



**FAKULTA  
STROJNÍ  
ČVUT V PRAZE**

## **Ústav letadlové techniky**

**Návrh nádrží vodní přítěže soutěžních kluzáků**

**Design of water ballast tanks for competition gliders**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**2022**

**Tereza KOUBKOVÁ**

**Studijní program:** B2342 TEORETICKÝ ZÁKLAD STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

**Studijní obor:** 2301R000 Studijní program je bezoborový

**Vedoucí práce:** Ing. Tomáš Kostroun

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Koubková** Jméno: **Tereza** Osobní číslo: **492637**  
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**  
Zadávací katedra/ústav: **Ústav letadlové techniky**  
Studijní program: **Teoretický základ strojního inženýrství**  
Studijní obor: **bez oboru**

## II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

**Návrh nádrží vodní přítěže soutěžních kluzáků**

Název bakalářské práce anglicky:

**Design of water ballast tanks for competition gliders**

Pokyny pro vypracování:

- Rešerše současného stavu kluzáků s vodní přítěží
- Rozbor certifikačních požadavků
- Návrh parametrů modelového kluzáku
- Návrh a analýza variant rozložení nádrží v křídle
- Koncepční návrh vybrané varianty

Seznam doporučené literatury:

Pajno V.: Sailplane Design  
Thomas F.: Fundamentals of Sailplane Design  
EASA Sailplane Rule Book

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

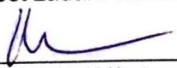
**Ing. Tomáš Kostroun ústav letadlové techniky FS**


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

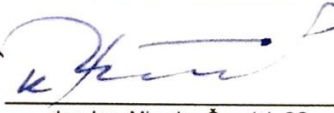
Datum zadání bakalářské práce: **29.04.2022**

Termín odevzdání bakalářské práce: **08.06.2022**

Platnost zadání bakalářské práce:

  
Ing. Tomáš Kostroun  
podpis vedoucí(ho) práce

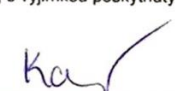
  
Ing. Robert Theiner, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

  
doc. Ing. Miroslav Španiel, CSc.  
podpis děkana(ky)

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Studentka bere na vědomí, že je povinna vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

26.4.2022  
Datum převzetí zadání

  
Podpis studentky

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci vypracovala samostatně a použila jsem pouze podklady (literaturu, projekty, SW atd.) uvedené v příloženém seznamu.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne 8.6. 2022

.....  
podpis

## **Poděkování**

Děkuji vedoucímu bakalářské práce, panu Ing. Tomáši Kostrounovi za jeho cenné rady, věnovaný čas a ochotu, které mi při vypracování této práce poskytl. Dále bych chtěla poděkovat svým nejbližším za podporu, které se mi dostávalo jak při psaní této práce, tak během celého dosavadního studia.

## Anotační list

Autor:	Tereza Koubková
Název BP:	Návrh nádrží vodní přítěže soutěžních kluzáků
Rok vyhotovení:	2022
Studijní program:	B2342 Teoretický základ strojního inženýrství
Obor studia:	2301R000 Studijní program je bezoborový
Ústav:	Ústav letadlové techniky
Vedoucí BP:	Ing. Tomáš Kostroun
Bibliografické údaje:	počet stran 44
	počet obrázků 34
	počet tabulek 8
	počet příloh 1

**Klíčová slova:** Soutěžní kluzák, Vodní přítěž, Plošné zatížení, Poloha těžiště, Mechanismus vypouštění vodní přítěže

**Keywords:** Competition glider, Water ballast, Wing loading, Center of gravity position, Water ballast dump system

**Abstrakt:** Cílem bakalářské práce byl koncepční návrh vodní přítěže soutěžního kluzáku. Návrhu předcházela rešerše současného stavu nejvýkonnějších kluzáků s vodní přítěží a rozbor požadavků předpisu. Dále návrh základních parametrů zjednodušeného modelu kluzáku a variant rozložení nádrží v křídle. Pro vybranou variantu byl zpracován systém vypouštění vodní přítěže.

**Abstract:** The aim of the bachelor thesis was a conceptual design of the water ballast tanks for a competition glider. The design was preceded by a search of the current state of the highest performance gliders with a water ballast and an analysis of the requirements of the regulation. Furthermore, the design of the basic parameters of the simplified model of the glider and variants of the layout of the tanks in the wing. A water ballast dump system was developed for the selected variant.

# Obsah

1	Úvod .....	1
2	Teorie soutěžního létání.....	2
2.1	MacCreadyho teorie.....	2
2.2	Rozdělení soutěžních tříd.....	5
3	Certifikační specifikace .....	7
3.1	Výčet požadavků předpisu.....	7
3.2	Konstrukční omezení vyplývající z požadavků předpisů .....	10
4	Historický vývoj kluzáků s vodní zátěží .....	11
5	Současný stav vývoje kluzáků s vodní zátěží.....	13
6	Návrh parametrů modelu kluzáku .....	15
7	Varianty rozložení vodních nádrží v křídle .....	18
7.1	První varianta: Nádrže v křídle před nosníkem + v nástavci před i za nosníkem.....	18
7.2	Druhá varianta: Nádrže v křídle před nosníkem + v křídle za nosníkem u kořene + v nástavci před nosníkem .....	19
7.3	Třetí varianta: Nádrže v křídle před nosníkem + v křídle za nosníkem + v nástavci před nosníkem .....	20
7.4	Čtvrtá varianta: Nádrže v křídle před nosníkem + v křídle za nosníkem .....	20
8	Výběr varianty .....	22
8.1	Poloha těžiště (CG).....	22
8.1.1	Výpočet střední aerodynamické tětiny (SAT).....	22
8.1.2	Výpočet polohy těžiště (CG) jednotlivých variant .....	23
8.2	Momenty setrvačnosti vodních nádrží jednotlivých variant.....	25
8.3	Vybraná varianta.....	25
9	Koncepční návrh vybrané varianty.....	26
9.1	Propojení nádrží.....	26
9.2	Mechanismus vypouštění nádrží.....	26
9.3	Způsob plnění nádrží .....	29
10	Závěr.....	30
11	Použitá literatura.....	31

## Seznam obrázků

Obrázek 1: Fáze letu kluzáku .....	2
Obrázek 2: Model přeletu se získáním výšky kroužením.....	3
Obrázek 3: Rychlostní polára ASG 29 .....	4
Obrázek 4: Závislost cestovní (nebo průměrné) rychlosti na přeskokové rychlosti a síle stoupání pro Ventus CM .....	5
Obrázek 5: Graf růstu objemu vodních nádrží během let.....	11
Obrázek 6: Graf růstu plošného zatížení během let v 18 m třídě .....	12
Obrázek 7:Graf růstu plošného zatížení během let ve Volné třídě.....	12
Obrázek 8: Řešení vodních nádrží na JS1 .....	14
Obrázek 9: Vodní nádrž v hlavním křídle JS3 .....	14
Obrázek 10: Vodní nádrž v nástavci křídla JS3 .....	14
Obrázek 11: Vak na vodní zátěž ASW 24.....	14
Obrázek 12: Graf porovnání půdorysů křídla.....	16
Obrázek 13: Model křídla s nástavcem 18m a 21m .....	16
Obrázek 14 : Vývojový diagram návrhu parametrů kluzáku .....	17
Obrázek 15: Rozložení vodních nádrží pro 18 m .....	18
Obrázek 16: Rozložení vodních nádrží pro 18m 3D .....	18
Obrázek 17: První varianta rozložení vodních nádrží .....	19
Obrázek 18: První varianta rozložení vodních nádrží 3D .....	19
Obrázek 19: Druhá varianta rozložení vodních nádrží.....	19
Obrázek 20: Druhá varianta rozložení vodních nádrží 3D .....	20
Obrázek 21:Třetí varianta rozložení vodních nádrží .....	20
Obrázek 22:Třetí varianta rozložení vodních nádrží 3D .....	20
Obrázek 23:Čtvrtá varianta rozložení vodních nádrží.....	21
Obrázek 24: Čtvrtá varianta rozložení vodních nádrží 3D .....	21
Obrázek 25: Výpočet SAT .....	22
Obrázek 26: Koncepční návrh vybrané varianty .....	26
Obrázek 27: Otvory v nosníku pro přelévání vody a odvzdušnění + napouštěcí ventil vnější nádrže.....	26
Obrázek 28: Mechanismus vypouštění vody-vnitřní ventil.....	27
Obrázek 29:Mechanismus vypouštění vody-vnější ventil.....	27
Obrázek 30: Torzní náhon v křídle.....	27
Obrázek 31: Vnitřní ventil v zavřené poloze.....	28
Obrázek 32: Vnitřní ventil v otevřené poloze .....	28
Obrázek 33: Vnější ventil v zavřené poloze.....	28
Obrázek 34:Vnější ventil v otevřené poloze.....	28

## Seznam tabulek

Tabulka 1: Konstrukční omezení.....	10
Tabulka 2: Statistika parametrů současných kluzáků v 18 m třídě .....	13
Tabulka 3: Statistika parametrů současných kluzáků ve Volné třídě.....	13
Tabulka 4: Návrh parametrů kluzáku .....	17
Tabulka 5: Hodnoty z výpočtu polohy SAT.....	23
Tabulka 6: Výsledky výpočtu $CG_{k+v+p}$ a $m_{vSOP}$ pro jednotlivé varianty.....	24
Tabulka 7: Momenty setrvačnosti jednotlivých nádrží .....	25
Tabulka 8: Momenty setrvačnosti jednotlivých variant .....	25



## **Seznam příloh**

PŘÍLOHA 1 - Výkres č. 001-01-2022-01 - VODNÍ PŘÍTĚŽ KLUZÁKU

## Seznam použitých symbolů

$CG_{ideal}$	[mm]	Ideální poloha těžiště kluzáku
$CG_{k+v+p}$	[mm]	Poloha těžiště kluzáku s lehkým pilotem a plnými vodními nádržemi
$CG_n$	[mm]	Poloha těžiště vodní nádrže
$CG_{vSOP}$	[mm]	Poloha vodní nádrže v kýlové ploše od referenčního bodu
$CL_{max(L)}$	[1]	Maximální součinitel vztlaku v přistávací konfiguraci se zasunutými aerodynamickými brzdami
$CL_{max(L+brzdy)}$	[1]	Maximální součinitel vztlaku v přistávací konfiguraci s vysunutými aerodynamickými brzdami
$CSAT$	[mm]	Délka SAT
$g$	[m/s <sup>2</sup> ]	Tíhové zrychlení
$h$	[km]	Výška
$m_{k+p}$	[kg]	Hmotnost kluzáku s lehkým pilotem
$MTOM$	[kg]	Maximální vzletová hmotnost
$m_{vn}$	[kg]	Výpočtová hmotnost vody v nádržích
$m_{vnmax}$	[kg]	Maximální hmotnost vody v nádržích
$m_{vSOP}$	[kg]	Potřebná hmotnost vody v kýlové ploše
$s$	[km]	Uletěná vzdálenost
$S$	[m <sup>2</sup> ]	Plocha křídla
$t$	[h]	Čas klouzavého letu
$t_k$	[h]	Čas kroužení
$v$	[km/h]	Přeskoková rychlost
$v_c$	[km/h]	Průměrná cestovní rychlost
$v_{kk}$	[km/h]	Výsledná rychlost klesání kluzáku
$v_{kp}$	[km/h]	Rychlost klesání vzduchu
$v_s$	[km/h]	Rychlost stoupání
$V_{S0}$	[km/h]	Pádová rychlost

$V_{S0(L)}$	[km/h]	Pádová rychlost v přistávací konfiguraci se zasunutými aerodynamickými brzdami
$V_{S0(L+brzdy)}$	[km/h]	Pádová rychlost v přistávací konfiguraci s vysunutými aerodynamickými brzdami
$V_{S0(L+brzdy+voda)}$	[km/h]	Pádová rychlost v přistávací konfiguraci s vysunutými aerodynamickými brzdami a max. hmotností vodní zátěže
$V_{S0(L+voda)}$	[km/h]	Pádová rychlost v přistávací konfiguraci se zasunutými aerodynamickými brzdami a max. hmotností vodní zátěže
$v_{sp}$	[km/h]	Rychlost stoupavého proudu
$v_y$	[km/h]	Vlastní rychlost klesání
$v_{yk}$	[km/h]	Rychlost klesání kluzáku v kroužení
$x_{SAT}$	[mm]	Poloha SAT od náběžné hrany
$z_{SAT}$	[mm]	Poloha SAT po rozpětí
$\lambda$	[1]	Štíhlost křídla
$\rho$	[kg/m <sup>3</sup> ]	Hustota

## Seznam použitých zkratk

3D	Trojrozměrný
AMC	Přijatelné způsoby průkazu
CAD	Počítačem podporované projektování
CAS	Kalibrovaná rychlost letu
CG	Těžiště
CS	Certifikační Specifikace
EASA	Agentura Evropské unie pro bezpečnost letectví
FAI	Mezinárodní letecká federace
OP	Ocasní plochy
PN	Před nosníkem
SAT	Střední aerodynamická těliva
SOP	Svislá ocasní plocha
ZN	Za nosníkem

# 1 Úvod

V mé práci se zabývám návrhem vodní přítěže soutěžního kluzáku. Moderní kluzáky využívají vodní přítěž pro zvýšení plošného zatížení křídla a díky tomu dosahují vyšších rychlostí při soutěžních přeletech. Protože současný trend vývoje směřuje k co největšímu plošnému zatížení křídla a zároveň jeho velké štíhlosti, je prostor pro vodní nádrže značně omezen. To přináší komplikace při návrhu křídla, nádrží i mechanismu jejich vypouštění.

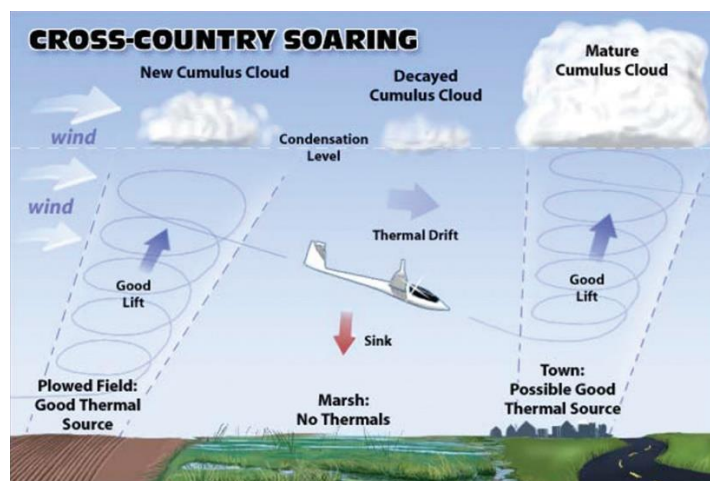
Práce vychází ze statistiky současných výkonných kluzáků a přehledu požadavků stavebního předpisu CS 22. Na tomto základně jsem navrhla vhodný tvar křídla kluzáku a jeho základní parametry pro Volnou a 18m soutěžní třídu. Dále rozložení vodních nádrží v křídle tak, aby co nejméně ovlivnilo letové vlastnosti kluzáku a zároveň byla obsluha systému nenáročná pro pilota. Výsledkem práce je koncepční návrh nádrží pro vodní přítěž, včetně mechanismu jejich vypouštění.

## 2 Teorie soutěžního létání

Pro pochopení jak se ubíral vývoj kluzáků, je nejprve nutné vzít v úvahu vývoj plachtařského soutěžního létání. Když se vrátíme do historie, někdy do roku 1920, tak vítězem soutěže byl ten pilot, který se dokázal udržet nejdéle ve vzduchu. Jelikož kluzák, aby se udržel ve vzduchu, musí nejdříve najít stoupavý proud, který má tvar válce a v něm si vykroužit výšku, jak lze vidět na Obrázek 1. Teprve po získání určité výšky se dá přejít do klouzavého letu a uletět nějakou vzdálenost.

Postupem času se měnila pravidla soutěží a druhy vyhlášených tratí. Přes takzvaný volný let na vzdálenost, kde byla snaha doletět co nejdále od letiště a mít co nejvíce kilometrů. Ovšem při takovýchto disciplínách se naráželo na organizační problémy, kdy se třeba denní vítěz nedokázal vrátit do druhé dne, jelikož přistál moc daleko. Dále byl problém, aby každý mohl letět ve stejných podmínkách, jelikož stoupavé proudy jsou obvykle nejsilnější po poledni, takže výšku získáte rychleji, ale ráno a k večeru jsou nejslabší. Jenže v jedné soutěžní třídě může být až osmdesát kluzáků a trvá to okolo hodiny všechny vyvékat do vzduchu.

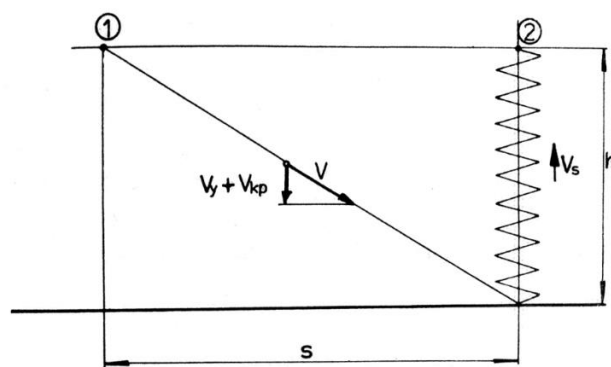
Takže se začaly vyhlášovat rychlostní disciplíny, kde se hodnotí dosažená rychlost na uzavřené trati. Při těchto disciplínách je pevně dán čas otevření pásky, který je až po vyvékání všech kluzáků a všichni mohou odejít na trať až po jejím otevření. Důsledkem je, že se na závodech létají sice kratší tratě, ale v tom nejsilnějším intervalu. Takže je nejdůležitější najít ten nejsilnější stoupavý proud kde i těžší kluzák může dobře stoupat. A když ho nenajdete napoprvé, tak je výhodou mít výkonnější kluzák, s kterým dokážete doletět dál a najít si silnější stoupavý proud. Tím pádem šli do pozadí požadavky na to, udržet se ve vzduchu při slabých podmínkách a momentálně se klade důraz na vyšší přeskokové rychlosti s co nejnižší ztrátou výšky.



Obrázek 1: Fáze letu kluzáku [1]

### 2.1 MacCreadyho teorie

Cílem MacCreadyho teorie je navrhnout ideální přeskokovou rychlost mezi stoupavými proudy a maximalizovat tak průměrnou rychlost na trati. Uvažuje zjednodušený model, kdy získaná výška v stoupavých proudech se rovná výšce ztracené při rovném letu.



Obrázek 2: Model přeletu se získáním výšky kroužením [2]

Přeskokovou rychlostí začneme letět po opuštění stoupavého proudu v místě 1 na Obrázek 2 ve výšce  $h$ . Přeskoková rychlost  $v$ , bude odpovídat příslušné výsledné rychlosti klesání kluzáku  $v_{kk}$ , která se dá určit jako součet rychlosti klesání vzduchu  $v_{kp}$  a vlastní rychlosti klesání  $v_y$ .

$$v_{kk} = v_{kp} + v_y \quad (2.1)$$

Po přeskoku ale zase potřebujeme získat výšku  $h$ , kterou jsme ztratili na vzdálenosti  $s$ . Tu získáme ve stoupavém proudu rychlostí stoupání  $v_s$ , danou součtem rychlosti stoupavého proudu  $v_{sp}$  a rychlosti klesání kluzáku v kroužení  $v_{yk}$ .

$$v_s = v_{sp} + v_{yk} \quad (2.2)$$

Čas klouzavého letu spočítáme jako:

$$t = \frac{h}{v_{kk}} \quad (2.3)$$

Čas kroužení pro znovunabytí výšky  $h$ :

$$t_k = \frac{h}{v_s} \quad (2.4)$$

Celkem od bodu 1 do bodu 2 kluzák spotřeboval čas  $t_k + t$ . A průměrnou cestovní rychlost  $v_c$  mezi těmito body můžeme spočítat následovně:

$$v_c = \frac{s}{t_k + t} \quad (2.5)$$

Dále platí přibližně při zanedbání úhlu klesání:

$$s = v \cdot t \quad (2.6)$$

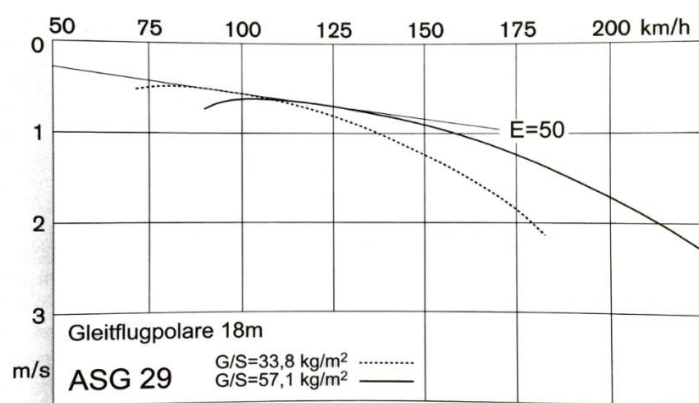
Po dosazení rovnice (2.6) do rovnice (2.5):

$$v_c = \frac{v \cdot t}{t_k + t} = \frac{v \cdot \frac{h}{v_{kk}}}{\frac{h}{v_s} + \frac{h}{v_{kk}}} = \frac{v \cdot v_s}{v_{kk} + v_s} \quad (2.7)$$

Po úpravě:

$$v_c = \frac{v}{1 + \frac{v_{kp} + v_y}{v_s}} \quad (2.8)$$

Z výsledného vztahu se dá zjistit, že s rostoucí rychlostí stoupání roste i cestovní rychlost  $v_c$ . Nesmíme ovšem zapomínat, že rychlost klesání kluzáku  $v_y$  je funkcí přeskokové rychlosti  $v$ , což lze ilustrovat na Obrázek 3 kde je vyobrazena rychlostní polára kluzáku ASG 29. Na svislé ose je rychlost klesání kluzáku, tzv. opadání a na vodorovné ose je rychlost letu. V grafu jsou dvě poláry pro plošné zatížení  $33,8 \text{ kg/m}^2$  což odpovídá váze kluzáku bez vodní zátěže a pro  $57,1 \text{ kg/m}^2$  odpovídající kluzáku na maximální vzletové hmotnosti s vodní zátěží. Vodní zátěž umožnila posunout rychlostní poláru do vyšších rychlostí a to znamená, že pro stejnou hodnotu opadání poletí kluzák na vyšší rychlosti (platí pro vyšší přeskokové rychlosti), což je žádoucí.



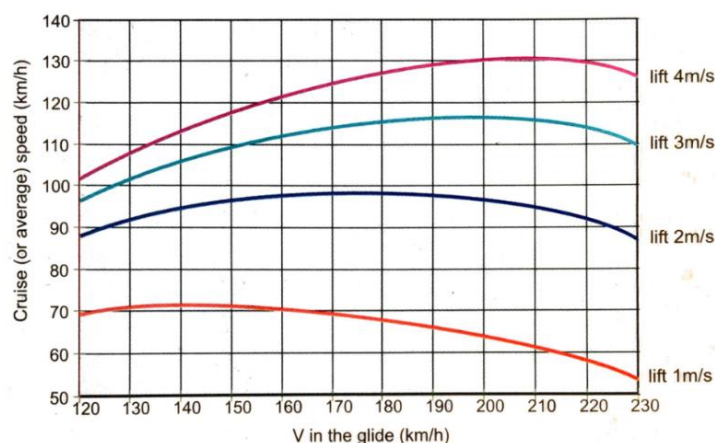
Obrázek 3: Rychlostní polára ASG 29 [3]

Rychlost  $v_s$  je závislá na rychlosti stoupavého proudu, kterou musím předem odhadnout z termických podmínek a určit jako konstantu. Takže nakonec průměrná cestovní rychlost  $v_c$  závisí na proměnných  $v$ ,  $v_y$ ,  $v_{kp}$ . Když ovšem pro zjednodušení předpokládáme nulovou rychlost klesání vzduchu  $V_{kp}=0$ , tak pro průměrnou cestovní rychlost  $v_c$  získáme funkci o jedné proměnné  $v$  (přeskoková rychlost) a konstantě  $v_s$ , kterou si zvolíme.

$$v_c = \frac{v}{1 + \frac{v_y}{v_s}} \quad (2.9)$$

Tuto závislost lze vidět na Obrázek 4, speciálně pro kluzák Ventus CM při plošném zatížení  $42 \text{ kg/m}^2$ .





Obrázek 4: Závislost cestovní (nebo průměrné) rychlosti na přeskokové rychlosti a síle stoupání pro Ventus CM [4]

Optimální přeskoková rychlost je rychlost  $v$ , která nám umožní letět maximální  $v_c$ . Tu získáme derivací předchozího výrazu podle  $v$ , který položíme rovný nule.

$$\frac{d}{dv} \left( \frac{v}{1 + \frac{v_y}{v_s}} \right) = 0 \quad (2.10)$$

## 2.2 Rozdělení soutěžních tříd

Na závodech v plachtění se létá v několika soutěžních třídách, které jsou rozdělené tak, aby v nich létaly podobně výkonné kluzáky. Výkonné kluzáky se většinou rovnou konstruují pro létání v konkrétní soutěžní třídě. Pro soutěžení v jednotlivých třídách musí kluzák splňovat podmínky, kterými je daná třída omezená. Hlavním omezením bývá rozpětí, maximální vzletová hmotnost a použití vztlačkových klapěk.

Na vrcholových soutěžích jako je Mistrovství světa v plachtění se momentálně létá v následujících třídách.

### Klubová třída

- Není povolena vypustitelná vodní přítěž.
- Maximální vzletová hmotnost limitovaná menší z maximální certifikované vzletové hmotnosti a maximální certifikované vzletové hmotnosti bez vodní přítěže dle typového certifikátu. [5]
- Kluzák musí být zařazen do seznamu koeficientů. [6]

### Třída 13,5 metrů

- Maximální vzletová hmotnost 350 kg. [5]
- Maximální rozpětí 13,5 m. [6]

### Třída 15 metrů

- Maximální vzletová hmotnost 525 kg. [5]
- Maximální rozpětí 15 m. [6]

### **Standardní třída**

- Maximální rozpětí 15 m.
- Jakýkoli způsob změny profilu křídla jiný než normální použití křidélek je zakázáno. Zařízení zvyšující vztlak jsou zakázána, i když jsou nepoužitelné např. vztlakové klapky.
- Kluzák musí být vybaven vzdušnými brzdami, které nelze použít ke zvýšení výkonu. Odporové padáky jsou zakázány.
- Podvozek může být pevný nebo zatahovací. Hlavní přistávací kolo musí mít nejméně 300 mm v průměru a 100 mm na šířku. [6]
- Maximální vzletová hmotnost 525 kg. [5]

### **Třída 20 metrů vícemístné**

- Maximální rozpětí 20 m.
- Přítomnost posádky o dvou osobách na palubě za letu. [6]
- Maximální vzletová hmotnost 800 kg. [5]

### **Třída 18 metrů**

- Maximální rozpětí 18 m. [6]
- Maximální vzletová hmotnost 600 kg. [5]

### **Volná třída**

- Maximální vzletová hmotnost 850 kg. [5]

Já jsem si pro svou práci vybrala vzorový model kluzáku, který by byl schopný soutěžit jak v Třídě 18 metrů, tak ve Volné třídě. Tato kombinace by na trhu zasáhla co nejvyšší procento potenciálních zákazníků. Křídlo kluzáků, které mají velká rozpětí, se obvykle nevyrábí jako jeden dlouhý kus, ale křídlo se skládá minimálně z centrálního kusu křídla a nástavce. To umožňuje vyrobit kluzák, který může mít 18 m rozpětí nebo větší, podle toho co zvolíte za nástavec. Tyto třídy jsou také zajímavé tím, že mají nejvyšší maximální vzletové hmotnosti a je do nich možné napustit nejvíce vody.

### 3 Certifikační specifikace

Při návrhu konstrukční zátěže budu vycházet z předpisu Certifikační specifikace pro Kluzáky a motorové kluzáky CS-22 Amendment 3, vydaného Agenturou Evropské unie pro bezpečnost letectví (EASA) [7]. V kapitole jsou vypsány ty požadavky, které by se mohly týkat mého konstrukčního návrhu vodní přítěže.

#### 3.1 Výčet požadavků předpisu

##### CS 22.1 Platnost

(a) Tento předpis letové způsobilosti platí pro kluzáky a motorové kluzáky v kategorii Utility U (cvičné) a kategorii Aerobatic A (akrobatické):

- (1) kluzáky o maximální hmotnosti nepřekračující 750 kg;
- (2) motorové kluzáky s jedním motorem (zážehové nebo vznětové zapalování), jejichž návrhová hodnota  $W/b^2$  (poměr hmotnosti a druhé mocniny rozpětí) není vyšší než 3 ( $W$  [kg],  $b$  [m]) a jejichž maximální hmotnost nepřekračuje 850 kg

##### CS 22.49 Pádová rychlost

(a)  $V_{S0}$  je pádová rychlost (CAS), je-li dosažitelná, nebo minimální stabilní rychlost, při které je kluzák říditelný s:

- (1) vysunutým přistávacím zařízením;
- (2) vztakovými klapkami v přistávací poloze;
- (3) zasunutými nebo vysunutými aerodynamickými brzdami – podle toho, která poloha vede k nižší hodnotě  $V_{S0}$ ;
- (4) maximální hmotností; a
- (5) těžištěm v nejnepríznivější poloze v rámci povoleného rozsahu.
- (6) u motorových kluzáků:
  - (i) při volnoběhu motoru (zavřená palivová přípust);
  - (ii) s vrtulí ve vzletové poloze;
  - (iii) se zavřenými klapkami krytu motoru.

(b) Pádová rychlost v přistávací konfiguraci nesmí překročit:

- (1) 80 km/h:
  - (i) se zasunutými aerodynamickými brzdami; a při
  - (ii) maximální hmotnosti s prázdnými nádržemi na vodní zátěž.
- (2) 90 km/h:
  - (i) se zasunutými aerodynamickými brzdami; a při
  - (ii) maximální hmotnosti s vodní zátěží.
- (3) 95 km/h:
  - (i) s plně vysunutými aerodynamickými brzdami; a při
  - (ii) maximální hmotnosti s vodní zátěží.

##### CS 22.201 Přetažení v přímém letu

(a) Předvedení přetažení se musí provádět tak, že se snižuje rychlost přibližně o 2 km/h za sekundu, dokud buď nedojde ke ztrátě rychlosti, která se projeví klopivým nebo klonivým pohybem směrem dolů, který nelze okamžitě řídit, nebo dokud podélné řízení nedosáhne mezní polohy. Musí být

možné řídit a korigovat náklon a zatačení nereverzovaným použitím řízení, až dojde ke ztrátě rychlosti

(g) U kluzáků vybavených k nesení vodní zátěže musí být prokázáno, že je možné vyrovnat do vodorovného letu, aniž by se projevila tendence k neřiditelnému náklonu nebo k vývrtece při předvedení přetažení s asymetrií, podle pododstavce (a) tohoto odstavce, která může vzniknout z jakéhokoliv jednotlivého selhání systému.

### **CS 22.221 Vývrtky všeobecně**

(a) Musí být prokázáno vyhovění následujícím požadavkům ve všech konfiguracích a u motorového kluzáku s chodem motoru naprázdno.

Pro kluzáky vybavené k nesení vodní zátěže se předvedení podle pododstavce (b) až (g) musí také provést pro nejkritičtější asymetrickou vodní zátěž, která by se mohla vyskytnout kvůli jakékoliv jednotlivé poruše nebo kvůli příčnému zrychlení během vývrtky.

(b) Kluzák musí být možno vyvést z vývrtek alespoň po pěti otáčkách (nebo po menším počtu, při nichž se vývrтка změní na spirálovitý let střemhlav) při použití obvyklého řízení pro vyvedení z vývrtky a bez překročení mezní rychlosti letu nebo omezujícího kladného násobku zatížení kluzáku při obrazech. Zkoušky se musí provést s neutrální polohou vztlakových klapek a aerodynamických brzd (viz AMC 22.335) a s:

- (1) řízením nastaveným do normální polohy pro vývrtky;
- (2) křídélky a směrovkou použitými v opačných směrech;
- (3) křídélky nastavenými ve směru rotace.

Kromě toho tam, kde je to případné, je nutno provést zkoušky v kritických kombinacích vysunutí aerodynamických brzd, vztlakových klapek, vodní zátěže včetně jejího vyvážení a s vysunutou nebo zataženou pohonnou jednotkou.

(g) Nesmí být možné, aby se při jakémkoliv použití řízení dostal kluzák do neřiditelných vývrtek.

### **CS 22.891 Nádrže pro vodní zátěž: všeobecně**

Každá nádrž pro vodní zátěž, její okolní konstrukce, hadice a armatura musí být schopny bez poruchy odolávat vibraci, setrvačnosti, tlaku kapaliny (částečně plná a plná nádrž, deformace křídla za letu a plnicí postupy) při plnicích postupech a konstrukčním zatížením, které se mohou vyskytovat v provozu.

### **CS 22.892 Nádrže pro vodní zátěž: zkoušky**

Pokud zatížení uvedené v CS 22.891 není vyšší, musí být každá vodní nádrž včetně hadic a armatury schopná odolávat tlaku 0,20 bar bez poruchy nebo úniku kapaliny.

### **CS 22.893 Zástavba nádrže pro vodní zátěž**

(a) Všeobecně. Okolní konstrukce letadla musí být přiměřeně chráněná před jakýmkoliv pravděpodobným poškozením (koroze, rozpojení, atd.) od unikající vodní zátěže.

(b) Nádrže vodní zátěže, které nejsou nedílnou součástí konstrukce, musí být uloženy tak, aby se nekoncentrovalo zatížení vyplývající z hmotnosti vodní zátěže. Kromě toho:

- (1) Musí být zajištěny prostředky, aby se zamezilo odírání mezi každou nádrží a podpěrnou konstrukcí.
- (2) Každý prostor nádrže musí být odvodušen a odvodněn.

(c) Pro integrální nádrže musí být prokázáno, že okolní konstrukce je buď pro zátěž nepropustná, nebo dostatečně chráněná.

### **CS 22.894 Odvzdušnění nádrže pro vodní zátěž**

Integrovaná a ostatní nepružné nádrže musí být odvzdušněny.

### **CS 22.895 Systém vodní zátěže**

(a) Systém řízení a vypouštění vodní zátěže musí být navržen tak, aby jakákoliv jednotlivá porucha nezpůsobila příčný nebo podélný pohyb těžiště, který brání pokračování bezpečného letu a přistání. (Viz AMC 22.895 (a))

(b) Je nutné zabránit, aby byl systém celkového a statického tlaku znečištěn vodou nebo, aby se voda hromadila v kterékoli části kluzáku, kde by mohla způsobit korozi nebo významné změny těžiště.

### **AMC 22.895(a) Systém vodní zátěže**

V závislosti na komplikovanosti systému vodní zátěže, bývá obvykle nezbytné provést rozbor druhů poruch a jejich účinků, který by měl zahrnovat pravděpodobné skryté druhy poruch.

Pokud je vodní zátěž nesena ve více než jedné nádrži:

- (1) současné vypuštění vodních zátěží by mělo být dosaženo pomocí jedné ovládací páky.
- (2) intenzita vypouštění vodní zátěže by neměla způsobit pohyb těžiště mimo meze stanovené v CS 22.23

### **AMC 22.23 Meze rozložení zatížení**

Významné změny boční polohy těžiště se pravděpodobně vyskytnou pouze na kluzácích vybavených vypustitelnou zátěží v křídlech. Tyto změny mohou být důsledkem přípustného úmyslného asymetrického zatížení nebo asymetrického zatížení, jehož neúmyslný výskyt je možné důvodně očekávat, zejména je-li povolen let s částečně naplněnými nádržemi. V takovém případě by zvažovaný rozsah bočních poloh těžiště neměl být menší než větší z následujících:

- (1) Jakékoliv úmyslné asymetrické zatížení, které je povoleno; a
- (2) Úroveň asymetrie, jejíž neúmyslný výskyt je možné důvodně očekávat při zohlednění konstrukce systému a pravděpodobné přesnosti zatížení. V případě absence racionální analýzy umožňující stanovení vyšší či nižší hodnoty je možné předpokládat asymetrii o hodnotě 10 litrů, nebo 10 % společného objemu každého symetrického páru nádrží – podle toho, která z hodnot je větší.

### **CS 22.896 Drenážování vodní zátěže**

Musí existovat prostředky, které umožní vypuštění celého systému vodní zátěže u kluzáku v normální poloze na zemi.

### **CS 22.897 Aditiva vodní zátěže**

Pokud Letová příručka povoluje použití aditiv ve vodní zátěži, musí být prokázáno, že nemají negativní nebo škodlivé dopady na konstrukci nebo systémy kritické z hlediska bezpečnosti letu.

### **CS 22.1303 Letové a navigační přístroje**

Požadované letové a navigační přístroje jsou tyto:

(d) Pro kluzáky vybavené pro vodní zátěž. Kromě přístrojů požadovaných v CS 22.1303(a), (b) a (c).

(1) Měřič teploty venkovního vzduchu.

### CS 22.1583 Provozní omezení

(b) Hmotnostní údaje. Je nutné dodat následující informace:

(1) Maximální hmotnost a maximální hmotnost nevztlakových částí. Jestliže je kluzák vybaven pro vypustitelnou vodní zátěž, musí být stanovena maximální hmotnost s vodní zátěží a bez vodní zátěže.

## 3.2 Konstrukční omezení vyplývající z požadavků předpisů

Jeden z nejdůležitějších parametrů pro prvotní návrh je omezení maximální hmotnosti na 850 kg pro Volnou třídu, když budu uvažovat kluzák s jedním motorem typu sustainer. Jako další předpis omezuje pádové rychlosti, které v přistávací konfiguraci a na MTOM s plnou vodní zátěží nesmí překročit 90 km/h se zasunutými aerodynamickými brzdami a 95 km/h s plně vysunutými. Při letu s prázdnými nádržemi a zasunutými aerodynamickými brzdami nesmí pádová rychlost překročit 80 km/h. V mé práci bych se také chtěla zaobírat odvzdušněním nádrží, kdy dle předpisu každý prostor nádrže musí být odvzdušněn a odvodněn. Při návrhu vypouštění vody musím brát také ohled na požadavek, že současné vypuštění vodních zátěží by mělo být dosaženo pomocí jedné ovládací páky.

Jednotlivá omezení předpisem jsem shrnula v následující Tabulce 1., hodnoty označené \* jsou přísněji omezeny Sportovním řádem FAI.

	Volná třída	Třída 18m	jednotky
rozpětí	neomezeno*	18*	[m]
V <sub>50</sub> (L+brzdy+voda)	95	95	[km/h]
V <sub>50</sub> (L+voda)	90	90	[km/h]
V <sub>50</sub> (L)	80	80	[km/h]
MTOM	850	600*	[kg]

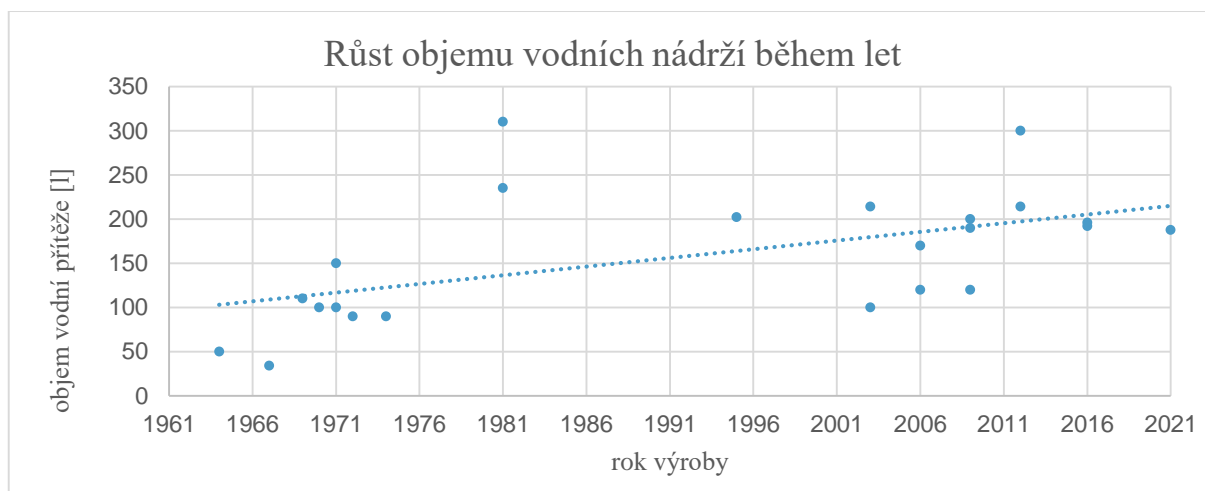
Tabulka 1: Konstrukční omezení [5] [6] [7]

## 4 Historický vývoj kluzáků s vodní zátěží

První kluzáky se velice liší od dnešních moderních kluzáků. Vyráběly se většinou ze dřeva, překližky a byly potaženy plátnem. Samo použití těchto materiálů neumožňuje umístit do křídel integrální nádrže pro vodní zátěž, je potřeba použít odolnějších materiálů o vyšší pevnosti. Postupem času po roce 1960 se začaly vyrábět kluzáky z kompozitních materiálů a po roce 1972 se povolila vodní přítěž ve Standardní třídě, což velice přispělo k rozvoji kluzáků s vodní zátěží [8].

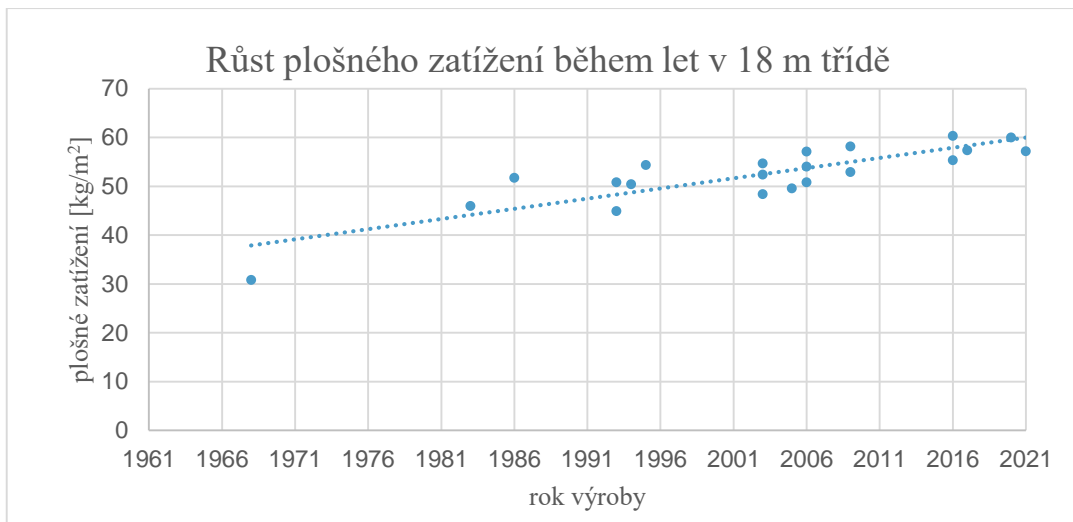
Jako jedni z prvních zástupců kluzáků s vodní zátěží byli Schempp-Hirth Cirrus s nádržemi v křídlech na 34 litrů, s kterým sám konstruktér Klaus Holighaus v roce 1967 vyhrál Německý národní šampionát, jako další měl vodní nádrže Nimbus 1 s objemem až 110 litrů, s kterým George Moffat vyhrál Mistrovství světa v roce 1970. Populární byla také Libelle H-301 Glasflügel s kapacitou vodní nádrže 50 litrů a vyráběná již v roce 1964. Z rodiny Alexandra Schleichera měla jako první vodní zátěž ASW 15 B z roku 1972. Dále Rolladen-Schneider LS1-d a vylepšená verze LS1-f s kapacitou vodní nádrže na 90 litrů [9].

Tyto kluzáky měly většinou jednu nádrž v každém křídle před nosníkem. Do nádrží se ze začátku oproti dnešním kluzákům nedávalo moc vody, obvykle do 100 litrů. Dnešní nádrže se objemem přibližují k dvojnásobku, okolo 200 litrů a některé kluzáky s dlouhým rozpětím pojmu až 300 litrů. V grafu níže je vidět trend se zvyšující se objemem vodních nádrží. Najdou se ovšem i výjimky jako je Nimbus 3, do kterého se již v roce 1981 dávalo až 310 litrů vody.

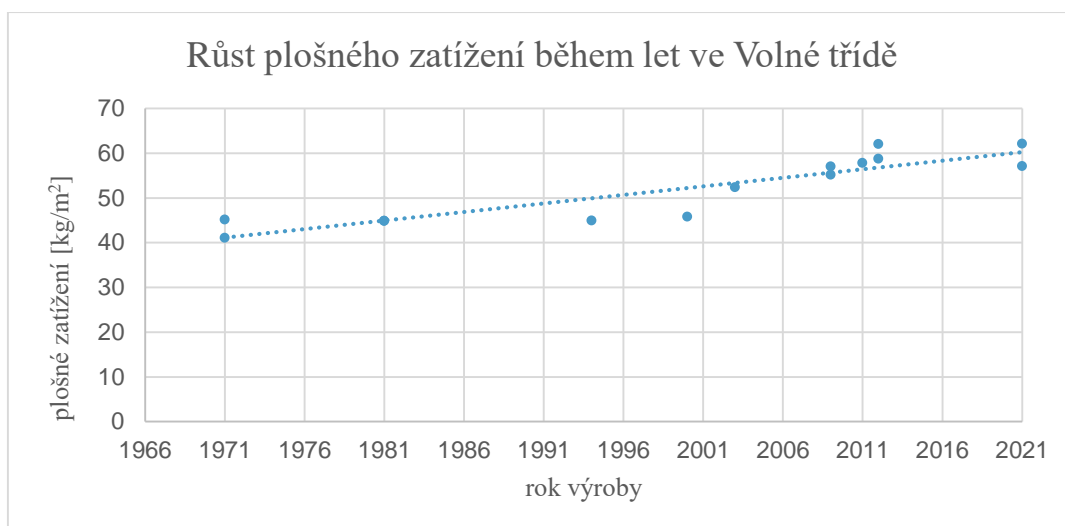


Obrázek 5: Graf růstu objemu vodních nádrží během let

S rostoucím objemem vodních nádrží a výkonností roste také plošné zatížení. Plošné zatížení se dá vypočítat jako maximální vzletová hmotnost v kilogramech podělená plochou křídla v  $m^2$ . Naším cílem je dostat se na to co nejvyšší plošné zatížení, jelikož tím docílíme vyšší cestovní rychlosti, jak již bylo vysvětleno v kapitole 2.1. Starší kluzáky dosahovaly okolo 30 až 40  $kg/m^2$ , například Nimbus 1 má plošné zatížení 31,65  $kg/m^2$ , ale o 25 let novější Nimbus 4 má maximální plošné zatížení již 44,94  $kg/m^2$ . Nejmodernější kluzáky dneska přesahují 60  $kg/m^2$ .



Obrázek 6: Graf růstu plošného zatížení během let v 18 m třídě



Obrázek 7: Graf růstu plošného zatížení během let ve Volné třídě



## 5 Současný stav vývoje kluzáků s vodní zátěží

Jestli se kluzák stane novým favoritem ve své soutěžní třídě, většinou určuje to, jaké má výsledku na světovém mistrovství. Proto není překvapením, že dnešní nejvýkonnější kluzáky se umísťují na předních příčkách na soutěžích. Za současné nejvýkonnější kluzáky tedy považuji takové, které jsou konkurenceschopné na vrcholových soutěžích. Jedná se většinou o kluzáky vyrobené v novém miléniu. Pro tyto zástupce ve třídě 18 metrů a Volné třídě jsem udělala statistiku jejich nejdůležitějších parametrů, abych měla z čeho vycházet při návrhu co nejmodernějšího modelu kluzáku, pro který chci konstruovat vodní zátěž.

Typ	Rozpětí [m]	Plocha [m <sup>2</sup> ]	Plošné zatížení <sub>max</sub> [kg/m <sup>2</sup> ]	Plošné zatížení <sub>min</sub> [kg/m <sup>2</sup> ]	λ [-]	MTOW [kg]	Prázdná hmotnost [kg]	Hmotnost nenosných částí [kg]	Hmotnost křídla [kg]	VSO L+brzdy [km/h]	VSO L [km/h]	Objem vodní přítěže [l]	CL <sub>max</sub> (L+brzdy) [-]	CL <sub>max</sub> (L) [-]	Tloušťka profilu křídla [%]	Rok výroby
JS 3	18	9,95	60,30	37	32,56	600	296	313	150			196				2016
AS 33	18	10	60,00	35,00	32,40	600	280	300							13	2020
JS2	18	11,19	57,19	40,13	28,95	640	379		200			187,5				2021
Diana 3	18	10,46	57,38	35,96	30,99	600	306									2017
ASG 29	18	10,5	57,14	35,24	30,86	600	300	285	160	87	78	170	1,567	1,950	13,4	2006
Ventus 3	18	10,84	55,35	36	29,89	600	300	320				192				2016
Antares 18T	18	10,97	54,69	36,01	29,54	600	325					214				2003
Ventus 2CxM	18	11,03	54,40	42,16	29,37	600	395	340		88	83	202	1,458	1,639		1995
JS 1 EVO	18	11,1	54,05	34,23	29,19	600	310	350	170	91	89	180	1,355	1,416	12,7	2006

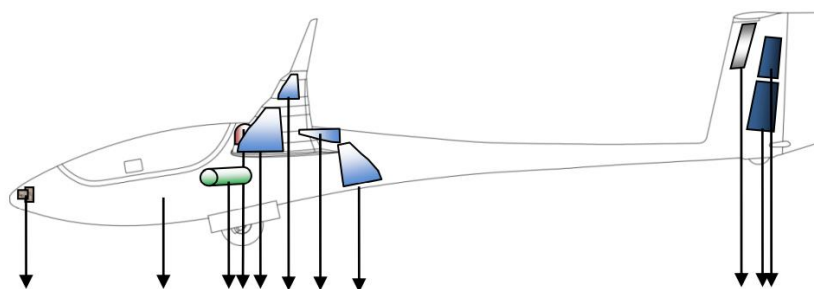
Tabulka 2: Statistika parametrů současných kluzáků v 18 m třídě [9] [11] [13] [14] [20] [21] [22] [23] [24]

Typ	Rozpětí [m]	Plocha [m <sup>2</sup> ]	Plošné zatížení <sub>max</sub> [kg/m <sup>2</sup> ]	Plošné zatížení <sub>min</sub> [kg/m <sup>2</sup> ]	λ [-]	MTOW [kg]	Prázdná hmotnost [kg]	Hmotnost nenosných částí [kg]	VSO L+brzdy [km/h]	VSO L [km/h]	Objem vodní přítěže [l]	CL <sub>max</sub> (L+brzdy) [-]	CL <sub>max</sub> (L) [-]	Rok výroby
AS35	20	11,75	62,13	44,09	34,04	730	448							2021
Concordia	28	13,7	62,04	5,11	57,23	850					300			2012
JS 1C	21	12,25	58,78	32,65	36,00	720	330	325	89	87	214	1,5402255	1,611854	2012
Quintus	23	14,7	57,82	38,78	35,99	850	500							2011
Antares 23E	23	14,75	57,63	39,32	35,86	850	510				250			
JS2	21	12,25	57,14	40,41	36,00	700	425				187,5			2021
EB 29R	28	14,9	57,05		52,62	850		385						2009
EB 29	25,3	15,4	55,19	42,21	41,56	850	580	385			190			2009
Antares 20	20	12,6	52,38	42,06	31,75	660	460				100			2003

Tabulka 3: Statistika parametrů současných kluzáků ve Volné třídě [3] [9] [10] [11] [12] [13] [14] [15]

Tyto tabulky jsem seřadila dle maximálního plošného zatížení a určila jsem si hodnotu 63 kg/m<sup>2</sup>, které bych se chtěla přiblížit ve variantě pro Volnou třídu. Dále mi ze statistiky vychází, že nejmodernější kluzáky mají 13% profily, takže jsem si zvolila 13% profil, abych získala přibližný tvar a objem křídla mého zjednodušeného modelu. Vybrala jsem profil AH-81-131 [16], který byl volně dostupný a přibližuje se profilům, které mají moderní kluzáky. Zvolila jsem ho hlavně pro tvarovou podobnost s moderními profily.

Nádrže na vodu moderních kluzáků už musí pojmout poměrně velký objem. Tím nastává problém kam všude vodní nádrže umístit. Jedno z nejběžnějších řešení, je umístit nádrže do křídel před nosník. Kluzáky s větším rozpětím, nad 18 metrů mají většinou vodní nádrže i v nástavcích, jelikož by se jim potřebný objem do hlavního křídla prostě nevešel. Takto to má vyřešené například Jonker Sailplanes JS1, což lze vidět na obr. 8 kde je konfigurace s nástavci na 21 metrů. Na obrázku je také možné vidět nádrže v trupu, které jsou nevypustitelné a nádrže v kýlové ploše. Tyto nádrže se používají pro celkové dovážení kluzáku, ale těmi se já ve své práci zabývat nebudu.

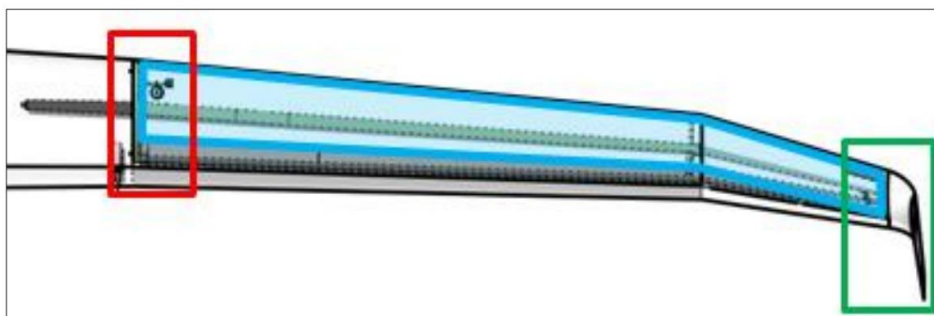


Obrázek 8: Řešení vodních nádrží na JS1 [27]

Jako další řešení se nabízí umístit vodní nádrž za nosník. JS3 s 18 metrovými nástavci má integrální nádrže v hlavním křídle jak před nosníkem, tak i menší nádrž za nosníkem. V nástavci je celý prostor také využit pro vodní nádrž.



Obrázek 9: Vodní nádrž v hlavním křídle JS3 [17]



Obrázek 10: Vodní nádrž v nástavci křídla JS3 [17]

Zmíněná řešení využívají integrálních nádrží. Ty mají tu výhodu, že je možné využít celý objem vnitřku křídla. Existují ale také nádrže s vaky. Jejich výhoda je, že voda není v přímém kontaktu s konstrukcí křídla. Většina vaků je možné z křídla vyjmout, takže když dojde k poškození, tak se dají vyměnit. Nevýhodou je menší objem a přidaná hmotnost vaku.



Obrázek 11: Vak na vodní zátěž ASW 24

## 6 Návrh parametrů modelu kluzáku

Při návrhu parametrů mého zjednodušeného modelu kluzáku jsem vycházela ze statistiky pro momentální špičku kluzáků ve Volné a 18 metrové třídě. Potřebuji si totiž nejdříve určit požadované množství vody, které se poté budu snažit dostat do křídel.

Zprvė musím vzít v úvahu, jaká omezení mi nařizuje předpis CS-22 a Sportovní řád FAI. Budu uvažovat, že můj kluzák by byl vybaven pomocným motorem tzv. sustainer, který má většina moderních kluzáků. Tím pádem mě předpis omezuje na maximální vzletovou hmotnost 850 kg. Na Světových a Kontinentálních mistrovstvích je omezena vzletová hmotnost 18 metrové třídy na 600 kg. Tím pádem mám předběžné maximální vzletové hmotnosti 850 kg pro Volnou třídu a 600 kg pro Třídou 18 metrů.

Jako další mi předpis CS-22 omezuje maximální pádové rychlosti při MTOM a přistávací konfiguraci na maximálně 95 km/h s plně vysunutými aerodynamickými brzdami a 90 km/h se zasunutými aerodynamickými brzdami. Kvůli těmto omezením jsem nakonec musela snížit MTOM na které jsou rychlosti závislé.

Rozhodla jsem se pro rozpětí 18 metrů, které vyplívá z toho, že chci, aby byla možnost soutěžit i v Třídě 18 metrů a pro nástavce na 21 metrů. Těchto 21 metrů jsem zvolila kvůli tomu, aby bylo konstrukčně možné zkombinovat tyto dvě rozpětí na jednom křídle.

Předběžnou plochu křídla jsem vypočetla pomocí předběžné MTOM a zvoleného plošného zatížení ze statistiky  $63 \text{ kg/m}^2$ .

$$S = \frac{MTOM}{\text{plošné zatížení}} = \frac{850}{63} = 13,49 \text{ m}^2 \quad (6.1)$$

Pro rozpětí 21 metrů vyšla  $13,49 \text{ m}^2$  a pro 18 metrů stejným výpočtem  $9,5 \text{ m}^2$ . Z této kombinace ale nelze sestavit geometricky přijatelný tvar křídla pro mou variantu 18 m/21 m. Plochy křídla pro jednotlivé varianty si musí být bližší.

Maximální součinitel vztlaku jsem si vypočítala z mé statistiky, ve které jsou zahrnuty moderní kluzáky s klapkou. Tento součinitel tedy nevychází z vybraného profilu křídla.

$$CL_{max} = \frac{2 \cdot MTOM \cdot g}{\rho \cdot V_{S0}^2 \cdot S} \quad (6.2)$$

Tento součinitel jsem potřebovala, abych si mohla spočítat maximální pádové rychlosti, které jsou omezeny předpisem. Součinitel  $CL_{max(L+brzdy)}$  jsem určila jako 1,55 pro 21 metrů a 1,5 pro 18 metrů. Součinitel  $CL_{max(L)}$  jsem určila jako 1,65 pro 21 metrů a 1,6 pro 18 metrů. Pádové rychlosti jsem následně spočetla takto:

Pro 18 m:

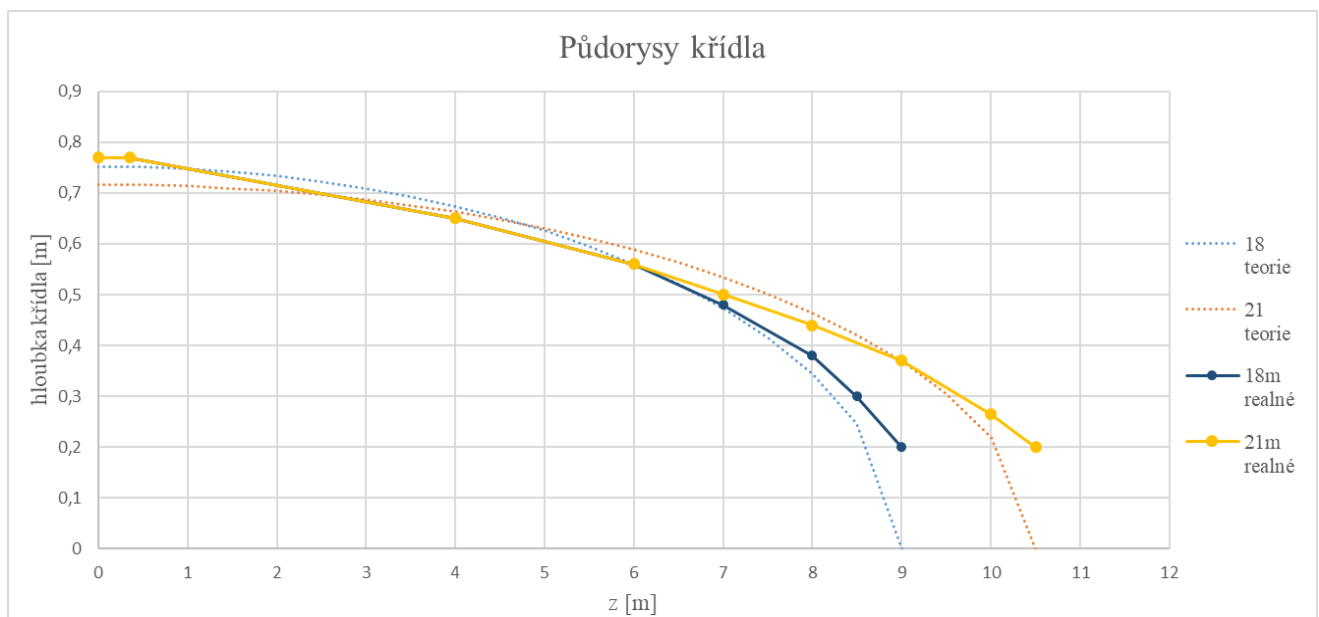
$$V_{S0(L+brzdy+voda)} = \sqrt{\frac{2 \cdot MTOM \cdot g}{\rho \cdot S \cdot CL_{max(L+brzdy)}}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 600 \cdot 9,81}{1,225 \cdot 9,5 \cdot 1,5}} = 93,37 \text{ km/h} \quad (6.3)$$

$$V_{S0(L+brzdy+voda)} = \sqrt{\frac{2 \cdot MTOM \cdot g}{\rho \cdot S \cdot CL_{max(L+brzdy)}}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 600 \cdot 9,81}{1,225 \cdot 9,5 \cdot 1,5}} = 93,37 \text{ km/h} \quad (6.4)$$

$$V_{S0(L+voda)} = \sqrt{\frac{2 \cdot MTOM \cdot g}{\rho \cdot S \cdot CL_{max(L)}}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 600 \cdot 9,81}{1,225 \cdot 9,5 \cdot 1,6}} = 90,41 \text{ km/h} \quad (6.5)$$

Hodnota  $V_{S0(L+voda)} = 90,41 \text{ km/h}$  už ale nesplňuje požadavky předpisu, odstavec CS 22.49 Pádová rychlost [7]. Takže je potřeba upravit parametry. V tomto případě bylo potřeba navýšit plochu křídla, aby se snížila pádová rychlost. To ovšem vedlo k snížení poměru MTOM a plochy křídla, tedy plošného zatížení.

Při návrhu půdorysu vycházím z toho, že se snažím přiblížit tvaru elipsy a tím mít co nejnižší indukovaný odpor. Nejdříve jsem si v grafu nechala vykreslit dvě teoretické elipsy pro obě rozpětí a následně jsem se snažila sladit můj reálný půdorys křídla. Dělení křídla jsem určila v 6 metrech od kořene, do tohoto místa je křídlo společné pro 21 i 18 metrů. Výsledný půdorys a jeho porovnání s teoretickými elipsami je vidět na grafu v Obrázek 12.



Obrázek 12: Graf porovnání půdorysů křídla



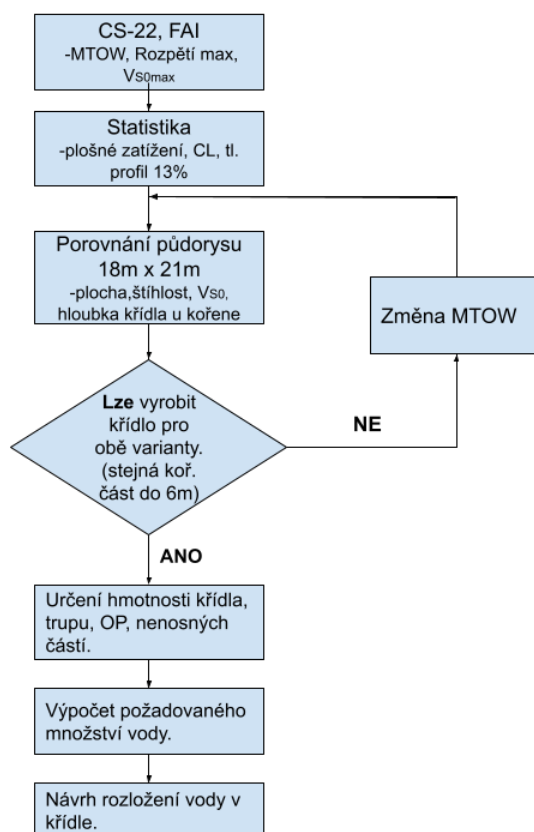
Obrázek 13: Model křídla s nástavcem 18m a 21m

Z těchto půdorysů jsem si mohla dopočítat konečnou plochu křídla pro obě varianty,  $S=10,63 \text{ m}^2$  pro 18 metrů a  $S=11,82 \text{ m}^2$  pro 21 metrové rozpětí. S těmito novými plochami jsem si znovu dopočetla pádové rychlosti a musela jsem snížit MTOM abych vyhověla předpisům. Určila jsem také hmotnosti jednotlivých částí, převážně ze statistik a pro můj zjednodušený model mi vyšly následující parametry:

	Volná třída	Třída 18m	jednotky
rozpětí	21,00	18,00	[m]
plošné zatížení max	62,18	56,44	[kg/m <sup>2</sup> ]
MTOM	735	600	[kg]
plocha křídla	11,82	10,63	[m <sup>2</sup> ]
V <sub>50</sub> (L+brzdy+voda)	91,25	88,38	[km/h]
V <sub>50</sub> (L+voda)	88,45	85,57	[km/h]
V <sub>50</sub> (L)	71,85	74,52	[km/h]
CLmax (L+brzdy)	1,55	1,50	[-]
CLmax (L)	1,65	1,60	[-]
štíhlost	37,31	30,48	[-]
hmotnost křídla	200	170	[kg]
hmotnost nenosných částí max	330	330	[kg]
těžký pilot	110	110	[kg]
lehký pilot	70	70	[kg]
hmotnost trupu a osacních ploch	215	215	[kg]
prázdná hmotnost letadla	415	385	[kg]
hmotnost kluzáku s lehkým pilotem	485	455	[kg]
<b>potřebná hmotnost vody</b>	<b>250</b>	<b>145</b>	<b>[kg]</b>

Tabulka 4: Návrh parametrů kluzáku

Pro 21 m rozpětí jsem se dostala na plošné zatížení 62,18 kg/m<sup>2</sup>. Maximální využitelná hmotnost vody vyšla 250 kg pro 21 m a 145 kg pro 18m rozpětí. Jak dané množství vody umístit do křídel se budu zabírat v další kapitole. Při návrhu parametrů jsem postupovala podle vývojového diagramu na Obrázek 14.



Obrázek 14 : Vývojový diagram návrhu parametrů kluzáku

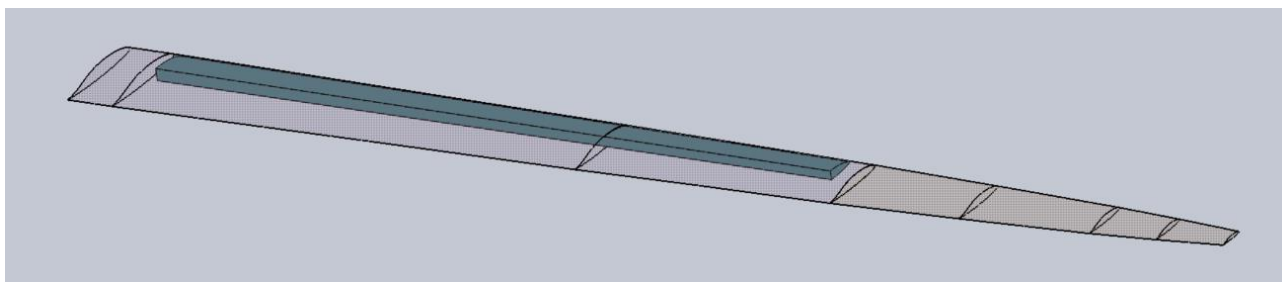
## 7 Varianty rozložení vodních nádrží v křídle

V CAD systému Dassault Systèmes Solidworks jsem vymodelovala zjednodušený model křídla dle mých stanovených parametrů. Potřebovala jsem tento model, abych byla schopna zjistit objem jednotlivých nádrží. Pro mé parametry mi vyšli čtyři možnosti uspořádání vodních nádrží. Při návrhu rozložení nádrží jsem musela brát v úvahu prostor pro aerodynamické brzdy. Ten jsem na obrázcích vyznačila jako červený obdélník o délce 1350 mm. Rozměr pro tento prostor jsem určila ze statistiky, kdy se délka brzd dnešních kluzáků pohybuje přibližně okolo 1300 až 1450 mm.

Varianty jsem musela řešit jen pro rozpětí 21 metrů, jelikož pro 18 metrů mi stačí jedna nádrž v hlavním křídle před nosníkem, která pojme 85,9 kg ( $2 \times 85,9 = 171,8$  kg) a pro 18 metrů mám požadovanou hmotnost vody jen 145 kg. Tato nádrž v hlavním křídle před nosníkem se vyskytuje ve všech variantách pro 21 metrů. Nástavec na 18 metrů by tedy zůstal vždy bez vody, jak je vyobrazeno na obr. 15 a 16.



Obrázek 15: Rozložení vodních nádrží pro 18 m

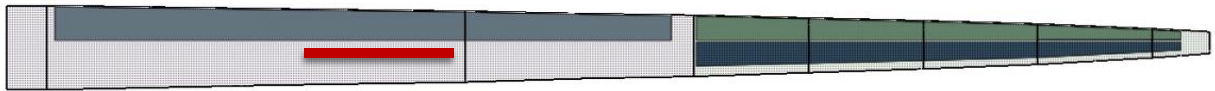


Obrázek 16: Rozložení vodních nádrží pro 18m 3D

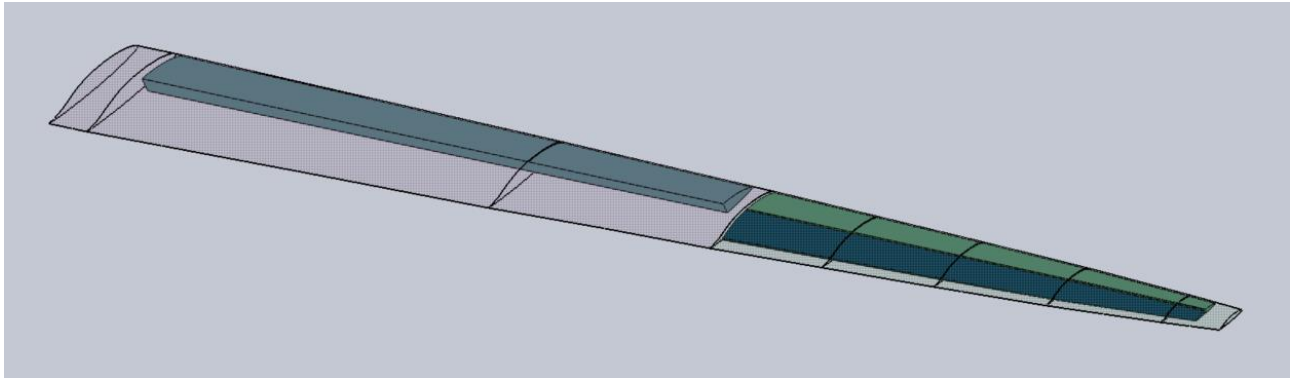
### 7.1 První varianta: Nádrže v křídle před nosníkem + v nástavci před i za nosníkem

Jako první variantu jsem zvolila nádrž v hlavním křídle před nosníkem a v nástavci před i za nosníkem. Tato varianta se mi zdá jako výrobně nejjednodušší, jelikož není potřeba dělat otvor do nosníku v hlavním křídle a v nástavci již nejsou táhla řízení. Dále toto rozložení snižuje ohybový moment křídla což je výhodné. Na druhou stranu zvyšuje moment setrvačnosti a to sníží příčnou obratnost letadla.

- Křídlo PN: 2 x 83,2 kg
- Nástavec PN: 2 x 24,1 kg
- Nástavec ZN: 2 x 22,5 kg
- Celkem: 259,4 kg



Obrázek 17: První varianta rozložení vodních nádrží



Obrázek 18: První varianta rozložení vodních nádrží 3D

## 7.2 Druhá varianta: Nádrže v křídle před nosníkem + v křídle za nosníkem u kořene + v nástavci před nosníkem

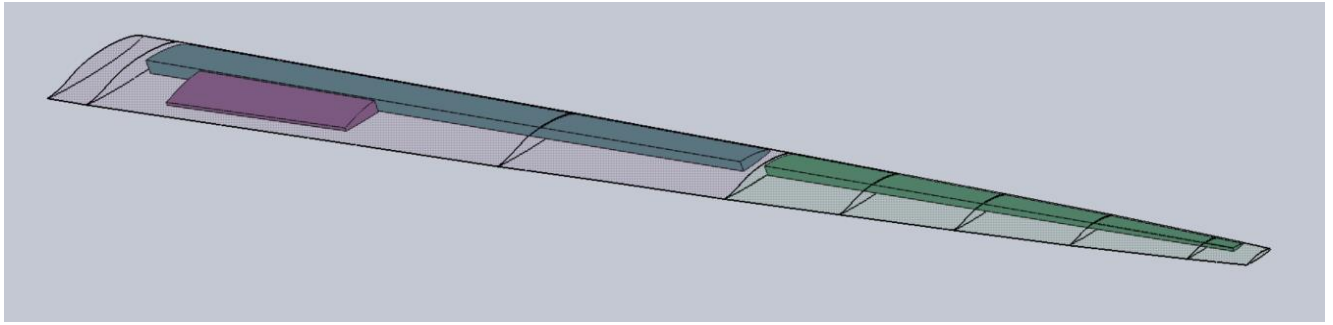
Druhá varianta již počítá s vodní nádrží za nosníkem v hlavním křídle. Tato nádrž by mohla při výrobě dělat problémy při kolizi s táhly řízení, kterých je u kořene křídla nejvíce. Navíc by se musel dělat průchod v hlavním nosníku u kořene, kde je jeho namáhání největší. Jedná se o variantu s největším objemem 265,5 kg, pro mé parametry potřebuji ale jen 250 kg. Tato varianta ovšem nezpůsobuje tak velký moment setrvačnosti jako varianta první, což je pro pilotáž výhodné.

- Křídlo PN: 2 x 83,2 kg
- Nástavec PN: 2 x 24,1 kg
- Křídlo ZN1: 2 x 25,5 kg
- Celkem: 265,5 kg



Obrázek 19: Druhá varianta rozložení vodních nádrží





Obrázek 20: Druhá varianta rozložení vodních nádrží 3D

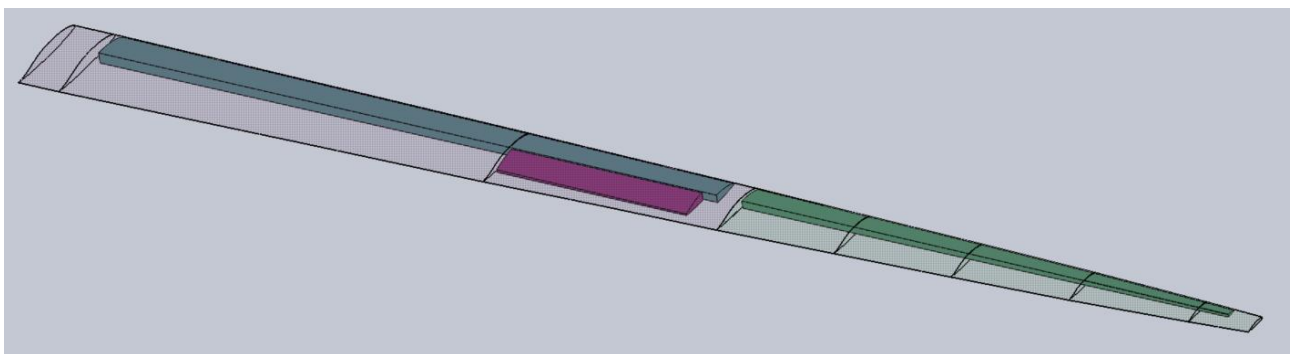
### 7.3 Třetí varianta: Nádrže v křídle před nosníkem + v křídle za nosníkem + v nástavci před nosníkem

Třetí varianta je obdoba varianty druhé, ale nádrž v hlavním křídle za nosníkem je dále od kořene až za aerodynamickými brzdami. Tato varianta by mohla být výrobně jednodušší, jelikož nádrž za nosníkem je až za brzdami, takže v místě nádrže povede o táhlo méně. Má sice menší objem, ale stále splňuje požadovaný objem.

- Křídlo PN: 2 x 83,2 kg
- Nástavec PN: 2 x 24,1 kg
- Křídlo ZN2: 2 x 18 kg
- Celkem: 250,5 kg



Obrázek 21: Třetí varianta rozložení vodních nádrží



Obrázek 22: Třetí varianta rozložení vodních nádrží 3D

### 7.4 Čtvrtá varianta: Nádrže v křídle před nosníkem + v křídle za nosníkem

Poslední varianta je asi nejméně konvenční, nepočítá s žádnou vodou v nástavci, ale všechna voda by byla pouze v hlavním křídle. Čtvrtá varianta by byla díky otvorům v nosníku výrobně náročnější, ale zase by odpadl problém s nutností propojit ovládání vypouštění do nástavce. Jednoznačná výhoda tohoto řešení by byl nejmenší moment setrvačnosti a nejmenší změna těžiště

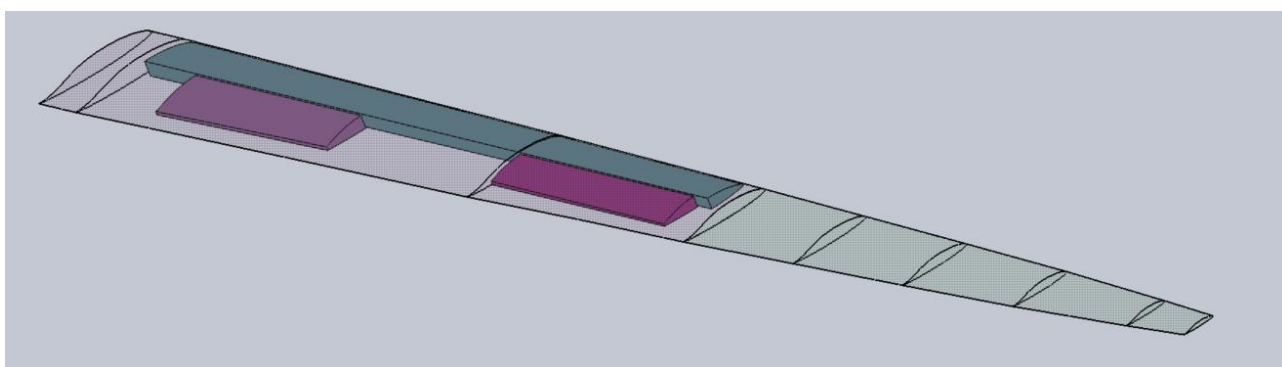


v podélném směru při plné vodní zátěži. Na druhou stranu ze všech variant vede k nejvyššímu ohybovému momentu křídla.

- Křídlo PN: 2 x 85,9 kg
- Křídlo ZN1 : 2 x 28,4 kg
- Křídlo ZN2: 2 x 18,2 kg
- Celkem: 253,4 kg



Obrázek 23: Čtvrtá varianta rozložení vodních nádrží



Obrázek 24: Čtvrtá varianta rozložení vodních nádrží 3D

## 8 Výběr varianty

Jako hlavní kritéria výběru varianty jsem zvolila, jak velký mají jednotlivé varianty moment setrvačnosti vzhledem k podélné ose kluzáku, což má značný vliv na příčnou obratnost. Dalším důležitým aspektem je poloha těžiště kluzáku v podélném směru a potřeba kompenzace změny polohy těžiště při napuštění/vypuštění nádrží v křídlech, vodou v kýlové ploše.

### 8.1 Poloha těžiště (CG)

Pozice CG by měla být mezi 25% a 40% střední aerodynamické tětivy. Ideální poloha CG s lehkým pilotem je v 37% a s těžkým pilotem v 33% SAT. [18].

#### 8.1.1 Výpočet střední aerodynamické tětivy (SAT)

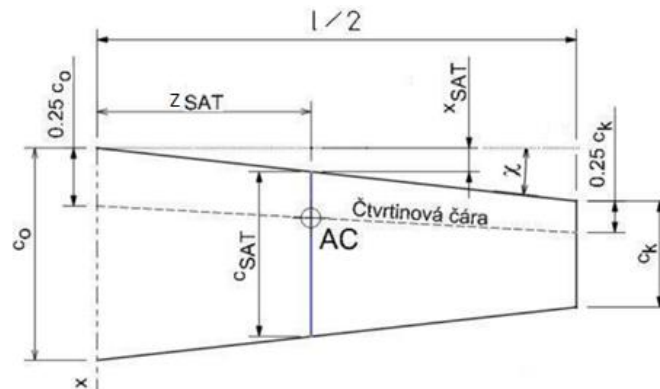
Poloha střední aerodynamické tětivy se dá obecně vypočítat pomocí následujících vzorců:

Délka SAT: 
$$c_{SAT} = \frac{2}{S} * \int_0^{l/2} c(z)^2 * dz \quad (8.1)$$

Poloha SAT od náběžné hrany: 
$$x_{SAT} = \frac{2}{S} * \int_0^{l/2} c(z) * x(z) * dz \quad (8.2)$$

Poloha SAT po rozpětí: 
$$z_{SAT} = \frac{2}{S} * \int_0^{l/2} c(z) * z * dz \quad (8.3)$$

kde  $c(z)$  představuje rovnice tětivy,  $S$  je nosná plocha křídla,  $l$  je rozpětí. [19]



Obrázek 25: Výpočet SAT [19]

Pro lichoběžníkový půdorys křídla ale zvolím jednodušší formu výpočtu, podle vztahů odvozených z geometrie lichoběžníku. Půdorys křídla rozložím do řady lichoběžníků a naleznu jejich dílčí SAT dle:

$$c_{SATi} = \frac{2}{3} * \frac{c_0^2 + c_0 * c_k + c_k^2}{c_0 + c_k} \quad (8.4)$$

$$z_{SATi} = \frac{l}{6} * \frac{c_0 + 2 * c_k}{c_0 + c_k} \quad (8.5)$$

$$x_{SATi} = z_{SAT} * tg(\chi) \quad (8.6)$$

a poté výslednou SAT pomocí následujících vzorců [19]:

$$c_{SAT} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} c_{SATi} * Si}{\sum_{i=1}^{i=n} Si} \quad (8.7)$$

$$x_{SAT} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} x_{SATi} * Si}{\sum_{i=1}^{i=n} Si} \quad (8.8)$$

$$z_{SAT} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} z_{SATi} * Si}{\sum_{i=1}^{i=n} Si} \quad (8.9)$$

hloubka křídla[m]	Si - plocha [m <sup>2</sup> ]	tg(χ)	c <sub>SATi</sub> [m]	z <sub>SATi</sub> [m]	x <sub>SATi</sub> [m]	(c <sub>SATi</sub> * Si)[m <sup>3</sup> ]	(x <sub>SATi</sub> * Si)[m <sup>3</sup> ]	(z <sub>SATi</sub> * Si)[m <sup>3</sup> ]
0,77		0,0000	0,0000	0,0000				
0,77	0,270	0,0000	0,7700	0,1750	0,0000	0,2075	0,0000	0,0472
0,65	2,592	0,0138	0,7117	2,1236	0,0245	1,8443	0,0635	5,5033
0,56	1,210	0,0189	0,6061	4,9752	0,0688	0,7334	0,0833	6,0200
0,5	0,530	0,0252	0,5306	6,4906	0,1006	0,2812	0,0533	3,4400
0,44	0,470	0,0252	0,4706	7,4894	0,1257	0,2212	0,0591	3,5200
0,37	0,405	0,0294	0,4060	8,4856	0,1529	0,1644	0,0619	3,4367
0,265	0,318	0,0441	0,3204	9,4724	0,1888	0,1017	0,0600	3,0075
0,2	0,116	0,0546	0,2340	10,2384	0,2251	0,0272	0,0262	1,1902

Tabulka 5: Hodnoty z výpočtu polohy SAT

Výsledná vypočtená poloha SAT:

$$c_{SAT} = 606 \text{ mm}$$

$$x_{SAT} = 69 \text{ mm}$$

$$z_{SAT} = 4\,427 \text{ mm}$$

## 8.1.2 Výpočet polohy těžiště (CG) jednotlivých variant

Pro výpočet celkové polohy těžiště kluzáku s různými variantami nádrží, je potřeba zjistit vzdálenosti těžišť jednotlivých samotných uskupení nádrží od referenčního bodu. To jsem zjistila pomocí CAD modelu v Solidworks.

Jako další je potřeba znát polohu CG kluzáku s pilotem a s prázdnými nádržemi taktéž od referenčního bodu. Tuto polohu jsem určila z předpokladu, že ideální poloha CG<sub>ideal</sub> je ve 37 % SAT.

$$CG_{ideal} = 0,37 * c_{SAT} + x_{SAT} = 0,37 * 606 + 69 = 293 \text{ mm} \quad (8.10)$$

Výpočet jsem provedla pro lehkého pilota, jelikož jen lehký pilot může nádrže naplnit na maximální možný objem. Těžký pilot nádrže nikdy celé naplnit nemůže, jelikož by překročil MTOM. Při naplnění nádrží na maximální možný objem je potřeba větší kompenzace vodou v kýlové ploše a jedná se tedy o více nepříznivou konfiguraci. V této části uvažuji pouze kompenzaci posunu těžiště způsobeného vodou v křídle, nikoli kompenzaci hmotnosti pilota. Pro stanovení konečné polohy CG kluzáku s lehkým pilotem a plnými vodními nádržemi jsem použila následující vzorec.

$$CG_{k+v+p} = \frac{m_{vn} * CG_n + m_{k+p} * CG_{ideal}}{m_{vn} + m_{k+p}} \quad (8.11)$$

Pro první variantu:

$$CG_{k+v+p} = \frac{250 * 247,98 + 485 * 293}{250 + 485} = 277,75 \text{ mm} \quad (8.12)$$

Pro zbylé varianty jsou vypočtené hodnoty v Tabulka 6.

Za údaj  $m_{vn}$  jsem u všech variant dosadila 250kg. Jelikož i když je schopna nádrž pojmout více vody, tak naplněním nádrží více než 250kg vody by vedlo k překročení MTOM.

	zkratky	jednotky	První varianta	Druhá varianta	Třetí varianta	Čtvrtá varianta
maximální hmotnost vody v nádržích	$m_{vnmax}$	[kg]	259,38	265,48	250,50	253,38
výpočtová hmotnost vody v nádržích	$m_{vn}$	[kg]	250,00	250,00	250,00	250,00
vzdálenost těžiště nádrží ve směru x	$CG_n$	[mm]	247,98	259,43	245,33	284,86
poloha CG kluzáku+voda+pilot	$CG_{k+v+p}$	[mm]	277,75	281,65	276,85	290,30
poloha CG kluzáku+voda+pilot	$CG_{k+v+p}$	[% SAT]	34,47	35,11	34,32	36,54
potřebná hmotnost vody v kýlové ploše	$m_{vSOP}$	[kg]	2,74	2,04	2,90	0,50

Tabulka 6: Výsledky výpočtu  $CG_{k+v+p}$  a  $m_{vSOP}$  pro jednotlivé varianty

Vzdálenosti výsledných těžišť jsem nakonec přepočítala do procent SAT. Z výsledků lze vyvodit, že u čtvrté varianty se poloha CG po naplnění nádrží vodou posune pouze o 3 mm dopředu a od ideální polohy  $CG_{ideal}$  se bude lišit o pouhých 0,5% SAT, což dělá v tomto ohledu čtvrtou variantu nejvýhodnější. Znamená to, že když budou nádrže v křídlech prázdné, nebo se bude hmotnost vody pohybovat v intervalu do 250 kg, poloha těžiště kluzáku stále zůstane okolo ideální polohy  $CG_{ideal}$ . Takže i když bude potřeba vodu vypustit, kvůli zhoršeným termickým podmínkám, poloha těžiště se skoro neposune.

Dopředný posun těžiště od hmotnosti vody v nádržích v křídlech se v praxi kompenzuje vodní zátěží v kýlové ploše. U novějších kluzáků je běžné, že v ocasu jsou dvě nádrže. Jedna nevypustitelná pro dovážení hmotnosti pilota a druhá vypustitelná, která kompenzuje posun CG od vodní zátěže v křídlech. Potřebnou hmotnost vody do vypustitelné nádrže v kýlové ploše jsem vypočítala pro jednotlivé varianty z momentové rovnováhy.

$$CG_{ideal} * MTOM = CG_{k+v+p} * (MTOM - m_{vSOP}) + CG_{vSOP} * m_{vSOP} \quad (8.13)$$

$$m_{vSOP} = \frac{MTOM * (CG_{ideal} - CG_{k+v+p})}{CG_{vSOP} - CG_{k+v+p}} \quad (8.14)$$

Poloha těžiště vodní nádrže v kýlové ploše od referenčního bodu:  $CG_{vSOP} = 4400 \text{ mm}$

Pro čtvrtou variantu:

$$m_{vSOP} = \frac{735 * (293 - 290,3)}{4400 - 290,3} = 0,5 \text{ kg} \quad (8.15)$$

Pro ostatní varianty jsou hodnoty taktéž v tabulce 5. Z výpočtu potřebné hmotnosti vody v kýlové ploše opět vychází nejlépe čtvrtá varianta. Pro úplnou kompenzaci posunu těžiště při napuštění nádrží v křídlech, by bylo potřeba mít vypustitelnou nádrž v kýlové ploše pouze na 0,5 kg. Když se jedná o takto malou hmotnost, tak je možné ji zanedbat a není potřeba v kýlové ploše mít vypustitelnou nádrž na vodu a stačí pouze nevypustitelná na dovážení hmotnosti pilota. Tímto například pilotovi kluzáku odpadnou starosti, jaké je správné množství vody, které si má dát do ocasní nádrže vzhledem k množství vody, kterou napustil do křídel.

## 8.2 Momenty setrvačnosti vodních nádrží jednotlivých variant

Moment setrvačnosti vzhledem k podélné ose kluzáku každé varianty jsem určila jako součet momentů setrvačnosti jejich jednotlivých nádrží, které jsem odečetla z modelu v Solidworks.

	jednotky	nástavec PN	nástavec ZN	křídlo PN	křídlo ZN2	křídlo ZN1
Moment setrvačnosti (vzhledem k podélné ose kluzáku)	[kg*mm <sup>2</sup> ]	1408934535	1307220418	863755066	425544091	77446871

Tabulka 7: Momenty setrvačnosti jednotlivých nádrží

	jednotky	První varianta	Druhá varianta	Třetí varianta	Čtvrtá varianta
Moment setrvačnosti (vzhledem k podélné ose kluzáku)	[kg*mm <sup>2</sup> ]	3579910019	2350136473	2698233693	1366746029

Tabulka 8: Momenty setrvačnosti jednotlivých variant

V tabulce 7 lze vidět, že nejvyšší moment setrvačnosti by měla první varianta, což se dalo očekávat, vzhledem k nádržím v nastavci, které jsou nejdále od podélné osy kluzáku a zvyšují tak moment setrvačnosti. Druhá a třetí varianta jsou na tom velmi podobně, kdy mají oproti první variantě moment setrvačnosti přibližně o  $1 \times 10^9 \text{ kg} * \text{mm}^2$  menší. Nejmenší moment setrvačnosti, skoro třetinový oproti první variantě, má čtvrtá varianta, u které jsou nádrže nejbližší trupu. Menší moment setrvačnosti vzhledem k podélné ose kluzáku je příhodný, jelikož kluzák bude mít vyšší obratnost kolem této osy.

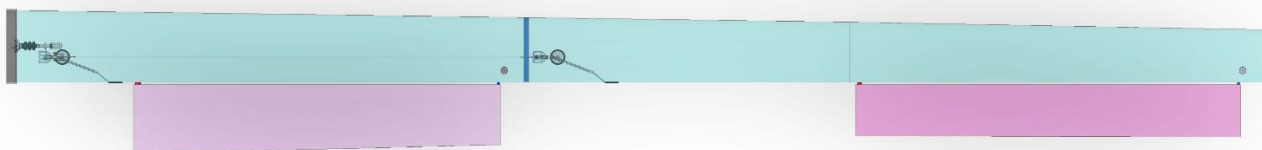
## 8.3 Vybraná varianta

Jako konečnou variantu volím čtvrtou variantu. Tato varianta vychází nejlépe jak z hlediska malého posunu těžiště, tak z hlediska malého momentu setrvačnosti kolem podélné osy kluzáku.

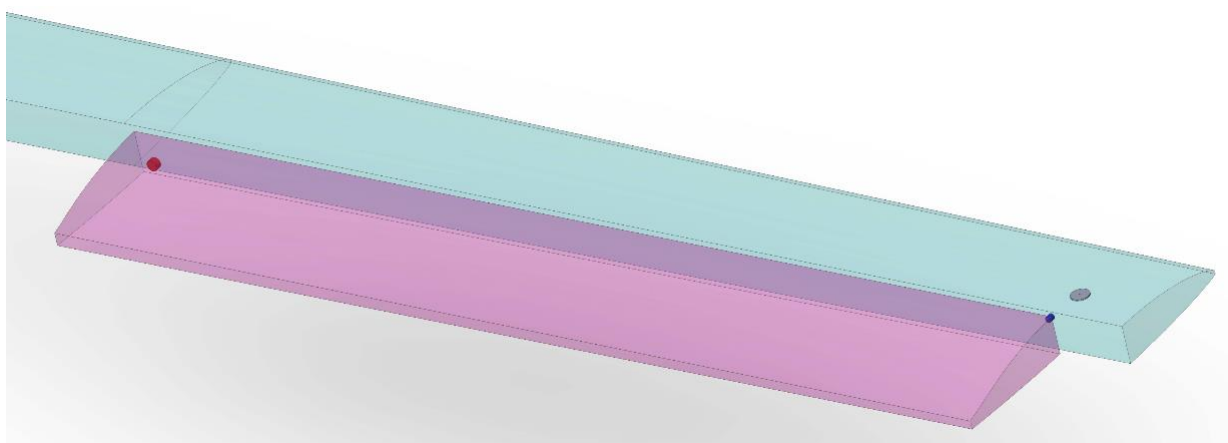
## 9 Konceptní návrh vybrané varianty

### 9.1 Propojení nádrží

Vybraná varianta se skládá z nádrže v křídle před nosníkem a z dvou menších nádrží za nosníkem. Rozhodla jsem se propojit nádrže za nosníkem s velkou nádrží před nosníkem malými otvory v nosníku. Jednak otvory u dolního potahu, pro přelévání vody (označené červeně) a menšími otvory u horního potahu, které slouží jako odvodušnění (označené modře) Obrázek 26 a Obrázek 27. Velká nádrž před nosníkem je rozdělena přepážkou přibližně v první třetině nádrže ve vzdálenosti 2,27m od kořenového žebra viz Obrázek 26. Takto vzniknou dvě oddělené nádrže s přibližně stejným objemem, kdy se každá z nich skládá z malé nádrže za nosníkem a jedné z částí nádrže před nosníkem.



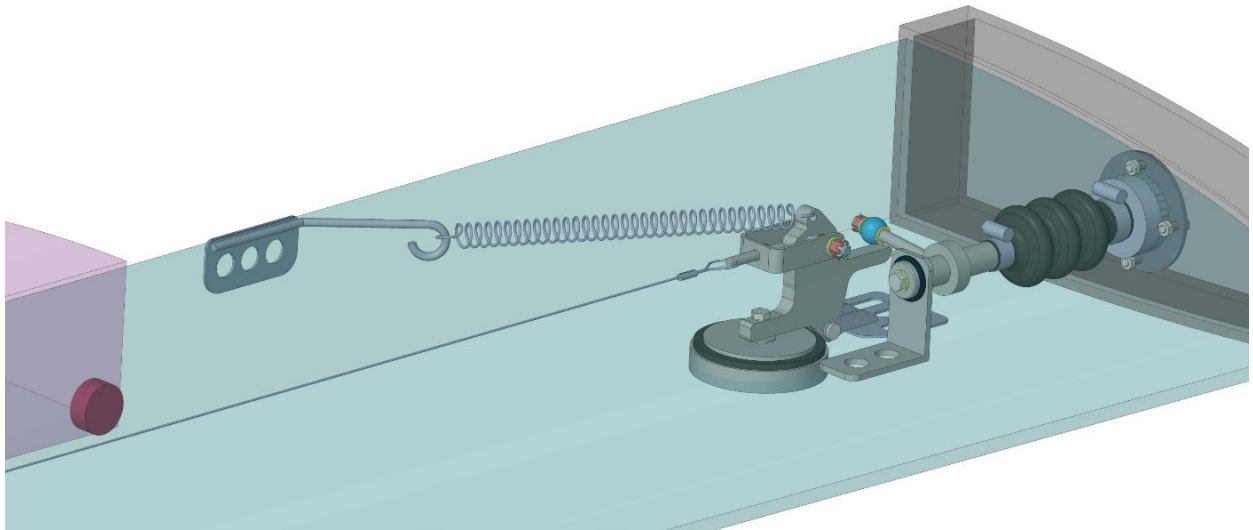
Obrázek 26: Konceptní návrh vybrané varianty



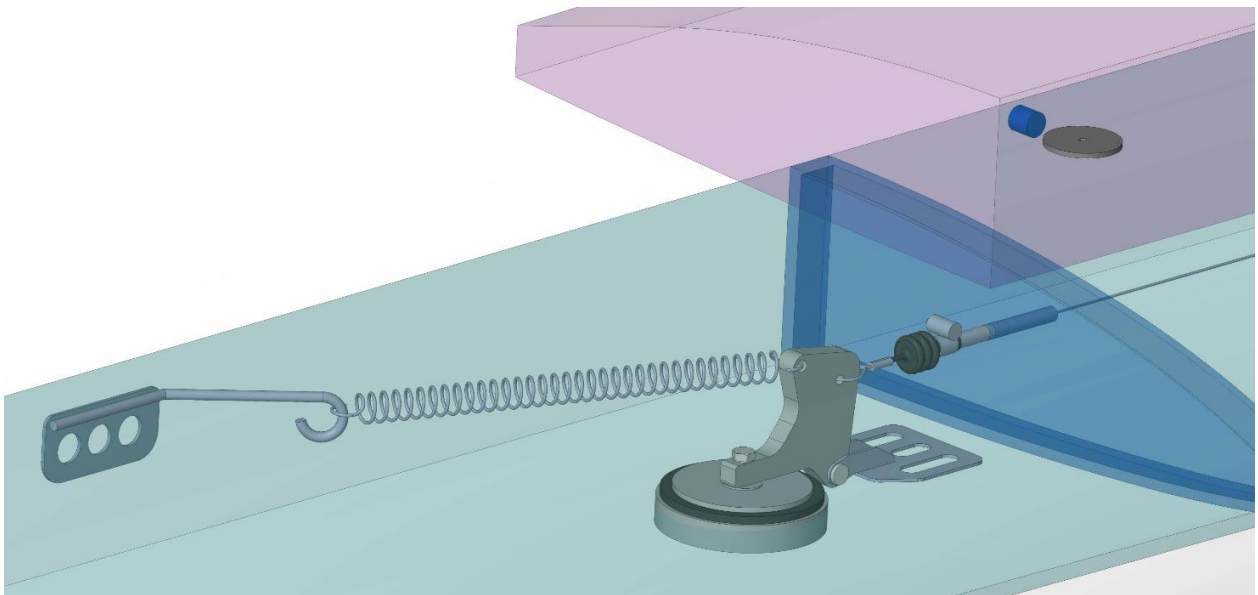
Obrázek 27: Otvory v nosníku pro přelévání vody a odvodušnění + napouštěcí ventil vnější nádrže

### 9.2 Mechanismus vypouštění nádrží

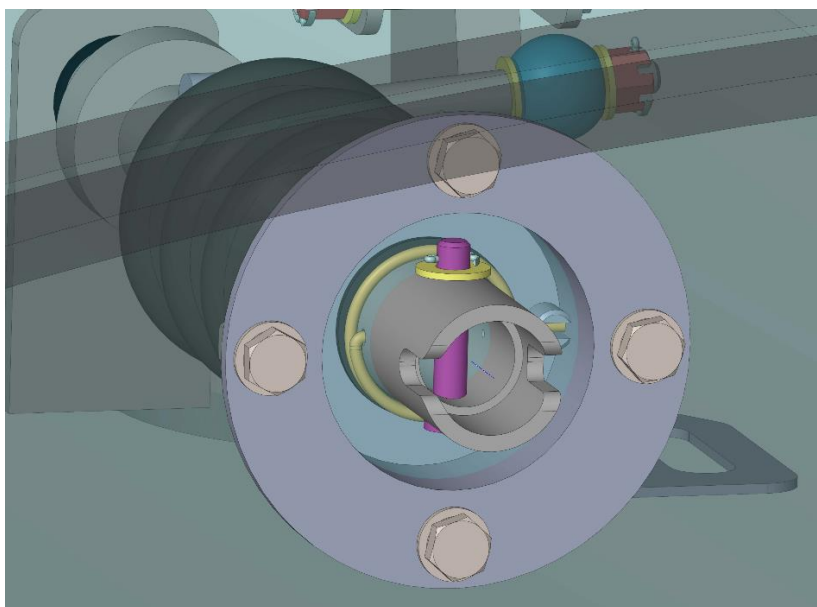
Mechanismus spojuje výhody jednoduchého propojení křídla s trupem pomocí torzního náhonu a lehké konstrukce díky spojení ventilů nerezovým lankem. Každá z dvou oddělených nádrží má svůj vlastní napouštěcí i vypouštěcí ventil. Ventily v obou křídlech jsou ovládány jediným ovladačem v kabině pilota. Ovladač je spojen táhlem s torzním náhonem umístěným v centroplánu, který je při instalaci křídla automaticky spojen s mechanismem ovládání ventilů na kořenovém žebře křídla. Kulička na torzním náhonu v křídle zatlačí do páky ventilu, který se následně otevře. V zavřené poloze je mezi kuličkou a pákou ventilu vůle a může dojít k úplnému zavření ventilu pomocí tažné pružiny. Vnější ventil je spojený s pákou vnitřního ventilu pomocí lanka.



Obrázek 28: Mechanismus vypouštění vody-vnitřní ventil

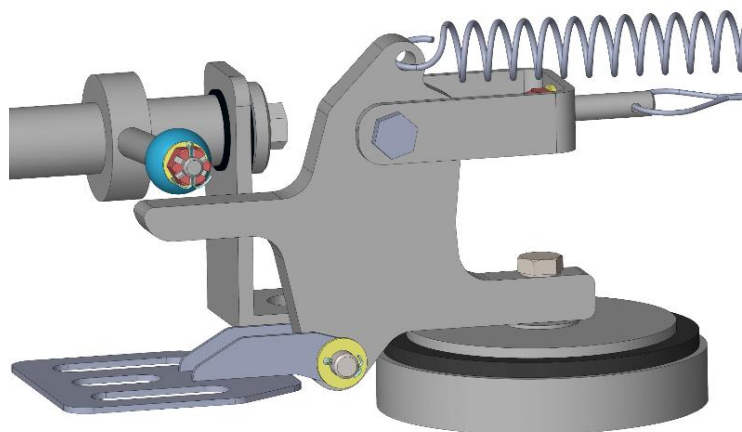


Obrázek 29: Mechanismus vypouštění vody-vnější ventil

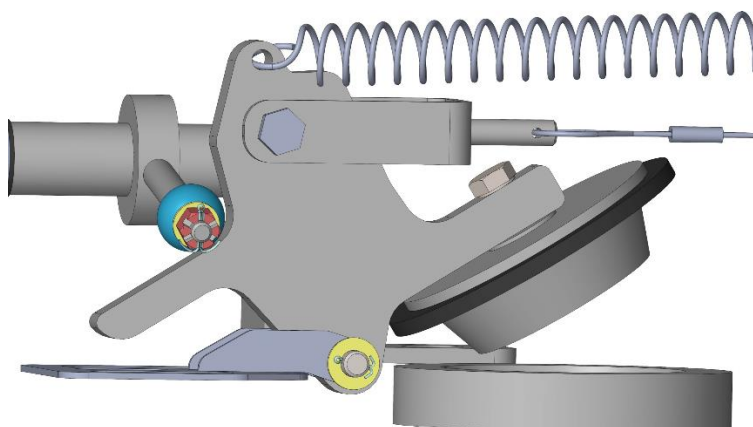


Obrázek 30: Torzní náhon v křídle

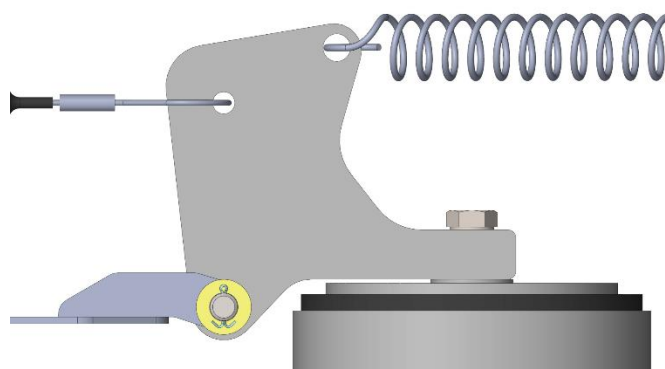




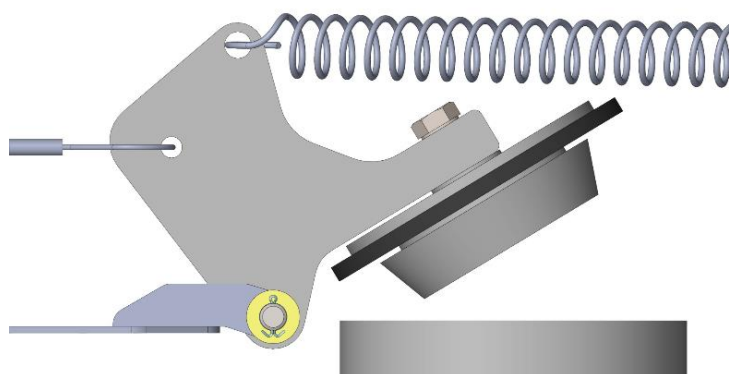
Obrázek 31: Vnitřní ventil v zavřené poloze



Obrázek 32: Vnitřní ventil v otevřené poloze



Obrázek 33: Vnější ventil v zavřené poloze



Obrázek 34: Vnější ventil v otevřené poloze



### 9.3 Způsob plnění nádrží

Každá nádrž je opatřena zátkou na horní straně křídla. Díky tomu lze plnit nezávisle vnější i vnitřní nádrž, v závislosti na požadované hmotnosti vodní přítěže. Vlastní plnění lze provést pomocí běžné hadice. Při plnění je nutné podepřít křídlo kluzáku tak, aby bylo ve vodorovné poloze a nedocházelo k vytékání vody plnicím otvorem. Zátky nádrží jsou opatřeny odvodušňovacími otvory, které slouží k vyrovnávání tlakových změn za letu a při vypouštění umožňují plynulé vytékání vody vypouštěcími ventily.

## 10 Závěr

V této práci jsem provedla statistiku nejmodernějších kluzáků ve Volné a 18 metrové soutěžní třídě. Pomocí těchto údajů jsem navrhla parametry zjednodušeného modelu kluzáku, pro který jsem dále vytvořila koncepční návrh vodní zátěže. Snažila jsem se navrhnout kluzák co nejmodernější, kdy jsem za důležitý parametr považovala plošné zatížení, u kterého se mi povedlo dosáhnout hodnoty 62,18 kg/m<sup>2</sup> v případě Volné třídy a 56,44 kg/m<sup>2</sup> v případě třídy 18m, což odpovídá současným moderním kluzákům, viz Tabulka 2. Pro výše uvedené parametry jsem navrhla celkem čtyři varianty rozložení nádrží v křídle a popsala jejich výhody a nevýhody. Vybrala jsem poslední čtvrtou variantu s nádržemi pouze v křídle s ohledem na malý přidaný moment setrvačnosti kolem podélné osy kluzáku a skoro nulový posun těžiště v podélném směru. Pro tuto variantu jsem vypracovala koncepční návrh ovládání ventilů včetně návrhového výkresu, který řeší propojení nádrží, mechanismus vypouštění a napouštění vody včetně ventilů a odvodu vzduchu.

## 11 Použitá literatura

- [1] „Let Yourself Soar!“, Kitplanes, [Online]. Available: <https://www.kitplanes.com/let-yourself-soar/>. [Přístup získán 21 12 2021].
- [2] I. T. Wala, V-PL-6 Metodika výcviku na kluzácích, Praha: ústřední výbor Svazu pro spolupráci s armádou, 1982.
- [3] P. F. Selinger, Rhon-Adler, Poppenhausen: Alexander Schleicher GmbH and Co., 2015.
- [4] L. a. R. Brigliadori, Competing in gliders: winning with your mind, Missaglia: Bellavite, 2005.
- [5] F. A. Internationale, Annex A - Rules for World and Continental Championships, Lausanne, Switzerland: Fédération Aéronautique Internationale, 2021.
- [6] F. A. Internationale, Sporting Code Section 3-Gliding, Lausanne: Fédération Aéronautique Internationale, 2021.
- [7] EASA, Certifikační specifikace pro kluzáky a motorové kluzáky Amendment 3, EASA, 2021.
- [8] „Glider competition classes“, Wikipedia, [Online]. Available: [https://en.wikipedia.org/wiki/Glider\\_competition\\_classes#Standard\\_Class](https://en.wikipedia.org/wiki/Glider_competition_classes#Standard_Class). [Přístup získán 22 12 2021].
- [9] M. Simons, Sailplanes 1965-2000, Königswinter: EQUIP Werbung and GmbH, 2005.
- [10] „We present the new AS 35 Mi“, [Online]. Available: <https://www.alexander-schleicher.de/en/we-present-the-new-as-35-mi/>. [Přístup získán 15 11 2021].
- [11] „JS1 REVELATION“, [Online]. Available: <https://jonkersailplanes.co.za/js1c/>. [Přístup získán 10 10 2021].
- [12] „Quintus M“, [Online]. Available: [https://www.schempp-hirth.com/fileadmin/schempp-hirth/Resources/Documents/Prospekte/Quintus\\_M\\_EN.pdf](https://www.schempp-hirth.com/fileadmin/schempp-hirth/Resources/Documents/Prospekte/Quintus_M_EN.pdf). [Přístup získán 14 11 2021].
- [13] „Antares 23E/T“, [Online]. Available: <https://www.lange-aviation.com/en/produkte/antares-23et/>. [Přístup získán 15 11 2021].
- [14] „JS2 Revenant“, [Online]. Available: <https://jonkersailplanes.co.za/js2/>. [Přístup získán 14 11 2021].
- [15] „EB29 single-seater“, [Online]. Available: <https://www.binder-flugmotorenbau.de/eb29.html?&L=1>. [Přístup získán 15 10 2021].
- [16] „AH 81-131 (ah81131-il)“, [Online]. Available: <http://airfoiltools.com/airfoil/details?airfoil=ah81131-il>. [Přístup získán 12 10 2021].
- [17] U. Jonker, JS-MD 3 Aircraft Maintenance Manual, Friedeburg: M&D Flugzeugbau GmbH & Co.KG, 2019.
- [18] V. Pajno, Sailplane design, Roma: IBN Istituto Bibliografice Napoleone, 2017.
- [19] „Obecná geometrie křídla“, Dušan Slavětínský: O letadlech, [Online]. Available: <http://www.slavetind.cz/stavba/konstrukce/kridlo/Kridlo-obecnageometrie.aspx>. [Přístup získán 6 Březen 2022].
- [20] „ASG 29“, [Online]. Available: <https://www.alexander-schleicher.de/en/flugzeuge/asg-29/>. [Přístup získán 1 12 2021].
- [21] „JS3 RAPTURE“, [Online]. Available: <https://jonkersailplanes.co.za/js3/>. [Přístup získán 14 11 2021].

- [22] „AS 33,“ [Online]. Available: <https://www.alexander-schleicher.de/en/flugzeuge/as-33/>. [Přístup získán 10 10 2021].
- [23] „DIANA 3,“ [Online]. Available: <https://en.avionic.com.pl/avionicdiana3>. [Přístup získán 3 10 2021].
- [24] „Ventus,“ [Online]. Available: <https://www.schempp-hirth.com/en/sailplanes/ventus?mandatory=1&marketing=&cHash=c8a146a76a215d5d36a4de29682a8277>. [Přístup získán 1 12 2021].
- [25] „Design,“ [Online]. Available: <https://concordia-sailplane.com/design-of-a-competition-sailplane/>. [Přístup získán 3 10 2021].
- [26] EASA, „AMC 22.895(a) Systém vodní zátěže,“ v *CS-22 Amendment 3*, EASA, 2021.
- [27] J. Jonker, *JS1 Revelation Flight Manual*, 2013.