

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

**STROJNÍ FAKULTA**

Ústav letadlové techniky



**NÁVRH ZKUŠEBNÍHO ZAŘÍZENÍ PRO PÁDOVÉ ZKOUŠKY UAV  
PODVOZKŮ**

Design of Drop machine rig for UAV landing gear

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**Thomas Aster**

Vedoucí práce: Ing. Jaromír Kučera

2020



# ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Aster** Jméno: **Thomas** Osobní číslo: **466468**  
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**  
Zadávající katedra/ústav: **Ústav letadlové techniky**  
Studijní program: **Strojírenství**  
Studijní obor: **Konstruování podporované počítačem**

## II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

**Návrh zkušebního zařízení pro padové zkoušky UAV podvozků**

Název bakalářské práce anglicky:

**Design of Drop machine rig for UAV landing gear**

Pokyny pro vypracování:

Pro vypracování proveďte:

- 1) Rešerši problematiky
- 2) Koncepční návrh
- 3) Výběr finální varianty
- 4) Konstrukční návrh vybrané varianty
- 5) Návrh měřícího řetězce

Seznam doporučené literatury:

Dle doporučení vedoucího práce

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

**Ing. Jaromír Kučera, ústav letadlové techniky FS**

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

Datum zadání bakalářské práce: **30.04.2020**

Termín odevzdání bakalářské práce: **07.08.2020**

Platnost zadání bakalářské práce:

Ing. Jaromír Kučera  
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

Student bere na vědomí, že je povinen 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.

\_\_\_\_\_  
Datum převzetí zadání

\_\_\_\_\_  
Podpis studenta

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem svou diplomovou (bakalářskou) práci vypracoval samostatně a použil 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: .....

Podpis: .....

## **Poděkování**

Děkuji panu Ing. Jaromíru Kučerovi za vedení této bakalářské práce a za veškeré rady které vedly k jejímu dokončení.

## **Abstrakt**

Tato bakalářská práce se zabývá problematikou a designem zařízení pro pádové zkoušky podvozků bezpilotních letounů. Úvodní část této práce obsahuje rešerši na toto téma, v té porovnává používané koncepty jak pro velká dopravní letadla, tak pro ultra lehká letadla a srovnává tyto koncepty s aplikací pro UAV. Následující části práce jsou zaměřeny na design vlastního mechanismu pro pádové zkoušky dle zadání, které je složeno z návrhu koncepce, z výběru koncepce pro další zpracování, z konstrukčního návrhu a v závěru naplánování měřicího řetězce pro samotnou zkoušku.

Klíčová slova: UAV, pádové zkoušky, konstrukce, letecký podvozek

## **Abstract**

This Bachelor's thesis deals with the issue and design of drop machine rig for unmanned airborne vehicles. The first part of this work contains a recherche on this topic, in which it is evaluating existing concepts ranging from transport planes to ultra-light planes and their usage for the aplikacion for UAVs. The next parts of this work are focused on the design of the concept itself, selection of the best concept for further processing, the structural design and it is finishing with creation of an measuring chain for the test.

Key words: UAV, drop tests, construction, landing gear

<b>1. ÚVOD</b> .....	<b>8</b>
<b>2. REŠERŠE PROBLEMATIKY</b> .....	<b>9</b>
2.1. UAV .....	9
2.1.1. <i>Historie</i> .....	9
2.1.2. <i>Klasifikace UAV</i> .....	11
2.2. LETECKÉ PODVOZKY .....	14
2.2.1. <i>Druhy</i> .....	14
2.2.2. <i>UAV podvozky</i> .....	15
2.3. PÁDOVÉ ZKOUŠKY.....	16
2.3.1. <i>Úvod</i> .....	16
<b>3. NÁVRH KONCEPTU</b> .....	<b>19</b>
3.1. PODPORA Z JEDNÉ STRANY .....	20
3.2. PODPORY Z OBOU STRAN .....	21
3.3. PODPORY Z VÍCE STRAN.....	22
3.4. SOUHRN KONCEPTU.....	23
<b>4. KONSTRUKCE</b> .....	<b>23</b>
4.1. ZÁKLADNÍ VÝPOČTY .....	23
4.2. RÁM KONSTRUKCE .....	25
4.2.1. <i>Vedení a dopadová plošina</i> .....	25
4.3. PÁDOVÁ PLOŠINA .....	27
4.3.1. <i>Závaží</i> .....	28
4.3.2. <i>Uvolňovací mechanismus</i> .....	29
4.3.3. <i>Upevnění podvozku</i> .....	31
4.4. MĚŘÍCÍ ŘETĚZEC .....	32
4.4.1. <i>Snímače</i> .....	32
4.4.2. <i>A/D Převodník</i> .....	36
4.4.3. <i>Počítač / software</i> .....	37
4.5. FINÁLNÍ KONSTRUKCE.....	37
<b>5. ZÁVĚR</b> .....	<b>40</b>
<b>6. POUŽITÉ ZDROJE</b> .....	<b>42</b>

## Seznam obrázků

Obr. 2. 1 NASA Global Hawk _UAV [2] .....	9
Obr. 2. 2 Arial Target [1] .....	10
Obr. 2. 3. Fi 103 [3].....	10
Obr. 2. 4 Příklad velmi malých dronů [5] .....	11
Obr. 2. 5 Mosquito [6].....	11
Obr. 2. 6. E-Flite F-4 Phantom II dron [9] .....	12
Obr. 2. 7 RQ-7 Shadow [5] .....	12
Obr. 2. 8 Příklady středních dronů [5] .....	12
Obr. 2. 9. US Predator B [27].....	12
Obr. 2. 10. průzkumný dron Raven [8] .....	13
Obr. 2. 11 Dragons Eye [7] .....	13
Obr. 2. 12 Základní rozdělení podvozků [12] .....	14
Obr. 2. 13. Airbus Sagitta [15] .....	15
Obr. 2. 14. RQ-11B Raven [8] .....	15
Obr. 2. 15. Testovací zařízení pro pádové zkoušky [21].....	17
Obr. 2. 16 Testovací zařízení pro pádové zkoušky [18].....	18
Obr. 2. 17. Simulace horizontálního pohybu [16].....	18
Obr. 2. 18. Simulace horizontálního pohybu [13].....	18
Obr. 3. 1. Konceptní návrh I.....	20
Obr. 3. 2. Konceptní návrh II.....	20
Obr. 3. 3. Konceptní návrh III .....	21
Obr. 3. 4. Konceptní návrh IV .....	21
Obr. 3. 5. Konceptní návrh V .....	22
Obr. 4. 1. Penguin 2B UAV .....	23
Obr. 4. 2. Uvolňovací mechanismus .....	31
Obr. 4. 3. Základní schéma měřicího řetězce .....	32
Obr. 4. 4. Princip magnetického snímače [22] .....	33
Obr. 4. 5. Senzor magnetického snímače Balluff BML0903 [23] .....	33
Obr. 4. 6 Princip Magnetostrikčního snímače polohy [24] .....	34
Obr. 4. 7 Magnetostrikční snímač Balluff BTL7 -A/B [23].....	34
Obr. 4. 8. Napojení snímače na konstrukci .....	35
Obr. 4. 9. Karta sbRIO-9215 [26] .....	36
Obr. 4. 10 Finální konstrukce.....	38
Obr. 4. 11 Výkresové pohledy finální konstrukce .....	39

# 1. Úvod

Pádové zkoušky jsou jedny z klíčových zkoušek pro všechna letadla a bez jejich splnění by nebylo možné stroj bezpečně pilotovat. S neustále se rozvíjejícími technologiemi řídicích systémů a postupným zařazováním bezpilotních letounů do všech odvětví od armádního použití po dopravování balíků, vznikají větší nároky na jejich odolnost a bezpečnost přepravovaných zařízení. Většina testovacích center je však pro testování podvozků malých dronů příliš velká.

Tato práce se bude zabývat využíváním dronů v dnešní době, základním rozdělením a konstrukcí podvozků a následně principem a stroji používanými pro jejich testování. Získané informace a principy budou poté využity pro vytvoření konstrukce pádového stroje pro malé bezpilotní letouny. Zároveň se bude zabývat sestavením měřicího řetězce, potřebného pro vyhodnocování této zkoušky.

Výsledkem této práce by tedy mělo být vytvoření konstrukčního návrhu kompaktního, přesného a co možná nejlevnějšího stroje pro testování a vykonávání pádových zkoušek do maximální zátěže 25 kg, který by bylo možné sestavit ve školní laboratoři.



## 2. Rešerše problematiky

### 2.1. UAV

UAV česky bezpilotní letoun (z anglického Unmanned Aerial Vehicle), často označován jako dron, je letoun, který není přímo řízen pilotem a jeho ovládání je většinou prováděno ze vzdáleného pracoviště nebo pomocí programu přímo nahraného do stroje.

V dnešní době tyto letouny nalézají mnohá využití v široké škále oborů od vojenských dronů až po quadrokoptéry, používané pro dodávání balíků. [1][3]



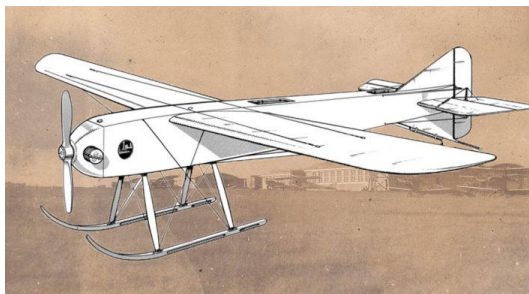
Obr. 2. 1 NASA Global Hawk \_UAV [2]

#### 2.1.1. Historie

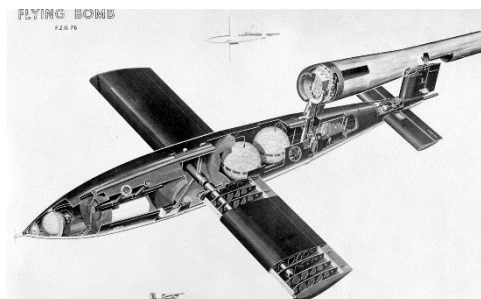
První zmínky o bezpilotních letounech sahají do roku 1916, kdy prof. Archibald Montgomery Low pro armádu vyvinul dron pojmenovaný Aerial Targer neboli vzdušný cíl. Jak jméno napovídá, tento letoun řízený radiem byl využíván jako cvičný cíl. Následovalo mnoho dalších prototypů bezpilotních letadel, primárně určených pro bojové účely. [1] [4]

V roce 1918 letoun Hewitt-Sperry automatic airplane úspěšně demonstroval schopnost na vzdálenost 80 kilometrů přenést až 450 kg písku, který simuloval nálože.

Další velký skok ve vývoji proběhl v období druhé světové války, stále se ale jednalo hlavně o zařízení na jedno použití a spíše se jednalo o předchůdce řízených střel než dnes využívaných bezpilotních letounů. [1] [4]



Obr. 2. 2 Aerial Target [1]



Obr. 2. 3. Fi 103 [3]

Poválečný vývoj byl řízen hlavně Spojenými státy Americkými a jejich snahou předčít Sovětský svaz po technologické stránce. Tato snaha byla ještě zesílena po roce 1960, kdy Sovětský svaz sestřelil americký průzkumný letoun U-2. První velké nasazení průzkumných dronů Spojenými státy proběhlo ve válce ve Vietnamu. Tyto drony ovšem byly stále utajovány, dokud nedošlo k sestřelení jednoho letounu a odhalení americké snahy ve vývoji bezpilotních letounů. Trvalo nicméně dalších 13 let, než Spojené Státy oficiálně oznámily užívání dronů v válce ve Vietnamu. [1] [4] [10]

Velký skok dále nastal v 80. - 90. letech s rapidním rozvojem elektroniky a mikročipů, díky kterým se schopnosti bezpilotních letounů velmi zlepšily. Se zvyšováním výkonu a dostupnosti mikročipů začaly být bezpilotní letouny dostupné i mimo vojenské účely.

V dnešní době je pravděpodobně nejrozšířenějším typem UAV quadrokopéra, kterou lze zakoupit již v každém obchodě s elektronikou, a to v podobě modelů za tisíc korun nebo masivnějších, používaných i pro natáčení filmářských scén, za desítky až stovky tisíc korun. [1] [4] [10]

## 2.1.2. Klasifikace UAV

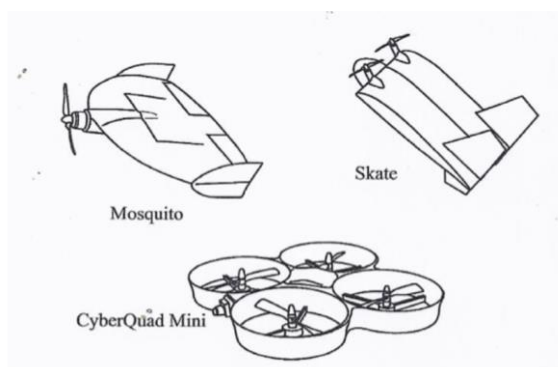
Rozdělování UAV není celosvětově sjednocené, armáda vyžívá jiné normy než civilní letectví, avšak lze je obecně rozřazovat dle velikosti, nosnosti, doletu.

### 2.1.2.1. Rozdělení dle velikosti

#### Velmi malé drony

V této kategorii jsou letouny od velikosti většího hmyzu až po délku 30-50 cm. Nejmenší designy mají většinou rotory, anebo mávající křídla, a mají velmi malou hmotnost. Tyto designy nalézají využití především ve výzkumu, avšak lze je též použít pro špionáž. Rozdílem mezi rotorovým pohonem a pohonem za pomoci mávajících křídel je hlavně vyžadovaná ovladatelnost / pohyblivost daného stroje. [5]

Větší drony již mají standartní leteckou konfiguraci.



Obr. 2. 4 Příklad velmi malých dronů [5]



Obr. 2. 5 Mosquito [6]

#### Malé drony

Do této kategorie se řadí drony o velikosti od 50 cm do 2 metrů. Váha dosahuje až 25 kg. Většina designů už má klasický letecký design, nebo jsou dokonce přesné repliky velkých civilních i bojových letounů. Sem patří především RC modely.

Tyto drony mohou již startovat na normální ranveji v případě větších modelů nebo jsou vyhazovány z rukou přímo do letu. [5] [11]



Obr. 2. 6. E-Flite F-4 Phantom II dron [9]

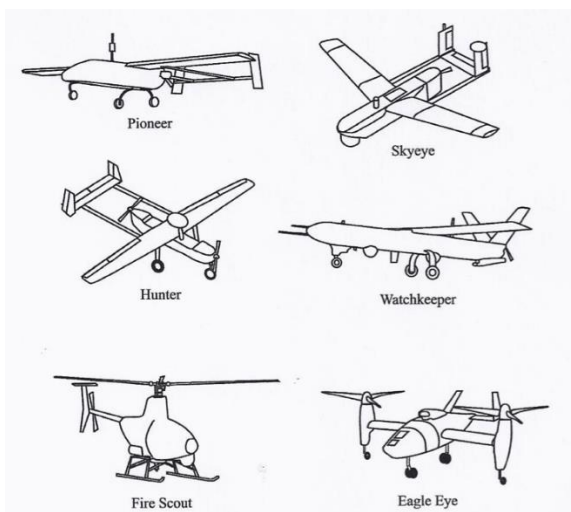


Obr. 2. 7 RQ-7 Shadow [5]

### **Střední drony**

Střední třída je vyhrazena pro bezpilotní letouny příliš těžké na to, aby je unesla jedna osoba, avšak lehčí než malá letadla. Rozpětí křídel dosahuje až 10 metrů a jejich nosnost může být do 150-200 kg. [5] [11]

V této kategorii již nalezneme hlavně vojenské drony nebo drony pro snímání geologických dat pro výzkum a pozorování. Některé příklady jsou uvedeny v obrázku 2.8. [5]



Obr. 2. 8 Příklady středních dronů [5]



Obr. 2. 9. US Predator B [27]

### **Velké drony**

Do této třídy se řadí jen vojenské bezpilotní letouny se středním a dlouhým doletem, jako například US Predator A. Tyto letouny už jsou určeny k přenášení těžkého vybavení v podobě naváděných střel. [5] [11]

### 2.1.2.2. Rozdělení dle doletu

#### Extrémně krátký dolet

Jedná se o dolet do 5 kilometrů a maximální výdrž 20 až 45 minut. Do této kategorie patří například civilní quadrokoptéry nebo například vojenský průzkumný dron Dragons eye. [5] [10]



Obr. 2. 10. průzkumný dron Raven [8]



Obr. 2. 11 Dragons Eye [7]

#### Velmi krátký dolet

Velmi krátký dolet je klasifikován jako dolet do 50 kilometrů a patří sem drony s výdrží 1 až 6 hodin. Jedná se o drony využívané k hlídkování a průzkumu. [5] [10]

#### Krátký dolet

Krátký dolet je klasifikován do 150 kilometrů s výdrží 8 až 12 hodin. Využití této kategorie je identické s velmi krátkým doletem. [5] [10]

#### Sřední dolet

Střední dolet je až do 650 km. Drony v této kategorii dosahují extrémních rychlostí. Patří sem hlavně vojenské drony nebo například drony pro sbírání meteorologických dat. [5] [10]

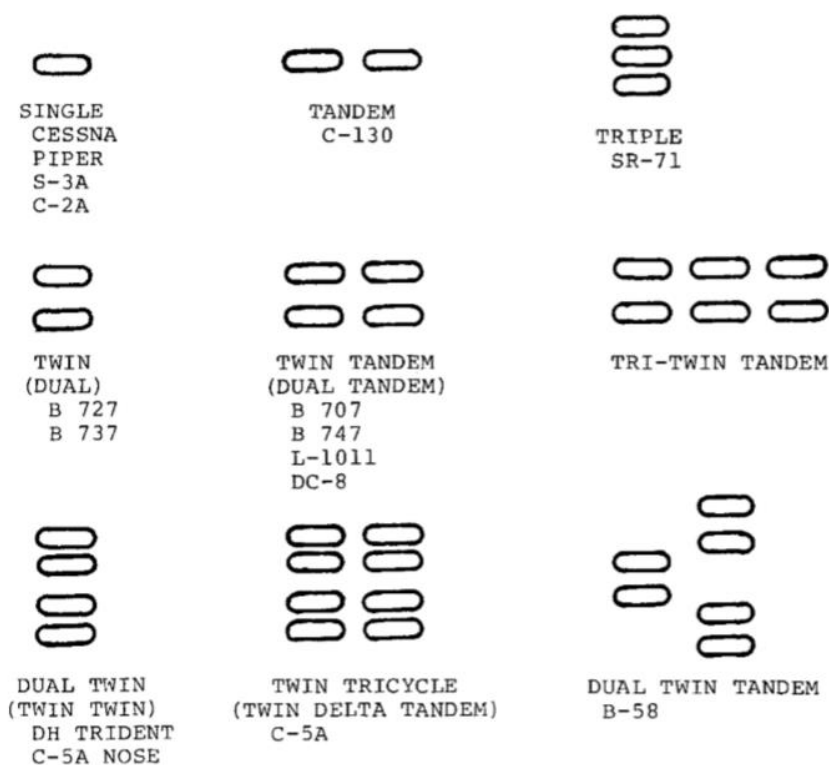
#### Vytrvalostní drony

V této kategorii jsou drony, které sice mají menší operační rádius (do 300 km), avšak jsou schopny operovat přes 36 hodin bez zastavení. Hlavním účelem je opět vojenský průzkum, popřípadě výzkumná činnost. [5] [10]

## 2.2. Letecké podvozky

### 2.2.1. Druhy

Základní rozdělení je podle počtu a vzájemné pozice kol podvozku. Toto rozdělení se používá i u rozhodování o možnosti přistání na jednotlivých letištích, jelikož různé rozpoložení kol podvozku určuje rozpoložení hmotnosti letadla při dosednutí na přistávací dráhu. V našem případě však není třeba nijak zvlášť nahlížet na tato omezení, jelikož bezpilotní letouny nedosahují extrémních hmotností, které by přistávací dráhu mohly poškodit. [12]



Obr. 2. 12 Základní rozdělení podvozků [12]

Dále je možné rozdělovat podvozky do speciálních skupin na kolové, pásové nebo Bonmartinové, avšak naprostá většina letadel používá klasickou kolovou konstrukci podvozku. [12]

V našem případě se bude jednat pouze o typ jednoho kola (Obr. 2.18. – Single), jelikož bezpilotní letouny nevyžadují větší množství kol díky své malé hmotnosti. [12]



### 2.2.2. UAV podvozky

Podvozky u dronů jsou velmi rozmanité a konstruované hlavně podle způsobu vzletu a váhy daného stroje. Například kvadrokoptéry nepoužívají kolové podvozky především kvůli jejich schopnosti vertikálního vzletu a většinou malé hmotnosti. Pevné rámy jsou tedy naprosto dostačující. Naopak větší průzkumné drony, jako například na (obr. 2.19.), musí mít již klasickou konstrukci a rozpoložení podvozku, jelikož startují horizontálně a jejich hmotnost vyžaduje tlumení dopadu při přistání, aby nedošlo k porušení zařízení. Některé drony však nemají podvozek žádný. Hlavním důvodem je úspora hmotnosti, jelikož tyto stroje se často používají jako průzkumné letouny, které se do oblasti, ve které mají operovat, donášejí ručně a nemají vzletovou nebo přistávací plošinu, jelikož vzlétají rychlým horizontálním vyhozením rukou do vzduchu. Tento typ stroje (Obr. 2.20.) využívá například i česká armáda, která v nedávné době vytvořila oddělení, přímo zaměřené na bezpilotní letouny. [12] [13]



Obr. 2. 13. Airbus Sagitta [15]



Obr. 2. 14. RQ-11B Raven [8]

Běžnou konstrukcí jsou též kola bez aktivního tlumení, uložená na pružném rámu, u středních a menších bezpilotních letounů, jelikož hmotnost není natolik velká, aby bylo vyžadováno použití pneumatického nebo hydraulického tlumiče. [12] [14]

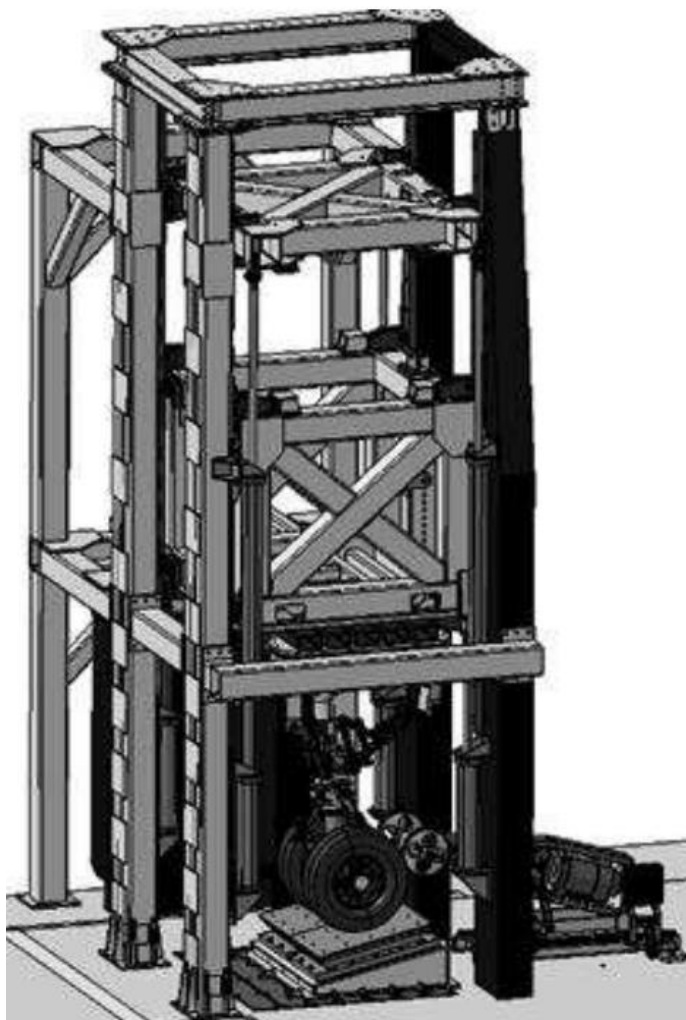
## **2.3. Pádové zkoušky**

### **2.3.1. Úvod**

Pádové zkoušky jsou integrálním testem všech leteckých podvozků vstupujících do provozu. Bez splnění těchto zkoušek nemůže letadlo být legálně a bezpečně provozováno, jelikož nám dávají informace o velmi kritické části letu, a to přistání. Pokud tyto zkoušky podvozek neustojí, znamená to, že podvozek by přistání nemusel vydržet a tím by mohlo dojít ke katastrofálnímu selhání, vedoucímu k vážnému poškození letadla a ohrožení posádky v případě řízených letounů.

V průběhu pádové zkoušky se testuje efektivnost tlumení samotného kola a tlumičů při dopadu v různých zatíženích. Z počátku se u leteckých konstrukcí tlumení nárazu a vibrací u podvozků příliš neřešilo. V průběhu let se ale nároky zvyšovaly a zkoušky se zdokonalovaly spolu s konstrukcí podvozků samotných. Například v roce 1952 Benjamin a Francis poprvé testovali chování konvenčního typu oleo-pneumatického podvozku při pádových zkouškách. [19] [17]

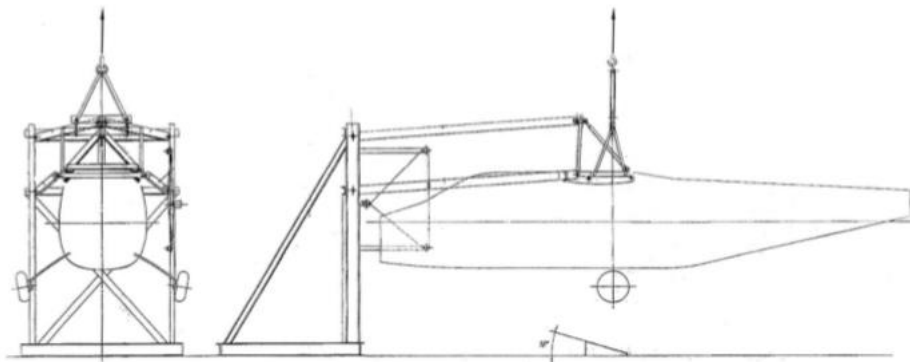




Obr. 2. 15. Testovací zařízení pro pádové zkoušky [21]

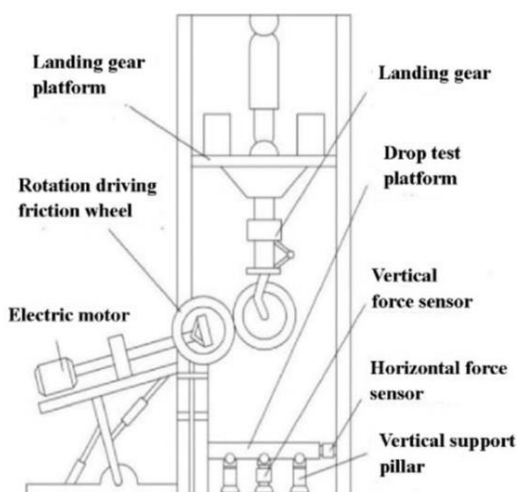
Pádové zkoušky lze dělit podle stroje použitého k jejich provedení. Nejčastěji jsou používány konstrukce jako na obr. 2.21., kde je testována jedna část podvozku, na kterou je aplikováno vypočítané zatížení, vyvolané samotnou konstrukcí letadla. Toto zatížení je pak formou závaží připevněno přímo na pádovou část stroje.

U ultralehkých se občas provádí pádové zkoušky celé konstrukce stroje (obr. 2.22.), kdy je celé letadlo, se svou maximálně nadimenzovanou vahou, zvednuto a spuštěno z výšky, určené pomocí vzorce sepsaného v předpisech pro letectví. [18]

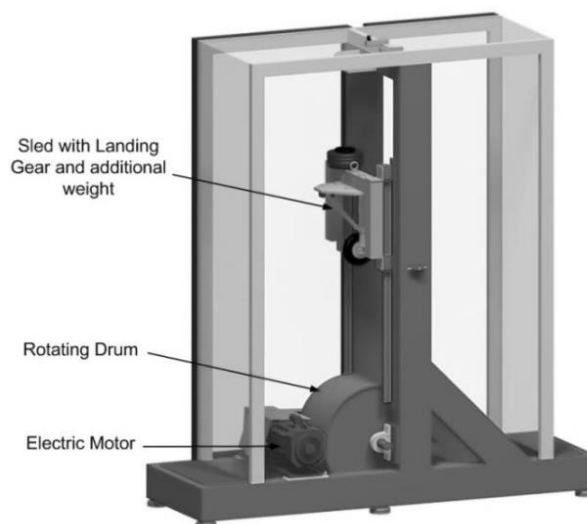


Obr. 2. 16 Testovací zařízení pro pádové zkoušky [18]

V současné době jsou, pro zpřesnění simulace a k jejímu celkovému přiblížení reálným situacím, používané metody simulace horizontálního pohybu, při dosednutí letadla na přistávací plochu. Tuto simulaci lze provést několika způsoby. Nejpoužívanějším je roztočení kol podvozku před spuštěním, pomocí přídavných poháněných kol (obr. 2.23.). Další možností je poháněná dopadová plocha. Ta je vytvářena rotujícím válcem, který je poháněn přídavným motorem (obr. 2.24.). Tento design je však pouze pro speciální případy. [13] [16]



Obr. 2. 17. Simulace horizontálního pohybu [16]



Obr. 2. 18. Simulace horizontálního pohybu [13]

Pádové zkoušky se musí řídit hlavně předpisy CS (Certification Specification). Tyto předpisy vydává EASA (European Aviation Safety Agency), kde například pro velmi lehké letouny (CS VLA) je určení pádové zkoušky dáno dvěma odstavci:

- a) Prokazuje-li se způsobilost podle CS-VLA 723 (a) pádovými zkouškami, musí být tyto zkoušky provedeny buď s celým letounem nebo se zařízením vhodně sestaveným z kola, pneumatiky a tlumiče, a to volným pádem z výšky ne menší než stanovené touto rovnicí:

$$h = 0,0132 \cdot \left( \frac{M \cdot g}{S} \right)^{\frac{1}{2}}$$

[20]

- b) Přitom však výška pro volný pád nesmí být menší než 0,235 m a nemusí být větší než 0,475 m. (b) Je-li při zkouškách volným pádem uvažován vliv vztlaku křídla, musí být přistávací zařízení spuštěno se skutečnou hmotností, která je rovna:

$$M_e = M \left[ \frac{h + (1 - L) \cdot d}{h + d} \right]$$

[20]

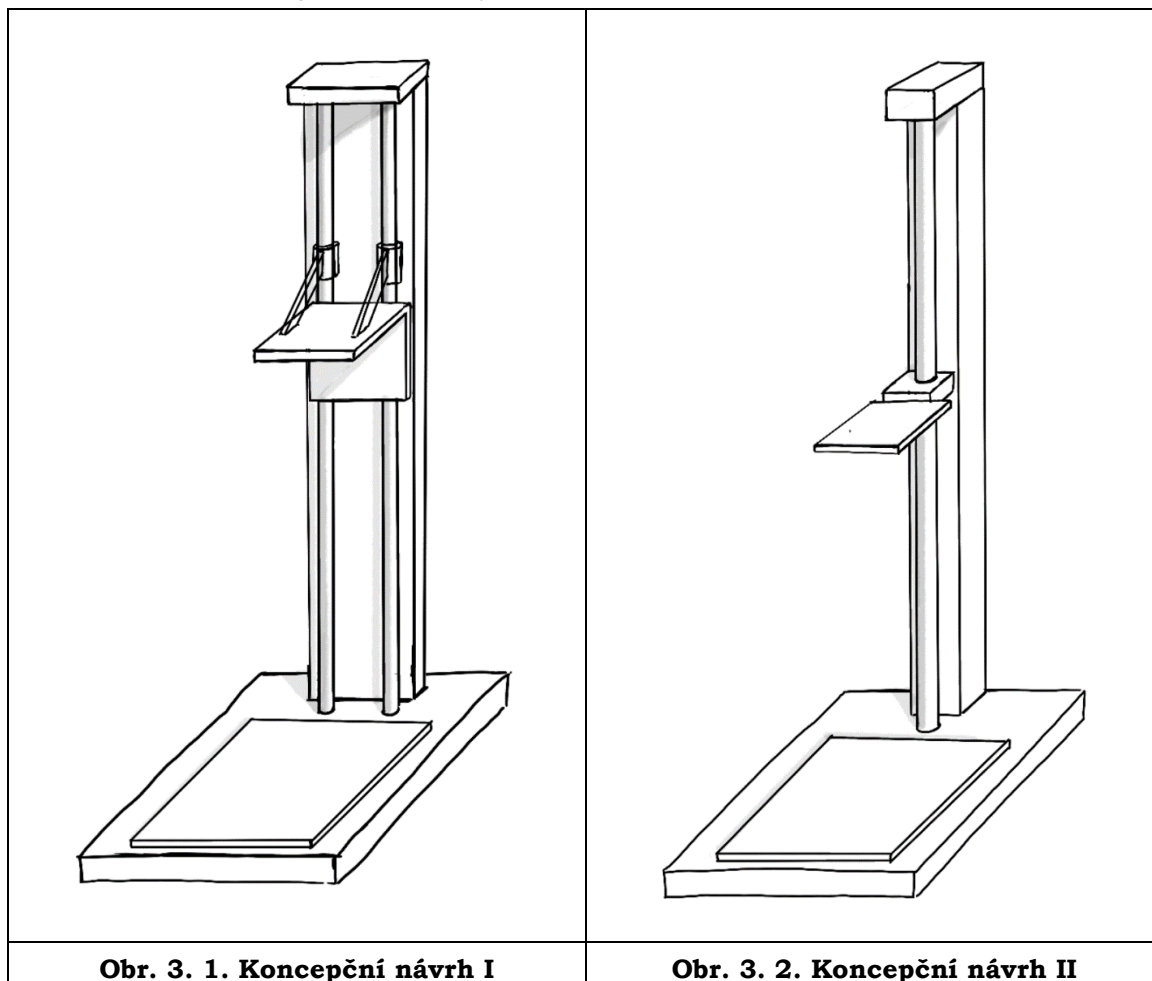
### 3. Návrh konceptu

V této části se budu zabývat úvodním návrhem pádového stroje, jeho možnými konstrukcemi na základě známých dat, a rozhodovat podle zvolených kritérií, který návrh následně bude použit pro finální konstrukci.

V první řadě je důležité určit, podle kterých kritérií bude konstrukce hodnocena. Základním kritériem v této úloze bude cena samotného zařízení, dále její rozměry, pevnost, stabilita, centrování pádové části, jednoduchost ovládání, přesnost simulace.

Jednotlivé hodnocení bude podle známek 1-5, kde jednička reprezentuje nejvhodnější možnost a pětka nejhorší možnost. Znamky udávám v relaci vůči ostatním konceptům a ne jako absolutní.

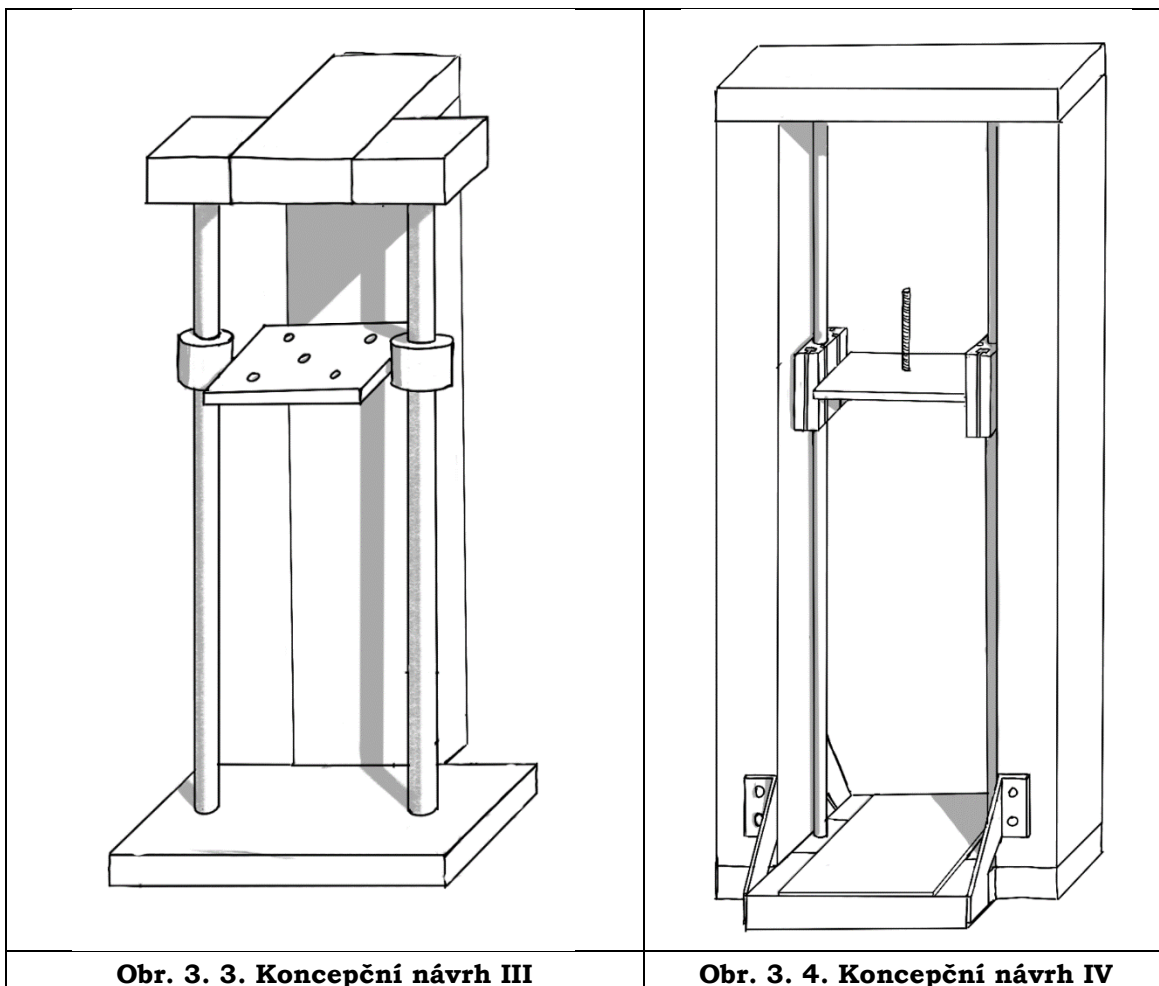
### 3.1. Podpora z jedné strany



Tento způsob konstrukce má jako hlavní výhodu menší cenovou a rozměrovou náročnost. Na druhou stranu může při dopadu docházet k nepřesnostem kvůli upnutí. Dále je tato konstrukce náchylnější na dopadové pnutí a podvozek nebude dokonale centrován.

<b>Zhodnocení</b>		
<b>Kritérium</b>	<b>I</b>	<b>II</b>
Cena	1	1
Rozměry	1	1
Stabilita při dopadu	4	5
Centrování	4	4
Přesnost simulace	3	3
Rozložení sil	4	5

### 3.2. Podpory z obou stran



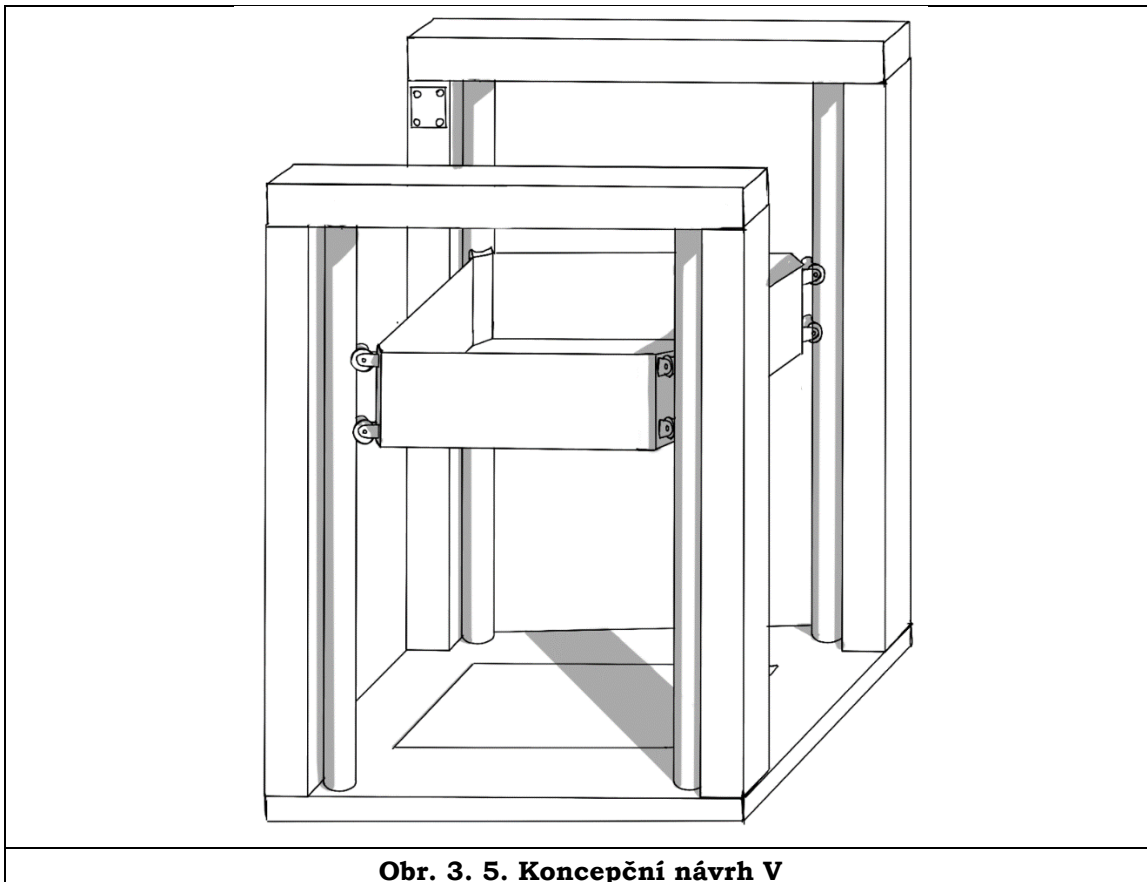
Obr. 3. 3. Konceptní návrh III

Obr. 3. 4. Konceptní návrh IV

Konstrukce s podporami z obou stran má několik výhod oproti prvním dvou konceptům. Cenově bude sice trochu dražší, nicméně bude mít daleko lepší konstrukční pevnost, o něco lepší centrování a mnohem větší stabilitu při dopadu a lepší rozložení sil do konstrukce. Zároveň bude stále rozměrově nenáročná.

Zhodnocení		
Kritérium	III	IV
Cena	2	2
Rozměry	2	2
Stabilita při dopadu	2	2
Centrování	2	2
Přesnost simulace	3	3
Rozložení sil	2	2

### 3.3. Podpory z více stran



**Obr. 3. 5. Konceptní návrh V**

Finální návrh je inspirován konstrukcemi nejčastěji používanými v certifikování leteckých podvozků, jelikož má ideální vlastnosti, co se přesnosti a stability simulace týče, a ideální rozklad sil. Je ale daleko více cenově náročný a rozměrově pro naše účely poměrně nepraktický.

Zhodnocení	
Kritérium	V
Cena	5
Rozměry	5
Stabilita při dopadu	1
Centrování	1
Přesnost simulace	2
Rozložení sil	1

### 3.4. Souhrn konceptu

Dle výše uvedených dat jsem vyhodnotil že neoptimálnější konstrukcí pro stroj na pádové zkoušky bude varianta III, tedy varianta s dvěma lineárními vedeními s podporami z obou stran, jelikož má nejvyváženější poměr mezi cenou a mechanickými vlastnostmi. Tento koncept budu dále důkladně zpracovávat v následující práci. V případě realizace konstrukce, jsem zhodnotil, že neoptimálnější variantou bude konstrukce z hotových částí, které lze modulárně na sebe napojovat. Pro tento účel by tedy byla ideální konstrukce z dílů od firmy Alutec kk s.r.o.

## 4. Konstrukce

V této části bude hlavním cílem vytvořit finální verzi celé konstrukce pádového stroje společně s návrhem uchycení samotného podvozku nastavovacího a uvolňovacího mechanismu a v závěru navrhnutí všech měřících zařízení pro získání potřebných dat.

### 4.1. Základní výpočty

Nejprve je nezbytné určit nějaký dron, v námi požadované váhové kategorii do 25 kg, který použiji jako ukazatel maximálních požadavků na konstrukci.

Pro tyto účely jsem vybral letoun Penguin UAV. Tento dron se používá pro vědecký a vojenský průzkum a má maximální vzletovou hmotnost 21,5 kg, je třeba tedy počítat s lehce vyššími požadavky pro těžší drony.



Obr. 4. 1. Penguin 2B UAV

Dále je nutné provést výpočet pro minimální potřebnou výšku pádu, pro splnění základních pravidel pro testování podvozků letounů, podle vzorce z předpisu CS VLA.

$$h = 0,0132 \cdot \left( \frac{M \cdot g}{S} \right)^{\frac{1}{2}}$$

*kde M - celková vzletová hmotnost dronu*

*g - gravitační konstanta*

*S - plocha křidel*

Pro Penguin jsou hodnoty následující:  $M = 21,5 \text{ kg}$   $g = 9,8132$   $S = 0,9 \text{ m}^2$

$$h = 0,0132 \cdot \left( \frac{21,5 \cdot 9,81}{0,9} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$h = 0,202 \text{ m}$$

Výpočtem jsme získali minimální potřebnou dráhu volného pádu podvozku o hodnotě  $h = 202 \text{ mm}$ . Ta je však menší, než minimální dráha udávána v předpisech, a tedy vezmeme jako potřebnou dráhu  $h = 235 \text{ mm}$

K získání potřebné výšky celé pádové konstrukce musíme k výšce  $h$  přičíst další dvě složky. Výšku samotného kola a jisticího systému, upevňujícího kolo k pádové desce. Pro tyto účely vezmeme předové kolo, jehož výška s tlumičem a rámem je rovna  $265 \text{ mm}$  a pro upevnění k pádové desce ponecháme prostor  $45 \text{ mm}$ , tedy první složka bude rovna  $310 \text{ mm}$ .

Dále je nutno připočíst výšku samotného pádového systému (pádový stůl, uvolňovací mechanismus a vodící mechanismus). Pro tyto účely zatím vymežeme  $200 \text{ mm}$ , tato výška bude dále ovlivněna zvolenou konstrukcí.

Výsledná výška stroje musí tedy být minimálně rovna  $775 \text{ mm}$ .



## 4.2. Rám konstrukce

Jak jsem již konstatoval v kapitole 3.4., pro konstrukci stroje bude použit konstrukční systém Alutec KK.

Jako neoptimálnější varianta se zdá být modul 45 s 8 mm drážkou, jelikož nabídka v této kategorii je nejrozsáhlejší, a proto veškeré potřebné části budeme mít ve stejných velikostech drážek. To nám značně ulehčí jejich napojování a samotná velikost těchto profilů je dostačující pro mechanismus a zatížení v našem zadání.

Velkou výhodou tohoto systému je též fakt, že je vytvořen z hliníku AlMgSi 0.5 a uzpůsoben pro vyvrtávání závitů a celkově pro šroubové spoje.

Pro základní konstrukci tedy použijí profil typu 10390, který bude sloužit jako sloup pro konstrukci a typ 101890 pro horní část.

Pro stabilitu celé konstrukce je nutné do spodní části umístit stabilizační příčky.

### 4.2.1. Vedení a dopadová plošina

Pro vedení pádové plošiny použijí lineární vedení  $r = 20$  mm, které bude uloženo ve spodní části do koncových bloků a v horní části připevněno přímo do profilu. Jelikož vodící bloky mají stejnou šířku jako koncové, je nutné vložit mezi koncové bloky a rám konstrukce distanční desku, která zaručí, aby se bloky při pohybu nedotýkaly konstrukce.

Dopadová plošina vyžaduje dostatečnou tuhost a celkovou odolnost proti dopadu. Pro tyto účely zvolím kombinaci ocelové desky, připevněné dvanácti šrouby M8 na horizontálně položené profily, které budou připevněny do boku rámu.

Pro některé podvozky tyto rozměry však nemusí být dostačující, jelikož jsou konstruovány na pružném rámu, který je daleko širší než tato dopadová plošina. Například v mnou použitým případě má Penguin B zadní podvozek o šířce 280 mm. Tento problém by se dal vyřešit upevněním podvozku do strany pádové plošiny, avšak bude jednodušší jej vyřešit rozšířením plochy dopadu. Tím ulehčíme složitost upevňování podvozků s širokými rámy.



**Obr. 4. 2. Rám konstrukce s dopadovou plochou**

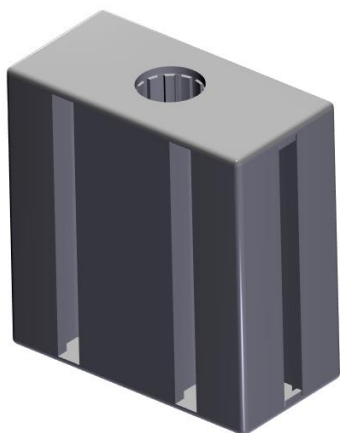
### 4.3. Pádová plošina

Dále je na řadě pádová plošina, která bude vykonávat hlavní práci a bude k ní připevněno jak samotné kolo, tak závaží potřebné pro zatížení kola. Dále také bude k této plošině připevněn spouštěcí a nastavovací mechanismus.

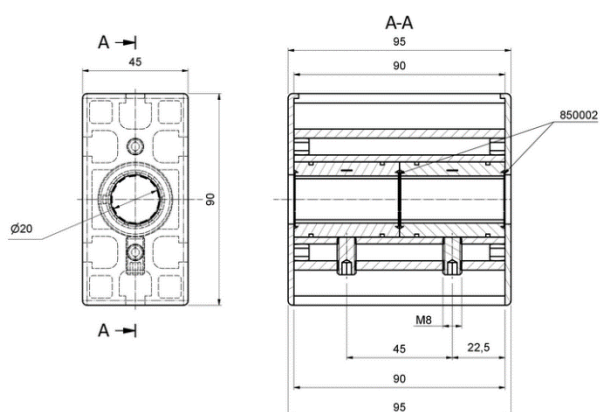
Pro všechny tyto účely musí být plošina s vysokou pevností, s dobrým centrováním, ale hlavně musí být co nejlehčí, jelikož veškerá její váha bude působit k zátěžové váze na kolo.

Abychom měli dostačující tuhost, tak nepoužijeme obyčejnou desku, ale plošinu vytvoříme z podobného profilu jako zbytek konstrukce. Ten nám zajistí již zmíněnou tuhost, zároveň však díky drážkám ulehčí napojení na zbytek konstrukce a napojení ostatních systémů (uvolňovacího a systému uchycení kola). Nevýhodou tohoto řešení je vyšší váha, ovšem pro získání potřebných vlastností je nevyhnutelná.

Napojení na lineární vedení provedeme pomocí vodících bloků, které firma Alutec KK přímo vyrábí. U těchto bloků je možnost jak kuličkového, tak kluzného vedení. Pro nižší cenu, hmotnost, nutnost údržby a dostačující vlastnosti, volím kluzné. Propojení vodících bloků s plošinou provedu pomocí čtyř L-profilů a šroubových spojů.



Obr. 4. 3. Vodící blok Alutec KK [27].



Obr. 4. 4. Výkres vodícího bloku [27]

### 4.3.1. Závaží

Pro jednotlivé pádové zkoušky bude důležité přesné stanovení potřebného zatížení podvozku a následné upevnění této zátěže k pádovému mechanismu. Důležité je, aby závaží bylo upevněno stabilně, a tedy nemělo možnost pohybu při průběhu zkoušky/nárazu. Dalším důležitým aspektem je co největší variabilita závaží, abychom byli schopni nastavit přesnou nebo alespoň co nejvíce podobnou zátěž.

Nejlepším řešením proto budou jednoduchá válcová závaží, která budou upevněna a přitlačena k plošině pomocí šroubového spoje. Toto řešení nám dá dostatečnou variabilitu vah a přitlačované oko bude použito pro zachycení uvolňovacího mechanismu.



Obr. 4. 5. Pádová plošina se závažím

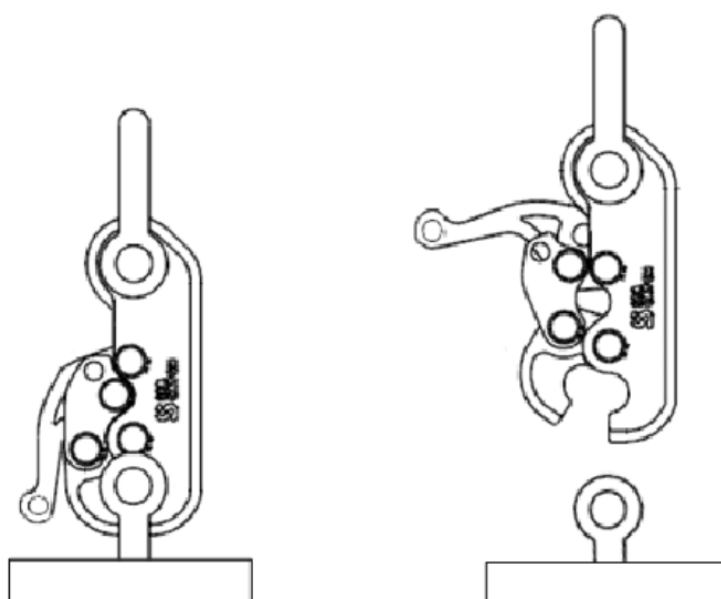
### 4.3.2. Uvolňovací mechanismus

Uvolnění mechanismu v horní poloze je důležitý pro část testu, kde je nutné v jednom okamžiku převést pádovou plošinu do volného pádu bez jakéhokoliv mezistupně, který by mohl zpomalit pád. Zároveň by tento mechanismus měl být využíván i pro nastavování počáteční výšky. Důležité je, aby celý proces nevyžadoval příliš velkou sílu a optimálně byl aktivován pouze jedním pohybem.

V tomto ohledu se nabízí několik variant. Jednou možností by bylo použít speciální uvolňovací mechanismus, viz Obr 4.7., který by byl jednou částí spojen s okem na pádové plošině a druhou zachycen lanem, kterým by se udávala výška pádu, k rámu stroje. Výhodou takového řešení je jednoduchost a spolehlivost, nicméně tyto mechanismy jsou využívány pro mnohonásobně vyšší zátěže (až několik desítek tun), což ovlivňuje jejich velikost a cenu.



Obr. 4. 6. Sea Catch TR7 [29]



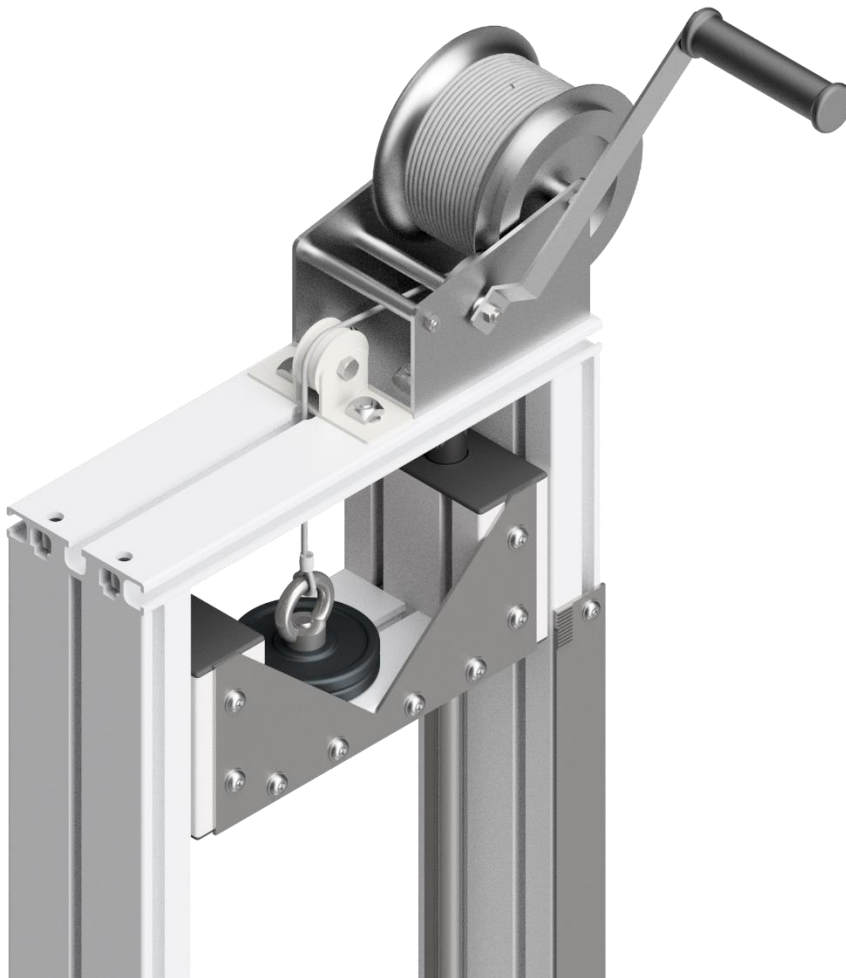
Obr. 4. 7. Schéma Sea Catch TR3 [30]

Druhou možností je použít jednoduchý navijecí systém s uvolňovací páčkou viz Obr. 4.8. Jelikož tyto systémy mají většinou povolené pouze vodorovné zatěžování, tak by bylo nutné přidání kladky, která bude měnit směr zatížení. Dále by bylo třeba vytvořit otvor v horním rámu, kterým by bylo vedeno lano, jelikož naviják by musel být umístěn na vnější straně. Tento způsob je výhodný v mnoha ohledech, je řádově levnější než první zmíněný způsob, dále má velmi jednoduché nastavení výšky pádu s možností jednoduchého vytažení váhy a jednoduchým uvolněním. Nevýhodou však je závislost na odvíjení samotného lana, kde při odvíjení může vznikat lehký odpor a snižující přesnost měření.



**Obr. 4. 8. Lanový naviják [28]**

Z těchto dvou možností volím jednoduchý naviják, jelikož jeho jednoduché nastavení a uvolnění, zároveň s nízkou cenou, převyšují menší ztrátu přesnosti způsobenou třením lana.



**Obr. 4. 2. Uvolňovací mechanismus**

### **4.3.3. Upevnění podvozku**

Co se řešení upevňování podvozku ke konstrukci tyče, je důležité, aby bylo upevnění co nejpevnější. Systém upevnění je silně závislý na typu podvozku a jeho provedení je tedy velmi specifické pro každý podvozek. Pro tento účel si vezmu zadní kolo z Penguina 2B, pro ostatní podvozky budou muset být zřízena individuální provedení.

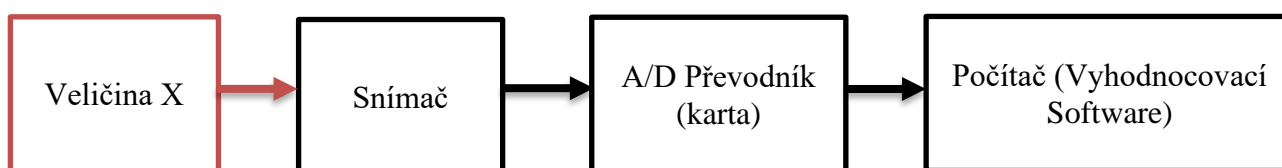
Záďové kolo je připevněno k trupu přes pružný rám, který je se zbytkem konstrukce spojen šroubovými spoji. To znamená, že k jeho upevnění na pádovou plošinu bude stačit využít drážek na spodní straně profilu.

## 4.4. Měřicí řetězec

V této sekci se budu zabývat celkovým datovým výstupem testu a tedy veškerými zařízeními potřebnými pro získání důležitých dat ze zkoušky.

Jedním z nejdůležitějších výstupů bude rychlost dopadu, ze které dále díky známé výšce a hmotnosti dopočítáme dopadovou sílu působící na podvozek. Dále bude důležité napětí na konstrukci podvozku.

Základní schéma měřicího řetězce pro tuto úlohu je na následujícím obrázku 4.11.



Obr. 4. 3. Základní schéma měřicího řetězce

### 4.4.1. Snímače

První složkou měřicího řetězce je fyzikální veličina, kterou se snažíme získat. Ta je snímána pomocí technických snímačů, které poté informaci posílají pomocí analogového signálu do zbytku řetězce, kde se převede na digitální signál pro následné zpracování specializovaným programem na pc.

Důležité je tedy rozhodnout, které snímače budou použity a jaké hodnoty budou pouze dopočteny.

#### 4.4.1.1. Snímače polohy

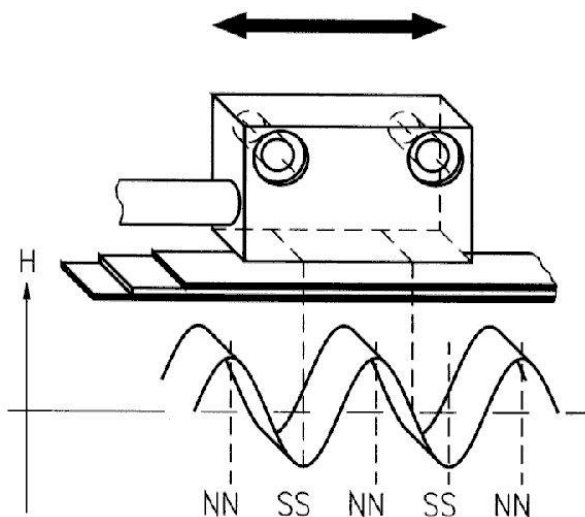
První možností jsou snímače polohy, neboli přesné měření polohy pádové plošiny v čase. Pro tuto úlohu budu vybírat ze dvou typů a to magnetických a magnetostrikčních. Pro oba typy budu nahlížet na snímače od firmy Balluff.



## Magnetické snímače polohy

Magnetické lineární senzory pracují na principu detekce změny polaritě magnetického pole permanentního magnetu, který je snímán Hallovým senzorem. Tyto změny jsou vyvolány posuvem senzoru nad úzkým páskem, který je vylepen po celé délce pohybu.

Tyto senzory jsou velice přesné, dosahují rozlišení až desetin mikro metrů. Je však velice důležité dodržet přesnou dráhu senzoru, jelikož poziční a úhlové vychýlení mimo rozmezí udané výrobcem může způsobit nepřesnosti, až úplné zastavení snímání senzoru.



Obr. 4. 4. Princip magnetického snímače [22]

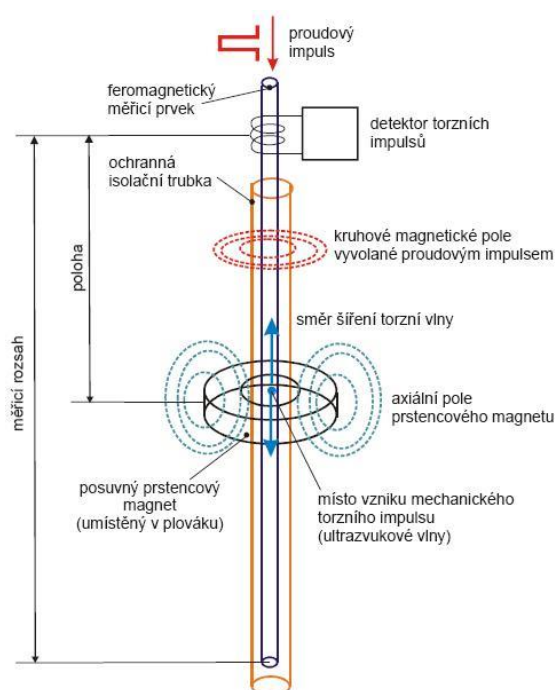


Obr. 4. 5. Senzor magnetického snímače Balluff BML0903 [23]

## Magnetostrikční snímače polohy

Tyto senzory pracují na principu magnetostrikce, což je fyzikální vlastnost feromagnetických materiálů, měnících své rozměry, pokud se nacházejí v působení magnetického pole. Dále využívají Wiedemannova jevu, který říká, že pokud tyčí z feromagnetického materiálu, umístěnou v podélném magnetickém poli, prochází proud, je tato tyč namáhaná krutem. Posledním využívaným jevem je magneto-elastický jev. Ten udává změnu magnetických vlastností materiálu feromagnetické tyče. Ta je vyvolána deformací tyče v podélném směru.

Měřicí zařízení se skládá z několika částí, z hlavního senzoru torzních kmitů, dále z vlnovodu, což je označení pro feromagnetickou tyč, a permanentního magnetu kruhového tvaru, který upevňujeme k pohybující se součásti. Měření probíhá tím způsobem, že senzor vysílá do vlnovodu krátké proudové impulzy, které následně vytvářejí proměnné magnetické pole radiálně působící. Tam, kde se radiální magnetické pole střetne s podélným vytvořeným permanentním magnetem, dojde k torzní deformaci vlnovodu. Tím vznikne torzní impuls, který se šíří jako ultrazvuková vlna a je snímán senzorem. Poloha se určí z času prodlevy mezi budícím proudovým a snímaným torzním impulzem. [25]



Obr. 4. 6 Princip Magnetostrikčního snímače polohy [24]

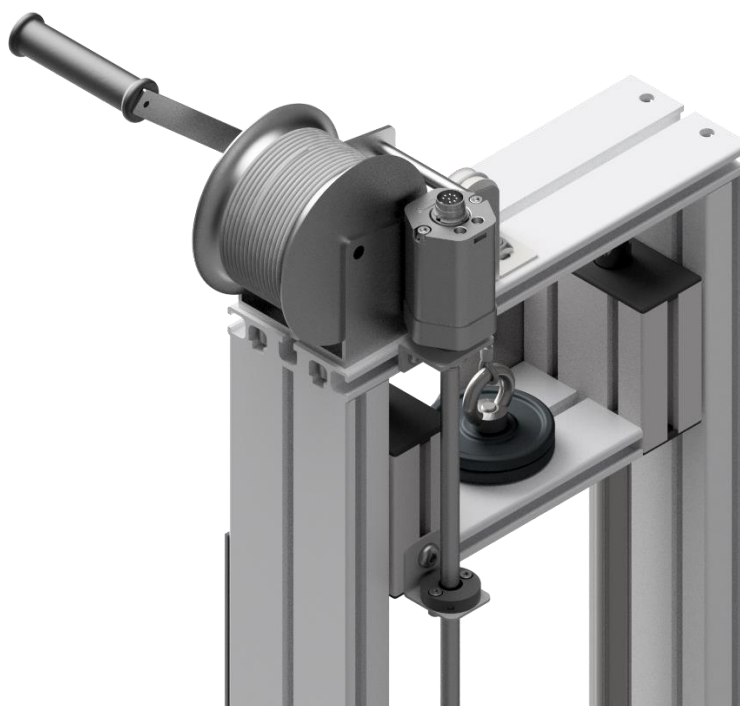


Obr. 4. 7 Magnetostrikční snímač Balluff BTL7-A/B [23]

Z těchto variant jsem do konstrukce pro jeho jednoduchost montáže a přesnost vybral Magnetostrikční snímač Balluff BTL7 -A/B- Series s následujícími parametry

Rozhraní	Analogové napětí
Měřená délka	800 mm
Přesnost opakování	$\pm 10 \mu\text{m}$
Provozní napětí $U_b$	10-30 V při DC
Mechanické provedení	M18 závit
Interval výstupu	-10V až 10V

Snímač bude upevněn ke konstrukci pomocí úzkých L-profilů za využití spodního závitu M18 přišroubovaných k základnímu rámu dvěma šrouby M8. Měřicí hlava bude podobným způsobem připevněna k pádové plošině dle následujícího obrázku 4.16.



**Obr. 4. 8. Napojení snímače na konstrukci**

#### 4.4.2. A/D Převodník

Druhým stupněm v měřicím řetězci je A/D převodník. Tedy převod analogového signálu ze snímače na digitální signál, který bude zpracován programem na počítači.

Tento prvek musí být vybrán tak, aby nepoškozoval přesnost výsledku, jelikož i přes vysokou přesnost snímače by při špatném výběru rozlišení došlo ke zkreslení dat testu.

Důležité parametry tohoto členu budou interval velikosti napětí pro přijímaný signál, dále rychlost snímání, a hlavně rozlišení přijímaného signálu. Rozlišení (udáváno v bitech) je udáváno na měřenou vzdálenost a znamená to na kolik dílů bude daná vzdálenost rozložena, takže v případě rozlišení 12 bitů bude vzdálenost 800 mm rozdělena na  $2^{12}$  dílů, tedy jeden díl bude 0,195 mm, což by nulifikovalo přesnost snímače, která dosahuje až 0,01 mm. Z tohoto důvodu bude třeba vzít minimálně 16 bitový převodník. Zvolil jsem převodník sbRIO-9215 od firmy National instruments s následujícími parametry.



**Obr. 4. 9. Karta sbRIO-9215 [26]**

Interval vstupu	-10V až 10V
Maximální rychlost snímání	100kS/s
Rozlišení snímání	16 bitů
Maximální množství vstupů	4
Podporovaný hardware	CompactRIO
Cena	14 150 Kč

### **4.4.3. Počítač / software**

Posledním členem v řetězci je počítač, na kterém budou data zpracována pomocí speciálního softwaru, který je dodáván stejnou firmou jako měřicí karta, tedy National Instruments.

Z tohoto programu získám přesnou polohu v závislosti na čase pádu. Díky tomu zjistím rychlost a zrychlení plošiny. Při známé pádové hmotnosti tak bude možno dopočítat sílu působící na podvozek, tedy velikost zatížení, které podvozek musí vydržet.

### **LabVIEW**

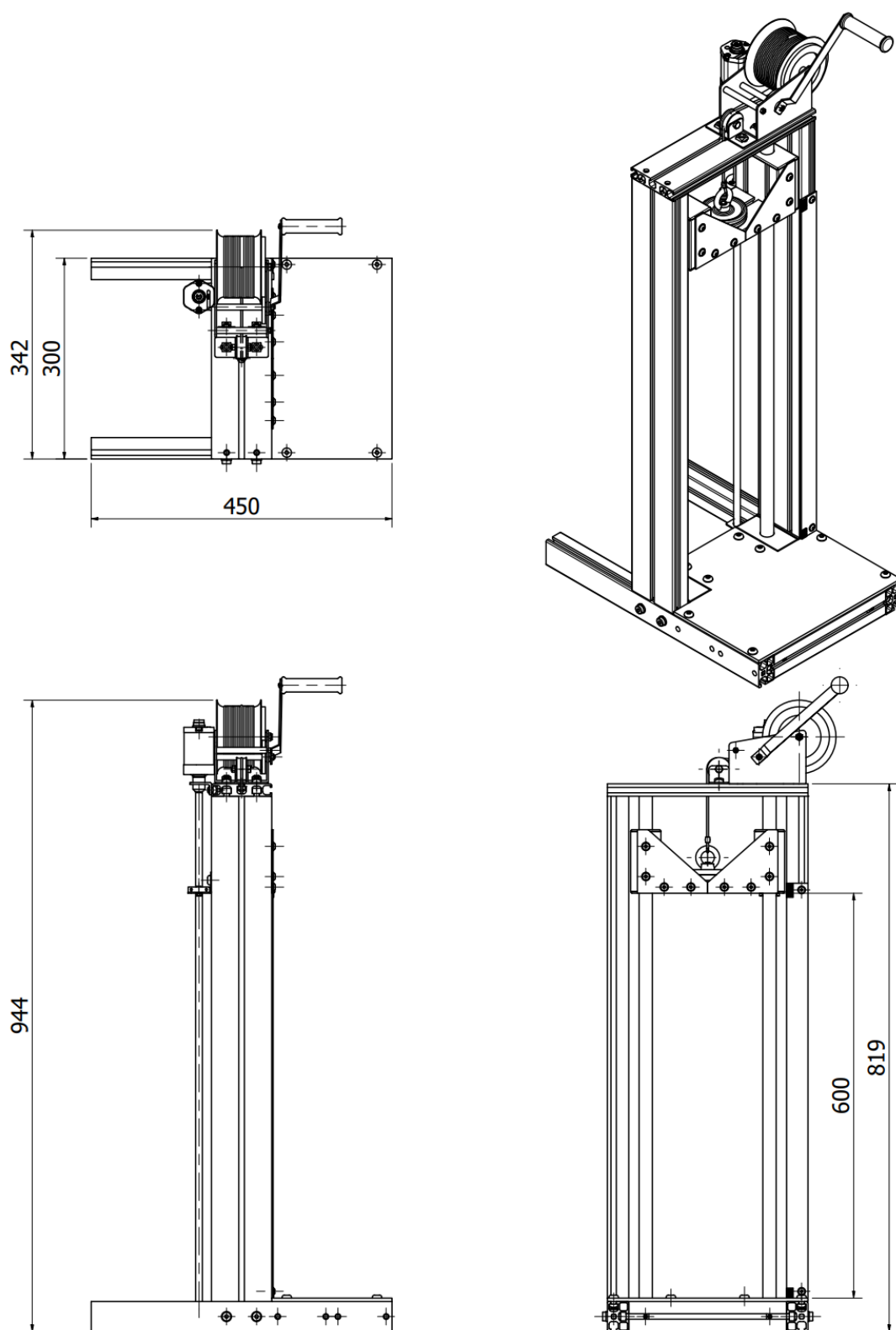
LabVIEW je specializovaný program který je využíván pro správu měřicího hardwaru, měření a vyhodnocování získaných dat. Velkou výhodou tohoto programu je fakt, že je od stejného výrobce jako měřicí karta, a tedy není třeba řešit kompatibilitu těchto částí. Zároveň se jedná o poměrně intuitivní a dobře přehledný program, ve kterém lze upravit rozhraní přímo pro naši potřebu testu.

### **4.5. Finální konstrukce**

Takto vypracovaná konstrukce by měla splňovat veškeré potřebné aspekty pro testování pádových zkoušek podvozků UAV. Tedy kompaktní stabilní konstrukce s jednoduchým uvedením plošiny do pádové pozice, s jednoduchým připevněním samotného podvozku a nenáročným nastavením hmotnosti pádové plošiny a naměření potřebných dat za nejmenších možných nákladů, použitelné pro veškeré typy podvozků.



**Obr. 4. 10** Finální konstrukce



Obr. 4. 11 Výkresové pohledy finální konstrukce

## 5. Závěr

Tato práce si brala za cíl vytvoření konstrukčního návrhu pro stroj na vykonávání pádových zkoušek menších bezpilotních letounů. V úvodní části byla zpracována historie strojů UAV, jejich dělení dle mnoha aspektů, jejich konstrukce a jejich postupné zakomponování do mnoha odvětví. Poté se zaobírala jednoduchým tříděním podvozků jako takových a jejich konstrukčních provedení na bezpilotních letounech UAV. V závěru úvodní části byla probrána činnost a principy pádových zkoušek u velkých strojů a definována jednotlivá ustanovení nutná pro průběh těchto zkoušek.

Druhá část se věnovala samotnému koncepčnímu návrhu našeho stroje. Pro finální konstrukci byly podle informací, získaných z první části, vytvořeny 3 návrhy, u kterých byly zhodnoceny jejich klady a zápory, a následně byla vybrána optimální konstrukce pro naše účely a pro finální zpracování.

Ve třetí části byl koncepční návrh převeden na finální konstrukci. Nejprve bylo nutné vybrat jakým způsobem budou jednotlivé prvky konstrukce vytvořeny. Z důvodů jednoduchosti, ceny a dobrých vlastností, byl pro tento účel vybrán konstrukční systém Alutec kk. Samotná konstrukce vycházela z designu pádových strojů dlouho využívaných v praxi. Hlavními částmi konstrukce bylo řešení několika aspektů, a to nastavování přesné zátěže pro danou zkoušku, upevnění podvozku, dostatečná tuhost dopadové a pádové části a nastavení výšky spojené s uvolněním plošiny. Pro nastavení váhy bylo použito jednoduché upevnění kotoučů z horní části pádové plošiny, která byla vytvořena z pevného a dostatečně tuhého hliníkového profilu spojeného s dvěma kluznými ložisky, která zaručují přesnou dráhu po lineárním vedení. Výhodou desky pádové plošiny je množství drážek, přes které dojde k upevnění podvozku k plošině. Nastavení výšky a následné uvolnění celého mechanismu bylo provedeno pomocí jednoduchého navijáku, který, oproti ostatním možnostem, měl dostatečné vlastnosti a dobrou cenu.

Poslední část se zabývá sestavením měřicího řetězce pro vyhodnocení samotné zkoušky. V první řadě bylo třeba stanovit, jaké jsou potřebné hodnoty pro vyhodnocení testu, jelikož od tohoto se odvíjelo, jak a které veličiny budeme měřit. Hlavní ukazatel stability podvozku je odolnost protisíle působící při dopadu. Tuto sílu lze dopočítat při známé výšce a rychlosti a



hmotnosti podvozku. Pro její vyhodnocení byl tedy zvolen magnetostrikční polohoměr. Podle senzoru byl následně vybrán A/D převodník tak, aby nedocházelo k degradaci přesnosti měřícího senzoru. Vyhodnocovací program byl zvolen od stejné firmy jako převodník, z důvodu bezproblémovosti propojení těchto částí.

Vylepšení konstrukce a celého testu by se dalo dosáhnout několika způsoby. Nejprve by bylo možné přidat systém pro roztáčení kol před samotným pádem, kterým by byla simulována horizontální rychlost dosedajícího stroje. Dále způsob uvolnění plošiny z horní pozice je sice dostačující pro provedení testu, nicméně v něm může docházet ke ztrátám pádové rychlosti. Důležitým aspektem je i samotné měření napětí na podvozku jako takovém, pomocí tenzometrů, a dále měření vibrací. Tato vylepšení byla však, pro snahu o dosažení co nejnižší ceny celého zařízení, z návrhu odstraněna.

## 6. Použité zdroje

- [1.] Unmanned aerial vehicle. Na: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco :Wikimedia Foundation, 2018 [cit. 2020-26-1]. Dostupné na: [https://en.wikipedia.org/wiki/Unmanned\\_aerial\\_vehicle](https://en.wikipedia.org/wiki/Unmanned_aerial_vehicle)
- [2.] Ex-military spy drone to conduct NASA climate tests. Na: GPSworld.com [Online]. [cit. 2020-26-1] Dostupné na: <https://www.gpsworld.com/uavs-take-flight-for-food-deliveries-runway-inspections-more/>
- [3.] Bezpilotní letadlo. Na: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco :Wikimedia Foundation, 2018 [cit. 2020-26-1]. Dostupné na:
- [4.] History of Unmanned Aerial Vehicles. Na:Consortiq.com [online]. [cit. 2019-16-6] Dostupné na: <https://consortiq.com/media-centre/blog/short-history-unmanned-aerial-vehicles-uavs>
- [5.] Classification of the Unmanned Aerial Systems. Na: e-education.com [Online]. [cit. 2020-26-1] Na: <https://www.e-education.psu.edu/geog892/node/5>
- [6.] Mosquito Micro Unmanned Aerial Vehicle. Na: Airfoce technology.com [Online] [cit. 2020-26-1]. Na: <https://www.airforce-technology.com/projects/mosquitomicrouav/>
- [7.] Dragon Eye Miniature UAV. IN Defense-Update.com [online]. [cit. 2020-26-1] Na : [https://defense-update.com/20050823\\_dragon-eye.html](https://defense-update.com/20050823_dragon-eye.html)
- [8.] RQ-11B Raven small unmanned aircraft system. Na:U.S. Army Acquisition Support Center [online].[cit. 2020-26-1]. Na: [https://asc.army.mil/web/portfolio-item/aviation\\_raven-suas/](https://asc.army.mil/web/portfolio-item/aviation_raven-suas/)
- [9.] E-flite F-4 Phantom II 0.9m PNP. Na: Astramodel.cz [Online]. [cit. 2020-26-1]. Na: <https://www.astramodel.cz/cz/katalog/e-flite/e-flite-f-4-phantom-ii-0-9m-pnp-p69313.html>
- [10.] P.G. Fahlstrom & T.J. Gleason. The introduction to UAV systems. Spojené království, John Wiley & Sons 2012 [cit. 2020-26-1]
- [11.] Types of drone. Na: Civil-Aviation-Safety-Authority.au. [Online]. [cit. 2020-26-1]. Na: <https://www.casa.gov.au/drones/rules/drone-types>
- [12.] N.Currey. Aircraft Landing gear Design: Principles and practices. USA 1988 [cit. 2020-26-1]
- [13.] F.Nikodem, F.Moller, P.Gallun, A. Bierig, Design of a retractable landing gear for the Sagitta demonstrator UAV, Braunschweig. Germany 2017. [cit. 2020-26-1]
- [14.] J.Parmar, V.Acharya, Dr. J.Challa. Selection and analysis of the landing gear for UAV vehicle for sea Aero design series. Na: International jurnal of mechanical engineering and technology. Volume 6, Issue 2 2015. [cit. 2020-26-1]

- [15.] Airbus jet-propelled UAV demonstrator. Na: Unmanned-systems-technology.com [Online] [cit. 2020-26-1]. Odkaz: <https://www.unmannedsystemstechnology.com/2017/07/airbus-jet-propelled-uav-demonstrator-completes-first-test-flight/>
- [16.] Huaitao Wang, Dafang Wu, Feng Wang & Haoyuan Ren (2018) A method for determining the horizontal impact load based on the rotational speed of the aircraft's wheel in a landing gear drop test, International Journal of Crashworthiness, 23:6, 627-634, [cit. 2020-26-1]
- [17.] B.Milwitzky, F.E.Cook Analysis of landing gear behavior –Na: Report 1154 [Online]. [cit. 2020-26-1]. Odkaz: <https://apps.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a279967.pdf>
- [18.] Leo, Romeo & De Fenza, Angelo & Barile, M. & Lecce, L.. (2014). Drop Test Simulation for An Aircraft Landing Gear Via Multi-Body Approach. Archive of Mechanical Engineering. Volume 61. 287–304. 10.2478/meceng-2014-0017. ,[cit. 2020-26-1]
- [19.] Xue, C. & Qi, W. & Nie, H.. (2011). Test and control system development and application of landing gear drop test rig. 28. 145-151. ,[cit. 2020-26-1]
- [20.] Konsolidované znění CS-VLA. Na: Caa.cz (Úřad pro civilní letectví) [Online] ]. [cit. 2020-26-1] Odkaz: <https://www.caa.cz/dokumenty/predpisy/rozhodnuti-vykonneho-reditele-easa/certifikacni-specifikace/cs-vla-velmi-lehke-letouny/>
- [21.] E.Cross, P.Sartor, K. Worden & P.Southern. Prediction of landing gear loads using machine learning techniques. Na: ndt.net [online] [cit. 2020-26-1] Odkaz: <https://www.ndt.net/search/docs.php3?showForm=off&id=14124>
- [22.] Měření polohy u servopohonů velkých zdvihů. VŠB-TU Ostrava [Online] [cit. 2020-26-1] Odkaz: <http://akce.fs.vsb.cz/1999/asr99/Proceedings/papers/57/57.htm>
- [23.] BALLUFF, Snímače polohy BTL Micropulse. Katalogové podklady Gebhard Balluff GmbH, Neuhausen,SRN. [Online] [cit. 2020-26-1] Odkaz: <https://www.balluff.com/local/cz/productfinder/#/ca/A0001/cg/G0116>
- [24.] Plovákové hladinoměry s magnetostrikčním senzorem. Na Měření Hladiny [online] [cit. 2020-26-1] Odkaz : [http://www.jsp.cz/cz/sortiment/seznam\\_dle\\_kategorie/snimace\\_hladiny/teorie-hladina/mechanicke-hladinometry/plovakove-hladinometry-spinace.html](http://www.jsp.cz/cz/sortiment/seznam_dle_kategorie/snimace_hladiny/teorie-hladina/mechanicke-hladinometry/plovakove-hladinometry-spinace.html)
- [25.] Magnetostrikční snímače vzdálenosti. Na: AUTOMA časopis pro automatizační techniku [Online] [cit. 2020-26-1] Odkaz: [https://automa.cz/cz/casopis-clanky/magnetostrickni-snimace-vzdalenosti-2007\\_04\\_34229\\_2684/](https://automa.cz/cz/casopis-clanky/magnetostrickni-snimace-vzdalenosti-2007_04_34229_2684/)
- [26.] National Instrumets. A/D převodníky Katalogové podklady [Online] [cit. 2020-26-1] Odkaz: <https://www.ni.com/cs-cz/shop/select/c-series-voltage-input-module>
- [27.] Predator B RPA. Na: General Atomics areonautical [Online] [cit. 2020-26-1] Odkaz: <https://www.ga-asi.com/predator-b>
- [28.] Ruční lanový naviják Na: Vercajk [Online] [cit. 2020-26-1] Odkaz: <https://www.vercajk-pardubice.cz/Rucni-lanovy-navijak-900kg-d2235.htm?tab=description>

- [29.] TR In-Line Release Mechanism. Na: Western Sling [Online] [cit. 2020-26-1] Odkaz: <https://westernsling.com/tr-in-line-release-mechanism-toggle-release-american-made/sku/>
- [30.] Fellowes, Alexander & Wilson, Thomas & Kemble, Gregory & Havill, Caroline & Wright, Jan. (2018). WING BOX NON-LINEAR STRUCTURAL DAMPING. [Online][cit. 2020-26-1] Odkaz: [https://www.researchgate.net/figure/SeaCatch-hold-and-release\\_fig5\\_327155780](https://www.researchgate.net/figure/SeaCatch-hold-and-release_fig5_327155780)