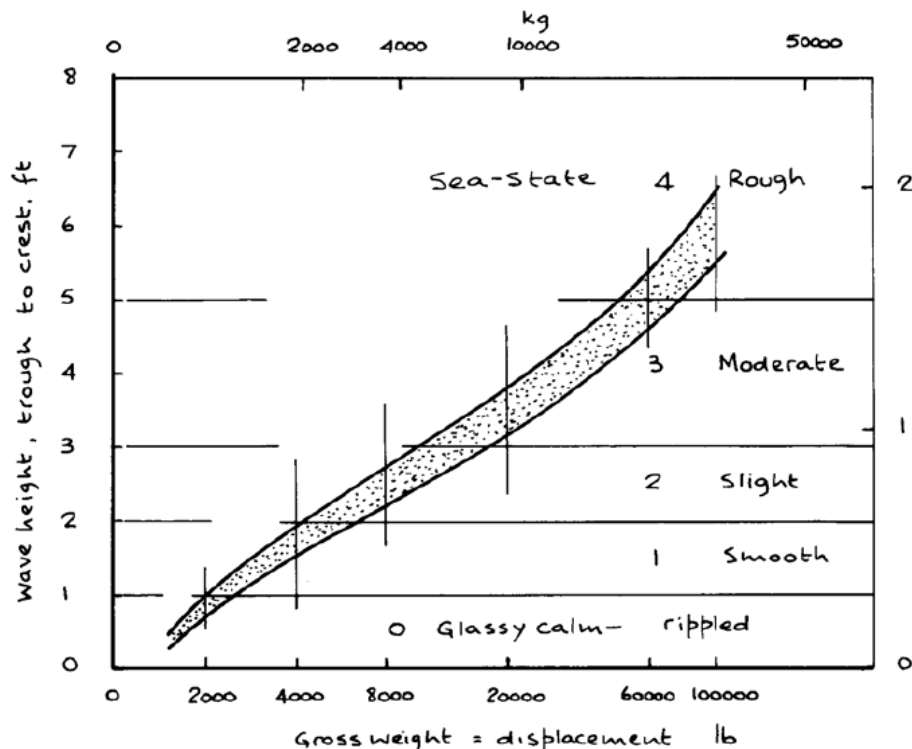
Zamedzenie rozstreku

Rozstreku zamedzujeme:

- Pomocou ostrekových líšt namontovaných na chrbte plaváku. [12]
- Vytvorením odtokového kanálu v chrbte.
- Zakrivením dna, alebo časti dna plaváku v priečnom reze. Vytvorením zakrivenej plochy medzi kýlom a chrbtom plaváku, ktorá odvádza vodu vďaka zakriveniu viac na stranu než klasický "V" tvar spodnej časti trupu plaváku. [9]
- Zvýšením pomeru dĺžky plaváku k jeho šírke (Obecne vhodnou geometriou.). [7]

Výška vln

Väčšina hydroplánu s váhou menšou ako 2000kg nie je schopná operovať vo vlnách vyšších ako 0,45m. Jedným z problémov hydroplánov, menovite pre menšie letúny, je možnosť pristávať na hladine so správnymi podmienkami. Vodná plocha v podobe pobrežia ešte nezaručuje vhodné miesto pre prevádzku hydroplánu. [7] Obr.17 ponúka graf maximálnej výšky vlny vzhľadom k váhe hydroplánu.



Obr. 17 Graf závislosti výšky vlny (Zvislá osa) v stopách k váhe letúnu (Vodorovná osa) v librách. [7]

3. Návrh geometrie

Geometria plaváku je kompromisom medzi jeho aerodynamickými, hydrodynamickými vlastnosťami v každom z režimov pohybu letúnu a jeho hmotnosťou. Tvar plavákov ovplyvňuje let, vzlet, pristanie, pohyb na vode a rozstrekové charakteristiky. Okrem pozdĺžnej a priečnej statickej stability ovplyvňuje aj hydrodynamiku, hydrostatickú stabilitu letúnu a vztlakovú silu generovanú plavákmi.

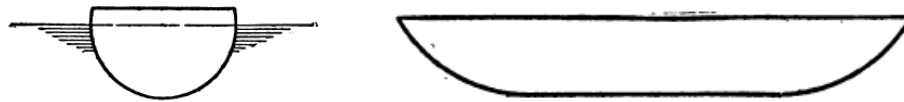
Pre čo možno najlepší výsledok je nutné podrobiť nami zvolenú geometriu testom v aerodynamickom tunely a v hydrodynamickom bazéne, po ktorých by sa prípadne jednotlivé prvky geometrie upravili.

Pretože pre návrh plavákov zatiaľ neexistuje priama metóda budeme pri návrhu geometrie tela plaváku vychádzať z publikácií sa geometrie plaváku od rôznych autorov. Ďalej z testov, štatistík plavákov, ktoré vytvorila NACA (National Advisory Committee for Aeronautics) v 30. až 60. rokoch minulého storočia. Pretože sa návrh plavákov plavákového lietadla a návrh trupu lietajúcich člnov v mnoho podobajú budeme vychádzať i z dokumentov týkajúcich sa návrhu lietajúcich člnov. Tento návrh bude prvou analytickou iteráciou tela plaváku, ktorá by mala poslúžiť následným experimentom ako vstupný údaj.

Preto, aby sme lepšie pochopili prečo sa v prvom rade zaoberáme konkrétnejším tvarom plavákov je dobré pochopiť dôvody výberu tohoto tvaru. Najprv sa musíme zoznámiť s požiadavkami na tvar plaváku. Tie sú nasledovné:

- Dostatočný hydrodynamický vztlak a statická stabilita.
- Odstránenie scieho efektu v čo možno najväčšej miere.
- Redukcia omočenej plochy plaváku z dôvodu zníženia hydrodynamického odporu.
- Redukcia tvorby rozstreku.
- Dosiahnutie dynamickej stability na vode.
- Dosiahnutie statickej stability.
- Manévrovateľnosť a riadenie.
- Redukcia aerodynamického odporu
- Jednoduchá údržba a opravy. [21]

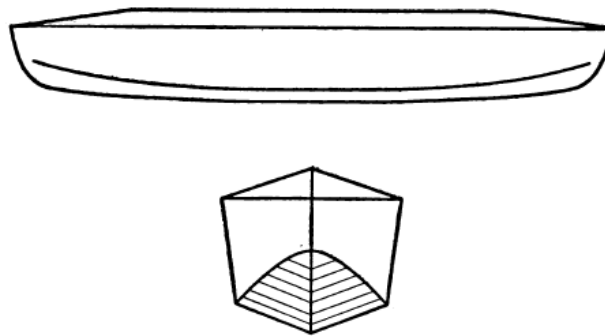
Geometria klasického tvaru dnešných plavákov nie je dielom náhody, ale výsledkom usilovnej práce a vývoja. V prvých fázach vývoja bol hlavným faktorom pre návrh plaváku hydrodynamický odpor pri vzlete. Prvé tvary dna plaváku boli jednoduché roviny, celkovo plaváky boli v tvare podobnom kvádru. Veľmi rýchlo sa začalo experimentovať so zaoblením hrán v snahe znížiť hydrodynamický odpor. V snahe vyvinúť tvar s čo možno najmenším hydrodynamickým odporom to znamenalo vytvoriť formu plaváku, ktorý znižuje silu scieho efektu a s čo možno najmenšou omočenou plochou pre zníženie hydrodynamického odporu. Výsledný tvar plavákov v priečnom reze bol vo forme semi-kruhu s priemerom v mieste čiary ponoru Obr. 18. [21]



Obr. 18 (v ľavo) Rez plavákom, (v pravo) semi-válec s ogívnou geometriou. [21]

Pozdĺžny tvar bol teda semi-válec zakončený ogívnou geometriou a to rovnako na prove i korme. (Ogívnou geometriu je dnes možno nájsť napríklad na špičke nábojov pre malé ráže zbraní.) Zatiaľ čo nízke a stredné rýchlosti preukazovali uspokojivý rozstrek so zvyšujúcou rýchlosťou, rozstrek nadobúdal priveľký rozsah. Vďaka veľkému saciemu efektu sa navyše vo veľkých rýchlostiach plavák vnáral do vody.

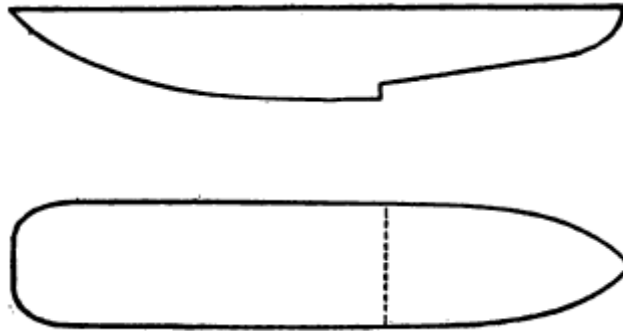
Po týchto zisteniach bol ďalšou skúšanou geometriou dna "V" tvar, Obr. 19 Tento typ plaváku bol vyvinutý z tvaru dna člnov. Vykazoval dobré rozstrekové charakteristiky v prednej časti plaváku. Zadnej časti dna plaváku naďalej dominovali kruhové tvary, spôsobujúce silný sací efekt pri vzlete. [21]



Obr. 19 "V" tvar dna plaváku. [21]

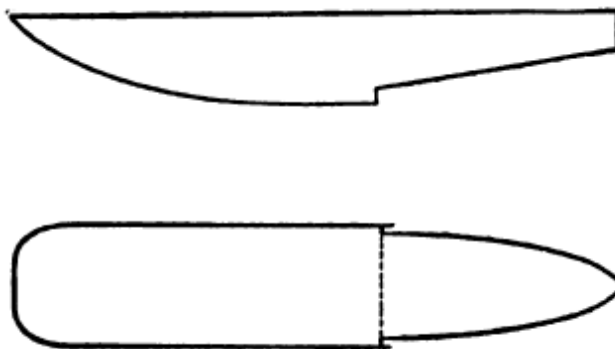
Ďalším krokom na Obr.20 vo vývoji bol konštrukčný prvok v podobe stupňa, ktorý redukoval sací efekt tým, že privádzal do miesta jeho umiestnenia väčší objem vzduchu pomocou podtlaku. Tento privedený vzduch spôsoboval skoršie odtrhávajúce objemu vody od plaváku a tým redukoval sací efekt.

Novou úpravou bolo taktiež zredukovanie objemu zadnej časti plaváku z dôvodu hydrodynamického odporu v snahe redukcii veľkého sacieho efektu pri navýšení uhlu nábehu a redukcii hmotnosti. Nevýhodou tohto usporiadania bol fakt, že zadná časť plaváku tvorená v priečnom reze semi-válcom, ako v prvom skúmanom prípade, stále spôsobovala v rýchlostiach blízkyh v_{s0} silný sací efekt, zamedzovala dosiahnutie vzletových rýchlostí a spôsobovala nestabilitu. [21]



Obr. 20 Plavák s modifikáciou v podobe stupňa a redukovaného objemu zadnej časti. [21]

Tento nový tvar sa do veľkej miery podobal moderným plavákom. Ako sme spomínali priniesol pozitívne zistenie, že použitím stupňa sa dá oslabiť vplyv sacieho efektu na plavák a tým zlepšiť vzletové charakteristiky. Problém sacieho efektu zadnej časti plaváku sa postupne v priebehu experimentov upravil zmenou podoby dna v priečnom reze do tvaru "V". Problém vody stúpajúcej po bokoch plaváku a po zadnej časti, kde vyústila v jeden veľký prúd, bol odstránený bočnými stupňami, ktoré sú na Obr.21. [21]



Obr. 21 Úprava geometrie zmenou tvaru dna zadnej časti plaváku. [21]

Plaváky v začiatkoch ich vývoja mali spoločné tieto hlavné prvky geometrie:

- Eliptický tvar dna v bokoryse prednej časti plaváku odvodený z tvaru kýlu časti lodí.
- Prerušenie línie kýlu "Stupňom" nachádzajúcim sa blízko ťažiska plaváku, ktorý zamedzuje saciemu efektu.
- Rovné (tj. nezakrivené dno napr. tvaru "V"), šikmo nahor stúpajúce dno zadnej časti plaváku smerom od stupňa ku korme, ktoré zamedzuje saciemu efektu.
- "V" tvar dna poskytujúci konštrukčne najjednoduchší a postačujúci tvar pre pohyb vo vode. Alebo tvar "V" s vybraním, konštrukčne náročnejší zlepšujúci rozstrekové vlastnosti.

Objem plavákov

Plaváky sú nadľahčované vztlakovou silou rovnajúcou sa hmotnosti vody plavákmi vytlačenej. Označíme ju F_{VZ} .

Objem plavákov sa rovná objemu vytlačenej kvapaliny. Pre vztlakovú silu platí vzťah [17]:

$$F_B = V_T \cdot \rho \cdot g = \Delta_0 \quad (4.1)$$

- Kde F_B – Vztlaková sila.
 V_T – Objem telesa.
 Δ_0 – Hmotnosť kvapaliny vytlačenej telesom.
 ρ – Hustota kvapaliny v ktorej je teleso ponorené.
 g – Gravitačné zrýchlenie.

Schopnosť telesa plávať na hladine je vyjadrená rozdielom gravitačnej sily F_G a vztlakovej sily F_B ako sila, F_{net} . Odvodíme ju z rovnosti vztlakovej a gravitačnej sily [6]:

$$F_G = F_B \quad (4.1)$$

$$F_{net} = F_G - F_B \quad (4.2)$$

$$F_{net} = m \cdot g - V_T \cdot \rho \cdot g \quad (4.3)$$

- Kde F_B – Vztlaková sila.
 F_G – Gravitačná sila.
 V_T – Objem telesa.
 ρ – Hustota kvapaliny v ktorej je teleso ponorené.
 g – Gravitačné zrýchlenie.
 m – Hmotnosť letúnu. Je nutné uvažovať maximálnu vzletovú váhu MTOW.

Schopnosť telesa plávať na hladine rozhodneme z nasledujúcich logických podmienok:

- $F_{net} > 0$ Teleso nie je schopné sa vznášať, potopí sa. (Váha je vyššia ako vztlaková sila.)
- $F_{net} < 0$ Teleso je schopné sa vznášať, pláva na hladine. (Váha je nižšia ako vztlaková sila.)

Objem telesa spočítame porovnaním gravitačnej sily, F_G , a vztlakovej sily, F_B dosadením do rovnice (5.2) a vyjadrením V_T . [6]

Podľa predpisu CS-23.751 musí mať každý plavák vztlak o 80% vyšší ako je hmotnosť, ktorú ponesie.

Výsledný objem teda musíme navýšiť o 80% [36]:

$$V_p = \frac{m}{\rho} \cdot 1,8 \quad (4.5)$$

- Kde V_p – Objem plaváku.
 ρ – Hustota kvapaliny, v ktorej je teleso ponorené.
 g – Gravitačné zrýchlenie.
 m – Hmotnosť letúnu. Je nutné uvažovať maximálnu vzletovú váhu MTOW.

Stanovenie objemu plaváku

Dosadením polovice maximálnej váhy letúnu v danej kategórii (max. 650kg) do rovnice (4.5) dostávame objem jedného plaváku.

$$V_p = \frac{325}{1024} \cdot 1,8 = 0,571 \text{ m}^3$$

3.1. Štíhlostný pomer plaváku

Štíhlostný pomer z hľadiska hydrodynamiky

Je pomer celkovej dĺžky plaváku a jeho šírky v mieste stupňa. Príliš veľká dĺžka a šírka plaváku zvyšuje váhu a aerodynamický odpor. Príliš malá zase zhoršuje hydrodynamické a rozstrekové charakteristiky a tie zase zvyšujú cenu údržby. [19]

Testy NACA preukázali, že zvyšovanie štíhlostného pomeru plaváku u 4 testovaných štíhlostných pomerov odvodených z materskej geometrie (5,07 ; 6,19 ; 7,32 ; 8,45) vedie k [25]:

- Zníženiu hydrodynamického odporu pri kritickej rýchlosti plaváku.
- Zníženie hydrodynamického odporu pri vyšších rýchlostiach.
- Znižuje výšku hlavného prúdu vody rozstrek.
- Znižuje rozstrek provy pri pomalom pohybe v rozbúrenej vode.
- Zmenšuje stabilitu letúnu, trim.

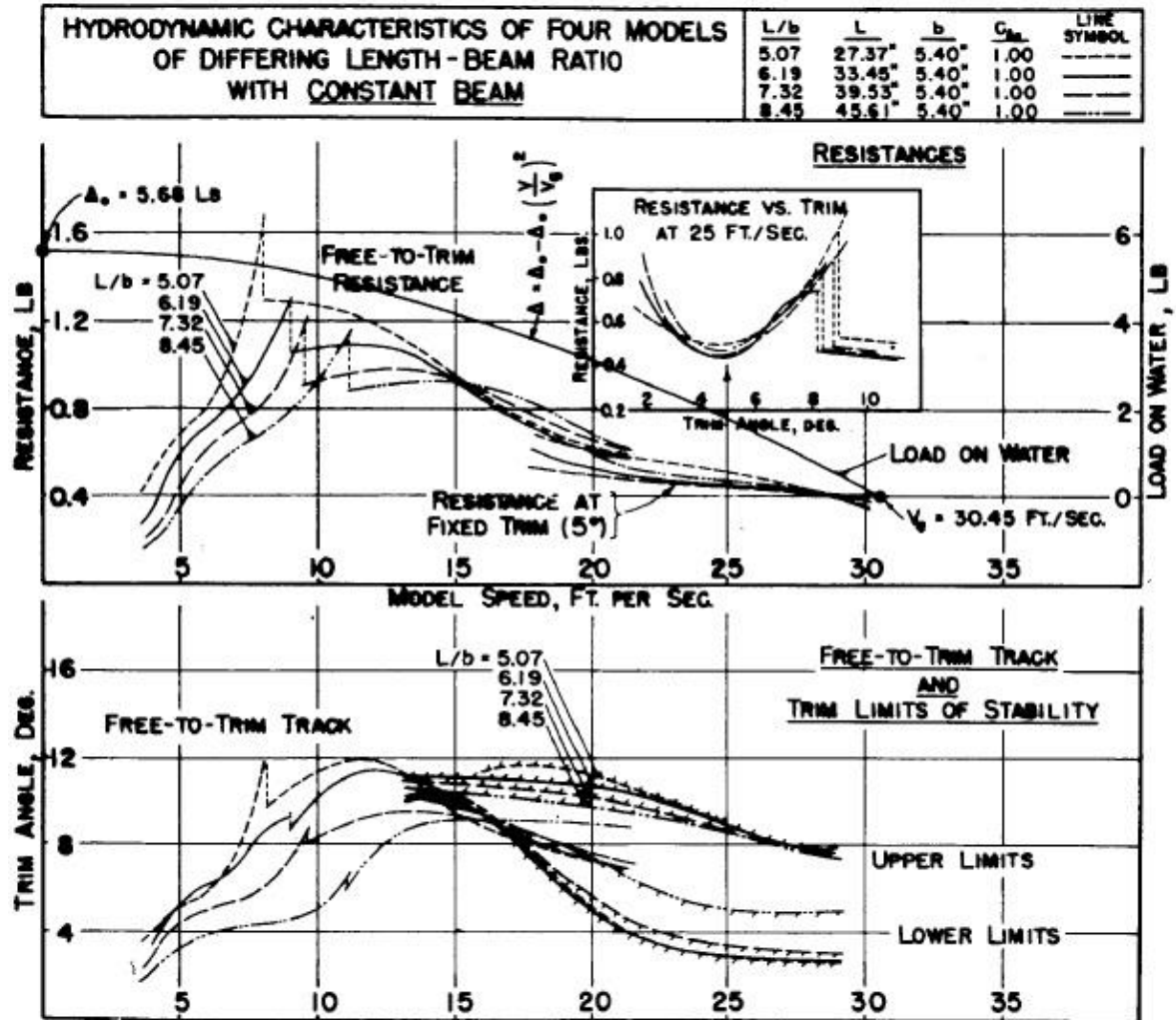
Výsledok štúdie NACA z grafu na Obr 22 bol nasledovný:

- Štíhlostný pomer 5,07 abnormálne zvyšuje hydrodynamický odpor a rozstrek. Je teda príliš malý.
- Štíhlostný pomer 8,45 abnormálne redukuje stabilný interval trimu. Spôsobuje nestabilitu pri pristání. Je teda príliš veľký. [25]

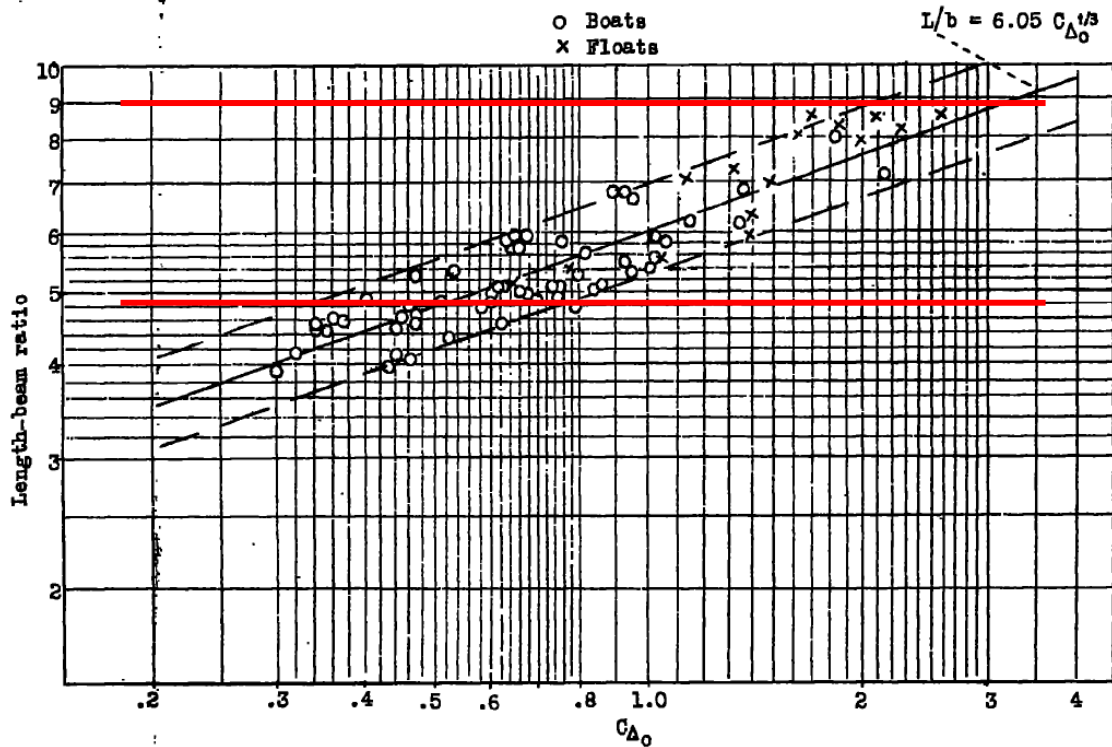
Z grafu na Obr. 22 môžeme pozorovať, že nakoľko zníženie v hydrodynamickom odpore pri kritickej rýchlosti plaváku zo štíhlostného pomeru 5,07 na 6,19 bolo veľké, každé ďalšie zníženie už znížilo celkový hydrodynamický odpor pri kritickej rýchlosti plaváku len

nepatrne [25]. Výsledky ďalšej tejto štúdie zasa naznačujú, že hydrodynamické charakteristiky sa medzi štíhlostným pomerom 9 a 10 už nezlepšujú. [26]

Najširší rozsah stabilných uhlov trimu môžeme pozorovať v nižších hodnotách štíhlostných pomerov medzi 5,07 až 7,32. Stabilita pri pristání a vzlete je dôležitým ukazovateľom a podstatným dôvodom výberu štíhlostného pomeru.



Obr. 22 (Hore) Graf závislosti hydrodynamického odporu (Zvislá osa) na rýchlosti (vodorovná osa). (Dole) Graf závislosti stabilného uhlu nábehu (Zvislá osa) na rýchlosti (Vodorovná osa). [25]



Obr. 23 Pomer celkovej dĺžky plaváku k šírke plaváku v mieste stupňa (Zvislá osa) k súčiniteľu zaťaženia (Vodorovná osa). Plavákové letúny sú označené krížikom. [19]

Štatistika na Obr.23 ukazuje, že priemerná hodnota štíhlostného pomeru plavákov úspešných letúnov je 7,35. [19]

Štíhlostný pomer z hľadiska aerodynamiky

Štíhlostný pomer samozrejme vplýva i na aerodynamiku. Pri výbere štíhlostného pomeru z aerodynamického hľadiska sme pre konštantný objem plaváku, ktorý sme nahradili valcom menili jeho štíhlostný pomer a sledovali ako sa dôsledkom tohoto procesu mení aerodynamický odpor plaváku.

Pre výpočet odporu sme volili vzťahy pre výpočet odporu trupového telesa [30]:

$$c_{Dfus} = c_{D0fus} + c_{DLfus} \quad (4.6)$$

- Kde c_{Dfus} – Celkový odpor trupového telesa.
 c_{D0fus} – Odpor trupu pri nulovom vztlaku.
 c_{DLfus} – Odpor trupu pri nenulovom vztlaku.

$$c_{D0fus} = R_W \cdot c_{ffus} \cdot \left\{ 1 + \frac{60}{\left(\frac{l_f}{d_f}\right)^3} + 0,0025 \left(\frac{l_f}{d_f}\right) \right\} \cdot \frac{S_{wet fus}}{S} + c_{Dbfus} \quad (4.7)$$

- Kde R_W – Interferenčný faktor sústavy krídlo/trup. Pre samotný trup bez interferencie krídla rovný 1.

c_{ffus} – Súčiniteľ pre turbulentný odpor trupu. Závislý na:

$$R_N = \rho \cdot U_1 \cdot l_f / \mu \quad (4.8)$$

Kde R_N – Funkcia Machového a Reynoldsového čísla.
 ρ – Hustota vzduchu vo výške 0m.
 U_1 – Vybraná rýchlosť letúnu. (Cestovná rýchlosť)
 μ – Dynamická viskozita vzduchu (20°C).

l_f – Dĺžka trupu.
 d_f – Maximálny priemer trupu.
 $S_{wet fus}$ – Omočená plocha trupu
 S – Plocha krídla.
 c_{Dbfus} – Dnový odpor.

$$c_{Dbfus} = \left[0,029 \cdot \left(\frac{d_b}{d_f} \right)^3 / \left\{ c_{D0fus-base} \cdot \left(\frac{S}{S_{fus}} \right) \right\}^{1/2} \right] \cdot \left(\frac{S_{fus}}{S} \right) \quad (4.9)$$

Kde c_{Dbfus} – Dnový odpor.
 d_b – Základný priemer trupu.
 d_f – Maximálny priemer trupu.
 $c_{D0fus-base}$ – Súčiniteľ odporu pri nulovom vztlaku bez základne.
 S_{fus} – Maximálna plocha priečného rezu trupu.
 S – Plocha krídla.

$$c_{DLfus} = 2 \cdot \alpha^2 \cdot \frac{S_{bfus}}{S} + \eta \cdot c_{Dc} \cdot |\alpha|^3 \cdot \frac{S_{plffus}}{S} \quad (4.10)$$

Kde α – Uhol nábehu trupu.
 S_{bfus} – Plocha základne trupu.
 η – Pomer odporu konečného valca a nekonečného valca.
 c_{Dc} – Súčiniteľ odporu pre valec.
 S_{plffus} – Plocha pôdorysu trupu.

Z objemu valca si vyjadríme jeho polomer:

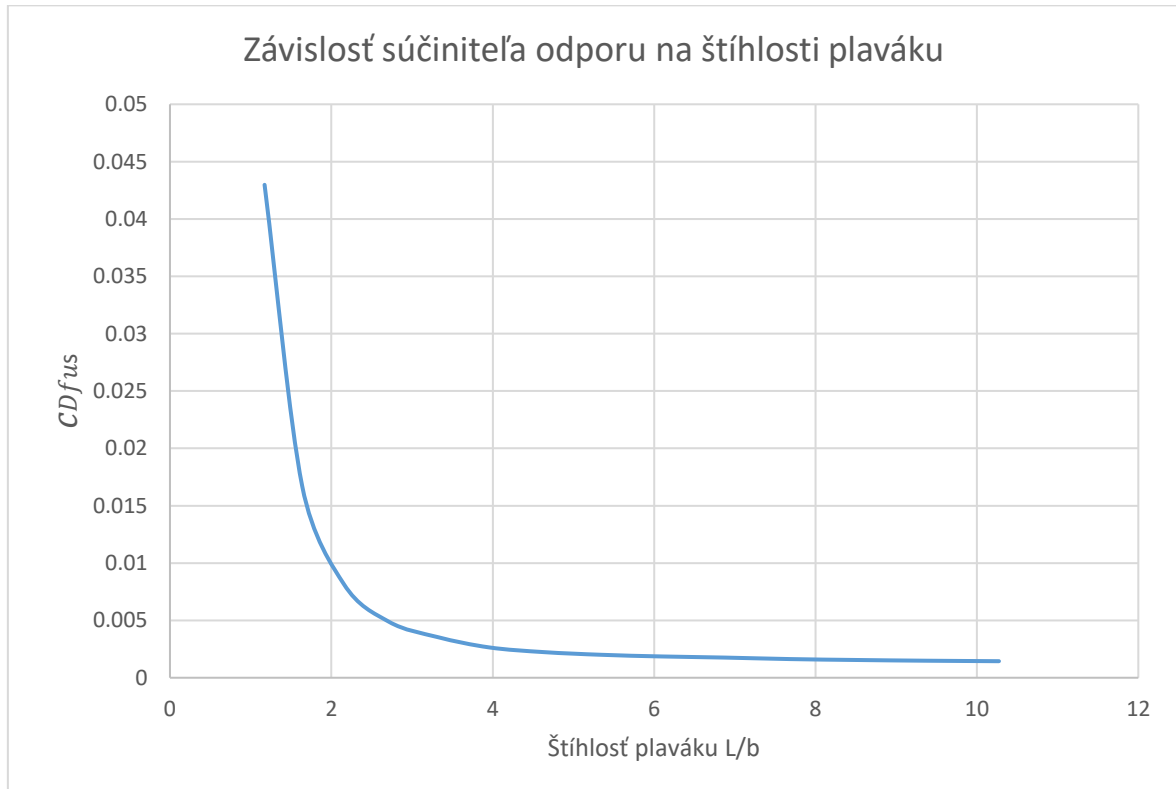
$$V_T = \pi \cdot r^2 \cdot h_V \quad (4.11)$$

Kde V_T – Objem telesa.
 r – Polomer podstavy valca.
 h_V – Výška valca.

Polomer valca:

$$r = \sqrt{\frac{V_T}{\pi \cdot h_V}} \cdot 2 \quad (4.12)$$

Pre polomer závislý na objeme valca získame príslušné dĺžky. Takto môžeme zostaviť štíhlosti valca v rozmedzí 1 až 10. Dosadením príslušných hodnôt do rovníc (4.6) až (4.12) získame závislosť súčiniteľa odporu na štíhlostnom pomere plaváku.



Obr. 24 Závislosť súčiniteľa odporu trupu na štíhlosti plaváku.

Z grafu na Obr.24 môžeme pozorovať, že zvyšovaním štíhlostného pomeru plávku klesá hodnota súčiniteľa odporu. Potvrdzujú to i testy NACA [28]. Interval štíhlostného pomeru pre plaváky plavákového letúna je zaujímavý v intervale 6 až 9. Do hodnoty štíhlostného pomeru 6 vidíme relatívne rýchly pokles súčiniteľa odporu nasledovaný stabilným veľmi mierne klesajúcim intervalom až do 9 kedy vidíme, že ďalšie zvyšovanie štíhlosti už prináša len malé znižovanie odporu plaváku a naopak by mohlo príliš zvýšiť jeho hmotnosť.

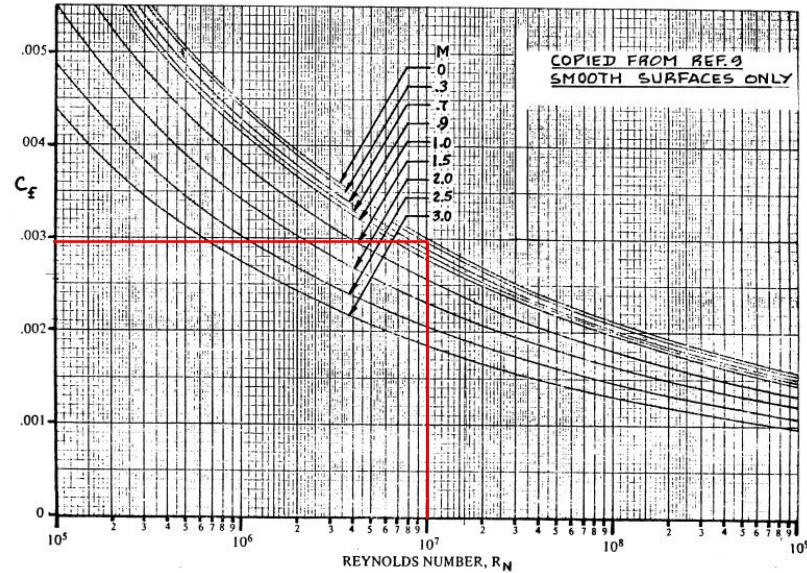
Príklad výpočtu

Príklad výpočtu pre $b = 0,473$ m a dĺžku plaváku $l_f = 3,25$ m. Štíhlostný pomer je:

$$\frac{l_f}{b} = \frac{3,25}{0,47} = 6,87$$

c_{D0fus} bez c_{Dbfus} :

$$R_{Nfus} = \frac{1,225 \cdot 48,61 \cdot 3,25}{0,00001825} = 10604547.18$$



Obr. 25 Závislosť turbulentného odporu na funkcii Reynoldsového čísla a Machového čísla. [30]

$$c_{D0fus} = 1 \cdot c_{ffus} \cdot \left\{ 1 + \frac{60}{\left(\frac{3,25}{0,473}\right)^3} + 0,0025 \left(\frac{3,25}{0,473}\right) \right\} \cdot \frac{5,182}{12} = 0,00149$$

$$c_{Dbfus} = \left[0,029 \cdot \left(\frac{0,284}{0,473}\right)^3 / \left\{ 0,0015 \cdot \left(\frac{12}{0,176}\right) \right\}^{1/2} \right] \cdot \left(\frac{0,176}{12}\right) = 0,00019$$

$$c_{DLfus} = 2 \cdot -0,0632^2 \cdot \frac{0,0633}{12} + 0,641 \cdot 1,2 \cdot |-0,0632|^3 \cdot \frac{1,538}{12} = 6,704 \cdot 10^5$$

$$c_{Dfus} = 0,00169 + 6,704 \cdot 10^5 = 0,00176$$

Stanovenie štíhlostného pomeru plaváku

Interval štíhlostných pomerov, z ktorých môžeme vyberať hodnoty pre plavák, je podľa doporučení v intervale 5 až 9 [6]. Z grafu na Obr.25 môžeme usudzovať, že hľadáme interval, ktorý je čo možno najvyššie ideálne nad štíhlostným pomerom 6, ale nezasahuje do extrémnych hodnôt teda 8,45. [26] [27] S hydrodynamického hľadiska môžeme pozorovať, že so zvyšujúcou sa hodnotou štíhlosti klesá hydrodynamický odpor proti hodnote hydrodynamického odporu pri štíhlosti 5,07 nasledovne:

- O 23% pri štíhlosti 6,19.
- O 28% pri štíhlosti 7,32.
- O 32% pri štíhlosti 8,45.

S aerodynamického hľadiska môžeme z grafu na Obr.24 pozorovať, že so zvyšujúcou sa štíhlosťou klesá aerodynamický odpor. Avšak nesmieme zabudnúť, že so zväčšujúcou sa štíhlosťou klesá hydrodynamická stabilita plaváku. Našou snahou by malo byť zachovanie dostatočnú stabilitu letúnu pri vzlete a pristání pri čo možno najväčšej redukcii aerodynamického a hydrodynamického odporu.

Vidíme, že sa snažíme o čo možno najvyššiu štíhlosť, ktorú obmedzuje podmienka hydrodynamickej stability (Štíhlosť 8,45). Medzi štíhlosťou 7,32 až 8,45 dôjde podľa testov NACA k poklesu hydrodynamického odporu len o 4% pričom dôjde k značenému obmedzeniu stability plaváku. Toto je dôležitý poznatok pre ďalšie úpravy dĺžky a šírky plaváku po testoch modelu. Hľadanou hodnotou je teda s najväčšou pravdepodobnosťou hodnota s intervalu štíhlostných pomerov 7 až 8.

Referencia [9] ponúka v tomto ohľade oporný bod. Zo štatistik letúnov vyplýva, že hodnota 7,5 je vhodná počiatočná štíhlosť pre prvotný návrh plaváku.

3.2. Prehľad súčiniteľov

Súčinitele v teórii plaváku nám pomáhajú lepšie porovnať jednotlivé aspekty geometrie plaváku vztiahnutím rôznych charakteristík, ako napríklad váhy lietadla, na základný geometrický parameter. Preto je nutné ich predstaviť najprv pre lepšie porozumenie vzťahom, ktoré budú nasledovať. U plavákov je základnou geometrickou charakteristikou šírka plaváku v mieste stupňa.

Súčiniteľ zaťaženia

V najpoužívanejších empirických vzťahoch NACA pre základné určenie jednotlivých prvkov geometrie plaváku často vystupuje bezrozmerná hodnota: súčiniteľ zaťaženia, c_{Δ_0} , je ním vyjadrené zaťaženie plaváku. Vhodné hodnoty súčiniteľa zaťaženia pre základný návrh plaváku sa pohybujú v rozmedzí 1 až 2. [6]

Súčiniteľ zaťaženia je nástroj pre lepšiu predstavu rozstrekových charakteristík plavákov. Porovnávaním miery rozstreku pre rôzne zaťažené šírky plavákov a sledovaním miery rozstreku, ktoré tieto rôzne pomery spôsobovali, vznikla predstava o správnych hodnotách súčiniteľa zaťaženia. Práve na základe overených hodnôt rozstreku plavákov budeme pre návrhovú fázu geometrie určovať vhodnú šírku plaváku, jeho štíhlosť no i ďalšie geometrické charakteristiky. [16]

Pretože je súčiniteľ zaťaženia závislý na reakčnej sile rovnajúcej sa hmotnosti vody vytlačenej telesom, v našom prípade letúnom, jeho hodnota sa postupne blíži a je rovná nule práve pri vzlete z vodnej hladiny.

Charakteristiky, ktoré zvyšovaním súčiniteľa zaťaženia ovplyvňujeme sú nasledovné [23]:

- Zvyšuje výšku a intenzitu rozstreku.
- Zhoršuje ovládanie hydroplánu.
- Redukuje pomer Δ_0/R v režime kritickej rýchlosti plaváku. Kde R je hydrodynamický odpor a Δ_0 je hmotnosť letúnu.

Maximálny súčiniteľ zaťaženia plaváku sa dá spočítať použitím nasledujúceho vzťahu z literatúry [6] :

$$c_{\Delta_0} = \frac{F_{VZ}}{\rho_w b^3} = \frac{\Delta_0}{\rho_w b^3} \quad (4.13)$$

- Kde
- c_{Δ_0} – Súčiniteľ zaťaženia.
 - Δ_0 – Hmotnosť letúnu.
 - F_{VZ} – Vztlková sila.
 - ρ_w – Hustota kvapaliny ,v ktorej je teleso ponorené.
 - b – Šírka plaváku v mieste stupňa.

Medzi ostatné súčinitele používané pri posudzovaní vlastností plavákov patrí [6] :

Súčiniteľ odporu:

$$c_R = \frac{R}{\rho_w b^3} \quad (4.14)$$

Rýchlostný súčiniteľ:

$$c_V = \frac{V}{\sqrt{g \cdot b}} \quad (4.15)$$

Súčiniteľ klopivého momentu:

$$c_M = \frac{M_Z}{\rho_w b^4} \quad (4.16)$$

- Kde
- c_R – Súčiniteľ zaťaženia.
 - c_V – Rýchlostný súčiniteľ.
 - c_M – Súčiniteľ klopivého momentu.
 - R – Hydrodynamický odpor.
 - V – Rýchlosť.
 - M_Z – Klopivý moment.
 - Δ_0 – Hmotnosť letúnu.
 - F_{VZ} – Vztlková sila.
 - ρ_w – Hustota kvapaliny, v ktorej je teleso ponorené.

b – Šírka plaváku v mieste stupňa.

Stanovenie hodnôt pre súčiniteľ zaťaženia

Vhodné hodnoty súčiniteľa zaťaženia sa pohybujú v rozmedzí 1 až 2 pre plavákové letúny. [6] Funkciou tohto intervalu je predovšetkým ponúknuť konštruktérovi hodnoty, pre ktoré by jeho plavák mal dosahovať rozumné rozstrekované charakteristiky vzhľadom k rovnici (4.13). Súčiniteľ zaťaženia slúži, ako vstupný údaj vytvorený na základe testov a pomáha lepšie odhadnúť veľkosť geometrických prvkov plaváku. Finálna geometria plaváku, ktorú pomocou súčiniteľa zaťaženia definujeme musí podstúpiť prototypové testy pred konečným definovaním rozmerov geometrie.

Pre súčiniteľ zaťaženia nášho návrhu plaváku sme sa preto rozhodli vybrať strednú hodnotu tohto intervalu. V tomto prípade by sme nedodržali nami stanovenú štíhlosť plaváku vzhľadom na vzťahy, ktoré budeme používať. Naša návrhová hodnota súčiniteľa zaťaženia bude teda $c_{\Delta_0} = 1,05$.

Súčiniteľ rozstrekú

Súčiniteľ rozstrekú je bezrozmerná veličina udávajúca mieru rozstrekú plaváku. Mení sa takmer lineárne s rozstrekovými charakteristikami a je preto vhodný pre porovnávanie efektu, akým je zmena pomeru L_f/b . Bol určený z analýzy miery rozstrekú existujúcich lietajúcich člnov. Úroveň škodlivosti rozstrekú môžeme pre konkrétny plavák vybrať podľa našich požiadaviek z Tabuľky 5. [24]

Existuje niekoľko NACA správ, kde sa vyskytujú rozdielne intervaly a odporúčenia pre konštantu " k " vzhľadom na použitý vzťah pre štíhlostný pomer.

Stanovenie hodnoty pre súčiniteľ rozstrekú

Hodnoty súčiniteľa rozstrekú sa nachádzajú v rozmedzí 0,0525 až 0,0975. Pre prvý návrh prednej časti plaváku je pri optimálnych podmienkach prevádzky doporučené vybrať hodnotu súčiniteľa rozstrekú 0,0675 alebo 0,0825 pre rovnicu (4.17).

Optimálnymi podmienkami je myslená prevádzka letúnu bez zbytočného preťažovania a pri optimálnych poveternostných podmienkach i výške vln. Koeficient 0,0975 je rezervovaný pre náročné požiadavky, obyčajne v bojových situáciách pre účely armády, kedy je letún často preťažený a operuje vo vysoko rozbúrenej vode. Toto nie sú podmienky bežnej prevádzky a pre nás teda nezaujímavé. [24]

Úroveň škodlivosti rozstreků	Hodnota konstanty k
Velmi ľahký	0,0525
Uspokojivý pre optimálne podmienky	0,0675
Akceptovateľný pri preťažení	0,0825
Nadmerný	0,0975

Tabuľka 5 Úroveň škodlivosti rozstreků. [8]

Kombináciou vzťahu pre súčiniteľ zaťaženia (4.2) a vzťahu popisujúcemu koreláciu súčiniteľa zaťaženia (4.8) dostávame nasledujúci vzťah pre súčiniteľ rozstreků:

$$k = \frac{\Delta_0}{\rho_w b L_f^2} \quad (4.17)$$

- Kde k – Súčiniteľ rozstreků.
 Δ_0 – Hmotnosť letúnu.
 ρ_w – Hustota kvapaliny v ktorej plavák operuje.
 b – Šírka plaváku v mieste stupňa.
 L_f – Dĺžka prednej časti plaváku.

Stanovenie hodnôt pre súčiniteľ rozstreků

Pre konštantu súčiniteľ rozstreků sme sa rozhodli voliť hodnotu 0,0825. Hodnotu 0,0825 volíme z dôvodu, že testy preukazujú mierny rozstrek centrálnej časti trupu plavákového lietadla pri kritickej rýchlosti plaváku, ale nie pri nižších, alebo vyšších rýchlostiach. Vrtuľa i zbytok letúnu pri testoch ostali čisté.

Menšie hodnoty sú taktiež vhodné pre použitie no zvýšili by dĺžku plaváku a tým i jeho váhu. Pretože nám ide v prvom rade o zamedzenie rozstreků citlivých častí, je výber hodnoty 0,0825 z pohľadu nižšej celkovej váhy plaváku pri zachovaní rozumných rozstrekových charakteristík opodstatnený.

3.3. Dĺžka a šírka plaváku

Dĺžka a šírka prednej časti plaváku sú dôležité. Do istej miery na nich závisia parametre zadnej časti tela plaváku aspoň pri počiatočnom návrhu. [23]

Šírka plaváku v mieste stupňa

Najširšia časť ponorenej časti plaváku sa nachádza v mieste stupňa.

Šírka plaváku ovplyvňuje tieto vlastnosti:

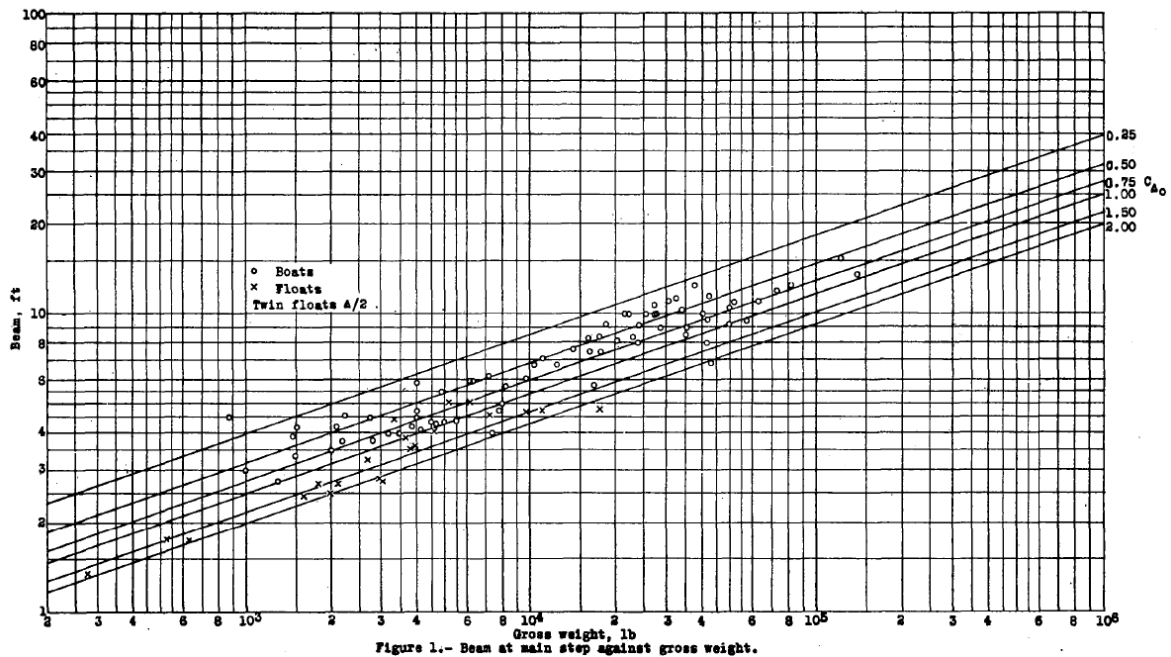
- Priveľká dĺžka a šírka prednej časti plaváku spôsobujú zvýšený aerodynamický odpor a zvýšenie hmotnosti. [8]

- Príliš krátky a úzky plavák zase zhoršuje rozstrekové charakteristiky, stabilitu a operácie v rozbúrenej vode. [8]
- Zvyšovanie šírky plaváku znižuje súčiniteľ zaťaženia a teda rozstrek plaváku. [8]

Empirický vzťah pre šírku plaváku odvodený zo štatistík niekoľkých úspešných modelov plavákov založený na ich rozstrekových charakteristikách [6] :

$$b = \sqrt[3]{\frac{\Delta_0}{c_{\Delta_0} \cdot \rho_w}} \quad (4.18)$$

- Kde Δ_0 – Hmotnosť vody vytlačenej plavákmi.
 c_{Δ_0} – Súčiniteľ zaťaženia.
 ρ_w – Hustota kvapaliny.
 b – Najväčšia šírka plaváku.



Obr. 26 Štatistika: Šírka plaváku pre jednotlivé váhové kategórie hydroplánov v stopách (Zvislá osa) vztiahnutá k váhe letúnu v librách (Vodorovná osa). Krížikom sú označené plavákové lietadlá. [19]

Dĺžka prednej časti plaváku

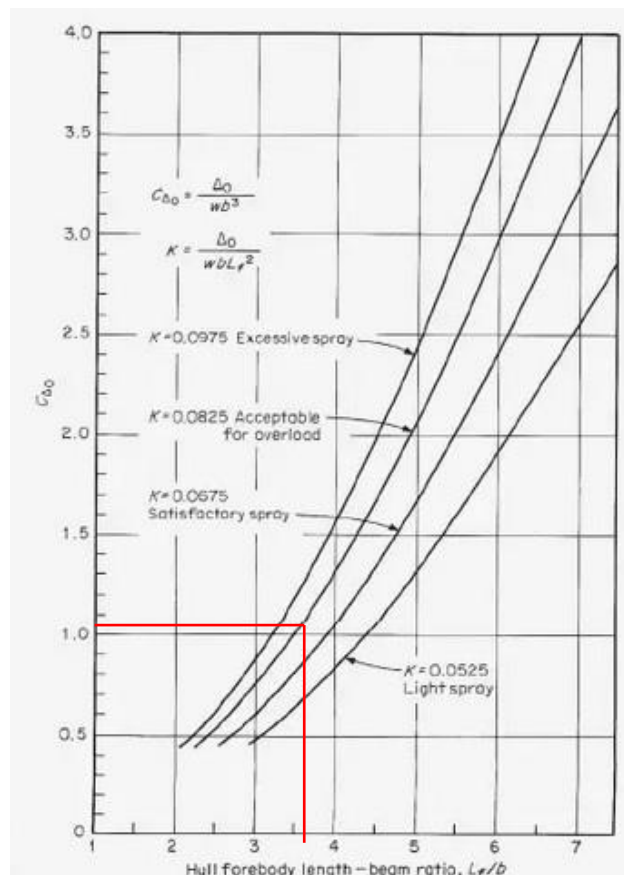
Dĺžka prednej časti ovplyvňuje:

- Dlhá predná časť s vysokou provou správne usmerňuje rozstrek a zaisťuje dobrú statickú stabilitu letúnu.
- Príliš malý vztlak prednej časti a malá výška provy spôsobujú vnáranie provy do vín.

Empirických vzťahov pre dĺžku prednej časti plaváku existuje hneď niekoľko. [8] Výskum NACA po analýze rozstrekových charakteristík navrhol porovnávacie kritérium lietajúcich člnov z rozdielnymi pomermi L_f/b pre konkrétny súčiniteľ zaťaženia. Kritérium graficky zachytené na Obr. 27 udáva koreláciu medzi zaťažením plaváku, pomerom dĺžky prednej časti plaváku a šírky plaváku v mieste stupňa vzhľadom k mohutnosti rozstreku. Z rovnice (4.9) môžeme pozorovať, že pri zvyšovaní pomeru, pri výbere konštantného súčiniteľa rozstreku, k , sa zvyšuje hodnota súčiniteľa zaťaženia. Kritérium nám pre konštantný súčiniteľ zaťaženia a rozstreku plaváku dovoľuje meniť štíhlostný pomer tak, aby sme pomocou neho dosiahli požadované vlastnosti plaváku a zároveň nepresiahli nami určené, vhodné hodnoty rozstrekových vlastností plaváku [24]:

$$c_{\Delta_0} = k \cdot \left(\frac{l_f}{b}\right)^2 \quad (4.19)$$

- Kde c_{Δ_0} – Súčiniteľ zaťaženia.
 k – Súčiniteľ rozstreku.
 l_f – Dĺžka prednej časti plaváku.
 b – Šírka plaváku v mieste stupňa.



Obr. 27 Graf popisuje rozstrekové charakteristiky (k) závislé na súčiniteli zaťaženia (c_{Δ_0}) a pomere dĺžky prednej časti tela plaváku (l_f) k jeho šírke v mieste stupňa (b). [13]

Úpravou rovnice (4.19) dostaneme vzťah pre určenie návrhovej hodnoty dĺžky prednej časti plaváku [24]:

$$l_f = b \cdot \sqrt{\frac{c_{\Delta_0}}{k}} \quad (4.20)$$

- Kde l_f – Dĺžka prednej časti plaváku.
 b – Najväčšia šírka plaváku.
 c_{Δ_0} – Súčiniteľ zaťaženia.
 k – Súčiniteľ rozstreku.

Dĺžka zadnej časti plaváku

Primárnou funkciou zadnej časti plaváku je dodanie vztlakovej sily plaváku, zabránenie preklopenia letúnu pri štarte a zachovanie pozdĺžnej stability pri kritickej rýchlosti plaváku.

Dĺžka zadnej časti sa odvíja od dvoch hlavných režimov vzletu, s pohľadu rýchlosti a to: nízkych a stredných rýchlosti (kritická rýchlosť plaváku):

- Zadná časť poskytuje vztlak, stabilizuje letún a zabraňuje letúnu dosiahnutie príliš vysokého náklonu pri vzlete a prípadného preklopenia na chvost. Pri týchto rýchlostiach by mala dĺžka zadnej časti plaváku byť čo najväčšia.
- Vysoké rýchlosti: Pridlhá zadná časť spôsobuje odskakovanie. Pri týchto rýchlostiach by mala byť dĺžka zadnej časti plaváku čo najmenšia.

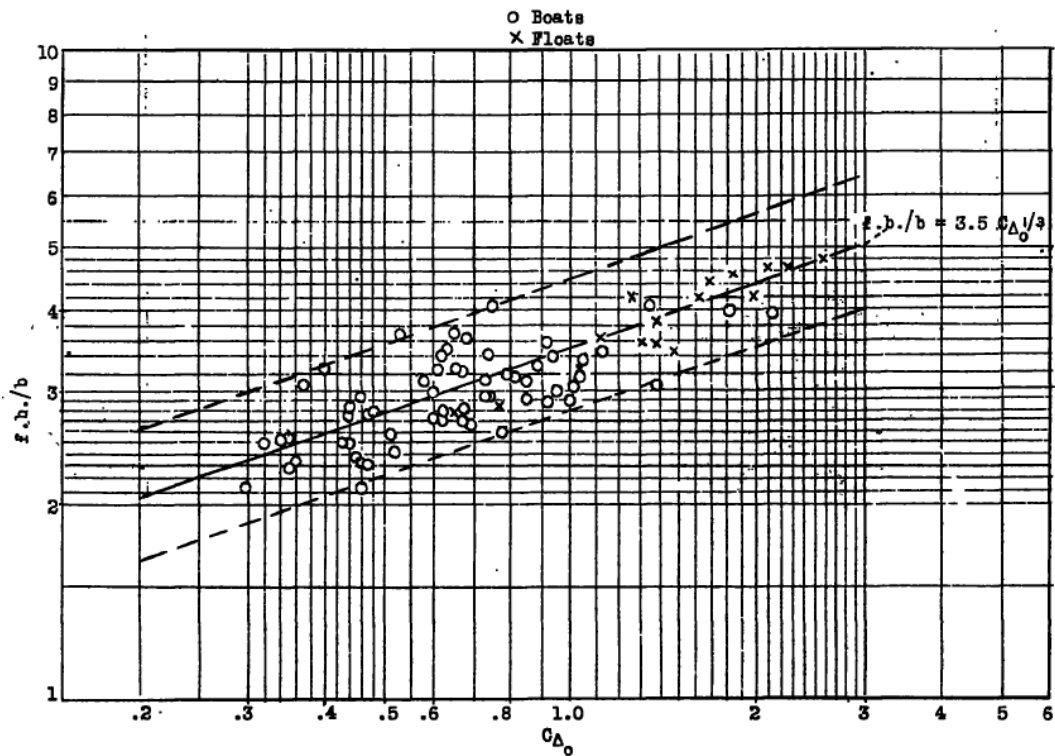
Smith and White doporučujú pre lietajúci člň dĺžku zadnej časti 2,5 až trojnásobok b . Thomasievsky K. M. na základe testov plavákov preukazujúcich dobrú stabilitu uvádza hodnotu 3,2 až 3,8 násobku b [8].

Podľa novších poznatkov by dĺžka zadnej časti mala byť zhruba o 10 – 15% väčšia ako dĺžka prednej časti [34] (Podľa [35] dokonca o 25 – 30% viac.) :

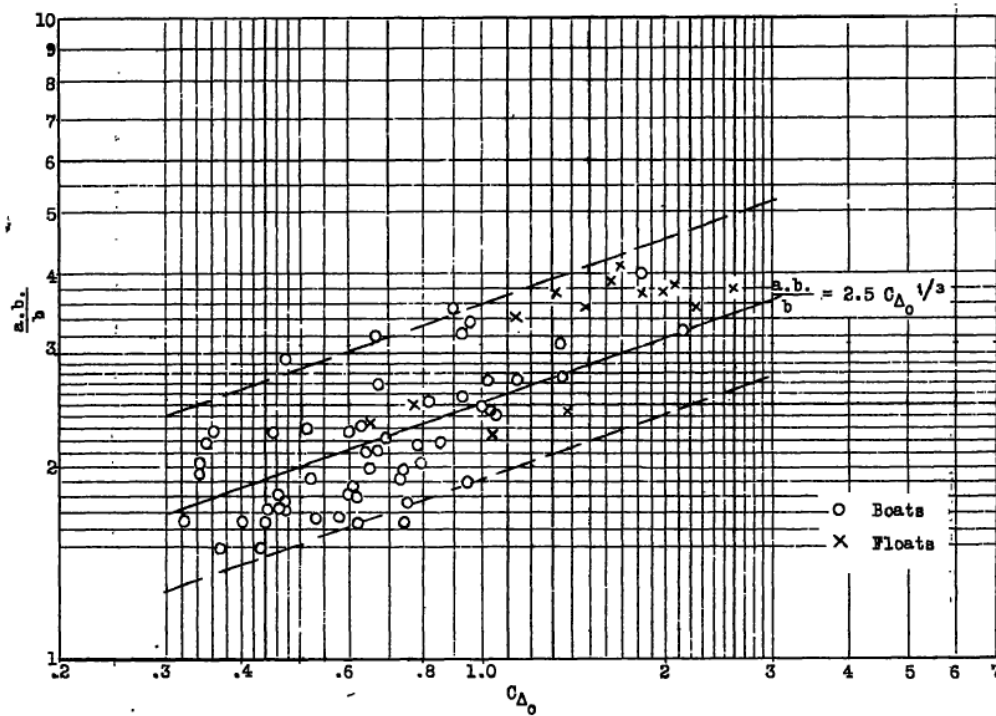
$$l_a = (110\% - 115\%) \cdot l_f \quad (4.21)$$

- Kde l_a – Dĺžka zadnej časti.
 l_f – Dĺžka prednej časti.

F.W.S. Locke uvádza empirické vzťahy pre dĺžku prednej a zadnej časti odvodené zo štatistík niekoľkých úspešných modelov plavákov Obr.28 a Obr 29 [19].



Obr. 28 Pomer dĺžky prednej časti plaváku k šírke plaváku v mieste stupňa (Zvislá osa) k súčiniteľu zaťaženia (Vodorovná osa). Plavákové letúny sú označené krížikom. [19]



Obr. 29 Štatistika: Dĺžka zadnej časti plaváku k súčiniteľu zaťaženia. [19]

Stanovenie šírky a dĺžky prednej a zadnej časti plaváku

Hodnotu súčiniteľa zaťaženia 1,05 dosadíme do rovnice (4.18).

$$b = \sqrt[3]{\frac{325}{1,05 \cdot 1024}} = 0,671 \text{ m}$$

Hodnoty: $b = 0,596 \text{ m}$, súčiniteľ odporu 1,5 a $K = 0,0825$ dosadíme do rovnice (4.20).

$$l_f = 0,671 \cdot \sqrt{\frac{1,05}{0,0825}} = 2,394 \text{ m}$$

Pre stanovenie dĺžky zadnej časti volíme spodnú časť intervalu dĺžky prednej časti (5.21).

$$l_a = 1,1 \cdot 2,394 = 2,634 \text{ m}$$

Celková dĺžka plaváku je:

$$L = 2,394 + 2,634 = 5,028 \text{ m}$$

3.4. Tvar kýlu prednej časti plaváku

Tvar kýlu prednej časti plaváku je odvodený z vývoja prvotných plavákov opísaných v začiatku kapitoly. Pre najjednoduchšie prvé určenie tvaru kýlu použijeme elipsu. Táto elipsa začína v mieste kde končí rovná časť kýlu bez stúpania odkiaľ sa dvíha až k prove.

Rovná časť kýlu bez stúpania

V režime kĺzania na vode, je nutná rovná časť kýlu bez stúpania priečného uhlu dna, zaisťujúca maximálnu normálovú reakčnú silu vody, v režime kĺzania na vodnej hladine, čo zaisťuje minimálnu omočenú plochu plaváku a teda menší hydrodynamický odpor. [8]

Táto časť línie kýlu v smere od stupňa k prove bez stúpania priečného uhlu dna je v dĺžke asi 1,5 (Môže však nadobúdať až hodnoty 1,7 [8]) násobku b . [6] Toto opatrenie redukuje dynamický jav poskakovania. Testy NACA 2503 potvrdili výhody mierneho stúpania rovnej časti plaváku a to 1 až 2° z hľadiska vyššej stability [32].

Empirický vzorec pre rovnú časť kýlu bez stúpania je [6] [8]:

$$l_C = (1,5 \text{ až } 1,7) \cdot b \quad (4.22)$$

Kde l_C – Dĺžka rovnej časti kýlu s počiatkom v stupni.
 b – Najväčšia šírka plaváku.

Tvar kýlu od konca rovnej časti kýlu

Predná časť plaváku od konca rovnej časti kýlu, l_C , sa zdvíha vo forme štvrtiny elipsy nahor. Toto zakrivenie kýlu pomáha plaváku pohybovať sa lepšie vo vode. Tvar pomáha

lepšiemu rozrážaniu vín a v spojení so správne tvarovaným dnom, pomáha zmierňovať rozstrek. Tento tvar sa v počiatku návrhu najjednoduchšie aproximuje ako elipsa. Prvotný návrh i zvolená rovnica elipsy sa neskôr upravuje na základe výsledkov hydrodynamický a aerodynamických testov.

Vzťah pre hlavnú štvrt' os je [8]:

$$K = l_F - l_C \quad (4.23)$$

Kde l_C – Dĺžka rovnej časti kýlu s počiatkom v stupni.
 l_F – Dĺžka prednej časti plaváku.

Vzťah pre vedľajšiu štvrt' os je totožný so vzťahom pre výšku provy.

Pomer výšky plaváku k jeho šírke

Výška plaváku vztiahnutá k jeho šírke je pomer taktiež podstatný pre zníženie aerodynamického odporu plaváku. Poklesom tohto pomeru sa znižuje plocha pričného rezu plaváku a tým klesá aerodynamický odpor. Testy NACA potvrdili túto hypotézu a indikujú, že minimálny aerodynamický odpor je možné očakávať v intervale 1 až 1,2. Testy ďalej uvádzajú, že minimálny odpor je možné očakávať okolo hodnoty pomeru 1. [23]

Výška provy

Výška provy ovplyvňuje:

- Príliš nízka výška v kombinácii s krátkou prednou časťou spôsobuje priveľký rozstrek v rozvlnenej vode a musí sa kompenzovať dlhšou prednou časťou plaváku.
- Pri krátkej prednej časti plaváku má vysoká prova za následok redukcii hydrodynamického vztlaku.

Pri dostatočne dlhej prednej časti sa preferuje vyššia poloha provy i v kludnejšej vode kvôli rozstrek. Vstup do vodnej hladiny nie je v tomto prípade tak zlý. Empirický vzťah pre takéto usporiadanie vhodný pre kludnejšiu i rozbúrenú vodu je [8] [23]:

$$h_b = 0,75 \cdot b \quad (4.24)$$

Kde h_b – Výška provy.
 b – Šírka plaváku v mieste stupňa.

Tento tvar kýlu znižuje aerodynamický odpor, avšak poskytuje dobrý vztlak v režime kĺzania.

Stanovenie rovnej časti plaváku, tvaru plaváku od konca rovnej časti plaváku a výšky provy

Hodnotu $b = 0,596$ dosadíme do rovnice (4.22).

$$l_C = 1,5 \cdot 0,670 = 1,005 \text{ m}$$

Hodnoty $l_F = 2,394$ m a $l_C = 1,005$ m dosadíme do rovnice (4.23).

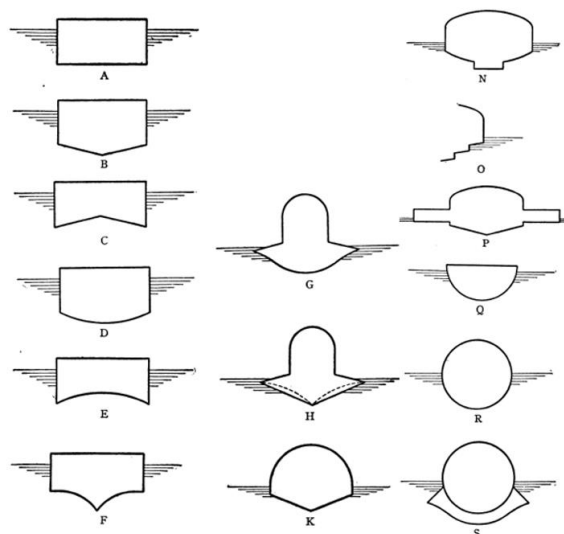
$$K = (2,394 - 1,005) = 1,389 \text{ m}$$

Hodnotu $b = 0,670$ m dosadíme do rovnice (4.24).

$$h_b = (0,75 \cdot 0,671) = 0,503 \text{ m}$$

3.5. Tvar dna trupu plaváku

Spodná časť trupu môže nadobúdať hneď niekoľko foriem. V histórii výroby plavákov boli použité rôzne tvary, ako môžeme vidieť na Obr.30 Toto experimentovanie viedlo k vyradeniu niektorých druhov dna trupu s charakteristikami nevyhovujúcimi požiadavkám pre bezpečnú prevádzku letúnu.



Obr. 30 Rôzne tvary dna plavákov. [21]

Tvory dna trupu ploché, obráteného V a konkávny na Obr.30 (A,C,E,O.), majú uspokojivé charakteristiky v režime kĺzania no náraz, ktorý musia znášať pri pristávaní a v rozbúrenej vode vyžaduje tuhú a teda ťažkú konštrukciu.

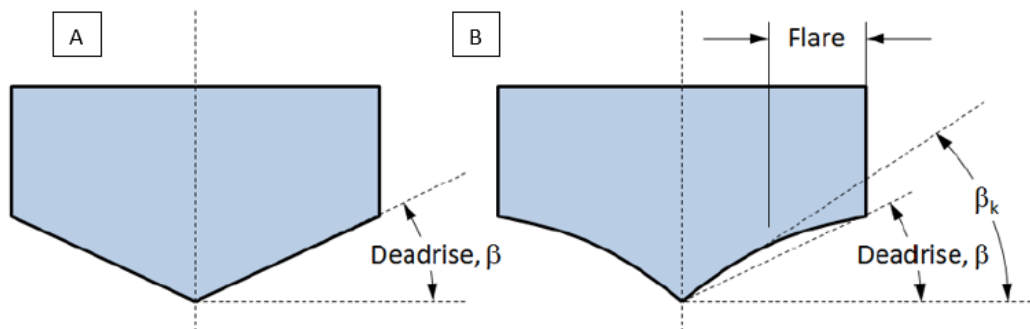
Tvory trupu kruhu, alebo krivky podobné kruhu/elipse na Obr.30 (D,Q,R,S.), generujú príliš vysoký rozstrek, preto nezáleží na tom, že ich hydrodynamický odpor je malý.

Tvar typu "Sponson", Obr.30 (G,H,N,P), sa snažil o rozšírenie dna plaváku na šírku veľkých plavákov bez zbytočného zvýšenia hmotnosti a z dôvodu vyššej stability. Toto opatrenie spôsobilo vzlet hydroplánu predtým, ako bola dosiahnutá potrebná rýchlosť pre

vzlet, kedy sa lietadlo na krátky okamih vznieslo nad hladinu. Táto vlastnosť vyúsťovala v poskakovanie a výsledné sériové nárazy mali za následok vnášanie silných impulzov do konštrukcie. Tento typ konštrukcie bol navyše náročný pre staviteľa plaváku. [22]

Po odstránení nám nevyhovujúcich typov dna trupu, ktoré v tom či onom smere nespĺňujú kritické požiadavky na let, pristanie a vzlet nám ostávajú už len 2 základné typy:

- Tvar písmena V Obr.30 (F)
- Tvar V s tzv. vybraním, (Ang. "Wave-Binder" – "Zväzovač vln") Obr.29 (K) a jeho variácie.



Obr. 31 Základné tvary spodnej časti trupu. A) Jendnoduché "V", B) zložitejší tvar "V" s vybraním – parabola. [6]

Obr. 31 predstavuje základné formy od ktorých sa odvodzujú tvary dna trupov moderných plavákov.

Tvar typu V s tzv. "Vybraním", Obr.31 B) – vytvorený konkávnym zakrivením plochy medzi kýlom a chrbtom plaváku. (Týchto konkávných zakrivení môže byť i niekoľko.) Je podobný klasickému V tvaru plaváku. Oproti nemu má lepšie rozstrekové vlastnosti vďaka faktu, že prúd vody je odvádzaný pozdĺž zakriveného dna do strany u než je tomu u klasického V tvaru kedy prúd vody kopírujúci stúpanie dna vymršťuje prúd vody nahor. Hydrodynamický odpor tesne pred dosiahnutím kritickej rýchlosti plaváku, je zvýšený vďaka zväčšeniu uhlu priečného sklonu plaváku. Toto je samozrejme spôsobené už spomenutým zakrivením. V poslednej fáze režimu kĺzania, tesne pred dosiahnutím kritickej rýchlosti plaváku, preto neponúka veľmi veľký hydrodynamický vztlak. [22]

Zvýšená náročnosť a cena výroby ho pre ľahšie letúnu posúvajú na druhé miesto za tvar dna trupu v podobe klasického V, Obr.31 A). [6]

Stanovenie tvaru dna trupu plaváku

Tvar typu V, Obr.31 A), sa javí ako najpriateľnejší z hľadiska ceny, náročnosti výroby, aerodynamických a hydrodynamických vlastností. Nie je tak účinný v potlačení rozstrekú, ako zložitejší tvar s vybraním Obr.31 B), ale tento nedostatok sa dá potlačiť pridaním ostrekových líšt navyše vďaka nižšej hmotnosti nebýva rozstrek u ľahkých typov lietadiel

tak veľký ako u ťažších typov letúnov. Zložitú tvarovanie trupu je možné, no v tomto prípade nie plne opodstatnené. Jednoduché tvarovanie typu V navyše zlepšuje aerodynamické charakteristiky a znižuje hydrodynamický odpor. [22] [31]

V našom návrhu sa teda budeme ďalej zaoberať výrobou plaváku so spodnou časťou trupu v tvare "V".

3.6. Uhol priečného sklonu prednej časti plaváku

Správne určenie uhlu priečného sklonu, β , je náročné vzhľadom k charakteristikám, ktoré sa k nemu viažu a to pre každú podobu dna. Medzi tieto charakteristiky patrí rozstrek, hydrodynamický odpor, stabilita plaváku, vztlak, hmotnosť.

Pre režim kĺzania je najlepšie, aby bol uhol priečného sklonu 0° . Plaváku by poskytoval najvyšší vztlak a stabilitu. Toto by však zvýšilo sily pôsobiace na plavák pri pristávaní a zvyšovalo by tak rozstrek, hydrodynamický odpor a aerodynamický odpor. Navyše nízky uhol priečného sklonu pôsobí negatívne na stabilitu plaváku. Ráz pri pristávaní je dôležitým aspektom pri dimenzovaní plavákov a jedným z hlavných dôvodov prečo voliť vyššie hodnoty uhlu priečného sklonu. Následky zvyšovania uhlu priečného sklonu. [23]

Pozitívne následky:

- Vo všeobecnosti medzi 15° až 30° je znížená miera rozstrelu následkom redukcie sily vznikajúcej pri náraze prednej časti plaváku do vln. Avšak zvyšovaním uhlu v danom intervale sa zvyšuje rozstrek.
- Zníženie síl pôsobiacich na plavák pri pristaní prispieva k zníženiu hmotnosti konštrukcie. [23]
- Zvyšuje smerovú stabilitu plaváku. [33]
- Zväčšovanie uhlu priečného sklonu od najširšieho miesta plaváku k prove, napomáha k redukcii hydrodynamického odporu v režime kritickej rýchlosti plaváku a aerodynamického odporu. [8] [11]

Negatívne následky:

- Znižuje vztlakovú silu, redukciami celkového objemu plaváku [6]. Plavák je ponorený hlbšie vo vode, čo môže spôsobiť problémy pri vyťahovaní na breh.
- Zvyšuje aerodynamický odpor plaváku. [23]

Stanovenie uhlu priečného sklonu plaváku je teda kompromisom medzi jednotlivými charakteristikami, ktoré ovplyvňuje v jednotlivých režimoch letu, vzletu a pristávania.

Z nutnosti naplnenia požiadaviek pre jednotlivé režimy sa teda javí prirodzené rozdeliť uhol priečného sklonu plaváku prednej časti na dva úseky:

- Prvý úsek je v dĺžke l_C a prispôsobený pre zníženie hydrodynamického odporu v režime kritickej rýchlosti plaváku a zníženie dynamických nestabilit – poskakovania. V tomto úseku je uhol priečného sklonu pre lepšiu pozdĺžnu stabilitu konštantný.
- Druhý úsek začínajúci na konci l_C sa musí vysporiadať s vlnami prednostne, v kludnej i rozbúrenej vode. Jeho priečný uhol teda odráža snahu o zníženie rozstreku vody na okná kabíny pilota a na vrtuľu. [8]

Veľkosť uhlu priečného sklonu je teda konštantná v dĺžke l_C . Najväčší uhol priečného sklonu v tejto časti splňujúci charakteristiky opísané vyššie je 30° . Niekoľko zdrojov sa zhoduje v tom, že uhol priečného sklonu v počiatku u stupňa nesmie byť menší ako 15° . [6] [8] [9] [11]

Podľa zistení NACA sa uhol priečného sklonu neovplyvňujúci odpor v režime kritickej rýchlosti plaváku nachádza v intervale $20^\circ - 30^\circ$ [23]. Zvýšenie uhlu priečného sklonu s 20° na 25° podľa testov NACA zlepšilo stabilitu pri pristání. Pričom sa dramaticky nezvýšil aerodynamický odpor. [23]

Uhol priečného sklonu sa od konca l_C sa môže plynule zvyšovať až do hodnoty približne 40° (až 55°). Takéto zvyšovanie priečného sklonu dna od stupňa smerom k prove sa nazýva "zkrútenie dna". Toto zvyšovanie priečného uhlu je výhodné pre lepšie rozrážanie vln pri pohybe vo vode. [8] [13] No zvyšuje aerodynamický odpor [29].

Miera zvyšovanie priečného uhla pozdĺž dĺžky kýlu rastie s rastúcim štíhlostným pomerom. Doporučenou mierou stúpania priečného uhlu prednej časti plaváku pre zabezpečenie dostatočnej stability je 1,5 násobok pomeru prednej časti plaváku k šírke plaváku v mieste stupňa na dĺžku rovnajúcu sa šírke plaváku v mieste stupňa. [35]

Stanovenie uhlu priečného sklonu plaváku

Na základe uskutočnených NACA testov môžeme vypožorovať, že uhly priečného sklonu v rozmedzí 20° až 30° vykazujú najlepšie vlastnosti s ohľadom na stabilitu, hydrodynamický a aerodynamický odpor. Posúvaním uhlu priečného sklonu nad uhol 30° dochádza k prílišnému zvyšovaniu hydrodynamického odporu. Naopak znižovanie uhlu priečného sklonu pod 20° ubera plavákovému telesu na stabilite.

Podľa literatúry [23] je z dôvodu zvýšenej stability najlepšie rozmedzie uhlov 20° až 25° pričom pri pristání bol uhol priečného sklonu $\beta = 25^\circ$ najlepší hľadiska stability. Ďalšie zvyšovanie by stabilitu nezvýšilo príliš a navyše by sa prejavili negatívne dôsledky zvyšovania priečného uhlu, ktoré by malé zvýšenie stability neprevážilo.

3.7. Stupeň

Jeho úlohou je predovšetkým generovať oblasť nízkeho tlaku vzduchu a tým zlepšovať prúdenie vzduchu v dolnej časti trupu plaváku, kde vytvára podtlak pre privedenie dostatočne veľkého objemu vzduchu. Takto zvýšená ventilácia v oblasti stupňa umožní odtrhnutie objemu vody, omývajúcej plavák, čím zaisťuje nižší hydrodynamický odpor a zlepšuje tak podmienky pre odpútanie sa od vodnej hladiny pri vzlete. [9]

Možnosť zaoberania sa v tejto práci tzv. "Zaťahovacím" stupňom, ktorý by znížil aerodynamickú účinnosť celého plaváku, bola zamietnutá z dôvodu komplikovanosti konštrukcie a teda nákladov na výrobu. Ďalej neexistuje dostatočné množstvo hydrodynamických testov, ktoré by vypovedali o účinnosti a náročnosti jeho implementácie.

Možnosť zaoberať sa tzv. "prechodom", ktorý znižuje jeho výšku a možnosťou zaoberať sa vetracími otvormi, bola zamietnutá opäť z dôvodu ceny a náročnosti technologického procesu.

V práci sa teda budeme ďalej zaoberať klasickým tvarom stupňa.

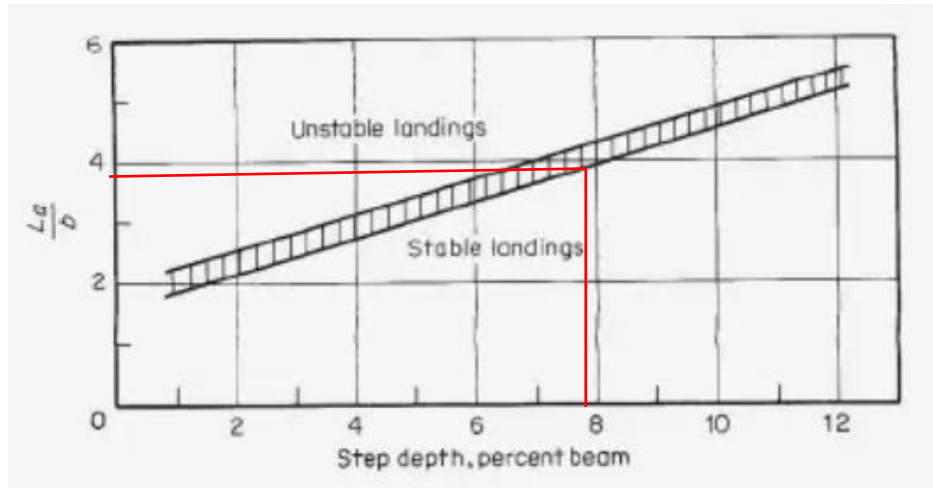
Výška stupňa

Typicky je jeho výška medzi 0,05 až 0,08 násobku šírky plaváku v mieste stupňa. Ďalšie zdroje uvádzajú výšku stupňa ako:

- 0,04-0,08 pre pomer dĺžky zadnej časti plaváku k jeho šírke v mieste stupňa medzi 2,5 až 4 pre zachovanie jeho stability. [7]
- 0,09 násobku šírky plaváku pre pomer dĺžky prednej časti plaváku k jeho šírke v mieste stupňa, pre malé lietadlo, by sa mal pohybovať medzi 2,75 až 3. [13]
- 0,05 násobku šírky plaváku. [12]

Následky zvyšovania výšky stupňa:

- So zvyšujúcou výškou stupňa sa zvyšuje pozdĺžna stabilita plaváku v režime kĺzania, no zároveň sa proporcionálne zvyšuje aerodynamický odpor. [7]
- So stúpaním výšky, až do určitej kritickej hodnoty, dochádza k zníženiu hydrodynamického odporu na zadnej časti plaváku. Ďalšie navyšovanie od kritickej výšky už neznižuje hydrodynamický odpor plaváku. [9]



Obr. 32 Závislosť výšky stupňa ako percenta šírky plaváku, b , (Vodorovná osa) v závislosti na pomere dĺžky zadnej časti plaváku k jeho šírke (Zvislá osa). [13]

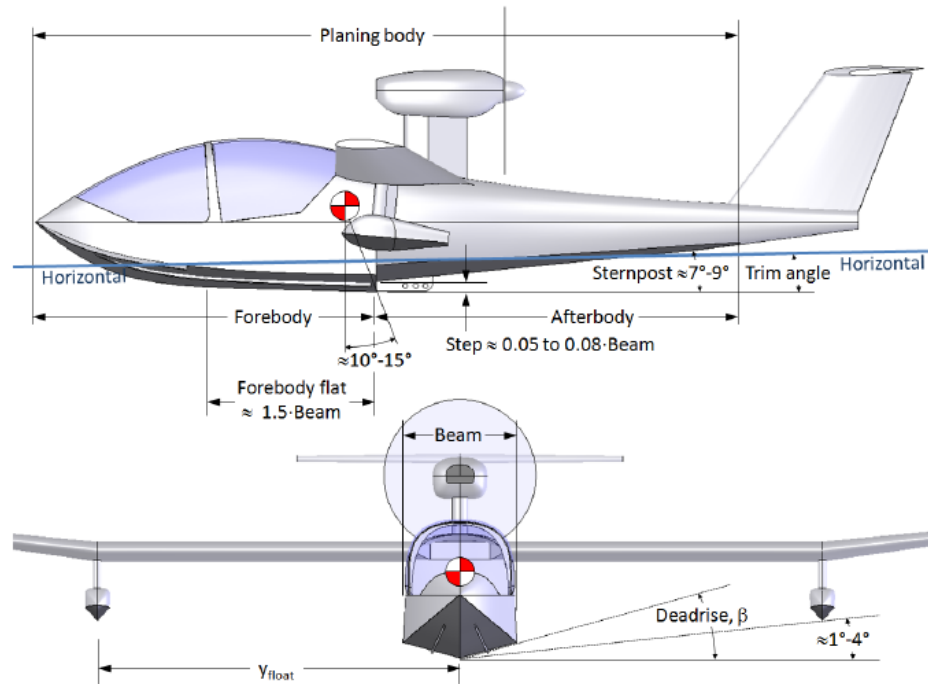
Aerodynamický odpor stupňa sa dá znížiť:

- Ventiláčnymi kanálmi, avšak toto riešenie je používané najmä na lietajúcich člnoch. [8] Implementácia ventiláčnych kanálov a prechodu v plavákoch, pre malé lietadlo by náročnosťou a cenou prevážila jeho výhody, preto sa zvyčajne nepoužívajú. [10] Náš návrh ich takisto nebude implementovať.
- Použitím tzv. prechodu medzi stupňom a zadnou časťou plaváku. Používa na lietajúcich člnov. [10] Náš návrh ich nebude implementovať z dôvodu ceny a náročnosti prevedenia.
- Najmä správnu výškou stupňa nie väčšou ako 0,05 až 0,08 násobok šírky plaváku v mieste stupňa. [6]

Poloha stupňa

Bežne používaná empirická poloha je priamo pod ťažiskom letúnu, alebo je zhruba 14-15° (10° až 15° [6] , 10° až 20° [12] [13]) medzi vertikálnou čiarou prechádzajúcou ťažiskom letúnu a spojnicou ťažiska letúnu a centeroidu plaváku.

Poloha pomáha jednoduchšiemu náklonu letúnu pri vzlete. Letún sa lepšie a rýchlejšie dostane "na stupeň". Tým je myslené, že v tomto bode lietadlo kľže na plochej dĺžke prednej časti plaváku. Redukuje tak hydrodynamický odpor a pomáha letúnu dostať sa na správny uhol nábehu pri vzlete [6] . Príklad polohy stupňa je na Obr. 33.



Obr. 33 Poloha stupňa v pozdĺžnom smere plaváku. [6]

Stanovenie výšky a polohy stupňa

Výšku stupňa, h_s , spočítame pomocou hodnoty štihostného pomeru zadnej časti plaváku $\frac{L_a}{b} = 3,9$. Z grafu na Obr. 32. odčítame správnu výšku stupňa plaváku ako percentá najväčšej šírky plaváku v mieste stupňa, b . Touto hodnotou je 7,9 %

$$h_s = 0,671 \cdot 0,079 = 0,053 \text{ m}$$

Polohu stupňa volíme podľa doporučení 10° za centrážou letúnu, pre ľahšie zdvihnutie letúnu na stupeň. h_b

3.8. Uhol stúpania kýlu zadnej časti plaváku

Uhol stúpania zadnej časti plaváku býva v rozmedzí zhruba $7-9^\circ$ po celej dĺžke zadnej časti plaváku s extrémom 3° až 11° . Uhol stúpania kýlu zadnej časti plaváku dovoľuje letúnu nastavenie vyššieho uhlu nábehu bez obavy, že sa zadná časť plaváku ponorí do vody a zvýši tak hydrodynamický odpor pri vzlete. Zvýšený hydrodynamický odpor má potom za následok spomalenie letúnu, pri vzlete a zvýšenie dĺžky vzletovej dráhy. [6] [9] Vplyvy stúpania zadnej časti plaváku:

- Príliš nízky uhol stúpania kýlu spôsobí zvýšený hydrodynamický odpor pri postavení letúnu na stupeň. Väčšia omočená plocha zvýši hydrodynamický odpor, spomalí letún pri vzlete a zväčší vzletovú dráhu. [9]
- Príliš vysoký uhol stúpania kýlu naopak zvyšuje aerodynamický odpor. [9] Pri testoch bolo zaznamenaná 25% zvýšenie aerodynamického odporu pri zvýšení uhlu

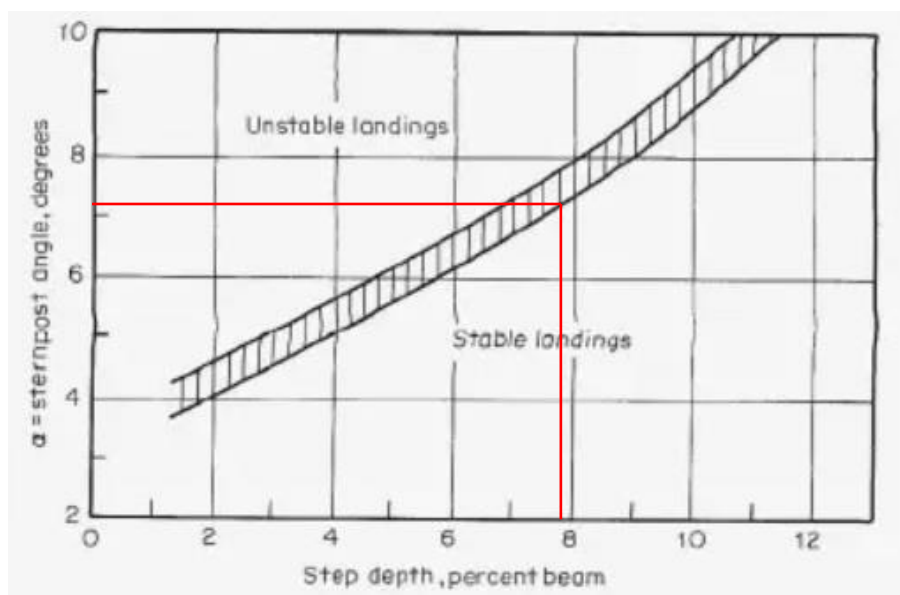
stúpania kýlu z $5,50^\circ$ na 9° . [33] Správny uhol stúpania zadnej časti ovplyvňuje i stabilitu letúnu. Táto skutočnosť je vyobrazená na Obr. 34.

- Zamedzuje poskakovaniu zadnej časti plaváku v režime kĺzania. [6]

Thurston ponúka jednoduchú závislosť stúpania zadnej časti plaváku na výške stupňa, Obr.34.

Stanovenie uhlu stúpania kýlu zadnej časti plaváku

Hodnotu určíme pomocou výšky stupňa z grafu na Obr. 34. Hodnota odčítaná z grafu je $7,3^\circ$. S ohľadom na stabilitu plaváku v režime kĺzania volíme uhol stúpania kýlu 7° .



Obr. 34 Závislosť stúpania zadnej časti tela plaváku v stupňoch (Zvislá osa) na výške stupňa ako funkcie šírky plaváku v mieste stupňa v percentách (Vodorovná osa). [13]

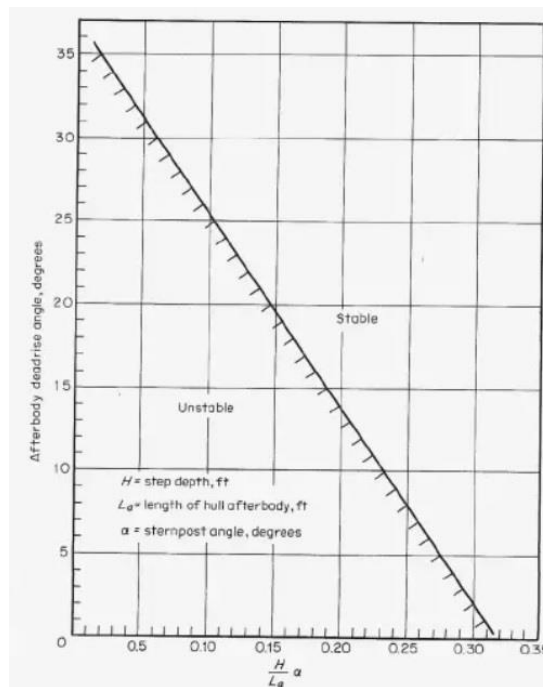
3.9. Uhol priečného sklonu zadnej časti plaváku

Uhol priečného sklonu zadnej časti plaváku, označovaný θ , zabezpečuje prívod vzduchu do spodnej časti trupu a teda znižuje hydrodynamický odpor a smerovú stabilitu. [8] Následky zvyšovania uhlu priečného sklonu sú:

- Účinnejší prívod vzduchu k spodnej časti trupu zadnej časti plaváku. V dôsledku toho dôjde k rýchlejšiemu odpútaniu vody od spodnej časti trupu-znižuje sa hydrodynamický odpor pri vzlete. [8]
- Zvýšenie stability pri poskakovaní. [8]
- Zníženie tendencie poskakovanie a to hlavne v rozbúrenej vode. [8]
- Vyššia stabilita blízko kritickej rýchlosti plaváku. [8]
- Vyšší hydrodynamický odpor vďaka väčšiemu ponoru plaváku a teda väčšej omočenej plochy. [8]

Následky snižování úhlu příčného sklonu plaváku sú:

- Příliš malý uhol priečného sklonu má za následok zvýšenie sacieho efektu pri strete plaváku s hladinou vody v režime kritickej rýchlosti plaváku a v režime klzania. [33]
- Nízky uhol priečného sklonu síce znižuje hydrodynamický odpor, ale spôsobuje smerovú nestabilitu plaváku. [33]



Obr. 35 Závislosť uhlu priečného sklonu zadnej časti plaváku (Zvislá osa) na dĺžke zadnej časti plaváku (L_a), Výšky stupňa (H) a uhlu stúpania zadnej časti plaváku (Vodorovná osa). [13]

Stanovenie uhlu priečného sklonu zadnej časti plaváku

Hodnotu priečného sklonu zadnej časti plaváku odčítame z grafu na Obr. 35. Odčítaná hodnota je $20,4^\circ$. Hodnotu uhlu priečného sklonu v polohe stupňa volíme 20° .

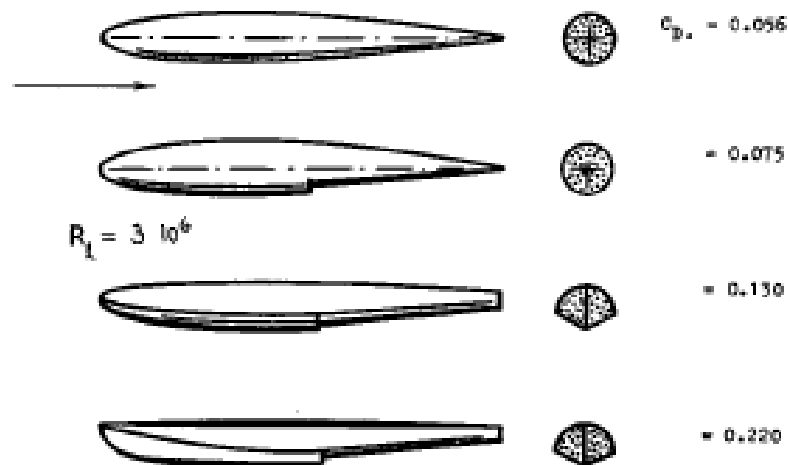
3.10. Tvar plaváku

V predchádzajúcich častiach práce sme sa venovali častiam geometrie primárne spodnej strany plaváku predovšetkým návrh dna plaváku. V tejto podkapitole sa budeme venovať priečnemu rezu plaváku.

Po uspokojivom návrhu geometrie dna plaváku pre zabezpečenie hydrodynamických charakteristík sú aerodynamické charakteristiky to, čo diktuje ďalšie úpravy geometrie plaváku. S požiadavkami na aerodynamiku sme sa stretli už pri štíhlostnom pomere v začiatku návrhu pozdĺžneho tvaru, no každá časť geometrie ovplyvňuje aerodynamické charakteristiky v rôznej miere. Jednou takouto časťou je plocha a tvar priečného rezu plaváku.

Tvar plaváku v priečnom reze je v spodnej časti daný požiadavkami na správne chovanie plaváku, pri pristání a vzlete: tvarom dna kýlu, stúpaním priečneho uhlu a tvarom dna v priečnom reze. Tvar a výška paluby sú podstatné s ohľadom na tieto hlavné aspekty:

- Aerodynamický tvar v priečnom reze silne ovplyvňuje odpor plaváku v lete.
- Dostatočná výška plavákov pomáha zamedziť omočeniu vrtule. (Toto je u plavákových letúnov menej podstatné, táto výška sa dá do určitej miery zvýšiť výškou podpornej konštrukcie.)
- Dostatočná výška pre určenú dĺžku a šírku plaváku vymedzuje vhodný objem plavákov s dostatočnou rezervou vztlakovej sily.
- Výška plaváku ovplyvňuje jeho hydrostatickú stabilitu.



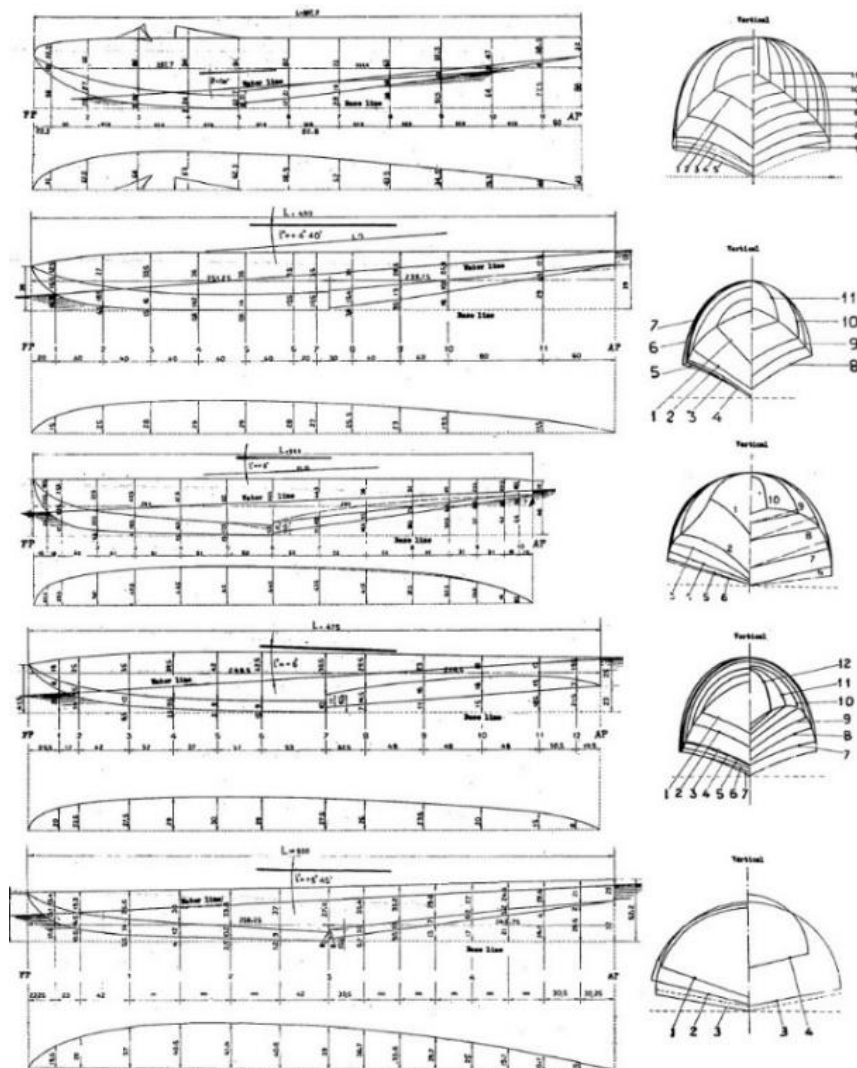
Obr. 36 Rôzne tvary priečných rezov plavákov a ich príslušné súčinitele odporu. [29]

Na Obr.36 môžeme pozorovať vývoj súčiniteľa odporu, c_D . Postupne od aerodynamicky najvhodnejšieho tvaru cez úpravy nutné z hľadiska hydrodynamiky, menovite pridanie stupňa a zkrútenie dna. Pri porovnaní súčiniteľov odporu vidíme, že sa od aerodynamicky čistého tvaru telesa zvyšujú so stúpajúcou výškou chrbta plaváku. To je priamy dôsledok tzv. zkrútenia dna teda stúpania uhlu priečneho sklonu prednej časti plaváku od stupňa smerom k prove. Ďalšie zvýšenie aerodynamického odporu nastáva pri zakončení chrbta plaváku obrátene pre lepšie rozstrekové charakteristiky plaváku.

Stanovenie tvaru plaváku

Preskúmaním Obr.36 zisťujeme, že pokiaľ nám konštrukčné požiadavky nediktujú inak, je najvhodnejšie zvoliť si tvar hornej časti plaváku v priečnom reze tak, aby bol pokiaľ možno čo najbližší aerodynamicky najúčinnejšiemu prierezu. [29] Aj keď túto požiadavku súčasné ostré tvary plavákov malých amfíbií príliš nerešpektujú.

Príklad tvarov priečného rezu uvádzame na Obr. 37. Nami zvolený kruhový tvar prierezu sa podľa dostupných údajov javí ako najlepšia možnosť pre priečný rez plaváku. [31].



Obr. 37 Príklady tvaru plavákov. [31]

3.11. Zhrnutie geometrických charakteristík plaváku

Jednotlivé geometrické charakteristiky sú prehľadne zhrnuté v Tabuľke 6.

Geometrická charakteristika	Vybraná hodnota/tvar
Štíhlosť plaváku, $\frac{L}{b}$	7,5
Súčiniteľ zaťaženia, c_{Δ_0}	1,05
Šírka, b	0,671 m
Dĺžka, l_F	2,394 m
Dĺžka, l_a	2,634 m
Dĺžka rovnej časti kýlu bez stúpania, l_C	1,005 m
Tvar kýlu prednej časti plaváku - polo osy elipsy	1,389 m / 0,503 m
Tvar dna plaváku	Tvar "V"
Uhol priečneho sklonu prednej časti, β	25°
Výška stupňa / poloha stupňa	0,053 m / 10° za ťažiskom letúnu
Uhol priečneho sklonu zadnej časti, θ	20°
Tvar plaváku v priečnom reze	Volíme s dôrazom na aerodynamiku čo najbližšie aerodynamicky čistému telesu
Stúpanie kýlu zadnej časti	7°

Tabuľka 6 Geometrické charakteristiky navrhovaného plaváku.

4. Hydrostatika a Stabilita

Tvar plavákov letúnu musí zabezpečiť splnenie týchto základných požiadaviek:

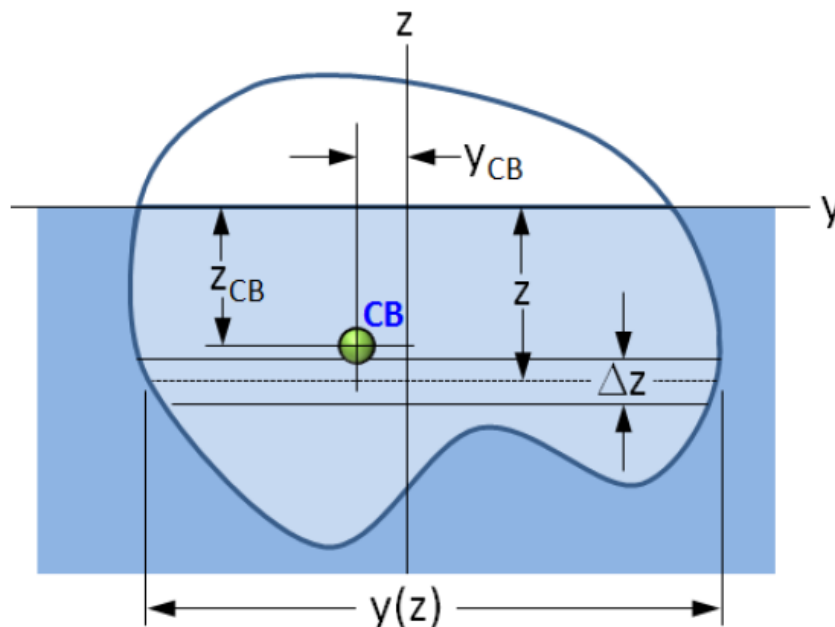
- Statickú a dynamickú stabilitu.
- Dostatočný hydrostatický vztlak.
- Nízky hydrodynamický odpor.
- Nízky aerodynamický odpor.
- Malý rozstrek vody.
- Manévrovateľnosť a kontrola pri pohybe po vodnej hladine. [7]

4.1. Vztlaková sila

Aby sme správne popísali hydrostatické charakteristiky plaváku, musíme začať popisom vztlakovej sily. Vztlaková sila je sila, ktorá je zodpovedná za vznášanie sa telesa na hladine. Vztlaková sila pôsobí na statickú stabilitu plaváku. Jej dopad na stabilitu plaváku si bližšie vysvetlíme v tejto podkapitole.

Pôsobisko vztlakovej sily

Je pôsobisko výslednice vztlakových síl na ponorenú časť telesa, značíme CB . Je geometrickým centrom ponorenej časti telesa, teda sa nachádza v mieste ťažiska ponorenej časti telesa. [17]

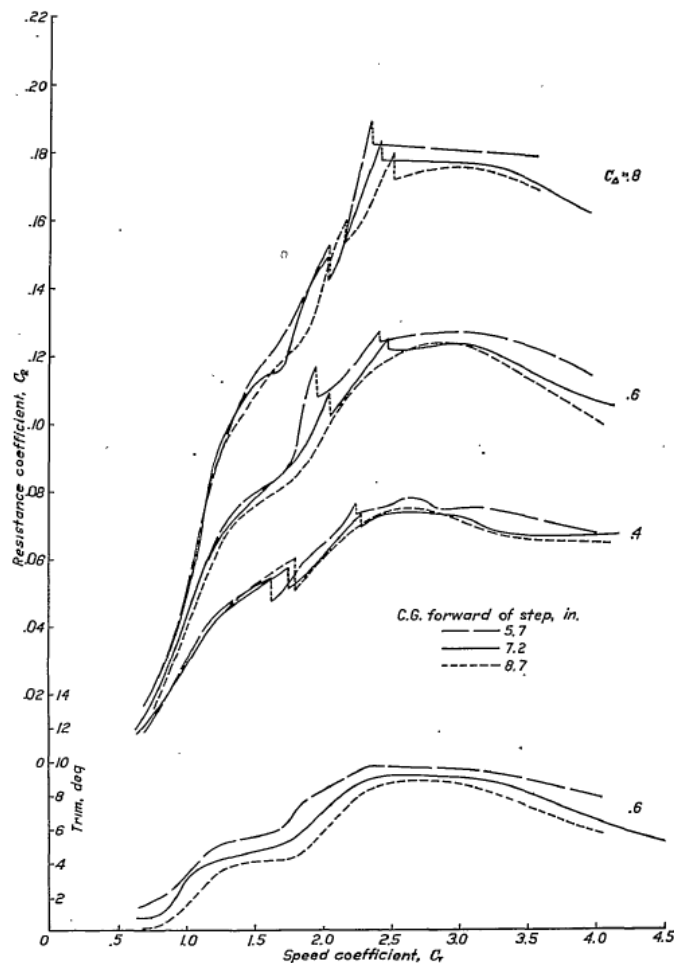


Obr. 38 Popis polohy pôsobiska vztlakovej sily. [6]

4.2. Ťažisko plaváku

Ťažisko je pôsobiskom tiažovej sily. Poloha ťažiska voči stupňu má vplyv hlavne na pozdĺžnu stabilitu plaváku.

- Ťažisko plaváku pred stupňom spôsobuje klopenie na nos. Letún sa vnára a dochádza k nárastu hydrodynamického odporu. Toto vnáranie spôsobí menší uhol nábehu krídel a zníženie ich vztlaku.
- Ťažisko plaváku za stupňom spôsobuje problémy s pozdĺžnou stabilitou plaváku. Graf na Obr.39 prezentuje polohu ťažiska plaváku pred stupňom a jej vplyv. [33]



Obr. 39 Závislosť hydrodynamického odporu (Zvislá osa) na rýchlostnom súčiniteli (Vodorovná osa). [33]

Z grafu na Obr. 44 vidíme, že posúvaním polohy ťažiska smerom dopredu klesá maximálny odpor plaváku pri kritickej rýchlosti plaváku. Hydrodynamické testy sú však potrebné pri rozhodovaní o maximálnej polohe ťažiska plaváku. Plavák má pri príliš vysokej hodnote podľa testov NACA tendenciu k pozdĺžnej nestabilite. [33]

4.3. Metacentrum

Leží na priesečníku nositeľky síl F_G a F_B . Vzniká pri vychýlení zo zvislej polohy ako je naznačené na Obr. 40 kedy sa pôsobisko vztlakovej sily vplyvom zmeny geometrie ponorenej časti telesa posunie zo svojej pôvodnej pozície.

Rovnovážny stav plávajúceho telesa môže byť stabilný, indiferentný, nestabilný (labilný), podľa toho či sa pri malom vychýlení telesa z rovnovážnej polohy bude výchylka zväčšovať alebo znižovať.

Stabilný stav – Metacentrická výška je kladná. Metacentrum MC leží nad ťažiskom CG . Na Obr. 40 je znázornená stabilná poloha plavákov.

Nestabilná poloha – Metacentrická výška je záporná. Metacentrum MC leží pod ťažiskom CG . Pri vychýlení vzniká destabilizujúci moment.

Indiferentná poloha – Nezáleží na vzájomnej polohe ťažiska a metacentra, napr. válec. Poloha metacentra splýva s polohou ťažiska telesa. Metacentrická výška je teda nulová.
[17]

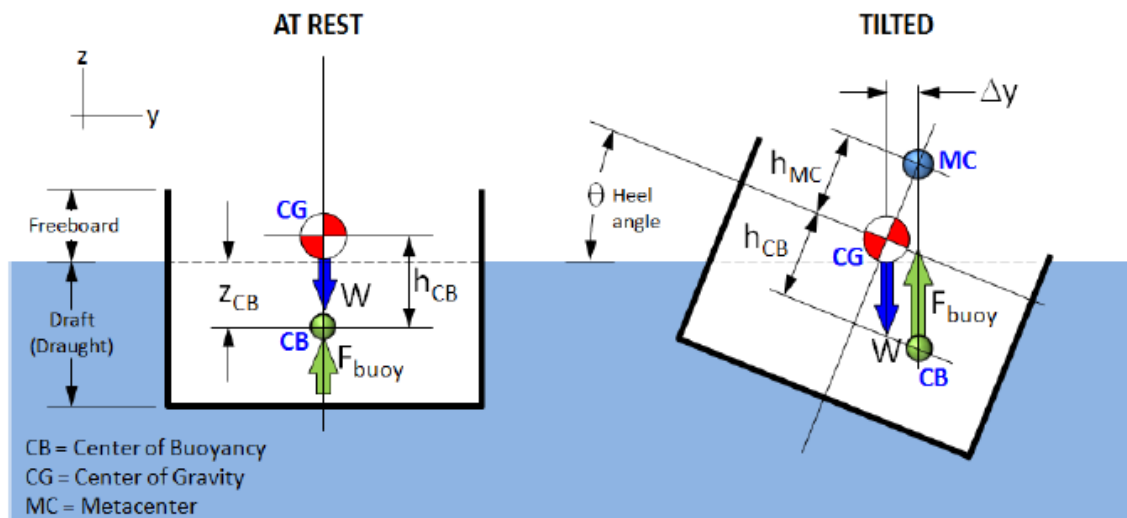
4.4. Vratný moment

Súvisí s nestabilnou polohou plaváku. Je to moment, ktorý vracia teleso z nestabilnej polohy do stabilnej polohy. Nestabilná poloha je spôsobená rotáciou plávajúceho telesa. Rotácia ponoreného telesa spôsobí vychýlenie pôsobiska vztlakovej sily do strany ako je vidieť z Obr. 40 vpravo tak, že pôsobisko vztlakovej sily neleží priamo pod ťažiskom telesa. Výslednica vztlakovej sily posunutá zo svojej pôvodnej polohy a výslednica tiažovej sily vytvárajú na ramene Δy vratný moment M_R . Vratný moment vzniká pôsobením dvojice síl na horizontálnej vzdialenosti, Δy , medzi výslednicou vztlakovej a tiažovej sily. Tento moment sa snaží vrátiť teleso do rovnovážnej polohy, tak aby obe sily opäť ležali na jednej nositeľke. Vychýlenie pôsobiska vztlakovej sily je spôsobené tým, že uhol θ , o ktorý sa teleso nakloní zmení geometriu ponorenej časti telesa a teda i polohu pôsobiska výslednice vztlakovej sily.

Z danej teórie môžeme predpokladať, že teleso pláva stabilne pokiaľ na teleso pri vychýlení pôsobí dvojica síl, ktorá ho uvedie naspäť do rovnovážneho stabilného stavu.

U stabilného stavu a kladnej metacentrickej výšky sa výchylka, Δy postupne znižuje až do stavu kedy teleso opäť nadobudne stabilný stav.

U nestabilnej polohy a zápornej metacentrickej výšky sa výchylka, Δy zvyšuje a môže dôjsť k preklopeniu telesa.



Obr. 40 Stabilná poloha (Vľavo) a vratný moment (Vpravo). [6]

Čím vyššia je metacentrická výška tým rýchlejší je návrat do stabilnej rovnovážnej polohy a naopak.

Hodnotu vratného momentu určíme s nasledujúcej rovnice [6] :

$$M_R = F_G \cdot \Delta y = \rho_W \cdot \theta \cdot \int y^2 \cdot dA = \rho \cdot \theta \cdot I_x \quad (5.1)$$

- Kde
- M_R – Vratný moment.
 - F_G – Gravitačná sila.
 - Δy – Vzdialenosť ťažiska telesa a pôsobiska vztlakovej sily.
 - y – Vzdialenosť ťažiska telesa a pôsobiska vztlakovej sily.
 - ρ_W – Hustota kvapaliny v ktorej je teleso ponorené.
 - A – Plocha daného rezu plaváku.
 - θ – Uhol náklonu telesa.
 - ρ – Hustota vody.
 - I_x – Kvadratický moment ponoreného prierezu k ose.

Vzdialenosť nositeľiek tiažovej sily a vztlakovej sily pri natočení telesa o uhol θ označíme Δy a spočítame podľa vzťahu [6] :

$$\Delta y = \rho \cdot \theta \cdot \frac{I_x}{F_G} = \theta \cdot \frac{I_x}{V_T} \approx (h_{CB} + h_{MC}) \cdot \theta \quad (5.2)$$

- Kde
- Δy – Odchylka ťažiska vztlaku.
 - ρ_W – Hustota kvapaliny v ktorej je teleso ponorené.
 - θ – Uhol náklonu telesa.

- I_x – Kvadratický moment ponoreného prierezu k príslušnej ose.
 F_G – Gravitačná sila.
 V_T – Objem kvapaliny vytlačenej plavákom. (Rovná sa objemu plaváku).
 h_{CB} – Vzdialenosť medzi ťažiskom telesa CG a polohou výslednice vztlakovej sily CB.
 h_{MC} – Vzdialenosť medzi ťažiskom telesa CG a priesečníkom nositeľky tiažovej a vztlakovej sily M v *ft*.

4.5. Metacentrická výška

Metacentrickú výšku vyjadríme vzťahom [6] :

$$h_{MC} = K_{Dvojplavákový\ letún} \cdot \sqrt[3]{W} \quad (5.3)$$

- Kde h_{MC} – Vzdialenosť medzi ťažiskom telesa CG a priesečníkom nositeľky tiažovej a vztlakovej sily M v *ft*.
 $K_{Dvojplavákový\ letún}$ – Konštanta, pre dvojplavákové lietadlo 1,4. (Tabuľka 7)
 W – Hmotnosť lietadla v *lbs* (MTOW).

Typ letúnu	Hodnota konštanty K
Lietajúci čln s pomocnými plavákmi na bokoch trupu	0,75
Lietajúci čln s pomocnými plavákmi na krídlach	1
Plavákové lietadlo s hlavným plavákom	1,2
Plavákové lietadlo s dvoma hlavnými plavákmi	1,4

Tabuľka 7 Výber hodnôt pre konštantu K. [6]

4.6. Priečna stabilita plaváku

Hydrostatická stabilita je schopnosť plavidla vrátiť sa po narušení rovnovážneho stavu vonkajšími silami späť do tohto stavu. Plavák by mal byť stabilný okolo dvoch hlavných osí a po pozdĺžnej a priečnej. Pozdĺžna osa je osa prechádzajúca dĺžkou plavidla, od provy ku korme. Priečna osa je osa normálová osa k pozdĺžnej ose. Obe osy sú normálové k vertikálnej ose prechádzajúcej ťažiskom. [6]

Priečna metacentrická výška býva odhadovaná na základe znalosti *BM*.

BM je vzdialenosť metacentra MC a pôsobiska vztlakovej sily CB , spočítame ju ako [14]:

$$BM = \frac{I}{V_v} \quad (6.4)$$

Kde BM – Vzdialenosť metacentra MC a pôsobiska vztlakovej sily CB v ft .
 I – Kvadratický moment ponorenej oblasti.
 V_v – Objem vytlačenej kvapaliny. Rovný objemu plavákov V_T . Vynásobeného o predpisom danú hodnotu 1,8.

Za predpokladu, že celkový priečný obsah plochy ponoreného plaváku je $L \cdot b$, potom je kvadratický moment, I , je:

$$I = \frac{L}{12} \cdot [(s + b)^3 - (s - b)^3] = \frac{L}{12} \cdot (6 \cdot s^2 \cdot b + 2 \cdot b^3) \quad (5.5)$$

Kde s – Priečna vzdialenosť plavákov (od ťažiska k ťažisku) v ft .
 b – Najväčšia šírka plaváku v ft
 L – Najväčšia dĺžka plaváku v ft .

Metacentrickú výšku môžeme upraviť zmenou základných parametrov a to:

- Šírka plavidla.
- Veľkosť vychýlenia z rovnovážnej polohy definovaná uhlom θ .
- Zmena hĺbky ponoru.

Ponor plaváku je daný jeho objemom. Veľkosť uhla v reálnej situácii nevieme ovplyvniť. Ostáva nám teda úprava šírky plavidla. V našom prípade je to vzájomná vzdialenosť plavákov.

4.7. Vzájomná vzdialenosť plavákov

Preto, aby sme mohli spočítať priečnu metacentrickú výšku musíme najprv určiť minimálnu vzájomnú vzdialenosť plavákov. Vzťah popisujúci rozchod plavákov [6] :

$$s = \frac{0,2679 \cdot W^{\frac{2}{3}}}{\sqrt{L \cdot b}} \quad (5.7)$$

Kde s – Priečna vzdialenosť plavákov (od ťažiska k ťažisku) v ft .
 b – Najväčšia šírka plaváku o ft .
 L – Dĺžka plaváku v ft .
 W – Hmotnosť lietadla v lbs (MTOW).

Vzdialenosť metacentra MC a pôsobiska vztlakovej sily CB spočítame zo vzorca:

$$BM = \frac{\rho \cdot L}{12 \cdot W} \cdot (6 \cdot s^2 \cdot b + 2 \cdot b^3) \quad (5.8)$$

Kde BM – Vzďialenosť metacentra MC a pôsobiska vztlakovej sily CB v ft .
 s – Priečna vzdialenosť plavákov (od ťažiska k ťažisku) o ft .
 b – Najväčšia šírka plaváku v ft .
 L – Najväčšia dĺžka plaváku v ft
 ρ – Hustota kvapaliny v lbs/ft^3 .
 W – Hmotnosť lietadla v lbs (MTOW).

Priečna metacentrická výška, h_{MC_T} , je daná ako:

$$h_{MC_T} = BM - BG = \frac{\rho \cdot L}{12 \cdot W} \cdot (6 \cdot s^2 \cdot b + 2 \cdot b^3) - h_{CB} \quad (5.9)$$

Kde h_{MC_T} – Priečna metacentrická výška ft .
 BM – Vzďialenosť metacentra MC a pôsobiska vztlakovej sily CB v ft
 BG – Vzďialenosť medzi ťažiskom telesa a polohou výslednice vztlakovej sily CB v ft .
 s – Priečna vzdialenosť plavákov (od ťažiska k ťažisku) v ft .
 b – Najväčšia šírka plaváku v ft .
 L – Najväčšia dĺžka plaváku v ft .
 ρ – Hustota kvapaliny v lbs/ft^3 .
 W – Hmotnosť lietadla v librách (MTOW).

Tento vzťah nie je úplne presný, predpokladá totiž, že priečny rez plaváku je obdĺžnik. Testy NACA preukázali, že členy $2 \cdot b^3$ a h_{CB} je možné zanedbať a nepresnosť sa dá odstrániť samostatnou konštantou K_{MC_T} priateľnejšie aproximujúcou priečny rez plaváku [6] :

$$h_{MC_T} = \frac{K_{MC_T} \cdot b \cdot L \cdot s^2}{W} \quad (5.10)$$

Kde h_{MC_T} – Priečna metacentrická výška v ft .
 b – Najväčšia šírka plaváku v ft .
 L – Dĺžka plaváku v ft .
 s – Priečna vzdialenosť plavákov (od ťažiska k ťažisku) v ft .
 W – Hmotnosť lietadla v lbs (MTOW).
 K_{MC_T} – Konštantu určenú na základe NACA testov rovná 19,5.

4.8. Pozdĺžna stabilita plaváku

Predpokladaná ponorená plocha je opäť $L \cdot b$ a teda kvadratický moment, I , je daný ako [14]:

$$I = \frac{n}{12} \cdot b \cdot L^3 \quad (5.11)$$

- Kde I – Kvadratický moment ponorenej oblasti.
 n – Počet plavákov.
 b – Najväčšia šírka plaváku.
 L – Dĺžka plaváku.

Z predpokladu, že ponorená plocha je $L \cdot b$ získame pozdĺžnu metacentrickú výšku, h_{MC_L} , ako:

$$h_{MC_L} = \frac{\rho \cdot n \cdot b \cdot L^3}{12 \cdot W} - h_{CB} \quad (5.12)$$

- Kde ρ – Hustota kvapaliny v lbs/ft^3 .
 n – Počet plavákov.
 b – Najväčšia šírka plaváku v ft .
 L – Dĺžka plaváku v ft .
 W – Hmotnosť lietadla v lbs .
 h_{CB} – Vzdialenosť medzi ťažiskom telesa a polohou výslednice vztlakovej sily CB.

Predchádzajúci vzťah opäť spresníme konštantou z experimentov NACA. Pozdĺžna metacentrická výška, h_{MC_L} , je [6]:

$$h_{MC_L} = \frac{K_{MC_L} \cdot n \cdot B \cdot L^3}{W} \quad (5.13)$$

- Kde h_{MC_T} – Pozdĺžna metacentrická výška v ft .
 b – Najväčšia šírka plaváku v ft .
 L – Dĺžka plaváku v ft .
 s – Priečna vzdialenosť plavákov (od ťažiska k ťažisku) v ft .
 W – Hmotnosť lietadla v lbs (MTOW).
 K_{MC_L} – Konštanta ustavená na základe NACA testov je 2,1.

Pre zachovanie pozdĺžnej a priečnej stability plavákov je pre dvoj plavákové letúny stanovený pomer horizontálnej vzdialenosti plavákov k vertikálnej vzdialenosti ťažiska letúnu – vzdialenosť h_{CB} pre zahovanie rozmedzia uhlu $\delta = 45^\circ$ až 55° [5]:

$$\frac{s}{h_{CB}} = 1,4 \text{ až } 1,7 \quad (5.13)$$

Kde s – Priečna vzdialenosť plavákov (od ťažiska jedného plaváku k ťažisku druhého plaváku).

h – Vzdialenosť medzi ťažiskom letúnu a plaváku.

Stanovenie priečnej a pozdĺžnej výšky metacentra a rozchodu plavákov

Dosadením hodnôt do rovnice (5.6) získavame hodnotu vzájomnej vzdialenosti letúnu s dvoma plavákmi:

$$s = \frac{0,2679 \cdot 1433,005^2}{\sqrt{16,496 \cdot 2,198}} = 5,655 \text{ ft} = 1,724 \text{ m}$$

Vzťah (5.6) pre rozchod plavákov nezahrnuje účinok na metacentrickú výšku. Pri jeho aplikácii pre vzťah (5.9) nám spôsobí, že pozdĺžna a priečna poloha metacentrickej výšky sa nám o dosť líšia. To znamená, že pre pri pozdĺžnom, alebo priečnom natočení by vratný moment spôsobil príliš odlišné uhlové zrýchlenie návratu telesa do rovnovážnej polohy. Tento nepomer sa dá korigovať napríklad zvýšením rozostupu plavákov. Zvýšením rozostupu plavákov sa dajú polohy priečného a pozdĺžneho metacentra priblížiť bližšie. Z tohto dôvodu zvyšujeme rozostup plavákov z pôvodných 1,724 m na 2,33 m.

Dosadením hodnôt do rovnice (5.9) získavame hodnotu priečnej metacentrickej výšky:

$$h_{MC_T} = \frac{19,5 \cdot 2,198 \cdot 16,496 \cdot 7,646^2}{1433,005} = 28,846 \text{ ft} = 8,792 \text{ m}$$

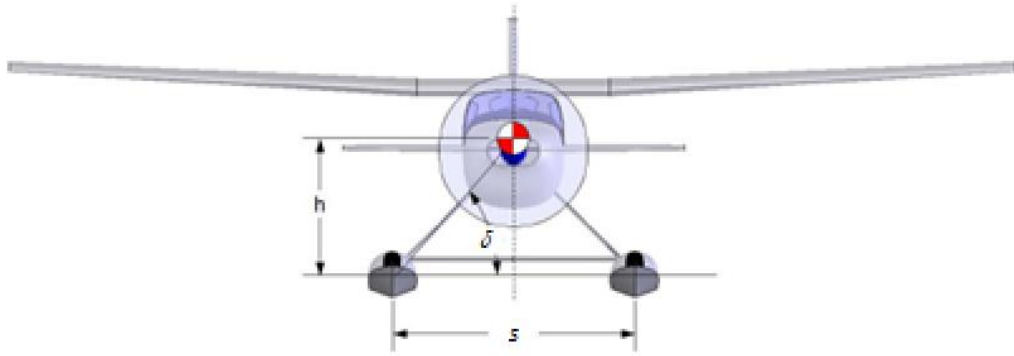
Dosadením hodnôt do rovnice (5.12) získavame hodnotu pozdĺžnej metacentrickej výšky:

$$h_{MC_L} = \frac{2,1 \cdot 2 \cdot 2,198 \cdot 16,496^3}{1433,005} = 28,918 \text{ ft} = 8,814 \text{ m}$$

Výška h_{CB} je z rovnice (5.13) pri výbere stredu intervalu 1,55:

$$h = \frac{2,33}{1,55} = 1,503 \text{ m}$$

Pri zachovaní týchto parametrov by letún mal byť stabilný. Zároveň nám tieto základné vzťahy ponúkajú dostatočnú flexibilitu v prípade nutnosti ďalšej úpravy návrhu (Napríklad pri zistení, že v danej výške letúnu dochádza k zvýšenému omočeniu vrtule.)



Obr. 41 Uloženie plavákov na letún. [6]

5. Stanovenie zaťaženia

V nasledujúcej kapitole boli riešené normou stanovené prípady pre vzlet a pristanie hydroplánu. Pri zaťažení plavákov sme sa opierali o predpis CS-23.

Maximálnemu zaťaženiu je plavák vystavený pri pristávaní. Každý plavák v prípade dvojplavákového letúnu je považovaný za samostatný trup fiktívneho letúnu s hmotnosťou rovnajúcou sa polovici hmotnosti letúnu. Okrem prípadu vzletu sa považuje aerodynamický vztlak letúnu pri dosadnutí na vodu $2/3$ hmotnosti letúnu. [37]

5.1. Symetrické pristanie na stupeň

Pre symetrické pristanie na stupeň, prednú a zadnú časť plaváku, spočítame prevádzkové násobky podľa predpisu CS 23.527. Výsledné zaťaženie od vody musí pôsobiť na kýl, prechádzať ťažiskom a musí smerovať kolmo na líniu kýlu. Symetrické pristanie na stupeň spočítame vzťahom [37]:

$$n_{wA} = \frac{0,012 \cdot v_{S0}^2}{(\tan^{2/3} \cdot \beta) \cdot W^{1/3}}$$

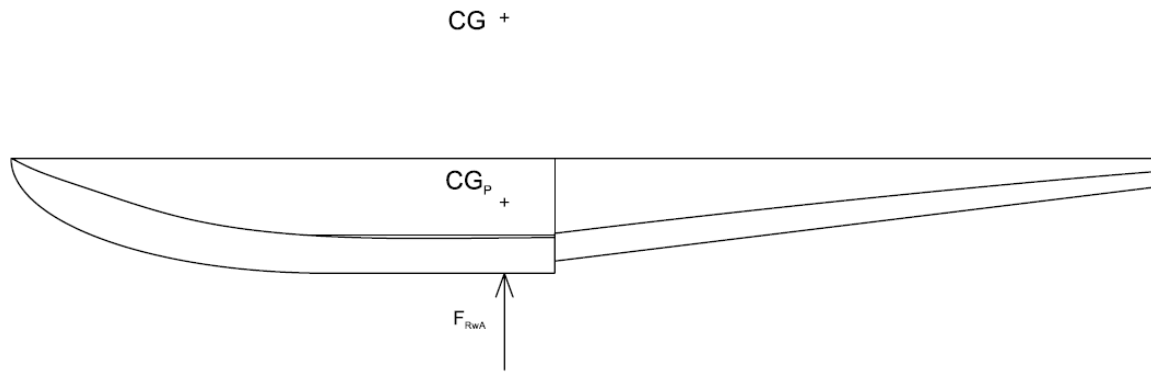
- Kde n_w – Násobok zaťaženia (tj. reakcia vody podelená hmotnosťou letúnu).
 c_1 – Empirický prevádzkový súčiniteľ rovný 0,012. (Okrem prípadu kedy by násobok vyšiel pod 2,33 vtedy je vyšší tak, aby minimálna hodnota násobku bola 2,33.)
 v_{S0} – Minimálna pádová rýchlosť letúnu v uzloch zo vztlakovými klapkami v pristávacej konfigurácii a bez účinku vrtuľového prúdu.
 β – Uhol priečného sklonu plaváku.
 W – Hmotnosť letúnu v librách.

Výsledná reakčná sila:

Výsledná reakčná sila musí v určenom mieste pôsobiť kolmo na kýl, Obr. 44.

$$F_{RwA} = m \cdot g \cdot n_{wA}$$

- Kde F_{RwA} – Výsledná reakčná sila.
 m – Hmotnosť letúnu v pristávacej konfigurácii.
 g – Gravitačné zrýchlenie.
 n_{wA} – Odpovedajúci násobok zaťaženia



Obr. 42 Poloha výslednej reakčnej sily- Symetrické pristanie na stupeň.

Stanovenie zaťaženia n_{wA} a reakčnej sily F_{RwA}

$$n_{wA} = \frac{0,012 \cdot 29,7^2}{(\tan(25))^{2/3} \cdot 1322,774^{1/3}} = 1,604$$

Násobok vyšiel menej ako minimum 2,33 a preto musíme upraviť koeficient c_1 na približne 0,017. Pre výpočet reakčnej sily teda použijeme násobok 2,33.

$$F_{RwA} = 600 \cdot 9,81 \cdot 2,33 = 13\,714,38 \text{ N}$$

5.2. Pristание na prednú časť plaváku symetrické

Preto aby sme mohli spočítať predbežné hodnoty zaťaženia plaváku budeme potrebovať spočítať momenty zotrvačnosti k jednotlivým osám. Tie pre návrhové výpočty zaťaženia odhadneme zo vzťahov v literatúre [36]:

$$J_x = m \cdot i_x^2$$

$$J_y = m \cdot i_y^2$$

$$J_z = m \cdot i_z^2$$

Kde J_x, J_y, J_z – Momenty zotrvačnosti k príslušným osám.
 m – Hmotnosť telesa.
 i_x, i_y, i_z – Vzdialenosť osy otáčania.

$$i_x = l \cdot (0,108 + 0,0042 \cdot l)$$

$$i_y = \chi \cdot (0,182 + 0,001242 \cdot \chi)$$

$$i_z = 0,165 \cdot d$$

Kde i_x, i_y, i_z – Vzdialenosť osy otáčania.
 l – Rozpätie letúnu.
 χ – Koeficient pre i_y rovný: $\chi = \frac{l+d}{2}$
 d – Dĺžka trupu letúnu.

Pre symetrické pristanie na prednú a zadnú časť budem potrebovať moment zotrvačnosti J_z :

$$i_z = 0,165 \cdot 7,2 = 1,188 \text{ m}$$

$$J_z = 600 \cdot 1,188^2 = 846,806 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

Z týchto údajov potom môžeme spočítať r_{xp} a r_{xz} –koeficienty, ktoré budeme potrebovať pre výpočet násobku príslušných prípadov:

$$r_{xp} = \frac{a_p}{\frac{J_z}{m}}$$

$$r_{xz} = \frac{a_z}{\frac{J_z}{m}}$$

Kde r_{xp}, r_{xz} – Pomer vzdialenosti meranej rovnobežne so vzťažnou osou trupu od ťažiska letúnu k pozdĺžnej časti trupu, pre ktorú sa násobok zaťaženia počíta, a polomeru zotrvačnosti klopenia letúnu. (Vzťažná osa trupu je priamka v rovine symetrie. Je dotyčnicou ku kýlu v mieste hlavného stupňa.)

a_p, a_z – Vzdialenosť meraná od ťažiska letúnu k danému miestu stanoveného predpisom.

$$r_{xp} = \frac{1,596}{\frac{846,806}{600}} = 1,131$$

$$r_{xz} = \frac{2,557}{\frac{846,806}{600}} = 1,812$$

Násobok pre symetrické pristanie na prednej časti spočítame vzťahom podľa predpisu CS-23.527 [37]:

$$n_{wB} = \frac{c_1 \cdot v_{S0}^2}{(Tan^{2/3} \cdot \beta) \cdot W^{1/3}} \cdot \frac{K_1}{(1 + r_{xp}^2)^{2/3}}$$

Kde n_w – Násobok zaťaženia (tj. reakcia vody podelená hmotnosťou letúnu).

c_1 – Empirický prevádzkový súčiniteľ rovný 0,012.(Okrem prípadu kedy by násobok vyšiel pod 2,33 vtedy je vyšší.)

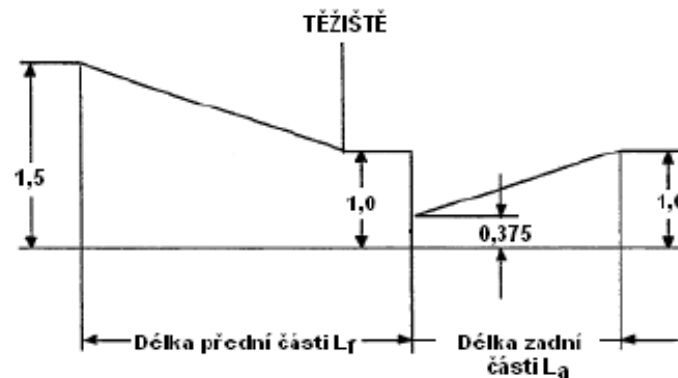
v_{S0} – Minimálna pádová rýchlosť letúnu v uzloch zo vztlakovými klapkami v pristávacej konfigurácii.

β – Uhol priečného sklonu plaváku.

W – Návrhová pristávacia hmotnosť v librách.

K_1 – Emprický hmotnostný súčiniteľ trupu.

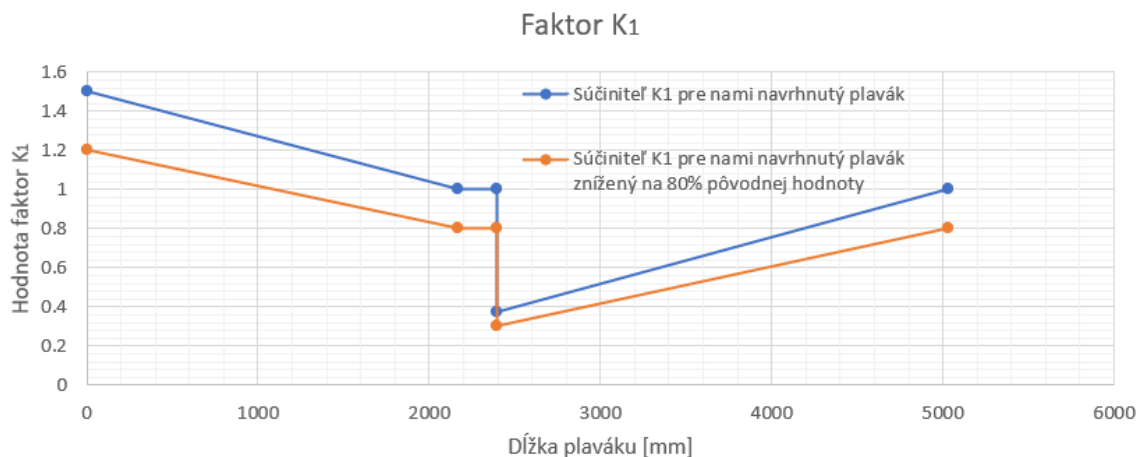
r_{xp} – Pomer vzdialenosti meranej rovnobežne so vzťažnou osou trupu od ťažiska letúnu k pozdĺžnej časti trupu, pre ktorú sa násobok zaťaženia počíta, a polomeru zotrvačnosti klopenia letúnu. (Vzťažná osa trupu je priamka v rovine symetrie. Je dotyčnicou ku kýlu v mieste hlavného stupňa.)



K_1 (Vertikální zatížení)

Obr. 43 Faktor K_1 . [36]

Pri dvojplavákovom letúne je možné znížiť faktor K_1 v prednej i zadnej časti plaváku na 0,8 pôvodnej hodnoty. Na grafe z Obr. 46 sú zobrazené hodnoty faktoru K_1 pre nami navrhnutý plavák podľa Obr. 45.



Obr. 44 Faktor K_1 pre nami navrhovaný plavák.

Pri symetrickom pristání na prednú časť plaváku musí výsledné zaťaženie od vody pôsobiť na kýl v jednej pätine pozdĺžnej vzdialenosti od provy k stupni, pričom musí smerovať kolmo na líniu kýlu.

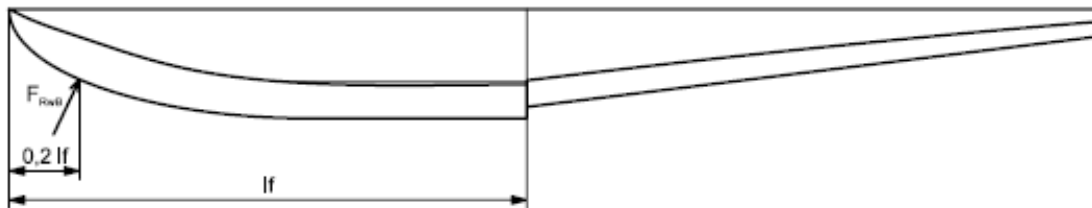
Pri symetrickom pristání na zadnú časť plaváku musí výsledné zaťaženie od vody pôsobiť na kýl vo vzdialenosti rovné 85% vzdialenosti od stupňa ku korme a musí smerovať kolmo na líniu kýlu. [36]

Výsledná reakčná sila

Výsledná reakčná sila musí v určenom mieste pôsobiť kolmo na kýl, Obr. 47.

$$F_{RWB} = m \cdot g \cdot n_{wB}$$

- Kde F_{RWB} – Výsledná reakčná sila.
 m – Hmotnosť letúnu v pristávacej konfigurácii.
 g – Gravitačné zrýchlenie.
 n_{wB} – Odpovedajúci násobok zaťaženia



Obr. 45 Poloha pôsobiska výslednej sily pri pristání na prednú časť plaváku.

Stanovenie zaťaženia n_{wB} a reakčnej sily F_{RWB}

$$n_{wB} = \frac{0,012 \cdot 29,7^2}{(\tan(32)^{2/3}) \cdot 1322,774^{1/3}} \cdot \frac{1,104}{(1 + 1,131^2)^{2/3}} = 0,841$$

Násobok vyšiel menej ako minimum 2,33 a preto musíme upraviť koeficient c_1 na približne 0,0332. Pre výpočet reakčnej sily teda použijeme násobok 2,33.

$$F_{RWB} = 600 \cdot 9,81 \cdot 2,33 = 13\,714,38 \text{ N}$$

5.3. Pristание na zadnú časť plaváku symetrické

Spočítame vzťahom podľa predpisu CS-23.527 [37]:

$$n_{wC} = \frac{c_1 \cdot v_{S0}^2}{(\tan^{2/3} \cdot \beta) \cdot W^{1/3}} \cdot \frac{K_1}{(1 + r_{xz}^2)^{2/3}}$$

- Kde n_w – Násobok zaťaženia (reakcia vody podelená hmotnosťou letúnu).
 c_1 – Empirický prevádzkový súčiniteľ rovný 0,012. (Okrem prípadu kedy by násobok vyšiel pod 2,33 vtedy je vyšší.)

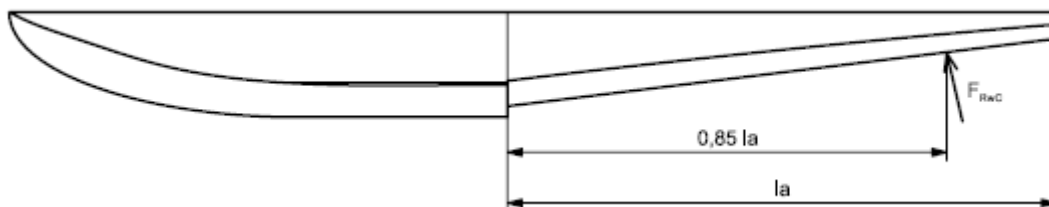
- v_{S0} – Minimálna pádová rýchlosť letúnu v uzloch zo vztlakovými klapkami v pristávacej konfigurácii.
 β – Uhol priečného sklonu plaváku.
 W – Návrhová pristávacia hmotnosť v librách.
 K_1 – Emprický hmotnostný súčiniteľ trupu.
 r_{xz} – Pomer vzdialenosti meranej rovnobežne so vzťažnou osou trupu od ťažiska letúnu k pozdĺžnej časti trupu, pre ktorú sa násobok zaťaženia počíta, a polomeru zotrvačnosti klopenia letúnu. (Vzťažná osa trupu je priamka v rovine symetrie. Je dotyčnicou ku kýlu v mieste hlavného stupňa.)

Výsledná reakčná sila

Výsledná reakčná sila musí v určenom mieste pôsobiť kolmo na kýl, Obr. 48.

$$F_{RWC} = m \cdot g \cdot n_{WC}$$

- Kde F_{RWC} – Výsledná reakčná sila.
 m – Hmotnosť letúnu v pristávacej konfigurácii.
 g – Gravitačné zrýchlenie.
 n_{WC} - Odpovedajúci násobok zaťaženia



Obr. 46 Poloha pôsobiska výslednej sily pri pristání na zadnú časť plaváku.

Stanovenie zaťaženia n_{WB} a reakčnej sily F_{RWB}

$$n_{WC} = \frac{0,012 \cdot 29,7^2}{(\tan(20)^{2/3}) \cdot 1322,774^{1/3}} \cdot \frac{0,772}{(1 + 1,812^2)^{2/3}} = 0,554$$

Násobok vyšiel menej ako minimum 2,33 a preto musíme upraviť koeficient c_1 na približne 0,0332. Pre výpočet reakčnej sily teda použijeme násobok 2,33.

$$F_{RWC} = 600 \cdot 9,81 \cdot 2,33 = 13\,714,38 \text{ N}$$

5.4. Nesymetrické pristание na stupeň a prednú a zadnú časť plaváku

Nesymetrické zaťaženie podľa predpisu CS-23.527 sa skladá zo:

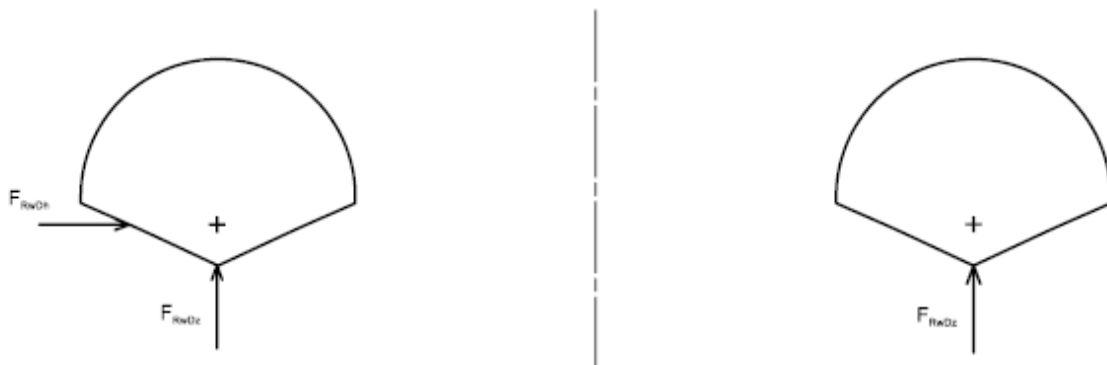
- Zvislej nahor pôsobiacej zložky rovnej $0,75 \tan \beta$ násobku zaťaženia pri pristání na stupeň každého plaváku.
- Horizontálnej zložky rovnej $0,25 \tan \beta$ násobku zaťaženia pri pristání na stupeň u jedného plaváku.

Priečna zložka smeruje dovnútra, kolmo k rovine symetrie plaváku a pôsobí v polovici vzdialenosti, medzi kýlom a priesečníkom boku s dnom plaváku v rovnakej pozdĺžnej polohe, ako zvislá zložka pôsobiaca nahor [37]:

$$F_{RwDh} = 0,25 \cdot \tan(\beta) \cdot F_{RwA}$$

$$F_{RwDz} = 0,75 \cdot F_{RwA}$$

Kde	F_{RwDh}	– Horizontálna zložka zaťaženia.
	F_{RwDz}	– Zvislá zložka zaťaženia.
	β	– Priečný uhol prednej časti plaváku.
	F_{RwA}	– Zaťaženie pre prípad pristania na stupeň.



Obr. 47 Poloha reakčných síl pre nesymetrické pristание na stupeň.

Stanovenie síl pre nesymetrické pristание na stupeň

$$F_{RwDh} = 0,25 \cdot \tan(25) \cdot 13\,714,38 = 1199,09 \text{ N}$$

$$F_{RwDz} = 0,75 \cdot 13\,714,38 = 10285,79 \text{ N}$$

5.5. Zaťaženie pri vzlete

Pre prípad vzletu sa predpokladá nulový aerodynamický vztlak krídla podľa predpisu CS-23.531. Pre analýzu sa musí použiť zvisle dole pôsobiace zaťaženie od zotrvačných síl odpovedajúcich násobku zaťaženia. Násobok zaťaženia je potom vypočítaný podľa vzťahu:

$$n_{wV} = \frac{c_{TO} \cdot v_{S1}^2}{(\tan^{2/3} \cdot \beta) \cdot W^{1/3}}$$

- Kde n_{wV} – Násobok zaťaženia od zotrvačných síl.
 c_{TO} – Empirický prevádzkový súčiniteľ rovný 0,004.
 v_{S1} – Pádová rýchlosť letúnu v uzloch pri návrhovej vzletovej hmotnosti zo vztlakovými klapkami vo vzletovej konfigurácii.
 β – Uhol priečného sklonu dna hlavného stupňa v stupňoch.
 W – Návrhová vzletová hmotnosť v librách.

Stanovenie zaťaženia pri vzlete

$$n_{wV} = \frac{0,004 \cdot 35,1^2}{(\tan(25)^{2/3}) \cdot 1322,774^{1/3}} = 0,747$$

5.6. Prehľad zaťaženia

V predchádzajúcich kapitolách sme spočítali násobky a z nich plynúce reakčné sily pôsobiace na predpisom stanovené časti plaváku. Násobky a reakčné sily sú prehľadne usporiadané v Tabuľke 7.

Predpisový prípad	Násobok	Hodnota násobku	Reakčná sila	Hodnota reakčnej sily
A	n_{wA}	2,33	F_{RwA}	13 714,38
B	n_{wB}	2,33	F_{RwB}	13 714,38
C	n_{wC}	2,33	F_{RwC}	13 714,38
D	-	-	F_{RwDh}	1199,09
	-	-	F_{RwDz}	10285,79
E	n_{wE}	0,747	-	-

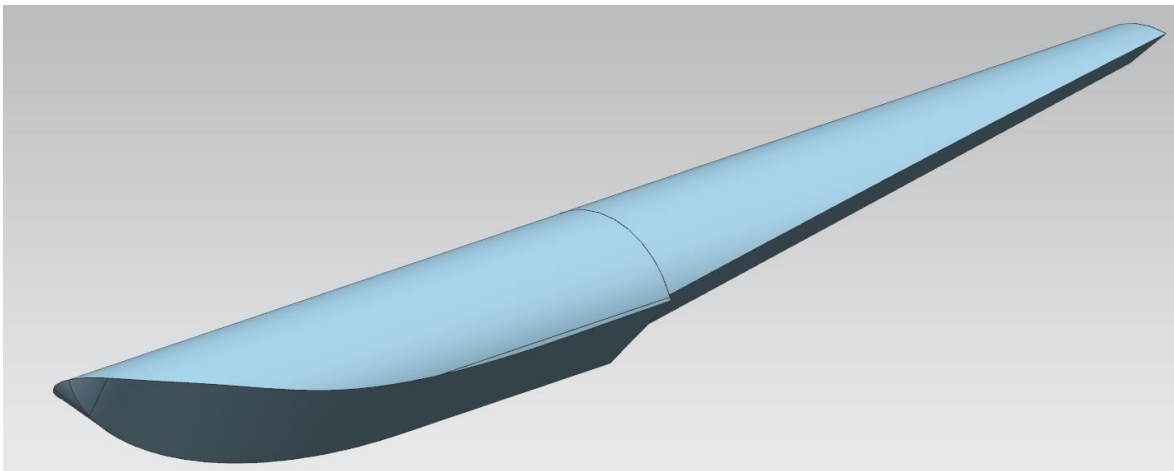
Tabuľka 8 Násobky a príslušné reakčné sily stanovené pre plavák.

6. Ideový návrh konštrukcie

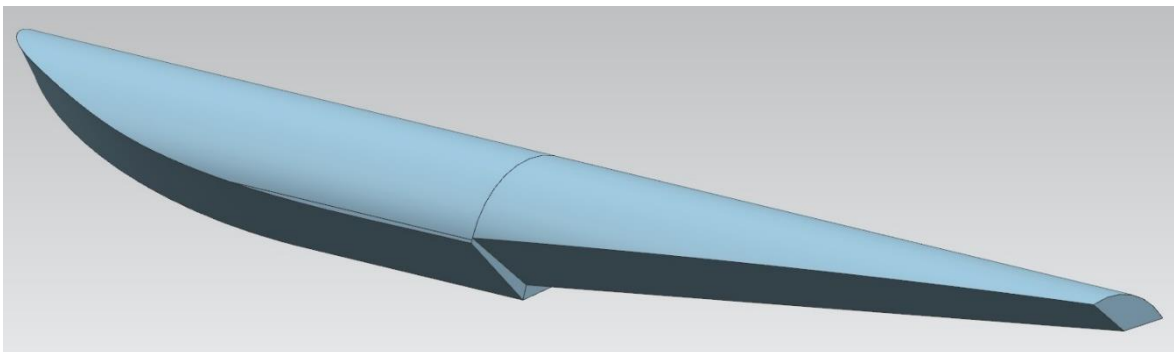
Skutočný návrh plaváku vyžaduje testy geometrie v miere, ktoré sú nad rámec tejto práce. V tejto kapitole pristúpime k tvorbe ideového modelu plaváku v CAD programe NX Siemens na základe nami navrhnutých parametrov z predchádzajúcich kapitol.

6.1. Ideový návrh plaváku

V nasledujúcej podkapitole prezentujem vizualizáciu návrhu plaváku z predchádzajúcich kapitol.

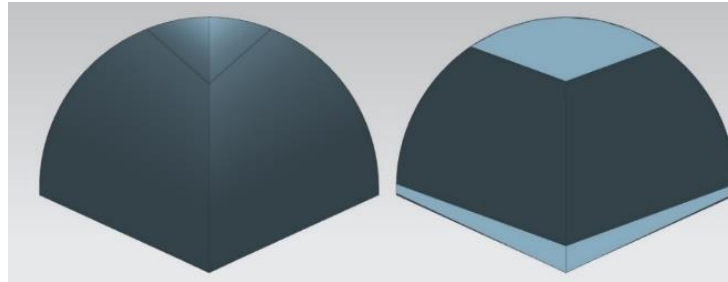


Obr. 48 Ideový model plaváku.

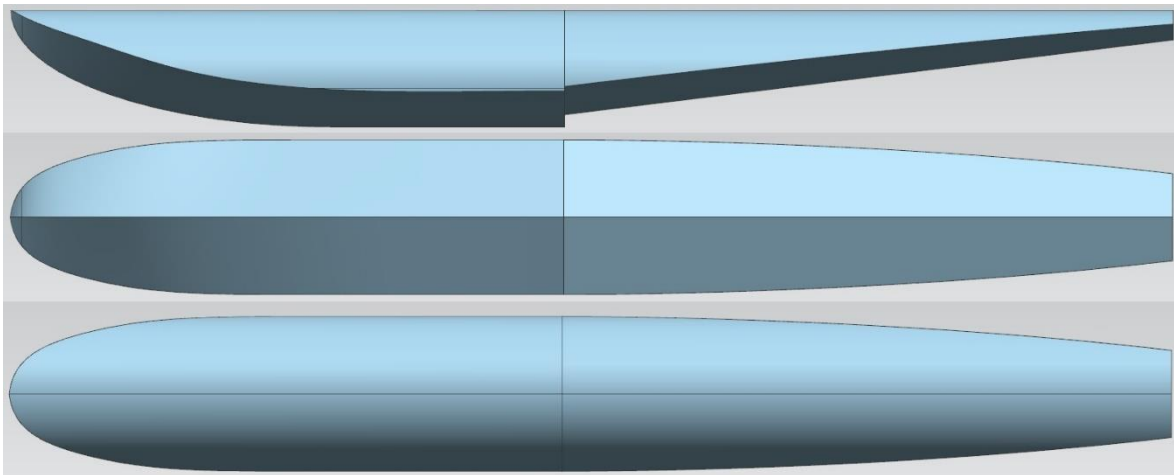


Obr. 49 Ideový model plaváku.

Obrysový model na Obr. 50, Obr. 51, je zostavený na základe predchádzajúcich výpočtov, prehľadne usporiadaných v Tabuľke 6 na konci kapitoly 4.

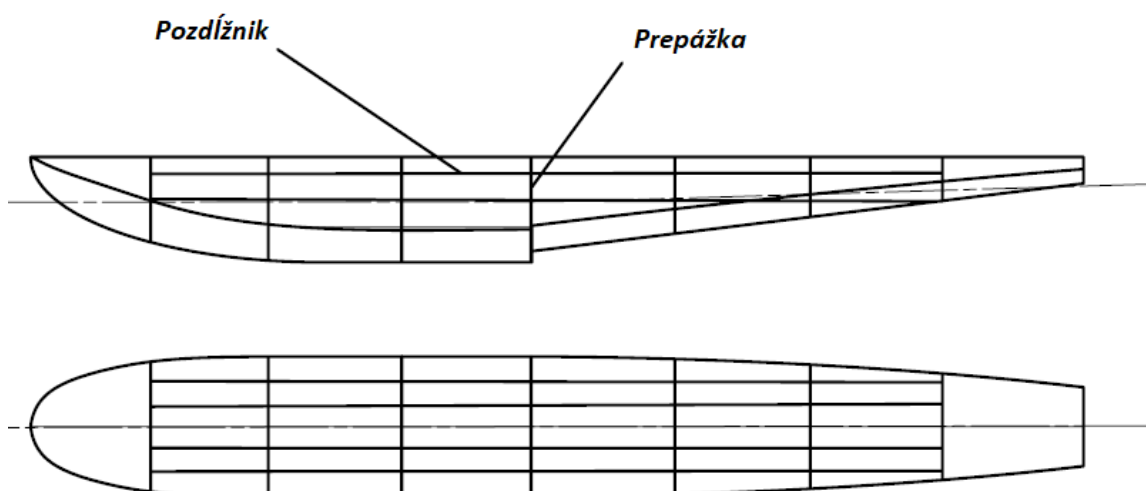


Obr. 50 Pohľad na prednú časť plaváku (vľavo) a zadnú časť plaváku (vpravo).



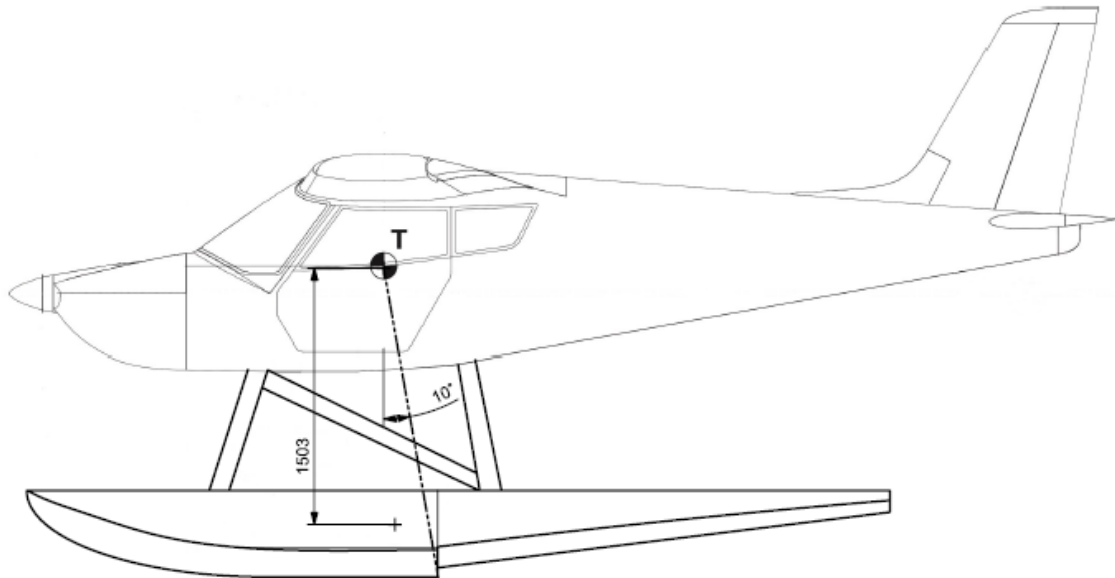
Obr. 51 Návrh plaváku. Pohľady zhora dole: bokorysný, pohľad na dno plaváku, pôdorysný.

Predpis pre plavákové letúny stanovuje, že každý plavák musí mať minimálne 4 vodotesné komory. Obr. 54 predstavuje ilustratívne ideové rozloženie pozdĺžnikov a vodotesných komôr plaváku.



Obr. 52 Ideové rozloženie pozdĺžnikov a prepážok.

Obr. 53 predstavuje polohu plaváku voči ťažisku letúnu. Na obrázku je naznačené vzdialenosť ťažiska letúnu od ťažiska plaváku. Uhol určuje polohu plaváku v pozdĺžnom smere. Ďalej je načrtnutý návrh konštrukcie, ktorá bude prichytávať plaváky k trupu letúnu. Obr. 53 nezohľadňuje postoj letúnu. Ten by mohol byť predmetom ďalších prác.



Obr. 53 Poloha plaváku vzhľadom k polohe ťažiska letúnu.

6.2. Váha plaváku

Váhu plaváku určíme pomocou literatúry [38]. Štatisticky zostavený vzťah pre odhad váhy plaváku:

$$W_{bh} = 0,12 \cdot GW$$

Kde W_{bh} – Odhadovaná váha plaváku.
 GW – Celková váha letúnu.

Stanovenie váhy plaváku

Dosadením váhy letúnu do rovnice (7.1) dostávame odhad váhy plavákov:

$$W_{bh} = 0,12 \cdot 600 = 72kg$$

Váha jedného plaváku bude teda približne 36kg. Pri zvolenej váhe letúnu by sme s touto váhou plavákov prevýšili váhu dovolenú predpisom (650kg). Moderné kompozitné materiály, však majú oproti hliníku takmer polovičnú hustotu. Aplikáciou kompozitných materiálov prípadne výroba plaváku z kompozitu by mohla teoreticky zredukovať váhu až o 50%.

7. Závěr

V tejto práci sme sa zaoberali analytickým prototypovým návrhom geometrie plaváku pre malé športové lietadlo s maximálnou váhou 650kg.

Návrh plaváku je boj s požiadavkami pre pohyb telesa vo vzduchu a vo vode. Vo vzduchu nám predovšetkým ide o zachovanie čo najmenšieho aerodynamického odporu. Tento cieľ spravidla narúšajú všetky požiadavky z hľadiska hydrodynamického odporu, hydrodynamiky a hydrostatiky plavákového telesa.

V teoretickej časti práce sme zhrnuli históriu, vývoj, základný popis a dôvody rozmachu a konca hydroplánov. Bola uvedená základná rešerš konštrukčných riešení najbežnejších typov hydroplánov, rozdelenie a popis základných typov týchto strojov. Nasledoval výber dôležitých pojmov z problematiky hydroplánov pre jej lepšie priblíženie a pochopenie problematiky týchto strojov.

V praktickej časti sme pristúpili k návrhu plavákov na základe rozboru ich geometrie, hydrostatiky a zaťaženia. Návrh sa opiera o predpis CS-23 pre návrh zaťaženia na vode. V tejto práci sme sa zaoberali riešením ideového tvaru plaváku. Boli rozobrané najdôležitejšie rozmery plaváku a dôkladne rozobraný ich vplyv na výsledné vlastnosti. Opis jednotlivých geometrických charakteristík a ich porovnanie z rôznych zdrojov nasleduje v každej podkapitole stanovenie rozmerov jednotlivých častí tak, aby čo najlepšie odpovedali požiadavkám pre plavák, plavákového letúnu z aerodynamického, hydrodynamického, hydrostatického hľadiska a najmä z hľadiska stability.

Pre plavák sme navrhli a spočítali hodnoty pre najdôležitejšie časti geometrie a to: dĺžku, šírku a výšku plaváku, uhol priečného sklonu dna prednej a zadnej časti dna plaváku, tvar kýlu prednej, a zadnej časti plaváku, tvar dna a polohou a výšku stupňa. Uviedli sme a spočítali základné hydrostatické výpočty nutné pre zabezpečenie stability plavákového letúnu na vode a rozchod plavákov a výšku metacentra pre pozdĺžnu a priečnu stabilitu. Spočítali sme vzdialenosť pôsobiska vztlakovej sily od ťažiska plaváku. Navrhnutú geometriu vizualizujeme v programe NX Siemens v kapitole "Ideový návrh plaváku". Základný návrh plaváku vytvárame v CAD, ako obrysový model plavákového telesa.

Pokračovanie práce by sa malo zaoberať ďalším tvarovaním plaváku. Predne CFD analýzou tvaru návrhu modelu z hľadiska jeho aerodynamiky a hydrodynamiky. Aerodynamické tvarovanie by sa malo zamerať na veľkosť prehnutia strednice plaváku v jeho prednej časti smerom nadol a úpravu tvaru provy plaváku. Prípadne by sa mohol upraviť koniec zadnej časti plaváku tak, že by sa zúžil, aby nevytváral prídavný aerodynamický odpor, avšak iba v prípade, že by následná hydrodynamická analýza preukázala, že plavák sa pri vzlete a pristávaní s touto zmenou nechová stabilne. Experimentálne by bolo vhodné overiť hydrodynamické charakteristiky dna plaváku z hľadiska rozstreku a jeho stability.

ZOZNAM POUŽITÉJ LITERATÚRY

- [1] History Hour: Henri Fabre flies first seaplane in 1910. *World Aviation News, Aerospace Industry News | AeroTime Hub* [online]. Dostupné z: <https://www.aerotime.aero/17952-history-hour-henri-fabre-flies-first-seaplane-in-1910>
- [2] YENNE, B. *Seaplanes of the World: A Timeless Collection from Aviation's Golden Age*. 1st ed. O.G Publisher, Inc., 1997. ISBN 978-1885440075.
- [3] Létařící čluny a hydroplány – I. Meziválečný úsvit - Aeroweb.cz. *Aeroweb.cz* [online]. Copyright © 2005 [cit. 22.12.2021]. Dostupné z: <https://www.aeroweb.cz/clanky/4638-letajici-cluny-a-hydroplany-i-mezivalecny-usvit>
- [4] Viking Aircraft | Viking Air Ltd. *Viking Air Ltd | Versatility That Works* [online]. Copyright © Viking Air Ltd. All rights reserved. [cit. 22.12.2021]. Dostupné z: <https://www.vikingair.com/viking-aircraft>
- [5] AKOYA, amphibious light sport airplane : style & versatility - LISA. *A new generation of private plane: AKOYA, aircraft by LISA Airplanes* [online]. Copyright © 2021 LISA Airplanes [cit. 22.12.2021]. Dostupné z: <http://lisa-airplanes.com/en/light-amphibious-aircraft-akoya/>
- [6] GUDMUNDSSON, S. *General Aviation Aircraft Design: Applied Methods and Procedures: APPENDIX C3: Design of Seaplanes*. 1st ed. Elsevier, Inc, 2014. ISBN 978-0128099988.
- [7] STINTON, D. *The design of the aeroplane*. 1st ed. Granada, 1983. ISBN 978-0246113283.
- [8] TOMASZEWSKI, K. M. *Hydrodynamic design of seaplane floats*. 1st ed. London: His Majesty's Stationery Office, 1950.
- [9] CHICKEN, S. H. *Conceptual design methodologies for waterborne and amphibious aircraft.: Dizertačná práca*. Cranfield: Cranfield University, 1999.
- [10] BENSON, J. M., HAVENS, R. F. *Tank Tests of a Flying-Boat Model Equipped With Several Types of Fairing Designed to Reduce the Air Drag of the Main Step*, NACA Advanced Restricted Report No. L5C09b. Washington, 1950.

- [11] PARKINSON, J. B., OLSON, R. E., HOUSE, R. O. *Hydrodynamic and Aerodynamic Tests of a Family of Models of Seaplane Floats With Varying Angles of Dead Rise: N.A.C.A. Models 57-A, 57-B, and 57-C, NACA Technical Note No. 716.* Washington, 1939.
- [12] RAYMER, D. P. *Aircraft Design: A Conceptual Approach (Aiaa Education) (AIAA Education Series)*. 2nd ed. Washington, DC: American Institute Of Aeronautics and Astronautic, 1992. ISBN 978-0930403515.
- [13] THURSTON, D. B. *Design for flying*. 2nd ed. New York: McGraw-Hill, Inc., 1995. ISBN 978-0070645578.
- [14] DIEHL, W. S. *Static stability of seaplane floats and hulls, NACA Technical Note No. 183.* Washington, 1924.
- [15] U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION, FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION *Seaplane, Skiplane, and Float/Ski Equipped Helicopter Operations Handbook: FAA-H-8083-23 (Color Print);* Independently published, 2021. ISBN 979-8776730108.
- [16] CANAMAR, A. *Seaplane Conceptual Design and Sizing: Dizertačná práca.* Glasgow: University of Glasgow, 2012.
- [17] JEŽEK, J., VÁRADIOVÁ, B., ADAMEC, J. *Mechanika tekutin.* Praha: ČVUT, 2000.
- [18] FENSTER, B., FENSTER, A. *Guide to Seaplane Flying.* Independently published, 2019. ISBN 978-1686219795.
- [19] FRED, W. S., LOCKE, Jr. *A Correlation of the Dimensions, Proportions, and Loadings of Existing Seaplane Floats and Flying Boat Hulls, NACA Advanced Restricted Report.* Washington, 1943.
- [20] AOPA. *Your Freedom to Fly - AOPA* [online]. Copyright ©2016 Aircraft Owners and Pilots Association [cit. 15.11.2021]. Dostupné z: https://www.aopa.org/news-and-media/all-news/2016/april/pilot/f_seaplanes
- [21] RICHARDSON, H. C. *Aircraft Float Design*. 1st ed. Ronald Press, 1928.
- [22] NELSON, W. *Seaplane design*. 1st ed. McGraw-Hill Book Co, 1934.

- [23] BENSON, J. M., BIDWELL, J. M. *Bibliography and review of information relating to the hydrodynamics of seaplane*, NACA Advanced Confidential Report No. L5G28. Washington, 1945.
- [24] PARKINSON, J. B. *Design criterions for the dimensions of the forebody of a long-range flying boat*, NACA Advanced Restrictive Report No. 3K08. Washington, 1943.
- [25] LOCKE JR., F. W. S., DAVIDSON, K. S. M. *General tank tests on the hydrodynamic characteristics of four flying-boat hull models of differing length-beam ratio*, NACA Advanced restricted Report No. 4F15. Washington, 1944.
- [26] LAND, N. S., BIDWELL, J. M., GOLDENBAUM, D. M. *The Resistance of Three Series of Flying Boat-Hulls as Affected by Length-Beam Ratio*, NACA Advanced Restricted Report No. L5G23. Washington, 1945.
- [27] BELL, J. W., GARRISON, Ch. C., ZECK, H. *Effect of Length-Beam Ratio on Resistance and Spray of Three Models of Flying-Boat Hulls*, NACA Advanced Restricted Report No. 3J23. Washington, 1943.
- [28] YATES, C. C., RIEBE, J. M. *Effect of Length-Beam on the Aerodynamic Characteristics of Flying-Boat Hulls*, NACA Technical Note No. 1305. Washington, 1947.
- [29] HOERNER, S. F. *Fluid Dynamic Drag: Practical Information on Aerodynamic Drag and Hydrodynamic Resistance*. 2nd ed. Published by Author, 1965. ISBN 978-9991194448.
- [30] ROSKAM, J. *Airplane Design Part VI: Preliminary Calculation of Aerodynamic, Thrust and Power Characteristics*. 4th ed. Lawrence: Design, Analysis and Research Corporation, 2004. ISBN 978-9993249603.
- [31] EULA, A. *Hydrodynamic Tests of Models of Seaplane Floats*, NACA Technical Memorandum No. 770. Washington, 1935.
- [32] HUGLI JR., W. C., AXT, W. C. *Hydrodynamic investigation on a series of hull models suitable for small flying boats and amphibians*, NACA Technical Note No. 2503. Washington, 1951.
- [33] PARKINSON, J. B., OLSON, R. E., DRALEY, E. C., LOUMA, A. A. *Aerodynamic and hydrodynamic tests of a family of models of flying hulls derived from a streamline body -- NACA model 84 series*, NACA Technical Report No. 766. Washington, 1943.

- [34] DATHE, I. *Hydrodynamic Characteristics of Seaplanes as Affected by Hull Shape Parameters*. A.I.A.A. Advance Marine Vehicles Journal. 1989.
- [35] PATERSON, J. H. Recent Developments in the Hydrodynamic Design of Flying-Boats. *The Aeronautical Journal*, 1955, vol. 59, no. 553, p. 349–355. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0368393100117584>.
- [36] ŠPUNDA, J. *Stavebná mechanika a pevnost letounu*. 1st ed. VAAZ, 1961.
- [37] CS-23. *CERTIFIKAČNÍ SPECIFIKACE PRO LETOUNY KATEGORIE NORMÁLNÍ, CVIČNÁ, AKROBATICKÁ A PRO SBĚRNOU DOPRAVU*. The European Aviation Safety Agency, 2003. 452 p.
- [38] LANGLEY, M. *Seaplane Float and Hull Design*. London: Sir Isaac Pitman & Sons, LTD, 1935.

ZOZNAM OBRÁZKOV

Obr. 1 Curtiss Model D. [2]	2
Obr. 2 La Canard. [2]	2
Obr. 3 Boeing 314 Clipper. [3]	3
Obr. 4 The Consolidated PB2Y-5 Coronado. [2]	4
Obr. 5 P6M-2 SeaMaster. [2]	5
Obr. 6 YF2Y-1 SeaDart. [2]	5
Obr. 7 Viking Air Series 400 Twin Otter. [4]	5
Obr. 8 The Viking Canadair CL-515. [4]	6
Obr. 9 de Havilland Canada DHC-2 Turbo Beaver. [4]	6
Obr. 10 The Douglas X02D. [2]	7
Obr. 11 De Havilland Canada DHC-2 Beaver. [4]	7
Obr. 12 YF2Y-1 Seadart [2]	8
Obr. 13 Lisa Akoya. [5]	8
Obr. 14 Poloha základných častí plaváku. Letún Cessna 185. [20]	9
Obr. 15 Závislosť hydrodynamického odporu na rýchlosti. [15]	12
Obr. 16 Kvapôčkovitý a Stuhovitý rozstrek. [7]	14
Obr. 17 Graf závislosti výšky vlny (Zvislá osa) v stopách k váhe letúnu (Vodorovná osa) v librách. [7] ..	15
Obr. 18 (V ľavo) Rez plavákom, (v pravo) semi-válec s ogívnou geometriou. [21]	17
Obr. 19 "V" tvar dna plaváku. [21]	17
Obr. 20 Plavák s modifikáciou v podobe stupňa a redukovaného objemu zadnej časti. [21]	18
Obr. 21 Úprava geometrie zmenou tvaru dna zadnej časti plaváku. [21]	18
Obr. 22 (Hore) Graf závislosti hydrodynamického odporu (Zvislá osa) na rýchlosti (vodorovná osa). (Dole) Graf závislosti stabilného uhlu nábehu (Zvislá osa) na rýchlosti (Vodorovná osa). [25]	21
Obr. 23 Pomer celkovej dĺžky plaváku k šírke plaváku v mieste stupňa (Zvislá osa) k súčiniteľu zaťaženia (Vodorovná osa). Plavákové letúny sú označené krížikom. [19]	22
Obr. 24 Závislosť súčiniteľa odporu trupu na štíhlosti plaváku.	24
Obr. 25 Závislosť turbulentného odporu na funkcii Reynoldsového čísla a Machového čísla. [30]	25
Obr. 26 Štatistika: Šírka plaváku pre jednotlivé váhové kategórie hydroplánov v stopách (Zvislá osa) vzťahnutá k váhe letúnu v librách (Vodorovná osa). Krížikom sú označené plavákové lietadlá. [19]	30
Obr. 27 Graf popisuje rozstrekové charakteristiky (k) závislé na súčiniteľi zaťaženia (c_{Δ_0}) a pomeru dĺžky prednej časti tela plaváku (l_f) k jeho šírke v mieste stupňa (b). [13]	31
Obr. 28 Pomer dĺžky prednej časti plaváku k šírke plaváku v mieste stupňa (Zvislá osa) k súčiniteľu zaťaženia (Vodorovná osa). Plavákové letúny sú označené krížikom. [19]	33
Obr. 29 Štatistika: Dĺžka zadnej časti plaváku k súčiniteľu zaťaženia. [19]	33
Obr. 30 Rôzne tvary dna plavákov. [21]	36
Obr. 31 Základné tvary spodnej časti trupu. A) Jendoduché "V", B) zložitejší tvar "V" s vybraním – parabola. [6]	37
Obr. 32 Závislosť výšky stupňa ako percenta šírky plaváku, b, (Vodorovná osa) v závislosti na pomere dĺžky zadnej časti plaváku k jeho šírke (Zvislá osa). [13]	41
Obr. 33 Poloha stupňa v pozdĺžnom smere plaváku. [6]	42
Obr. 34 Závislosť stúpania zadnej časti tela plaváku v stupňoch (Zvislá osa) na výške stupňa ako funkcie šírky plaváku v mieste stupňa v percentách (Vodorovná osa). [13]	43
Obr. 35 Závislosť uhlu priečneho sklonu zadnej časti plaváku (Zvislá osa) na dĺžke zadnej časti plaváku (l_a), Výšky stupňa (H) a uhlu stúpania zadnej časti plaváku (Vodorová osa). [13]	44
Obr. 36 Rôzne tvary priečných rezov plavákov a ich príslušné súčinitele odporu. [29]	45
Obr. 37 Príklady tvaru plavákov. [31]	46
Obr. 38 Popis polohy pôsobiska vztlakovej sily. [6]	48
Obr. 39 Závislosť hydrodynamického odporu (Zvislá osa) na rýchlostnom súčiniteľi (Vodorovná osa). [33]	49
Obr. 40 Stabilná poloha (Vľavo) a vratný moment (Vpravo). [6]	51



Obr. 41 Uloženie plavákov na letún. [6]	57
Obr. 42 Poloha výslednej reakčnej sily- Symetrické pristanie na stupeň.	59
Obr. 43 Faktor K_1 . [36]	61
Obr. 44 Faktor K_1 pre nami navrhovaný plavák.	61
Obr. 45 Poloha pôsobiska výslednej sily pri pristání na prednú časť plaváku.	62
Obr. 46 Poloha pôsobiska výslednej sily pri pristání na zadnú časť plaváku.	63
Obr. 47 Poloha reakčných síl pre nesymetrické pristanie na stupeň.....	64
Obr. 48 Ideový model plaváku.	66
Obr. 49 Ideový model plaváku.	66
Obr. 50 Pohľad na prednú časť plaváku (vľavo) a zadnú časť plaváku (vpravo).	67
Obr. 51 Návrh plaváku. Pohľady zhora dole: bokorysný, pohľad na dno plaváku, pôdorysný.	67
Obr. 52 Ideové rozloženie pozdĺžnikov a prepážok.	67
Obr. 53 Poloha plaváku vzhľadom k polohe ťažiska letúna.....	68

ZOZNAM TABULIEK

Tabuľka 1 Vybrané parametre letúna Le Canard. [1]	2
Tabuľka 2 Vybrané parametre letúna Boeing 314 Clipper. [2]	3
Tabuľka 3 Vybrané parametre letúna The Consolidated PB2Y-3 Coronado [2]	4
Tabuľka 4 Vybrané parametre letúna The Consolidated PB2Y-3 Coronado. [2]	5
Tabuľka 5 Úroveň škodlivosti rozstreku. [8]	29
Tabuľka 6 Geometrické charakteristiky navrhovaného plaváku.	47
Tabuľka 7 Výber hodnôt pre konštantu K. [6]	52
Tabuľka 8 Násobky a príslušné reakčné sily stanovené pre plavák.	65