



**FAKULTA  
ŠROJNÍ  
ČVUT V PRAZE**

## **Ústav konstruování a částí strojů**

**Konstrukce zkušebního zařízení pro  
zkoušení odstředivých čerpadel**

**Construction of test equipment for testing  
centrifugal pumps**

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**2017**

**Martin ZÍKA**

**Studijní program:** N2301 ŠROJNÍ INŽENÝRSTVÍ

**Studijní obor:** 2301T047 Dopravní letadlová a transportní technika

**Vedoucí práce:** prof. Ing. Vojtěch DYNBYL, Ph.D.

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Zika** Jméno: **Martin** Osobní číslo: **408571**  
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**  
Zadávající katedra/ústav: **Ústav konstruování a části strojů**  
Studijní program: **Strojní inženýrství**  
Studijní obor: **Dopravní, letadlová a transportní technika**

## II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

**Konstrukce zkušebního zařízení pro zkoušení odstředivých čerpadel**

Název diplomové práce anglicky:

**CONSTRUCTION OF TEST EQUIPMENT FOR TESTING CENTRIFUGAL PUMPS**

Pokyny pro vypracování:

Zkušební zařízení je určeno pro vývojové a sériové zkoušky a nastavení odstředivých čerpadel z produkce společnosti Jihostroj a.s. Zkušební zařízení musí umožnit jednoduché (časově nenáročné) připojení jak ponorných, tak potrubních verzí odstředivých čerpadel. Ovládací prvky musí být možné obsluhovat ručně, nebo zcela automaticky pomocí PC. Zařízení bude konstruováno na provoz s leteckým palivem (JET A-1). Bude vypracována rešerše problematiky odstředivých čerpadel, bude navržena vhodná konstrukční varianta. Bude proveden návrh hydraulického obvodu. V textu budou uvedeny potřebné technické výpočty.

Seznam doporučené literatury:

ŠVEC, V.: Části a mechanismy strojů. Spoje a části spojovací. Praha: ČVUT, 2008.  
ŠVEC, V.: Části a mechanismy strojů. Mechanické převody. Praha: ČVUT, 2003.  
KUGL, D. a kol.: Projekt III. Ročník. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2005.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

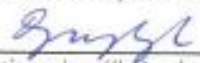
**prof. Ing. Vojtěch Dinybyl Ph.D., ústav konstruování a částí strojů FS**

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

Datum zadání diplomové práce: **24.03.2017**

Termín odevzdání diplomové práce: **09.06.2017**

Platnost zadání diplomové práce:

  
Podpis vedoucí(ho) práce

  
Podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

  
Podpis děkana(ky)

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

\_\_\_\_\_  
Datum převzetí zadání

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



## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem: „Konstrukce zkušebního zařízení pro zkoušení odstředivých čerpadel“ vypracoval samostatně pod vedením prof. Ing. Vojtěcha Dynybyla, Ph.D., s použitím literatury, uvedené na konci mé diplomové práce v seznamu použité literatury.

V Praze 14.7.2017

Martin ZÍKA



## Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu mé diplomové práce prof. Ing. Vojtěchu Dynybylovi, Ph.D. za trpělivost, kterou měl při čekání na výsledek mé práce. Velký dík patří také kolegovi Ing. Pavlu Šimečkovi ze společnosti Jihostroj a.s. nejen za poskytnuté zadání, ale i za všechny rady a připomínky. Rád bych také poděkoval své rodině za podporu během celého studia.

## Anotační list

- Jméno autora: Martin ZÍKA
- Název DP: Konstrukce zkušebního zařízení pro zkoušení odstředivých čerpadel
- Anglický název: Construction of test equipment for testing centrifugal pumps
- Rok: 2017
- Studijní program: N2301 STROJNÍ INŽENÝRSTVÍ
- Obor studia: 2301T047 Dopravní letadlová a transportní technika
- Ústav: Ústav konstruování a částí strojů
- Vedoucí BP: prof. Ing. Vojtěch Dinybyl, Ph.D.
- Konzultant: Ing. Vladimír Ryneš
- Bibliografické údaje: počet stran 50  
počet obrázků 65  
počet tabulek 6  
počet příloh 1
- Klíčová slova: Zkušební zařízení, odstředivé čerpadlo, hydraulický obvod, rám, metodika zkoušení
- Keywords: Test equipment, centrifugal pump, hydraulic circuit, frame, testing methodology
- Anotace: Diplomová práce se zabývá návrhem konstrukce zkušebního zařízení pro zkoušení odstředivých čerpadel vyráběných ve společnosti Jihostroj, a.s.
- Abstract: The thesis deals with construction of test equipment for testing centrifugal pumps that are made in company Jihostroj, a.s.

OBSAH

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1. Úvod</b> .....                            | <b>2</b>  |
| <b>2. Seznámení s problematikou</b> .....       | <b>3</b>  |
| 2.1. Akciová společnost Jihostroj, a.s. ....    | 3         |
| 2.2. Palivová soustava letadla .....            | 4         |
| 2.3. Rozdělení palivových soustav .....         | 5         |
| 2.4. Činnost palivové soustavy letadla .....    | 5         |
| 2.5. Teorie odstředivých čerpadel .....         | 6         |
| 2.5.1. Provozní parametry .....                 | 7         |
| 2.5.2. Rozdělení odstředivých čerpadel .....    | 7         |
| 2.5.3. Příklady odstředivých čerpadel .....     | 8         |
| <b>3. Návrh zkušebního zařízení</b> .....       | <b>11</b> |
| 3.1. Stávající zkušební zařízení .....          | 11        |
| 3.1.1. Nedostatky .....                         | 13        |
| 3.2. Hydraulické schéma .....                   | 14        |
| 3.3. Koncepční návrhy .....                     | 15        |
| 3.4. Použité prvky a přístroje.....             | 17        |
| 3.4.1. Zkoušená čerpadla .....                  | 17        |
| 3.4.2. Přejzaté prvky .....                     | 20        |
| 3.4.3. Nakupované prvky.....                    | 25        |
| 3.5. Nové zkušební zařízení .....               | 27        |
| 3.5.1. Rám .....                                | 27        |
| 3.5.2. Nádrže a odkapová vana .....             | 28        |
| 3.5.3. Krytování .....                          | 30        |
| 3.5.4. Celková sestava .....                    | 30        |
| <b>4. Technické výpočty</b> .....               | <b>32</b> |
| 4.1. Hmotnost závaží .....                      | 32        |
| 4.2. Návrh šroubů.....                          | 36        |
| 4.2.1. Výsledná smyková síla .....              | 37        |
| 4.2.2. Návrhová únosnost v otláčení.....        | 39        |
| 4.2.3. Navrhovaná únosnost proti prokluzu.....  | 41        |
| <b>5. Metodika zkoušek</b> .....                | <b>42</b> |
| 5.1. Obecné zásady.....                         | 42        |
| 5.2. Průběh zkoušky na zkušebním zařízení ..... | 43        |
| 5.2.1. Kontrola vnějšího vzhledu .....          | 44        |
| 5.2.2. Kontrola elektrických vlastností .....   | 44        |
| 5.2.3. Kontrola funkčnosti .....                | 44        |
| <b>6. Závěr</b> .....                           | <b>45</b> |
| <b>7. Seznam použité literatury</b> .....       | <b>46</b> |
| <b>8. Seznam obrázků</b> .....                  | <b>47</b> |
| <b>9. Seznam tabulek</b> .....                  | <b>49</b> |
| <b>10. Seznam příloh</b> .....                  | <b>50</b> |

**SEZNAM ZKRATEK A SYMBOLŮ**

| <b>Veličina</b>   | <b>Jednotka</b>   | <b>Popis</b>                             |
|-------------------|-------------------|--|
| Q                 | l/h               | Průtok                                   |
| Y                 | m <sup>3</sup> /s | Měrná energie                            |
| p                 | Pa                | Tlak                                     |
| ρ                 | kg/m <sup>3</sup> | Hustota                                  |
| g                 | m/s <sup>2</sup>  | Tíhové zrychlení                         |
| h                 | m                 | Výška                                    |
| P                 | W                 | Příkon                                   |
| η                 | -                 | Účinnost                                 |
| U                 | V                 | Jmenovité napětí                         |
| I                 | A                 | Jmenovitý proud                          |
| R                 | m                 | Délka ramene                             |
| T                 | m                 | Vzdálenost k těžišti                     |
| P                 | m                 | Délka podpěry                            |
| Z                 | m                 | Vzdálenost k závaží                      |
| D                 | m                 | Vzdálenost ke šroubu                     |
| K                 | m                 | Vzdálenost k těžišti podpěry             |
| m <sub>č</sub>    | kg                | Hmotnost čerpadla                        |
| m <sub>r</sub>    | kg                | Hmotnost ramene                          |
| m <sub>z</sub>    | kg                | Hmotnost závaží                          |
| m <sub>r</sub>    | kg                | Hmotnost podpěr                          |
| F <sub>č</sub>    | N                 | Tíhová síla čerpadla                     |
| F <sub>r</sub>    | N                 | Tíhová síla ramene                       |
| F <sub>z</sub>    | N                 | Tíhová síla závaží                       |
| F <sub>p</sub>    | N                 | Tíhová síla podpěr                       |
| α                 | °                 | Úhel mezi ramenem a podpěrrou            |
| β                 | °                 | Úhel natočení ramene                     |
| F <sub>v</sub>    | N                 | Výsledná síla                            |
| F <sub>b,Rd</sub> | N                 | Únosnost v otláčení                      |
| F <sub>s,Rd</sub> | N                 | Únosnost proti prokluzu                  |
| F <sub>p,C</sub>  | N                 | Předepínací síla                         |
| k <sub>1</sub>    | -                 | Součinitel tvaru díry                    |
| α <sub>b</sub>    | -                 | Součinitel tvaru díry a materiálu        |
| k <sub>s</sub>    | -                 | Součinitel tvaru a velikosti díry        |
| f <sub>u</sub>    | N/mm <sup>2</sup> | Mez pevnosti základního materiálu        |
| f <sub>ub</sub>   | N/mm <sup>2</sup> | Mez pevnosti šroubu                      |
| d                 | mm                | Průměr šroubu                            |
| t                 | mm                | Tloušťka materiálu                       |
| γ <sub>Mb</sub>   | -                 | Dílčí součinitel spolehlivosti materiálu |
| n                 | -                 | Počet třecích ploch                      |
| μ                 | -                 | Součinitel tření                         |
| A <sub>s</sub>    | mm <sup>2</sup>   | Plocha jádra šroubu                      |

## 1. Úvod

Tato diplomová práce se zabývá návrhem nového zkušebního zařízení pro společnost Jihostroj, a.s. Zkušební zařízení je určeno pro zkoušení odstředivých čerpadel, která slouží v palivové soustavě letadla k čerpání paliva z nádrží. Toto zařízení musí umožňovat zkoušení jak ponorných verzí odstředivých čerpadel, tak i potrubních.

Na začátku práce je náhled do problematiky palivových soustav letadel a obecné rozdělení odstředivých čerpadel. Dále je zde popis stávajícího zkušebního zařízení včetně analýzy jeho nedostatků.

Hlavním cílem práce je pak navržení hydraulického obvodu a vytvoření několika variant nového zařízení. Další krokem je detailní zpracování té nevhodnější a vytvoření 3D modelu celého zkušebního zařízení. Pro důležitá místa v návrhu jsou provedeny analytické výpočty.



## 2. Seznámení s problematikou

Na letecký průmysl jsou kladeny nejvyšší požadavky z hlediska funkčnosti přístrojů, jelikož jejich nefunkčnost může přímo ohrozit lidské životy. Každý přístroj tedy musí během vývoje projít řadou kvalifikačních zkoušek a poté co je zahájena jeho sériová výroba, musí projít i sériovými zkouškami. Zkouší se jeho funkčnost za podmínek, které simulují jak normální letové stavy, tak i mimořádné události, které mohou při letu nastat. Při sériových zkouškách se zpravidla nezkouší extrémní podmínky provozu, ty jsou zkoušeny jen na prototypových kusech jako součást kvalifikačních zkoušek, před vlastním schválením daného přístroje.

### 2.1. Akciová společnost Jihostroj, a.s.

Akciová společnost Jihostroj, a.s. je průmyslová firma s téměř devadesátiletou tradicí přesné strojírenské výroby. Výroba je tam rozdělena na dvě divize, divize hydrauliky a letecká divize.

Divize hydrauliky se zaměřuje na výrobu hydraulických prvků k použití při stavbě vozidel a strojů jako jsou nákladní automobily, autobusy, traktory a jiné zemědělské stroje, stavební stroje a manipulační technika. Mezi hlavní produkty výroby patří zubové hydrogenerátory, hydromotory, posilovače servořízení, hydraulické válce, děliče průtoku, nádrže pro obvody servořízení s filtrem, hydraulické agregáty a řada dalších prvků. Některé příklady jsou na obrázku (Obr. 1).



Obr. 1.: Ukázka výrobků divize hydraulika [1]

Obor Letecká výroba je jedním z hlavních a tradičních výrobních oborů společnosti Jihostroj, a.s. Firma nabízí široký sortiment komponentů určených k použití v letadlech jako např.: L 410, L 29, L39, L59, Z142, Z 50, L 159A a další. Základními produktovými skupinami jsou systémy palivové regulace leteckých motorů, systémy regulace vrtulí, servoventily. Dále pak drakové přístroje např.: palivová čerpadla, filtry, ventily a jiné. Kromě vývoje a výroby vlastních přístrojů zajišťuje společnost i poprodejní služby (opravy, generální opravy, revize), a podílí se na kooperační výrobě pro jiné letecké firmy. Společnost má své vývojové oddělení a rozsáhlou základnu výrobního a testovacího zařízení spolu se zkušeným odborným personálem. Příklady produkce jsou na obrázku (Obr. 2). [1]



*Obr. 2.: Ukázka výrobků letecké divize [1]*

## **2.2. Palivová soustava letadla**

Palivové soustavy slouží ke spolehlivé dodávce potřebného množství paliva ke všem jeho pohonným skupinám. Palivo musí být dodáváno vždy v potřebném množství a o dostatečném tlaku a to za všech režimů a výšek letu, pro které je letadlo určeno. Na vývoj palivových soustav a zejména na jejich konstrukci má vliv řada parametrů. Zvyšování tahu proudových motorů, zvětšování doletu a doby letu mají přímý vliv na parametry palivové soustavy. Tyto požadavky vedou k potřebě zvětšování objemu palivových nádrží. S vyšším průtočným množstvím paliva pak rostou nároky na výkonnost palivového ústrojí určeného k dodávce paliva do motorů a celkově se také zvětšují nároky na spolehlivost funkce celé soustavy.

Na palivovou soustavu během provozu působí veškeré účinky zrychlení způsobené změnou směru a rychlosti letu. Setrvačné síly působící na palivovou soustavu mohou velmi ovlivňovat její činnost. Zejména pak mohou snižovat tlak před čerpadly, což je ekvivalentní ke zvýšení letu. [2]

### 2.3. Rozdělení palivových soustav

Obecně lze palivové soustavy rozdělit na palivové soustavy vnější a vnitřní.

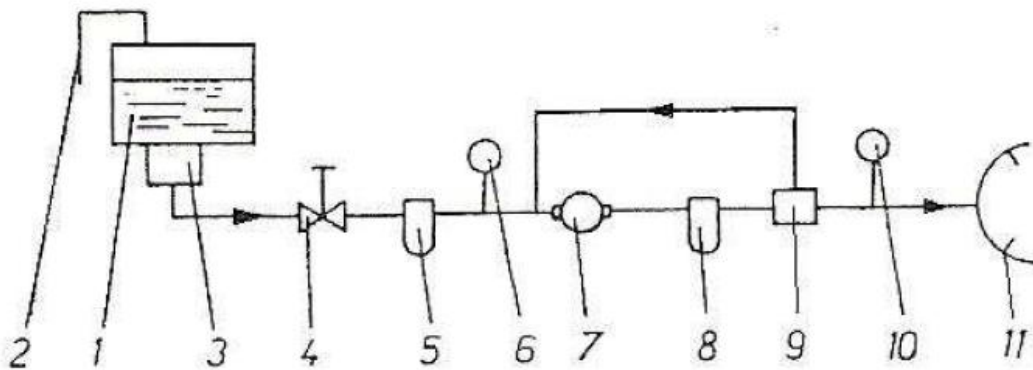
Vnější palivová soustava se také označuje jako palivová soustava draku a principiálně slouží k dodávce paliva k motoru. Patří do ní například palivové nádrže, dopravní čerpadla, odvodušňovací ventily, plnicí otvory, filtry, rychlouzavírací kohouty a různá potrubí.

Vnitřní palivová soustava se nazývá palivová soustava motoru a je určena k nepřetržité dodávce paliva do spalovací komory a k regulaci režimu motoru.

### 2.4. Činnost palivové soustavy letadla

Na obrázku (Obr. 3), na němž jsou schematicky znázorněny hlavní části palivové soustavy, bude vysvětlena funkce palivové soustavy.

1 – palivová nádrž; 2 – odvodušňování; 3 – dopravní čerpadlo; 4 – uzavírací ventil; 5 – nízkotlaký čistič; 6 – signalizátor nízkého tlaku; 7 – vysokotlaké čerpadlo; 8 – vysokotlaký čistič; 9 – regulátor otáček; 10 – signalizátor vysokého tlaku; 11 – palivový kolektor s tryskami



Obr. 3.: Schéma palivové soustavy leteckého motoru [2]

Před hlavním čerpadlem je pro zajištění správné funkce čerpadla požadován jistý minimální tlak. V části od palivové nádrže po vysokotlaké čerpadlo tedy není přípustná dodávka paliva samospádem a to z důvodu, že již v malých výškách by tlak paliva před hlavním čerpadlem mohl poklesnout na nejmenší přípustný, čímž by došlo k přerušení dodávky paliva a následně i k vysazení motoru. Do této části soustavy se z tohoto důvodu zařazují dopravní a přečerpávací čerpadla. Nejčastěji se používají radiální (odstředivá)

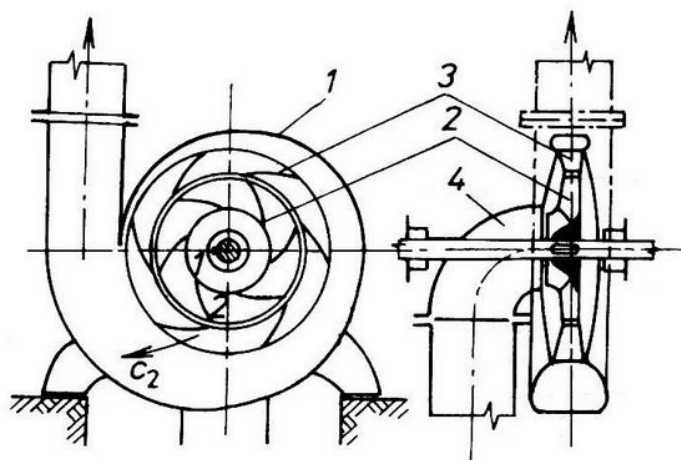
čerpadla, která mají elektrický, pneumatický, hydraulický pohon popřípadě jsou poháněna přímo od motoru.

Další část palivové soustavy tvoří úsek umístěný na motoru. U některých proudových motorů se před hlavní vysokotlaké čerpadlo ještě umísťuje další dopravní čerpadlo. To je určeno k zajištění stálého pracovního tlaku na vstupu hlavního čerpadla. Jeho úkolem je také kompenzovat tlakové ztráty vzniklé ve větvi od nádrže k vysokotlakému čerpadlu. Od vysokotlakého čerpadla tedy palivo proudí v soustavě se zvýšeným tlakem oproti předchozí větvi. Dále prochází přes vysokotlaký filtr, regulátor otáček a následně z palivového kolektoru až k hlavním tryskám, které palivo rozprašují do spalovacích komor motoru.

Uspořádání a schéma palivové soustavy vždy záleží na konkrétní konstrukci a především na určení letadla, jeho typu, na počtu motorů, na jejich typech a jejich umístění a v neposlední řadě také na odběru paliva z nádrží. [2]

## 2.5. Teorie odstředivých čerpadel

Odstředivé čerpadlo vynalezl fyzik Denis Papin v roce 1689 a dnes je tento druh čerpadla na celém světě nejrozšířenější. Princip funkce je celkem jednoduchý. Kapalina vstupuje do čerpadla (**Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**) sacím hrdlem, odkud následně měříje na oběžné kolo. Lopatky oběžného kola jsou zakřivené tak, aby kapalinu nabíraly a pomocí odstředivé síly ji urychlovaly. To znamená, že rychlost čerpané kapaliny se zvyšuje směrem od vstupu (4) a na obvodu oběžného kola má největší kinetickou energii. Tuto energii získala od motoru, který pohání oběžné kolo. Poté kapalina vstupuje do lopatek převaděče (difuzoru) a dále do spirálové skříně (1). V těchto částech se rozšiřuje průtočný průřez, tím se snižuje rychlost kapaliny a zároveň roste tlak. Lopatky difuzoru usměrňují proud kapaliny z oběžného kola (2) omezují víření kapaliny a tím se zlepšuje účinnost stroje. Zbrzděním kapaliny v převaděči (3) se kinetická energie přemění na tlakovou.



Obr. 4.: Hlavní části odstředivého čerpadla [3]

### 2.5.1. Provozní parametry

- Průtok - Q

Objem čerpané kapaliny, který proteče čerpadlem za jednotku času. Nepočítá se do něj kapalina ztracená mezi sacím a výtlačným hrdlem, to znamená, že do dopravovaného množství se počítá pouze kapalina, kterou má spotřebitel k dispozici.

- Měrná energie – Y

Energie, kterou předá čerpadlo kapalině. Je to tedy rozdíl celkové energie na výstupu a celkové energie na vstupu čerpadla. Celková energie je definována Bernoulliho rovnicí:

$$Y = \frac{p}{\rho} + g \cdot h + \frac{c^2}{2} \quad [m^3 \cdot s^{-1}] \quad (1)$$

První člen  $\frac{p}{\rho}$  představuje tlakovou energii, druhý  $g \cdot h$  potenciální a poslední člen  $\frac{c^2}{2}$  představuje energii kinetickou. Místo měrné energie se častěji používá parametr dopravní výška, která udává do jaké maximální výšky je čerpadlo schopno kapalinu vyčerpat.

$$H = \frac{Y}{g} \quad [m] \quad (2)$$

- Příkon - P

Jedná se o nutný výkon motoru, aby čerpadlo bylo schopné při daném průtoku vyvodit danou dopravní výšku; tedy výkon předaný hnacím hřídelem na hnaný hřídel čerpadla.

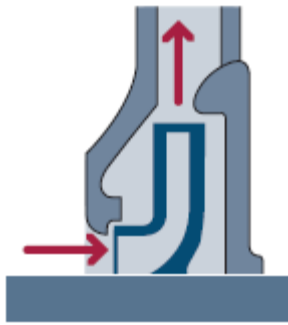
- Účinnost –  $\eta$

Faktor využitelnosti příkonu čerpadla. Jedná se o poměr užitečného výkonu a příkonu čerpadla. Je závislá na průtoku a na specifických otáčkách. Celková účinnost se skládá z hydraulické, objemové a mechanické a je dána jejich součinem.

$$\eta = \frac{P_u}{P_\epsilon} = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H}{P_\epsilon} \quad [-] \quad (3)$$

### 2.5.2. Rozdělení odstředivých čerpadel

Jedním z kritérií, jak lze rozlišovat odstředivá čerpadla, je podle směru proudění kapaliny na vstupu a výstupu čerpadla vůči ose otáčení oběžného kola. Takto se čerpadla dělí na radiální a diagonální.



Obr. 5.: Radiální čerpadlo [4]



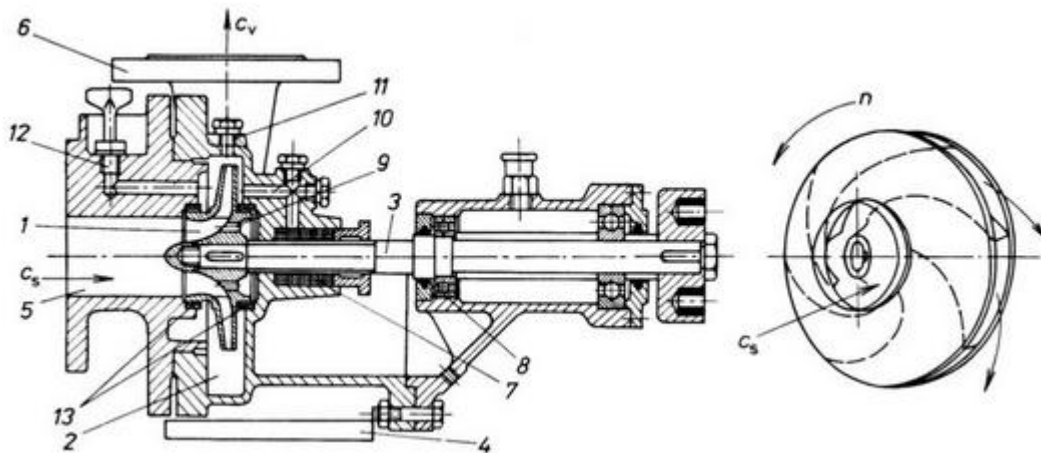
Obr. 6.: Diagonální čerpadlo [4]

Na (Obr. 5) je vidět, že kapalina vstupuje rovnoběžně s osou a vystupuje kolmo k ose otáčení oběžného kola. Na vedlejším obrázku (Obr. 6) je patrné, že kapalina vstupuje do čerpadla také axiálně, ale vystupuje šikmo k ose otáčení.

### 2.5.3. Příklady odstředivých čerpadel

#### 2.5.3.1. Jednostupňová čerpadla

Jednostupňová čerpadla (Obr. 7) mají jedno oběžné kolo a obecně se používají v provozních aplikacích, které nevyžadují celkovou dopravní výšku vyšší než 150 metrů. Za normálních okolností pracují jednostupňová čerpadla při dopravních výškách 2 až 100 metrů. Používají se ve vodárenství, v zemědělství, v průmyslu atd. Mohou dopravovat vodu o teplotě až 120 °C. Vyrábějí se pro průtoky až 1,1 m<sup>3</sup>/min.



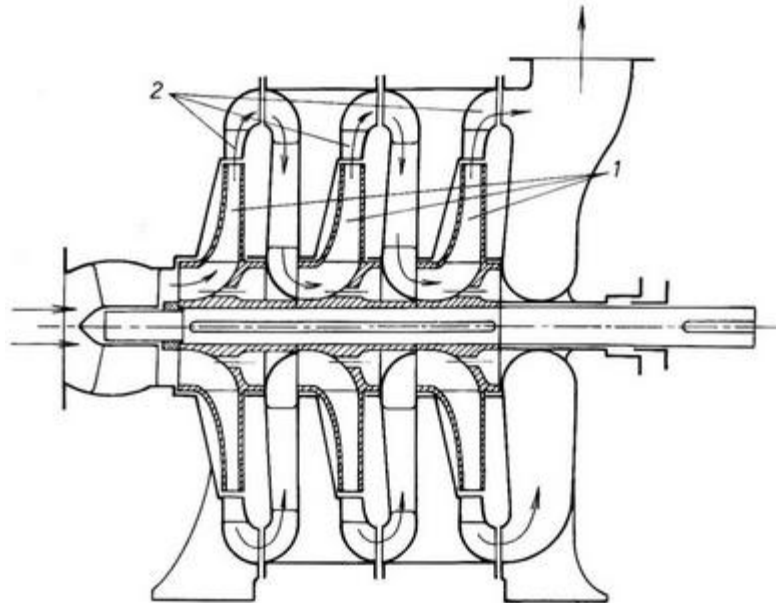
Obr. 7.: Jednostupňové čerpadlo [3]

#### 2.5.3.2. Vícestupňová čerpadla

Vícestupňová čerpadla (Obr. 8) se používají pro čerpání do vyšších výšek. Jsou to čerpadla s více oběžnými koly a převaděči řazenými za sebou, což jim umožňuje dosahovat vyšších tlaků a tím větší výtlačné výšky. Převaděče slouží k převedení



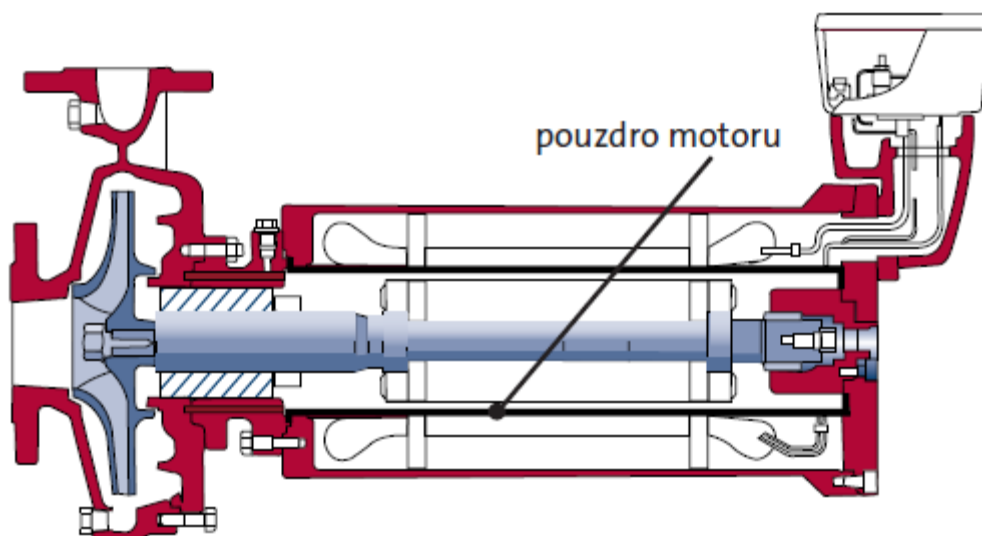
radiálního výstupu kapaliny z jednoho oběžného kola na axiální vstup do následujícího oběžného kola.



*Obr. 8.: Vícestupňové čerpadlo [3]*

### 2.5.3.3. Hermeticky utěsněná čerpadla

Potřeba těsnění hřídele na vstupu je naprostou samozřejmostí. Toto těsnění zajišťuje mechanická ucpávka. Nevýhodou mechanické ucpávky jsou její špatné vlastnosti při čerpání toxických a agresivních kapalin, které mají za následek průsak kapaliny. Tento problém lze do určité míry řešit použitím dvojité mechanické ucpávky. Dalším řešením je použití hermeticky utěsněného čerpadla (Obr. 9).



*Obr. 9.: Hermeticky utěsněné čerpadlo [4]*

#### 2.5.3.4. Čerpadla pro sanitární aplikace

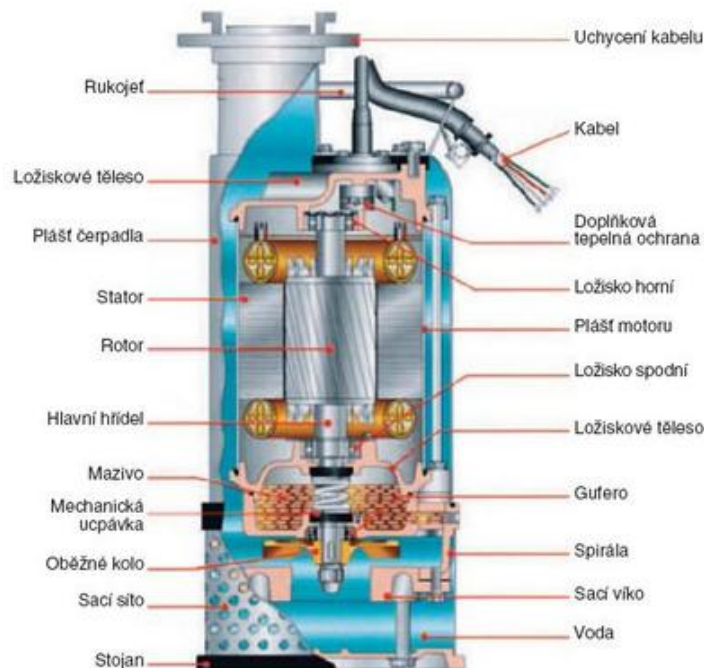
Používají se především v potravinářském a farmaceutickém průmyslu, při výrobě nápojů. Využívají se také v aplikacích, kde je nutné zajistit snadná čistitelnost čerpadla. Aby se vyhovělo technologickým požadavkům těchto průmyslových odvětví, musí vnitřní povrchy čerpadel vykazovat drsnost v rozsahu 3,2 až 0,4  $\mu\text{m Ra}$ . Hlavní výhodou těchto čerpadel (Obr. 10) je snadné čištění a nenáročná údržba.



Obr. 10.: Čerpadlo pro sanitární aplikace [4]

#### 2.5.3.5. Kalová čerpadla

Za normálních okolností musejí být čerpadla určená k čerpání odpadní vody (Obr. 11) schopna čerpat vodu obsahující velkorozměrné pevné složky. Tato čerpadla jsou proto vybavena speciálními oběžnými koly, která představují účinnou prevenci proti zablokování a ucpání čerpadla. Existují různé druhy oběžných kol jako např. jednonábová, dvoukanábová, tří a čtyřkanábová a vírová oběžná kola.



Obr. 11.: Kalové čerpadlo [5]



### 3. Návrh zkušebního zařízení

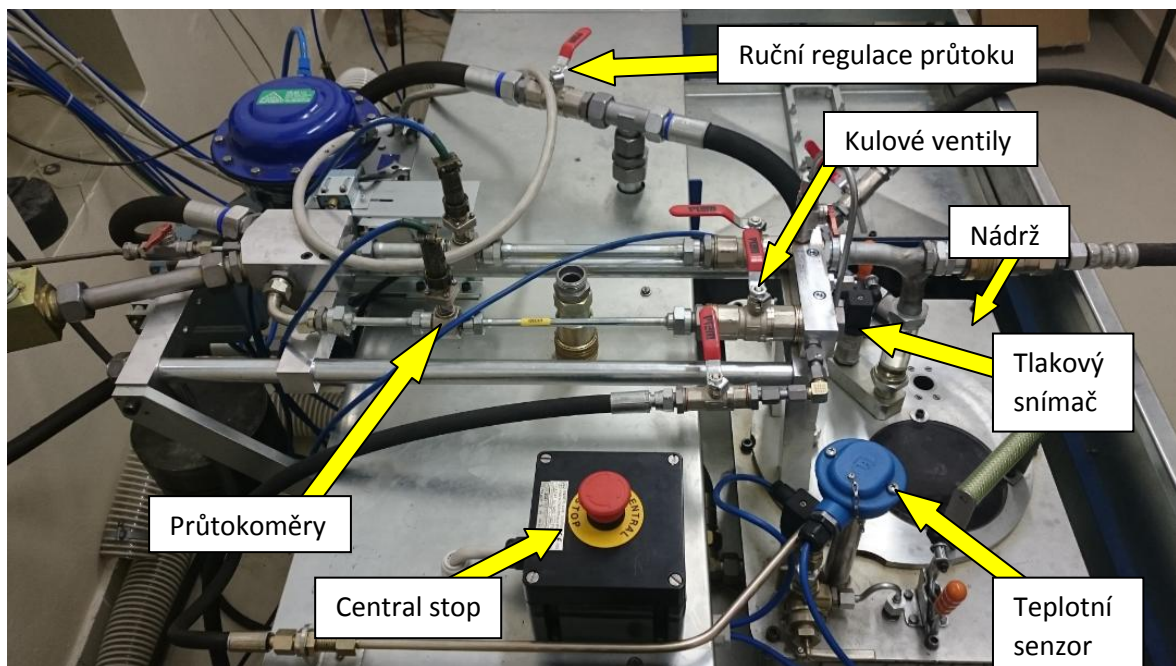
Tato kapitola se zabývá popisem stávajícího zkušebního zařízení, které je umístěno ve zkušebně a analýzou jeho nedostatků. V další části je navrženo hydraulické schéma nového zkušebního zařízení a rozpracováno několik variant návrhu tohoto zařízení. Poté je zde popsáno vybavení, které je na novém zkušebním zařízení nainstalováno. Jedná se o věci jak převzaté ze stávajícího, tak nově nakoupené. Nakonec je zobrazen detailní pohled na nové zkušební zařízení.

#### 3.1. Stávající zkušební zařízení

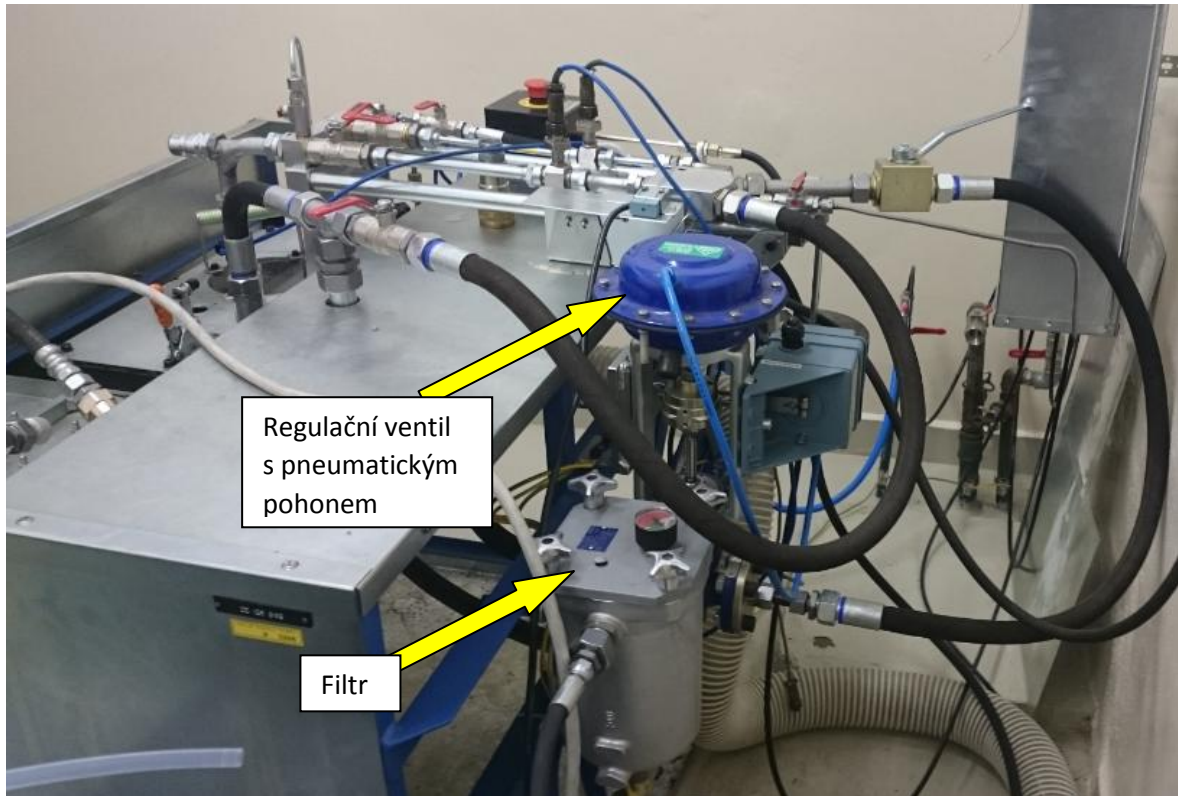
Nové zkušební zařízení bude vycházet z toho stávajícího, proto zde bude podrobněji popsáno.

Zkušební zařízení používá jako pracovní médium letecký petrolej JET A-1. To se nachází v nádrži, ze které je nasáváno čerpadlem, aby se tam po průchodu hydraulickým obvodem zase vrátilo. Zkušební zařízení umožňuje zkoušet jak potrubní, tak ponorné verze čerpadel, jak je vidět na obrázcích (Obr. 14, Obr. 15). Z čerpadla pak jde palivo přímo do jednoho ze dvou turbinkových průtokoměrů. Následně se dostane do větve, kde se bude regulovat průtok. To se děje buď automaticky, pomocí regulačního ventilu s pneumatickým pohonem, nebo manuálně pomocí kulového ventilu. Odtud pak ještě může palivo jít skrz filtr nebo pokračuje rovnou do nádrže. Všechny naměřené hodnoty se zaznamenávají na počítač umístěný ve vedlejší místnosti (Obr. 16).

Při zkoušení se snímají a sledují následující parametry – tlak na výstupu z čerpadla, tlak v nádrži, průtok, proud, napětí a teplota paliva v nádrži.



Obr. 12.: Stávající zkušební zařízení - pohled shora



Obr. 13.: Stávající zkušební zařízení - pohled zezadu



Obr. 14.: Připojené potrubní čerpadlo



Obr. 15.: Připojené ponorné čerpadlo

Na obrázcích (Obr. 14, Obr. 15) je vidět jakým způsobem jsou připojena čerpadla.



*Obr. 16.: Řídící místnost*

### 3.1.1. Nedostatky

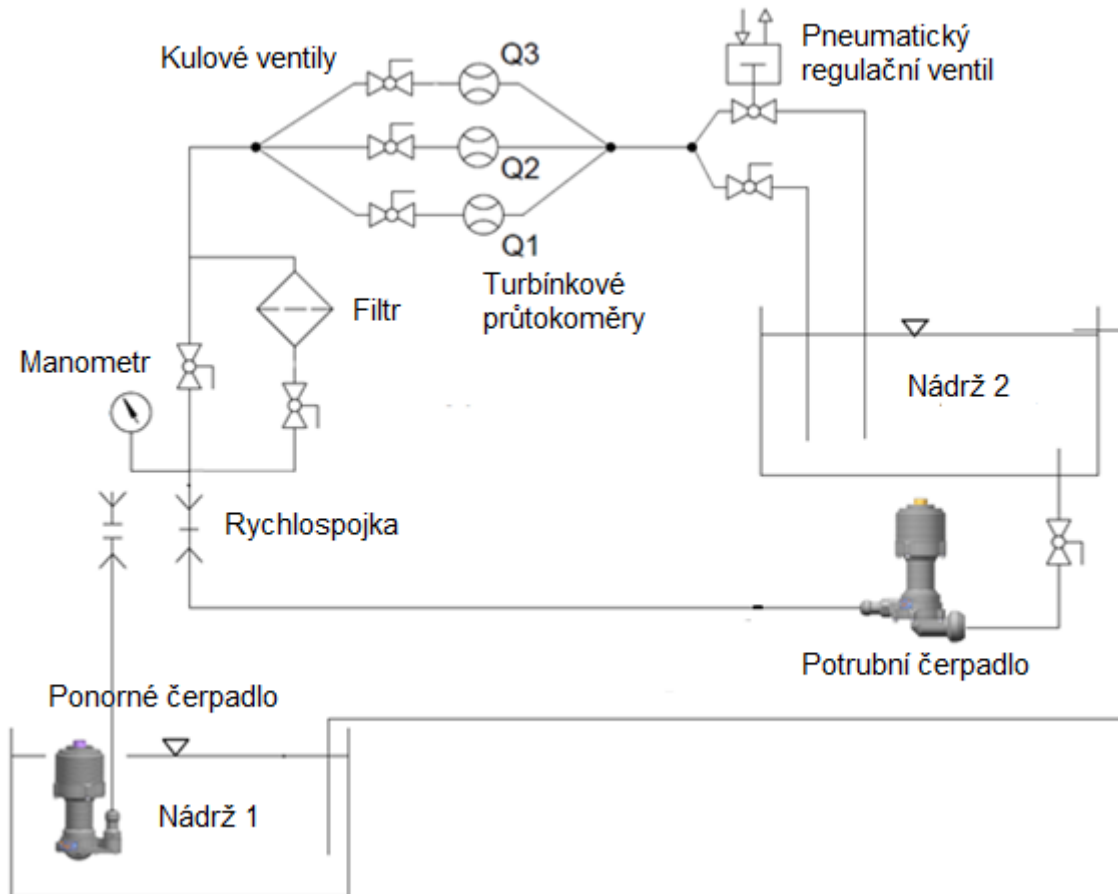
Stávající zkušební má několik nedostatků, které by se měli při návrhu nového odstranit.

- stávající zařízení má pouze jednu nádrž  $\Rightarrow$  menší objem paliva se rychleji může zahřát, což ovlivňuje měřené parametry
- přípojný bod potrubního čerpadla se nachází kousek nad zemí, viz (Obr. 14)  $\Rightarrow$  pro obsluhu je to nepraktické
- jsou zde dva průtokoměry, do 550 l/h a do 1100 l/h  $\Rightarrow$  nelze zkoušet čerpadla s vyššími průtoky
- filtr se nachází až za průtokoměry  $\Rightarrow$  průtokoměry jsou citlivé na hrubé nečistoty, proto je potřeba, aby do nich vstupovalo čisté palivo
- chybí zde ovládací panel, na kterém by byly umístěny jak ovládací prvky, tak přístroje ukazující naměřené hodnoty



### 3.2. Hydraulické schéma

Na (Obr. 17) je vidět navržené hydraulické schéma nového zkušebního zařízení. Pro jednoduchost je ve schématu zakresleno jak potrubní čerpadlo, tak i ponorné. Ve skutečnosti bude zkoušeno vždy jen jedno z nich.

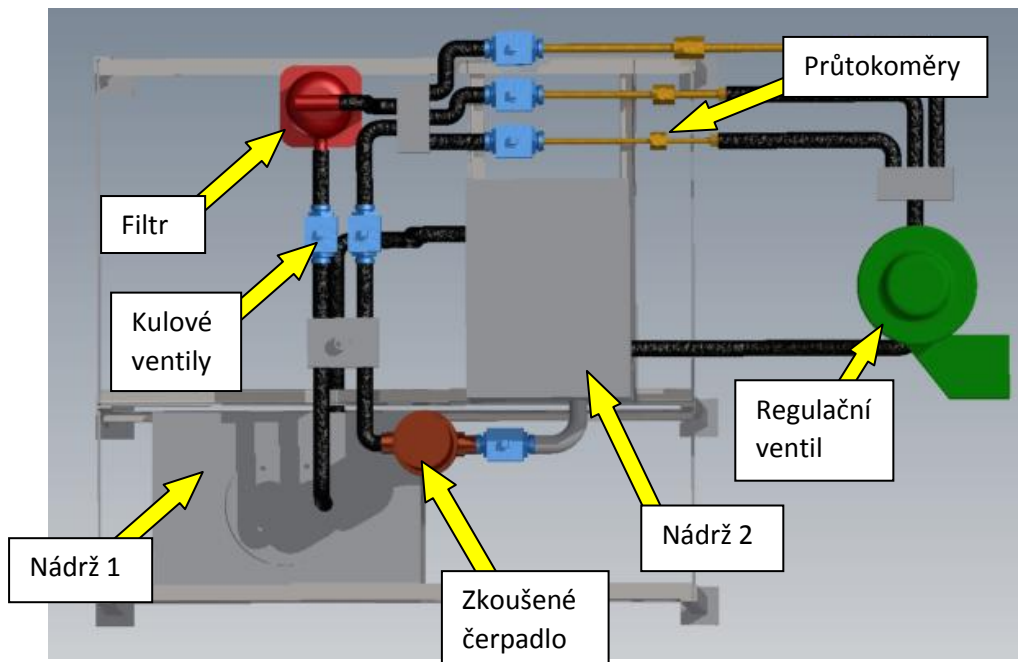


Obr. 17.: Hydraulické schéma zkušebního zařízení

Čerpadlo nasává palivo z nádrže (ponorné z nádrže 1; potrubní z nádrže 2) a posílá ho cestou přes filtr. Je zde možnost i obejití filtru, ale kvůli průtokoměrům je lepší, když palivo prochází přes filtr, aby zachytil případné nečistoty. Při zkoušení musí být samozřejmě otevřena jen jedna z těchto cest. Filtr je umístěn před turbínovými průtokoměry, aby nečistoty nemohly negativně ovlivňovat hodnoty odečítané z průtokoměrů. Podle typu zkoušeného čerpadla a průtoků, kterých toto čerpadlo dosahuje, pak prochází palivo skrz jeden zvolený kulový ventil a následně i průtokoměr. Za průtokoměrem je průtok paliva škrcen pomocí pneumatického regulačního ventilu, který je řízen počítačem, nebo pomocí kulového ventilu. Ten je ovládán zkušební osobou manuálně. Palivo se shromažďuje v nádrži 2. Pokud se hladina dostane až k přepadu, tak palivo samovolně odtéká do nádrže 1. Nádrž 2 proto musí být umístěna nad nádrží 1.

### 3.3. Koncepční návrhy

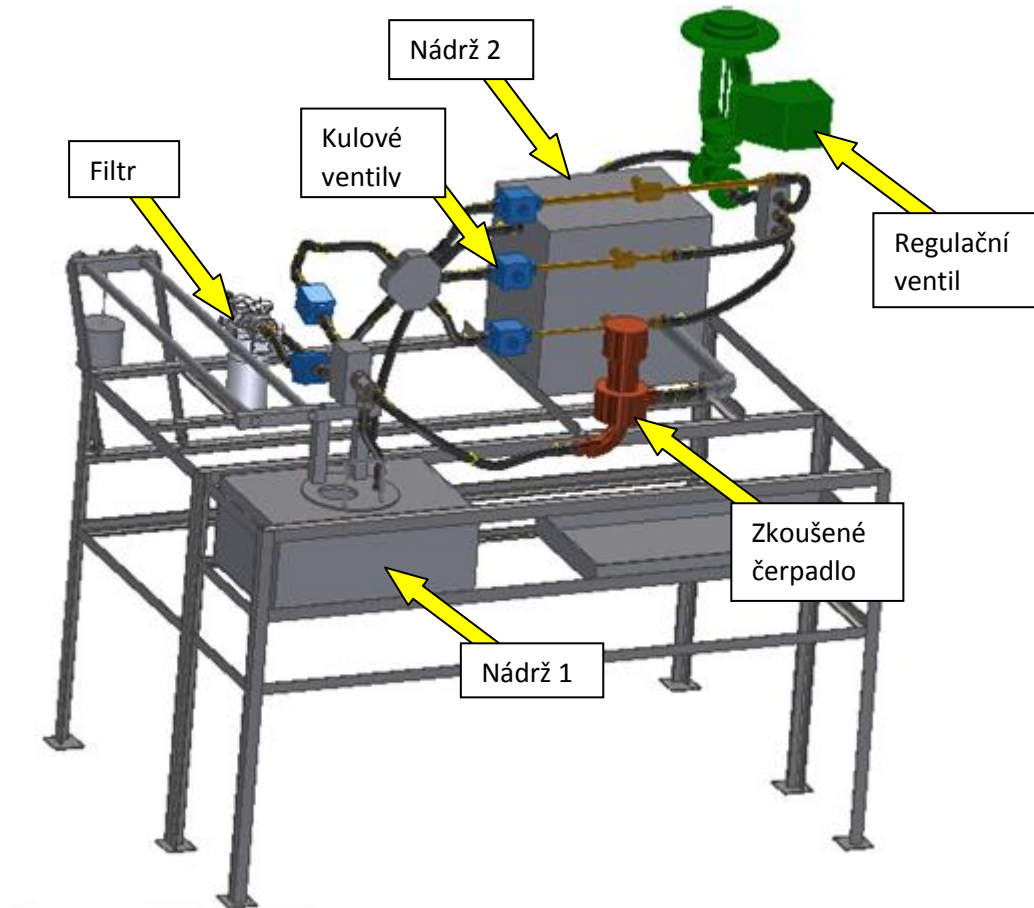
Nové zkušební zařízení vychází z původního, aby se dalo použít co nejvíce stávajícího vybavení. Při navrhování jsem se nejdříve snažil vytvořit jednoduchý rám, který vycházel rozměrově z původního zkušebního zařízení (délka-1100 mm, šířka-800 mm, výška-910 mm). A k němu rozmístit všechny hydraulické prvky, které jsou vidět v hydraulickém schématu (Obr. 17). Hydraulické prvky byly rozmístěny s ohledem na to, aby vzdálenosti mezi nimi byly co možná nejkratší. Čím delší trasu musí kapalina urazit, tím zároveň rostou tlakové ztráty v obvodu.



Obr. 18.: První návrh nového zkušebního zařízení – pohled shora

Z obrázku (Obr. 18) je patrné, že rozměry rámu jsou zde nedostačující, a budou se muset zvětšit. Při tomto rozestavení jsou kulové kohouty, kterými se řídí tok průtokoměry obtížně dosažitelné.

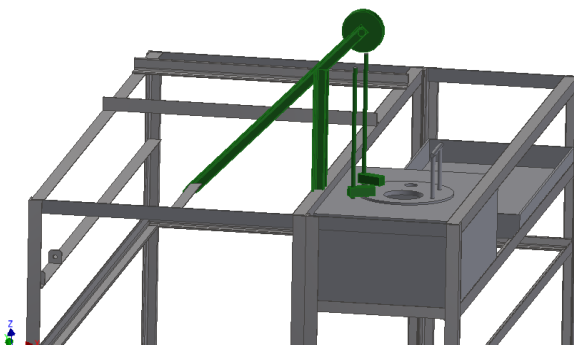
Ve druhém návrhu (Obr. 19) jsou proto tyto nedostatky zohledněny.



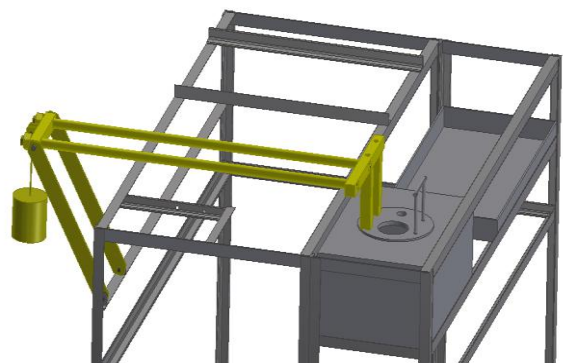
Obr. 19.: Druhý návrh nového zkušebního zařízení

Ve druhé variantě se zvětšily rozměry rámu, tak aby se tam vešly všechny použité prvky. Také se přesunuly průtokoměry a k nim připojené kulové ventily před nádrž 2, aby už byly pro obsluhu přístupné. Aby se ušetřilo nějaké místo, tak jsou průtokoměry umístěny nad sebou. Druhý návrh bude podrobněji rozpracován v další kapitole.

V dalším postupu se zvažovaly dvě varianty otevírání víka u nádrže 1. K víku nádrže se připojuje ponorné čerpadlo. Otevírání víka by tedy mělo být jednoduché a rychlé.



Obr. 20.: Otevírání pomocí kladky



Obr. 21.: Otevírání pomocí výklopného ramene

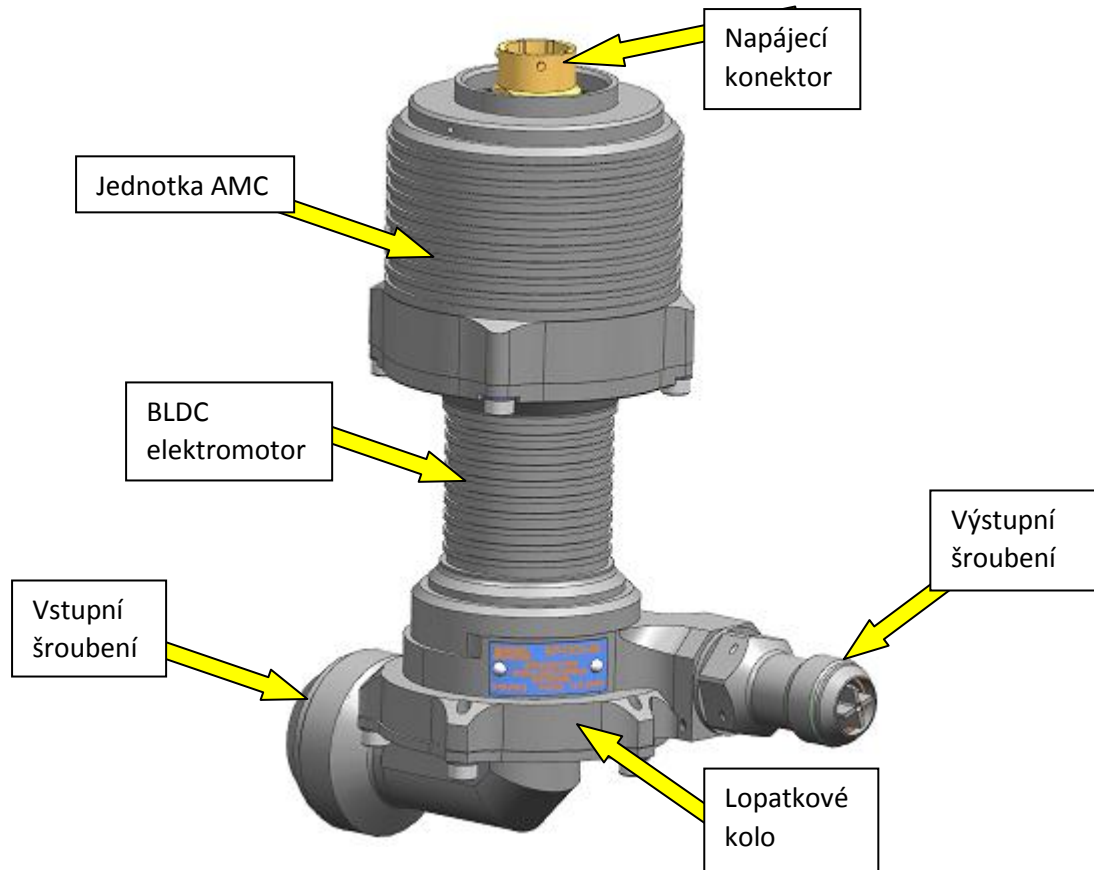
Na obrázku (Obr. 20) je znázorněno otevírání víka pomocí kladkového mechanismu. Víko by v tomto případě bylo připojeno lankem přes kladku k navijáku, který řídil zvedání a spouštění. Toto řešení bylo zavrženo z důvodu zbytečné složitosti a zároveň pomalé manipulaci ve srovnání s variantou na druhém obrázku (Obr. 21). Jako lepší řešení se tedy ukázalo ponechání stávajícího způsobu otevírání, kdy je víko nadzvedáváno výklopným ramenem s protizávažím. Tato varianta je dosti jednoduchá, protože spoléhá pouze na sílu a rychlost obsluhy.

### **3.4. Použité prvky a přístroje**

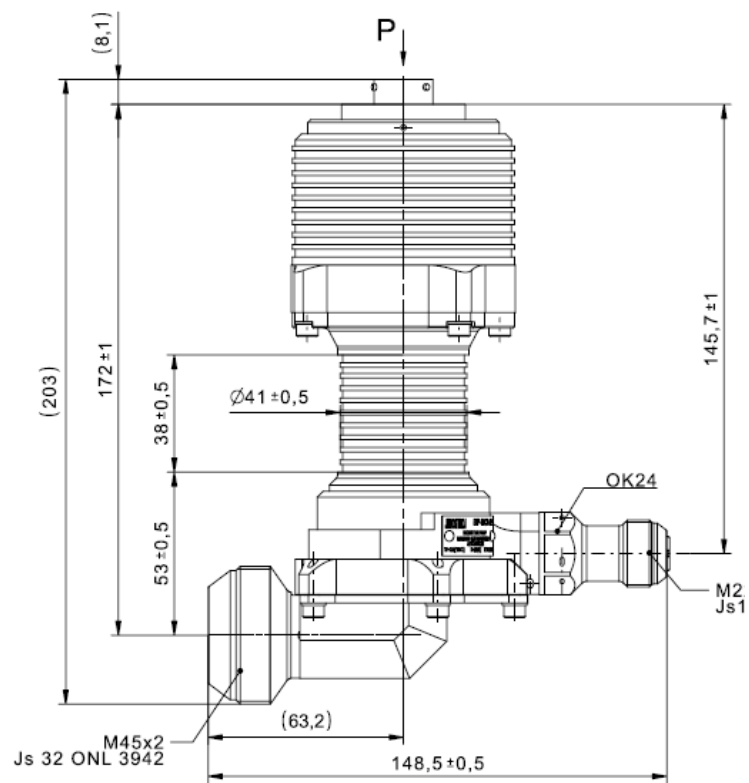
#### **3.4.1. Zkoušená čerpadla**

Zkušební zařízení je konstruováno tak, aby zde bylo možno zkoušet všechny verze odstředivých čerpadel vyráběných v Jihostroji, a.s. Čerpadla se dají rozdělit do dvou kategorií, podle jejich umístění v palivové soustavě. První kategorii představují čerpadla připojující se k palivovému potrubí, která se označují jako In-Line (Obr. 22 a Obr. 23). Druhým typem jsou čerpadla, která jsou umístěna přímo v palivové nádrži a jsou zaplavena palivem. Ty se označují jako In-Tank (Obr. 24 a Obr. 25).

Obě verze fungují na stejném principu s tím rozdílem, že u potrubní verze je palivo nasáváno přes vstupní šroubení, zatímco u ponorné verze je palivo nasáváno sacím otvorem. Poté prochází palivo přes lopatkové kolo, které je uchyceno přímo na hřídeli elektromotoru a následně odchází výstupním šroubením. Čerpadla jsou poháněna bezkartáčovým elektromotorem, který je napájen stejnosměrným proudem. Tyto elektromotory mají zkratu BLDC (Brushless DC Electric Motor). Elektromotor je vybaven řídicím systémem palivového čerpadla AMC (Analog Control Motor System). Jednotka AMC má řídicí funkci, kdy nastavuje rozběh, otáčky a maximální proudovou spotřebu. Zároveň má také funkci kontrolní, takže odpojuje elektromotor při překročení definované teploty, omezuje proudový odběr a odpojuje elektromotor při podpětí.

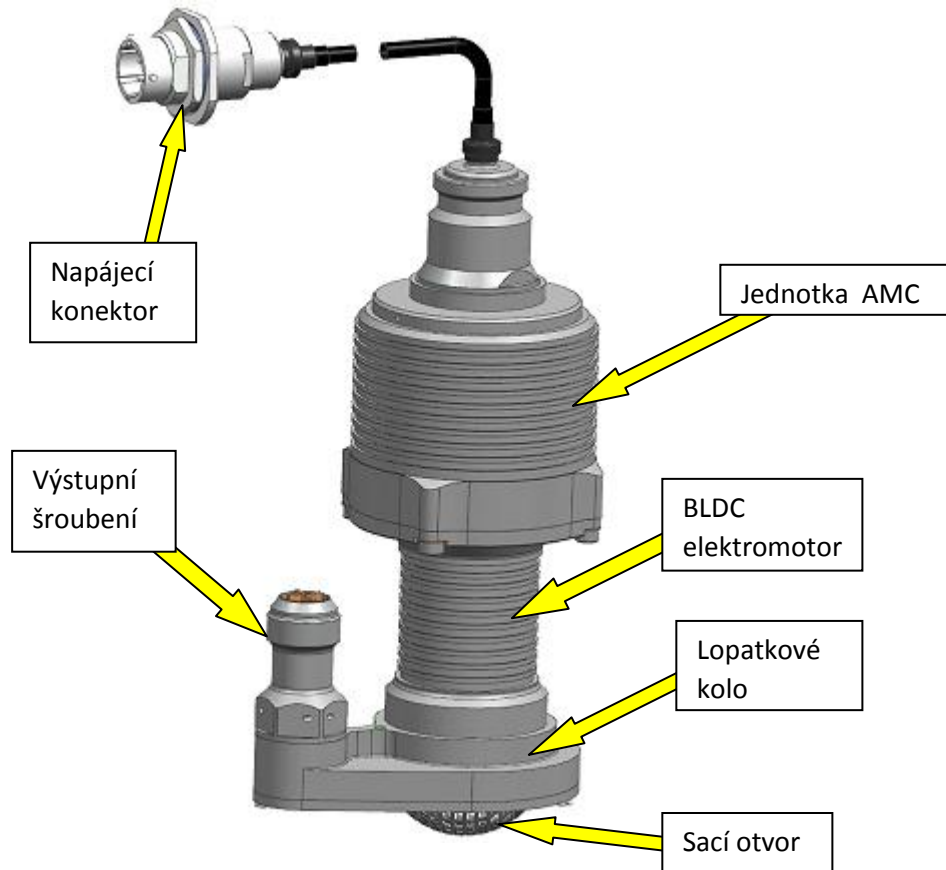


Obr. 22.: Potrubní verze čerpadla

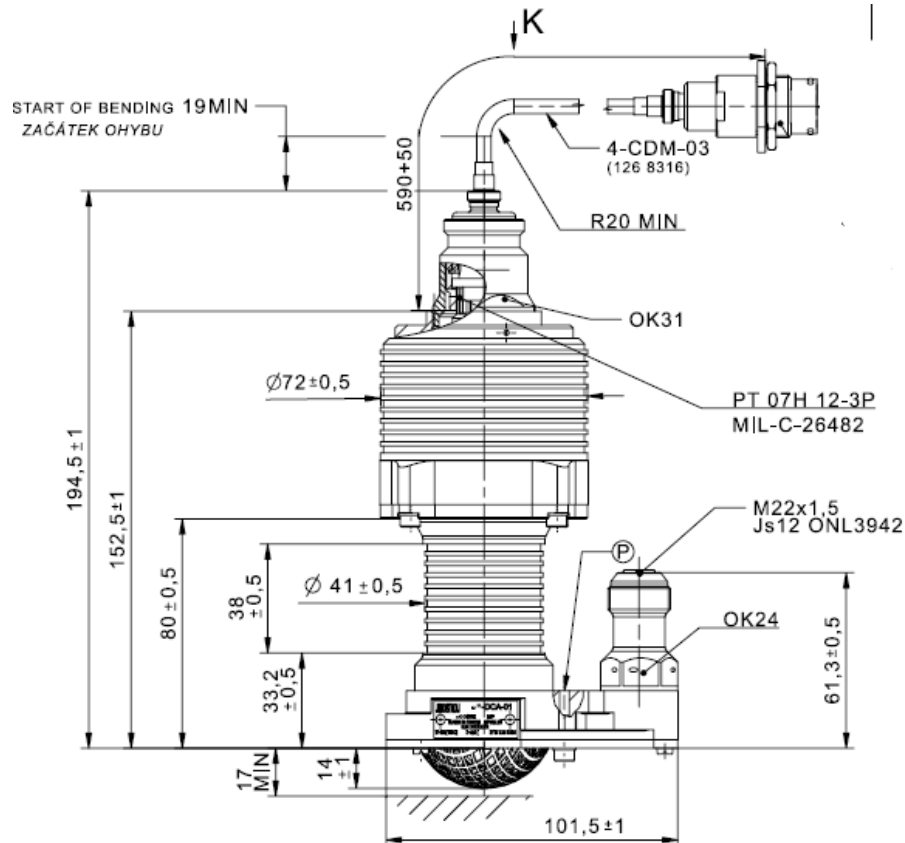


Obr. 23.: Zastavovací výkres – potrubní verze





Obr. 24.: Ponorná verze čerpadla



Obr. 25.: Zastavovací výkres – ponorná verze

Tab. 1.: Provozní parametry čerpadel

|   | Ponorné čerpadlo | Potravní čerpadlo |
|---|------------------|-------------------|
| Jmenovité napětí [V]                                  | 28               | 28                |
| Jmenovitý proud [A]                                   | 6                | 6                 |
| Minimální výstupní tlak [kPa] při daném U[V] a Q[l/h] |                  |                   |
| U=28 ±0,5 V; Q=0 l/h                                  | 130              | 130               |
| U=28 ±0,5 V; Q=600±50 l/h                             | 120              | 120               |
| U=28 ±0,5 V; Q=900±50 l/h                             | -                | 100               |
| U=30,3 ±0,5 V; Q=600±50 l/h                           | 120              | 120               |
| U=18 ±0,5 V; Q=600±50 l/h                             | 100              | 100               |

### 3.4.2. Převzaté prvky

Je snaha zachovat co možná nejvíce původního vybavení, aby se snížila cena nově vyráběného zkušebního zařízení.

#### 3.4.2.1. Kulový ventil

Kulové ventily (Obr. 26) jsou v obvodu umístěny proto, aby se dal usměrňovat tok paliva v hydraulickém obvodu. Zároveň je kulový ventil použit i k ruční regulaci průtoku. Pro připojení kulových ventilů slouží dvojice vnitřních trubkových závitů G 3/4". Mohou pracovat při teplotách od -20 °C do 150 °C. Kulové ventily vyrábí firma WESA Armaturen GmbH.



Obr. 26.: Kulový ventil [6]

| 604             | Female / female thread, stainless steel shift handle, red plastic-sheathed, with stainless steel nut |      |      |      |    |        |        |     |        |     |     |
|-----------------|--|------|------|------|----|--------|--------|-----|--------|-----|-----|
| F / F / inch    | 1/4"   | 3/8" | 1/2" | 3/4" | 1" | 1 1/4" | 1 1/2" | 2"  | 2 1/2" | 3"  | 4"  |
| Diameter / Ø    | 8  | 10   | 15   | 20   | 25 | 32     | 40     | 50  | 65     | 80  | 100 |
| Design le. / mm | 42   | 42   | 50   | 55   | 68 | 76     | 84     | 106 | 130    | 146 | 210 |
| Pressure / bar  | 40   | 40   | 40   | 40   | 32 | 25     | 20     | 20  | 16     | 16  | 16  |

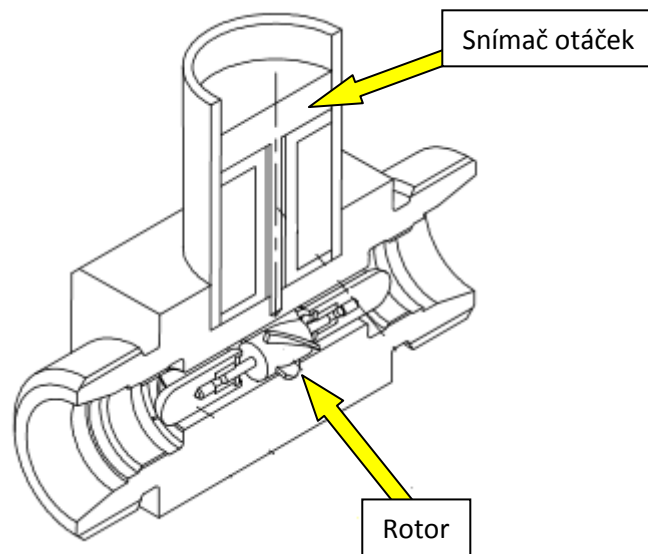
Obr. 27.: Vybraný model [6]

### 3.4.2.2. Turbinkové průtokoměry

Princip měření je velice jednoduchý a spočívá v tom, že kapalina procházející průtokoměrem (Obr. 28) působí na lopatky rotoru a roztáčí je. Počet otáček závisí na množství proteklé kapaliny, a otáčky za jednotku času udávají okamžitý průtok. Otáčky rotoru jsou snímány bezkontaktně pomocí změny magnetického toku, která je způsobena otáčením rotoru.

Jednou z nevýhod tohoto způsobu měření je, že nelze měřit průtok úplně od nuly. Kapalina procházející průtokoměrem by neměla obsahovat velké nečistoty (max. do 0,5 mm), protože by mohly poškodit lopatky rotoru, a tím výrazně snížit životnost průtokoměru. Z toho důvodu je doporučeno umístit před průtokoměr filtr, aby tyto nečistoty zachytil.

V obvodu jsou umístěny tři průtokoměry s rozsahy 110-550 l/h, 220-1100 l/h a 800-4000 l/h. Přesnost měření u prvních dvou je  $\pm 1\%$  a u třetího je to  $\pm 0,5\%$ . Jedná se o modely TURBOQUANT-R od firmy MULTITool. Průtokoměry se nacházejí za zkoušeným čerpadlem a měří průtok, který čerpadlo dodává. Při zkoušení prochází palivo pouze přes jeden průtokoměr, zbylé dva jsou uzavřené pomocí kulových ventilů.



Obr. 28.: Řez turbinkovým průtokoměrem [7]

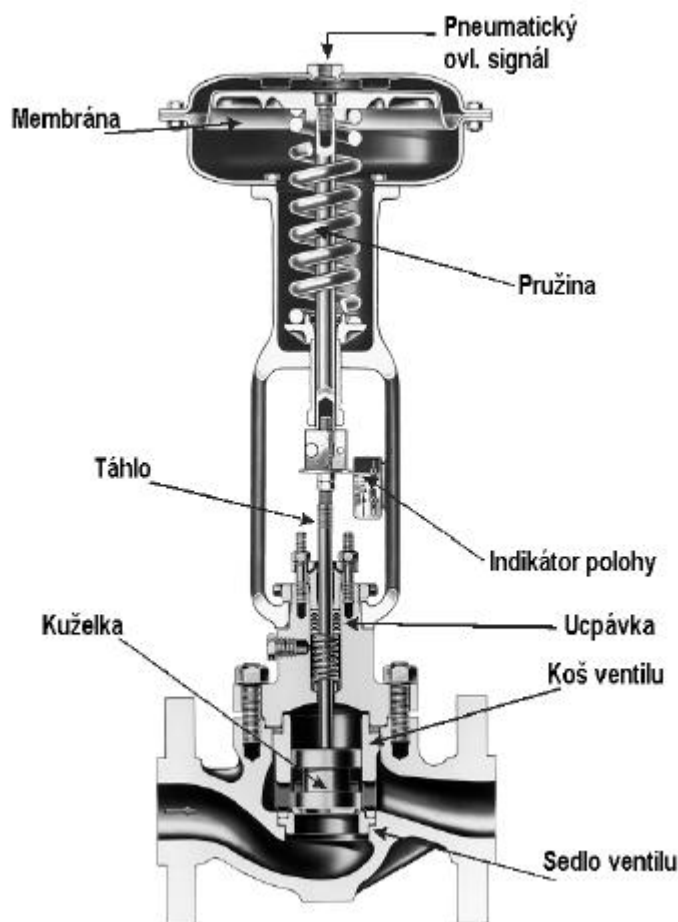
| DN<br>(mm) | Max. flowrate<br>(m <sup>3</sup> /h) | Cal. Factor <sup>(1)</sup><br>(imp/m <sup>3</sup> ) | Frequency <sup>(1)(2)</sup><br>(Hz) | Signal level <sup>(2)</sup><br>(mV <sub>eff</sub> ) | Pressure drop <sup>(3)</sup><br>(bar) |
|------------|--------------------------------------|---|-------------------------------------|---|---------------------------------------|
| 6          | 0,275                                | 17 000 000  | 1300                                | 40  | 0,4                                   |
| 6          | 0,55                                 | 8 500 000   | 1300                                | 40  | 0,4                                   |
| 12         | 1,1                                  | 4 090 000   | 1250                                | 60  | 0,35                                  |
| 15         | 2,2                                  | 1 960 000   | 1200                                | 80  | 0,35                                  |
| 15         | 4                                    | 1 080 000   | 1200                                | 80  | 0,35                                  |
| 18         | 8                                    | 562 000/173 200                                     | 1250/385                            | 200   | 0,35                                  |
| 25         | 16                                   | 259 000/99 000                                      | 1150/440                            | 200   | 0,3                                   |

Obr. 29.: Vybrané průtokoměry [7]

### 3.4.2.3. Regulační ventil s pneumatickým pohonem

Regulační ventil (Obr. 30) slouží k regulaci a uzavírání průtoku média v závislosti na poloze kuželky vůči sedlu. Jako ovládací signál zde slouží tlak vzduchu, který působí na membránu pohonu. Ta je spojena přes pružinu a táhlo s kuželkou, takže se změnou regulačního tlaku dojde k přemístění kuželky.

Regulační ventil je v hydraulickém obvodu umístěn za průtokoměry. Většinou se ale k regulaci průtoku používá manuální ovládání, které je realizováno pomocí kulového ventilu. Jedná se o model RV 220 od firmy LDM, spol. s. r.o. Funkce pohonu je přímá. To znamená, že při výpadku ovládacího vzduchu dojde k zasunutí táhla do modulu pohonu, a tím k otevření ventilu.



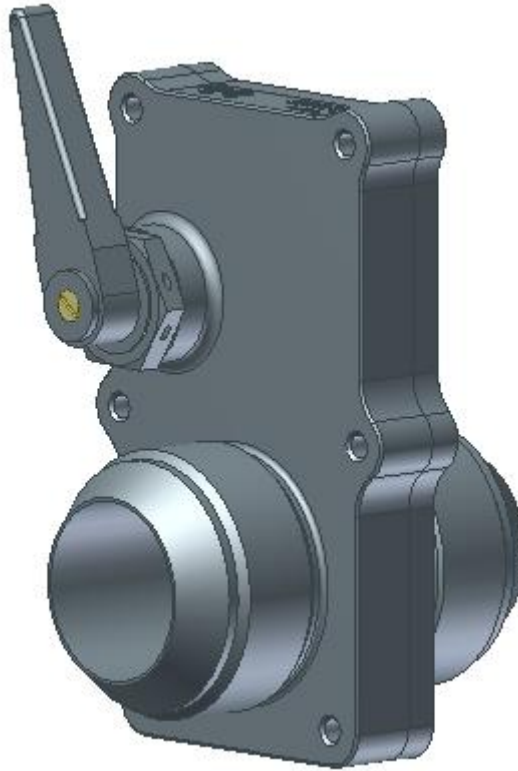
Obr. 30.: Řez regulačním ventilem [8]

|  |                          |            |            |            |            |
|--|--------------------------|------------|------------|------------|------------|
| Další informace o ovládací viz katalogové listy pohonů | Pneumatický pohon        | PA 127     |            | PA 252     |            |
|  | Označení pohonu          | BADxAA     | BFYxZA     | BADxAA     | BVCxZA     |
|  | Funkce pohonu            | přímá      | nepřímá    | přímá      | nepřímá    |
|  | Rozsah pružin [bar]      | 0,2 - 1,0  | 2,0 - 4,8  | 0,2 - 1,0  | 1,5 - 2,7  |
|  | Nastavení pružin [bar]   | 0,2 - 0,84 | 2,56 - 4,8 | 0,2 - 0,84 | 1,75 - 2,7 |
|  | Napájecí tlak [bar]      | 6,0        | 5,0        | 3,0        | 2,9        |
|  | Označení v typovém čísle | PFF        |            | PFA        |            |
|  | Osová síla               | 6,2 kN     | 3,2 kN     | 4,9 kN     | 4,35 kN    |

Obr. 31.: Vybraný model regulačního ventilu [8]

#### **3.4.2.4. Uzavírací šoupátko**

Uzavírací šoupátko (Obr. 32) je výrobek firmy Jihostroj, a.s. Má jen dvě polohy, a sice otevřeno a zavřeno. Šoupátko se otevírá jen tehdy, když je ke zkušebnímu zařízení připojeno potrubní čerpadlo. Jinak je po celou dobu zavřené, a uzavírá tak cestu z nádrže 2.

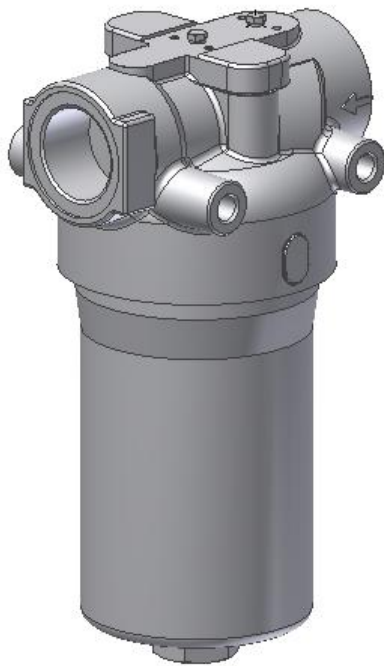


*Obr. 32.: Uzavírací šoupátko*

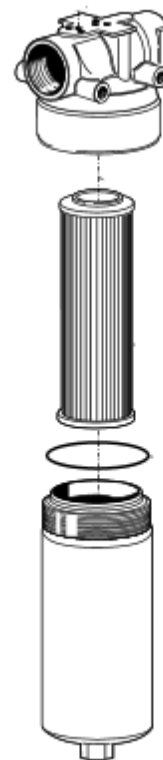
### 3.4.2.1. Palivový filtr

Palivový filtr (Obr. 33) je v hydraulickém obvodu umístěn před průtokoměry, aby je chránil před nečistotami, které se mohou do paliva dostat.

Vybraný model má označení D 162-283 a vyrábí ho firma ARGO HYTOS. Pracuje při tlaku 0-40 bar a průtoku až 350 l/min. Dokáže zachytit nečistoty od velikosti 5 $\mu$ m. K připojení slouží dvojice trubkových závitů G 1 1/4. Při montáži filtru je nutné, aby pod ním zůstalo nějaké volné místo. To je z důvodu výměny filtrační vložky, které se provede po odšroubování spodního dílu filtru.



Obr. 33.: Palivový filtr [9]



Obr. 34.: Palivový filtr-rozložený [9]

| Part No.  | Nominal flow rate | Pressure drop see diagram D1 | Filter fineness see diagr. Dx | Dirt-holding capacity | Connection A/B | Cracking pressure of bypass | Symbol | Replacement filter element Part No. | Weight | Clogging indicator | Remarks |
|-----------|-------------------|------------------------------|-------------------------------|-----------------------|----------------|-----------------------------|--------|-------------------------------------|--------|--------------------|---------|
| 1         | l/min             | 3                            | 4                             | g                     | bar            | 7                           | 8      | 9                                   | 10     | 11                 | 12      |
| D 162-253 | 85                | D1/1                         | 5EX2                          | 24                    | G1¼            | 3,5                         | 4      | V3.0817-03                          | 2,4    | optional           | -       |
| D 162-256 | 140               | D1/2                         | 10EX2                         | 33                    | G1¼            | 3,5                         | 4      | V3.0817-06                          | 2,4    | optional           | -       |
| D 162-258 | 200               | D1/3                         | 16EX2                         | 33                    | G1¼            | 3,5                         | 4      | V3.0817-08                          | 2,4    | optional           | -       |
| D 162-251 | 220               | D1/4                         | 30P                           | 18                    | G1¼            | 3,5                         | 4      | P3.0817-01*                         | 2,4    | optional           | -       |
| D 162-283 | 160               | D1/5                         | 5EX2                          | 24                    | G1¼            | 7                           | 4      | V3.0817-03                          | 2,4    | optional           | -       |
| D 162-286 | 250               | D1/6                         | 10EX2                         | 33                    | G1¼            | 7                           | 4      | V3.0817-06                          | 2,4    | optional           | -       |

Obr. 35.: Vybraný model palivového filtru [9]

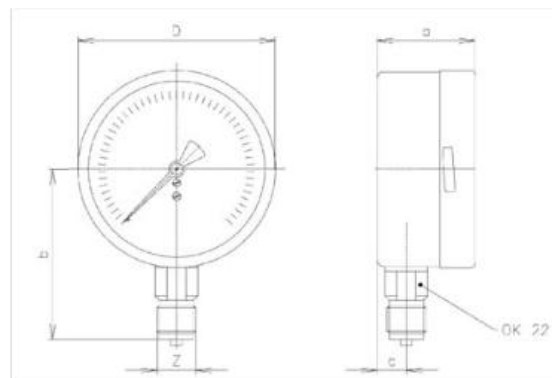
### 3.4.3. Nakupované prvky

#### 3.4.3.1. Manometr

Manometr (Obr. 36) slouží v hydraulickém obvodu pro měření tlaku na výstupu z čerpadla. Vybraný manometr je použitelný jak pro plynná, tak pro kapalná média. Pracuje v rozsahu teplot okolního prostředí od  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  do  $+60\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Pracovní médium může mít maximální teplotu  $+60\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Připojovací šroubení má trubkový závit  $G1/2''$ . Třída přesnosti přístroje je 1. Rozsah číselníku je zde pouze orientační, protože výstupní tlak dosahuje hodnot do 200 kPa, takže by se ručička pohybovala jen v počáteční oblasti rozsahu. To by znamenalo větší relativní chybu měření. Manometr byl vybrán od firmy ZPA Nová Paka, a.s.



Obr. 36.: Manometr [10]



D - 101 mm  
 a - 49 mm  
 b - 86 mm  
 c - 16 mm

Obr. 37.: Rozměry manometru [10]

#### 3.4.3.1. Univerzální programovatelný přístroj

Na obrázku (Obr. 38) je šestimístný panelový programovatelný čítač impulsů/měřič kmitočtu s označením OM 602UQC. Výrobce je firma ORBIT MERRET, spol. s.r.o. Pracuje v rozsahu 0-60 V a 0,001 Hz-1 MHz s přesností  $\pm 0,01\%$ . Na zkušebním zařízení se nachází tři tyto přístroje, přičemž jeden ukazuje průtok, druhý teplotu paliva v nádrži 1 a třetí ukazuje teplotu v nádrži 2.



Obr. 38.: Univerzální programovatelný přístroj [11]



### 3.4.3.2. Kulový ventil s prodlouženou hřídelkou

Kulové ventily (Obr. 39) s prodlouženou hřídelkou jsou v obvodu umístěny před průtokoměry a umožňují palivu, aby protékalo vždy jen přes jeden průtokoměr. Celkem jsou zde tři. Jelikož jsou samotné průtokoměry skryty až za řídicím panelem, je nutné, aby kulové ventily měly prodlouženou hřídelku. Tím se zajistí, že ovládací páčka bude vyvedena až před ovládací panel a obsluha ji bude moci snadno ovládat.



Obr. 39.: Kulový ventil s prodlouženou hřídelkou [6]

| 758             |  | Ball valve with shaped spindle extension, Female / female thread, steel shift handle, red plastic-sheathed |      |    |        |        |     |
|-----------------|--|--|------|----|--------|--------|-----|
| F / F / inch    |  | 1/2"   | 3/4" | 1" | 1 1/4" | 1 1/2" | 2"  |
| Diameter / Ø    |  | 15   | 20   | 25 | 32     | 40     | 50  |
| Design le. / mm |  | 61   | 70   | 86 | 98     | 108    | 130 |
| Spindell. / mm  |  | 50   | 54   | 56 | 55     | 57     | 58  |
| Pressure / bar  |  | 40   | 32   | 32 | 25     | 20     | 16  |

Obr. 40.: Vybraný model [6]

### 3.4.3.3. Tlakový snímač

Jedná se o převodník relativního tlaku na výstupní elektrický signál. Výstupní signál může být proudový, pokud se jedná o dvou vodičové zapojení nebo napěťový, pokud je zapojení třívodičové. Snímač (Obr. 41) pracuje v rozsahu 0-6 bar s přesností  $\pm 0,5\%$ . Označení tlakového snímače 18.600 G a výrobcem je firma BD SENSORS. Snímač je umístěn za čerpadlem a zjišťuje výstupní tlak z čerpadla.



Obr. 41.: Tlakový snímač [12]



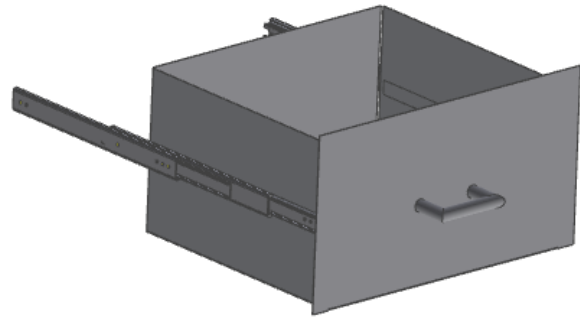
### 3.4.3.4. Teleskopické lišty

Teleskopické lišty slouží jako funkční konstrukční celek pro zásuvku. Tyto lišty jsou schopny plného vysunutí, a to až do vzdálenosti 530 mm. Maximální zatížení, které mohou unést je 51 kg. Lišty vyrábí firma HEINRICH KIPP WERK KG.

Teleskopické lišty jsou umístěny na rámu. Na nich je přišroubovaná zásuvka, které se může vysouvat. Zásuvka může sloužit jako úložný prostor, například pro odkládání náradí.



Obr. 42.: Teleskopické lišty [13]

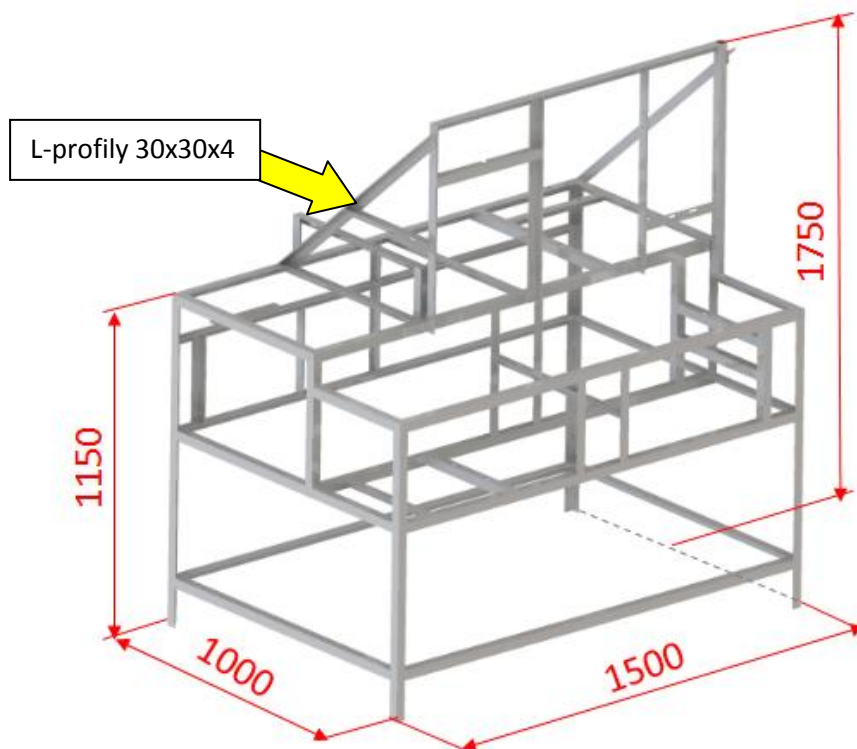


Obr. 43.: Zásuvka s lištami

## 3.5. Nové zkušební zařízení

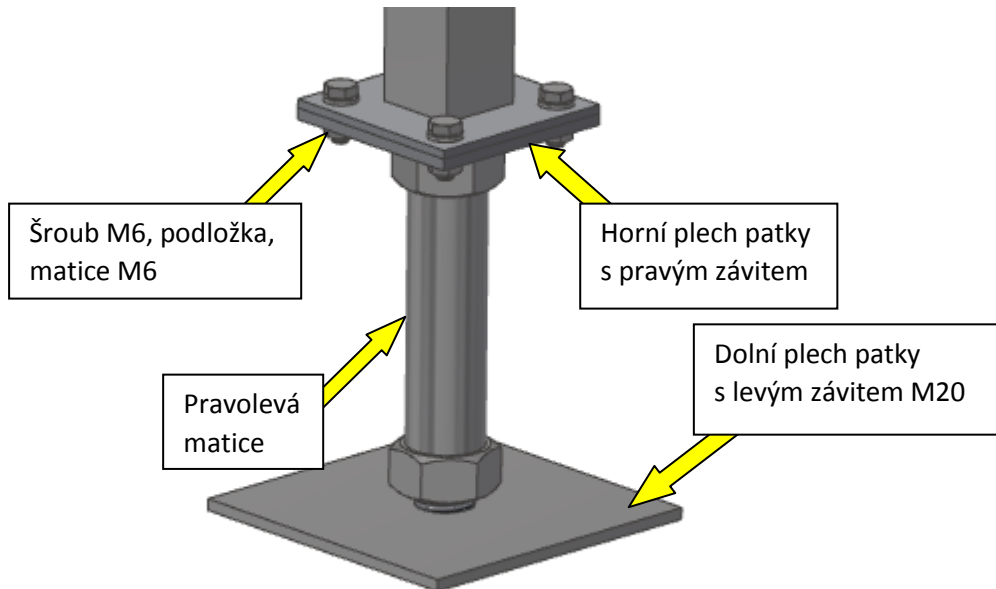
### 3.5.1. Rám

Základem zkušebního zařízení je svařovaný ocelový rám (Obr. 44). Rám je tvořen z rovnoramenných L-profilů 30x30x4 dle ČSN EN 10056. Samotný rám váží 68 kg.



Obr. 44.: Svařovaný rám

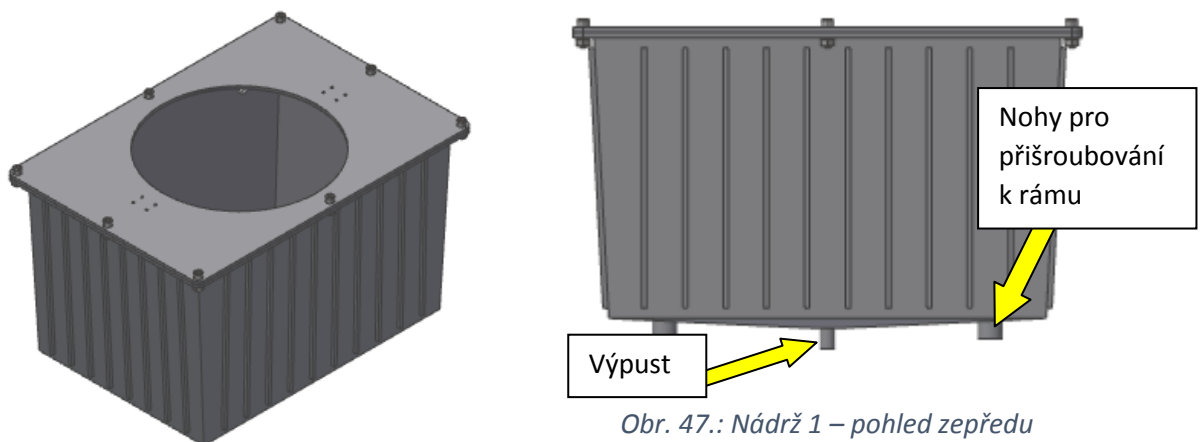
Kvůli možným výrobním nepřesnostem nebo nerovnostem povrchu, kde bude zkušební zařízení stát, nachází se u každé nohy výškově nastavitelná patka. Ta je přišroubována k plechu 70x70, který je k noze rámu přivařen. Samotná patka má výšku 140 mm a dá se prodloužit až o 80 mm.



*Obr. 45.: Nastavitelná patka*

### 3.5.2. Nádrže a odkapová vana

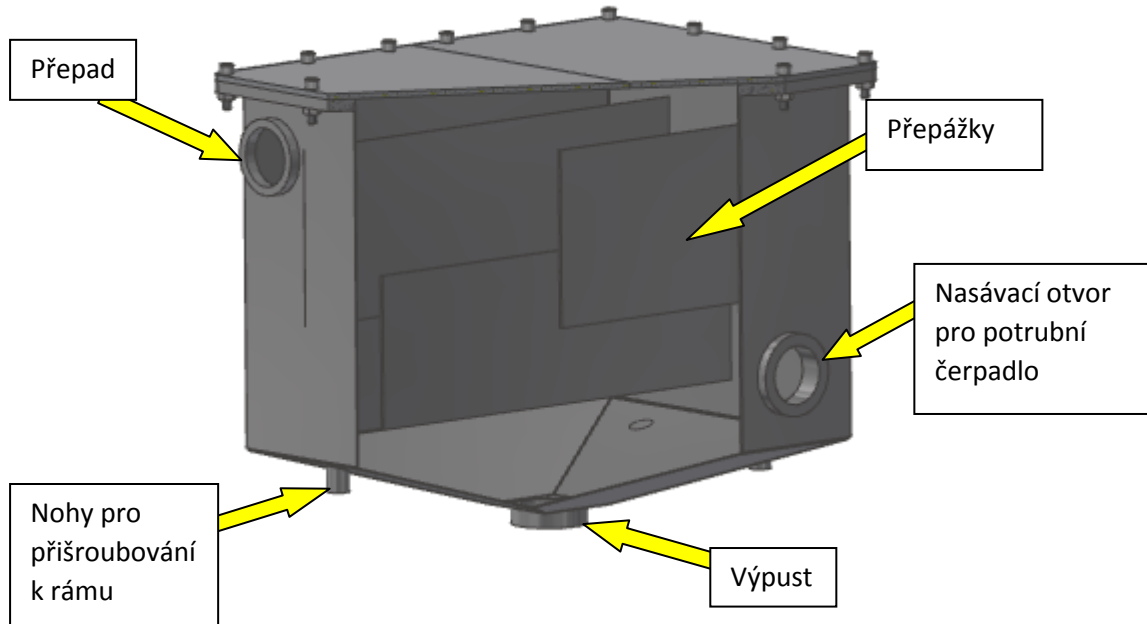
Zkušební zařízení obsahuje dvě nádrže. Nádrž 1 (Obr. 46) je kupovaná. Její celkový objem je 36 l, ale naplněna je tak ze dvou třetin. Nádrž je vyspádovaná k odtoku, aby bylo možná vypustit palivo.



*Obr. 46.: Nádrž 1*

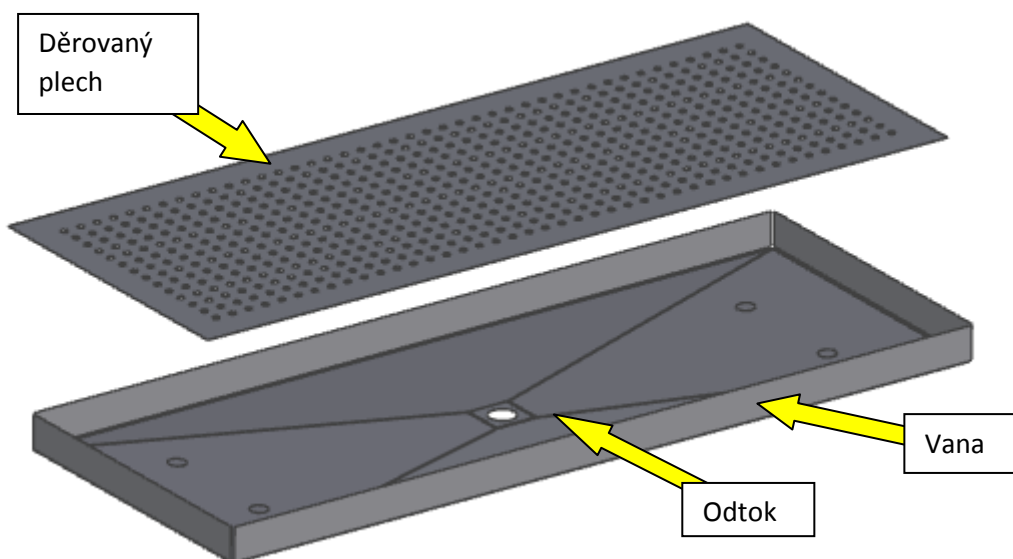
Nádrž 2 (Obr. 48) je svařenec z plechových dílů. Tloušťka stěn je 3 mm. Celkový objem je větší než 43 l. Z objemu vyplývají i celkové rozměry. Délka 400 mm, šířka 300 mm a výška 360 mm. V nádrži může být maximálně 30 l paliva. Je to dáno tím, že nádrž 2 má přepad, který je spojen s nádrží 1, kudy může palivo samovolně odtékat. Nádrž je uvnitř vyztužena přepážkami, které nejen že zvyšují tuhost, ale také zabraňují pění

paliva. Její víko je složeno ze dvou částí, které jsou přišroubované k lemu. Tyto části se dají odejmout při případném čištění nádrže. Dno je vyspárované také směrem k odtoku, aby se dalo vypustit palivo. Připevnění k rámu je stejné jako u nádrže 1.



Obr. 48.: Nádrž 2 v řezu

Při odpojení čerpadla od hydraulického obvodu dochází vždy k úniku zbytku paliva, které zůstane uvnitř čerpadla. S tímto se musí počítat, a proto je na zkušebním zařízení umístěna odkapová vana, jejíž odtok je sveden do jímacích nádrží pod objektem zkušeben. Samotná vana je svařenec z plechu o tloušťce 1 mm. Do ní je vložen děrovaný plech také o tloušťce 1 mm. Na spodní stranu vany jsou přivařeny nohy, které slouží k přichycení k rámu.



Obr. 49.: Odkapová vana

### 3.5.3. Krytování

Zkušební zařízení je zakrytováno jak zepředu, tak z obou stran. Krytování je vyrobeno z plechu o tloušťce 1 mm. Zezadu je ponecháno otevřené, protože zadní část směřuje ke zdi, takže tam není potřeba. Krytování je zde hlavně z estetického důvodu, protože zkušební zařízení není zdrojem nadměrného hluku ani neobsahuje rotační součásti, které by mohli obsluhu zranit.

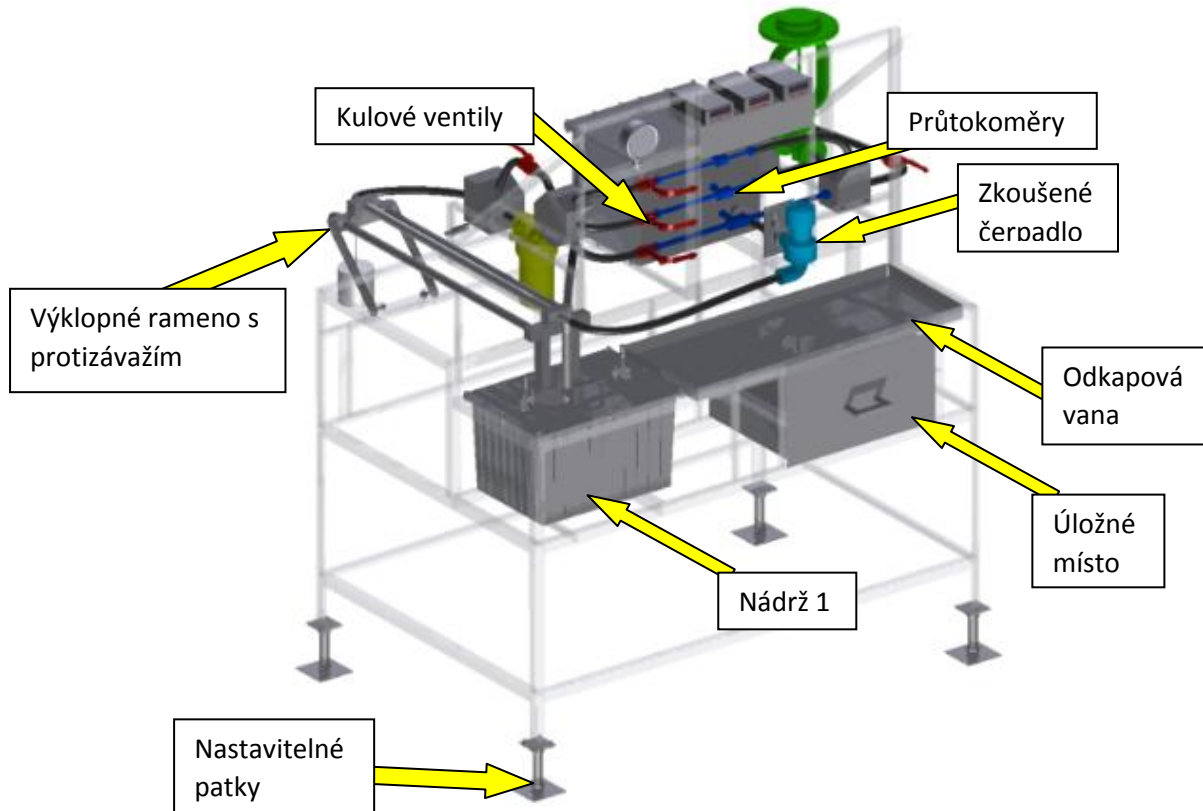
Přístrojová deska je také vyrobena z plechu o tloušťce 1 mm, do které jsou vytvořeny otvory pro ovládací prvky (kulové ventily, uzavírací šoupátko), digitální displeje a manometr.



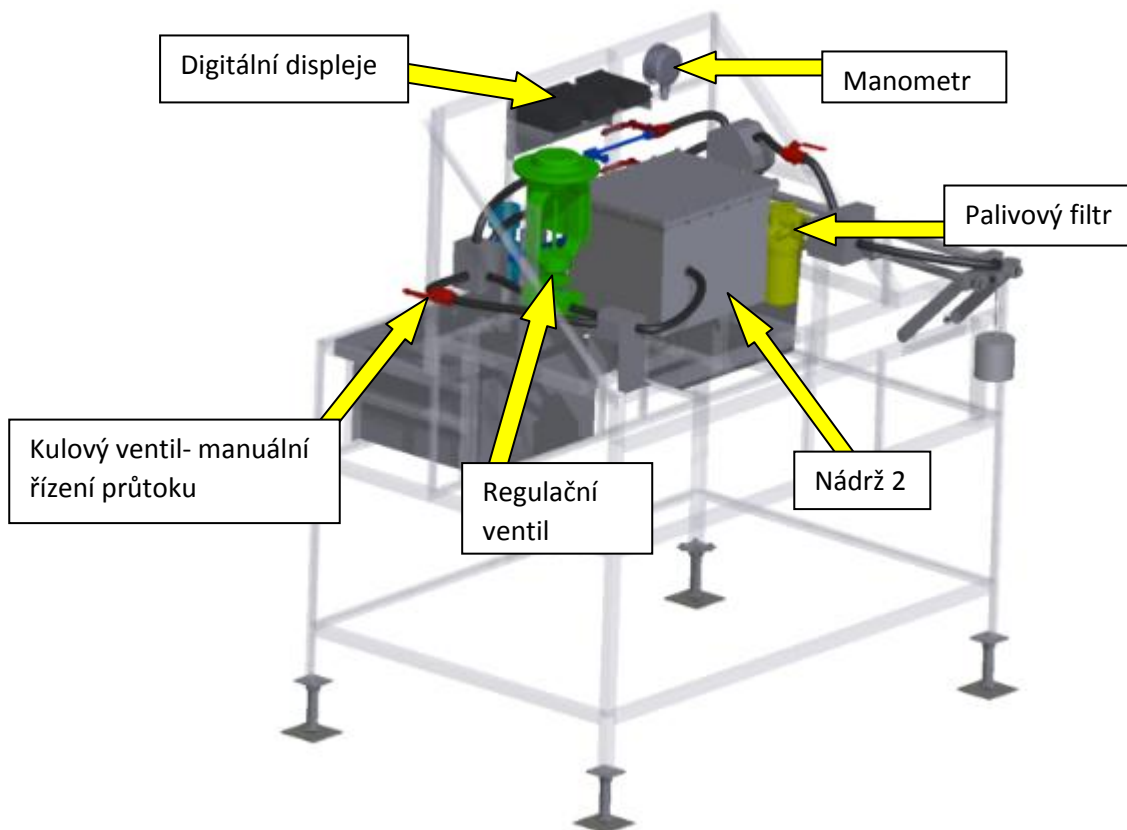
*Obr. 50.: Krytování zkušebního zařízení*

### 3.5.4. Celková sestava

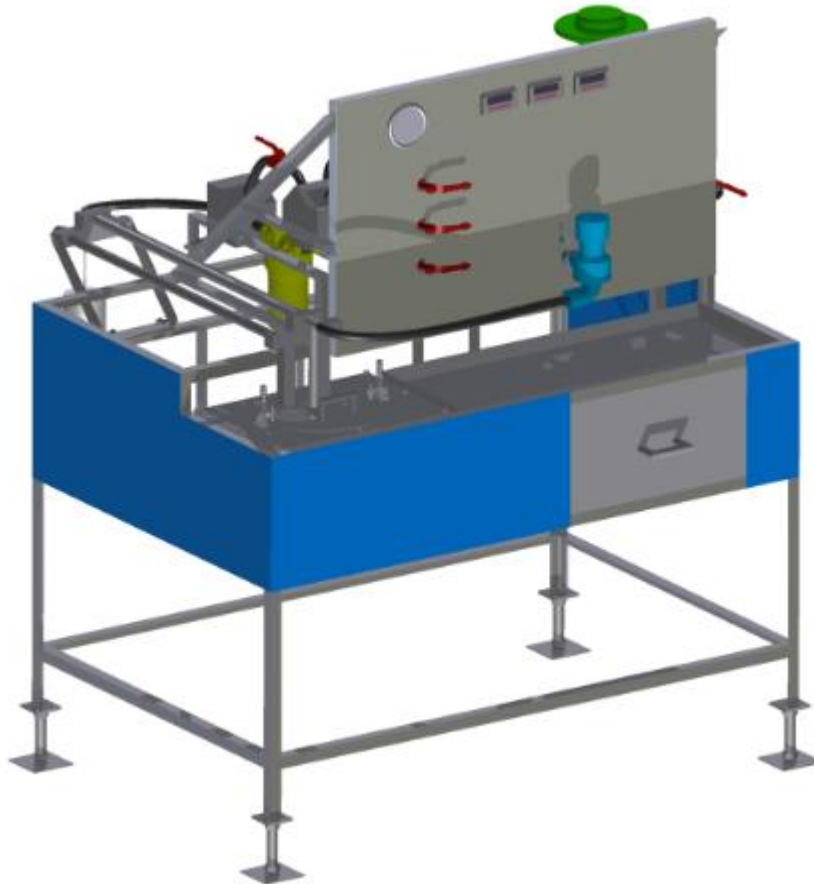
Náhled celkové sestavy je vidět na následujících obrázcích (Obr. 51, Obr. 52). Pro větší přehlednost je zde odstraněn plech přístrojové desky a rám je zobrazen průhledně. Na obrázku (Obr. 53) je pak zobrazen pohled na kompletní zkušební zařízení.



Obr. 51.: Celkový pohled zepředu (zneviditelněné krytování a rám)



Obr. 52.: Celkový pohled zezadu (zneviditelněné krytování a rám)



*Obr. 53.: Celkový pohled na kompletní zkušební zařízení*

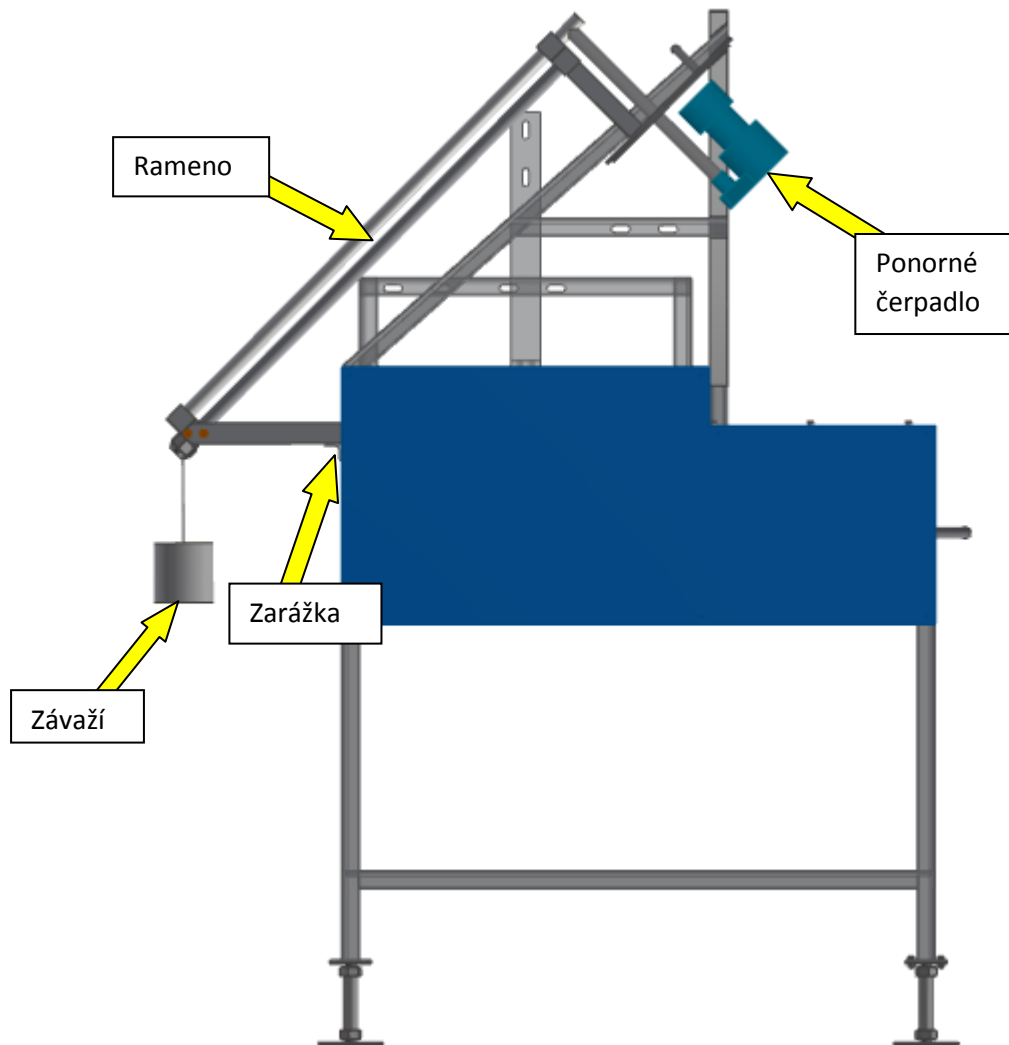
## 4. Technické výpočty

V této kapitole jsem se zabýval výpočty, které se týkají výklopného ramena. Zaměřil jsem se na výpočet hmotnosti závaží umístěného na konci ramene, které slouží ke stabilizaci ramene v jeho horní pozici. Kritickým místem na výklopném rameni je hlavně spojení ramene s podpěrami, které je detailněji vidět na obrázku (Obr. 58). Spoj je realizován dvěma šrouby, které jsou namáhány smykovou silou a ohybovým momentem.

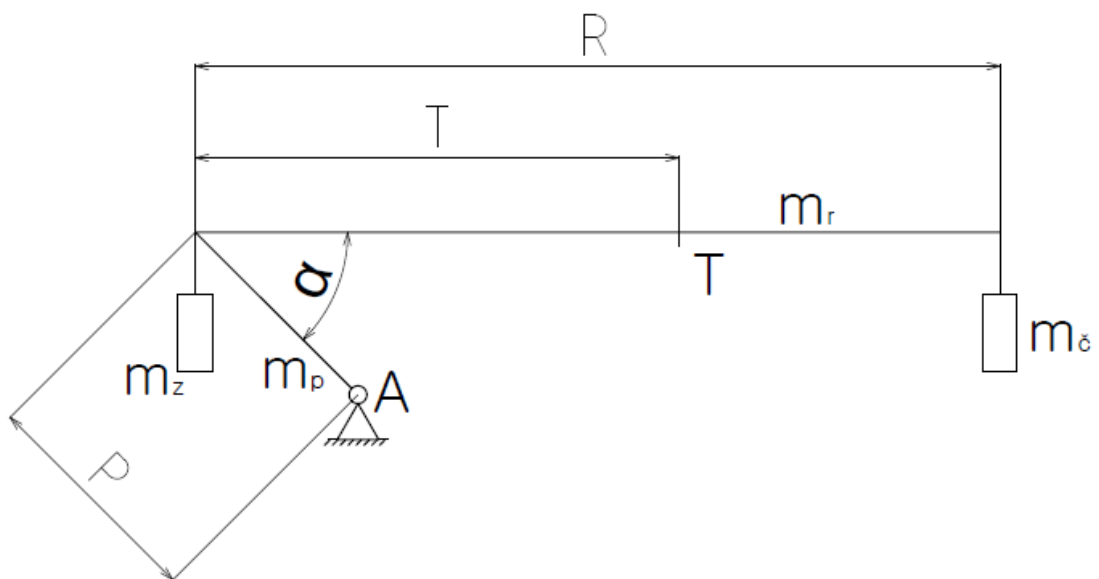
Samotný rám je namáhán pouze statickým zatížením, způsobeným vlastní vahou a vahou připojeného vybavení. Rám má dostatečnou tuhost a tato zatížení pro něj nepředstavují žádný problém, proto ani nebude početně kontrolován.

### 4.1. Hmotnost závaží

Na obrázku (Obr. 54) je znázorněno zkušební zařízení, ke kterému je připojeno ponorné čerpadlo. Pro přehlednost jsou zde odebrány všechny přístroje. Čerpadlo se připojuje k ramenu, když to se nachází v horní pozici. V této pozici dosedá rameno na L-profil, který je přivařen k rámu a slouží jako zarážka. Pro snadné připojení je důležité, aby rameno nemohlo samovolně spadnout dolů. Z tohoto důvodu je na konci ramene umístěno závaží, které zajišťuje jeho stabilní polohu v horní pozici.



Obr. 54.: Rameno v horní pozici

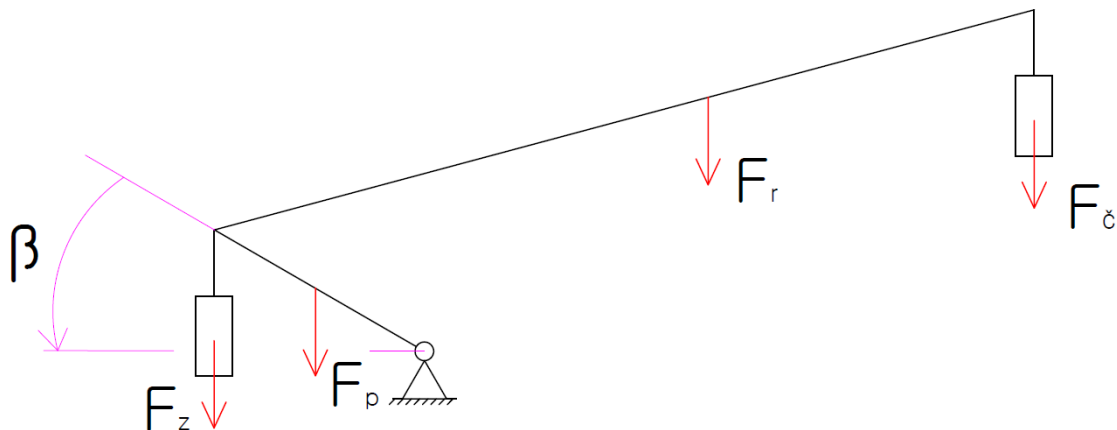


Obr. 55.: Rameno s kótami



Tab. 2.: Zadané hodnoty

|                          |                               |      |
|--------------------------|-------------------------------|------|
| $g$ [ $\text{ms}^{-2}$ ] | Tíhové zrychlení              | 9,81 |
| $m_{\check{c}}$ [kg]     | Hmotnost čerpadla             | 1,3  |
| $m_r$ [kg]               | Hmotnost ramene               | 20,6 |
| $m_p$ [kg]               | Hmotnost podpěr               | 0,8  |
| $R$ [m]                  | Délka ramene                  | 0,96 |
| $T$ [m]                  | Vzdálenost těžiště            | 0,55 |
| $P$ [m]                  | Délka podpěry                 | 0,25 |
| $\alpha$ [-]             | Úhel mezi ramenem a podpěrrou | 45   |



Obr. 56.: Rameno v obecné poloze se zavedenými silami

Rameno je nakresleno v obecné poloze a jsou na něj zakresleny působící síly. Dle obrázků ( Obr. 55, Obr. 56) byla sestavena momentová rovnice rovnováhy k bodu A.

$$0 = F_{\check{c}} \cdot (R \cdot \cos \beta - P \cdot \cos(\alpha - \beta)) + F_r \cdot (T \cdot \cos \beta - P \cdot \cos(\alpha - \beta)) - F_z \cdot P \cdot \cos(\alpha - \beta) - F_p \cdot \frac{P}{2} \cdot \cos(\alpha - \beta) \quad (4)$$

Do rovnice (4) se za tíhovou sílu dosadí hmotnost a tíhové zrychlení.

$$0 = m_{\check{c}} \cdot g \cdot (R \cdot \cos \beta - P \cdot \cos(\alpha - \beta)) + m_r \cdot g \cdot (T \cdot \cos \beta - P \cdot \cos(\alpha - \beta)) - m_z \cdot g \cdot P \cdot \cos(\alpha - \beta) - m_p \cdot g \cdot \frac{P}{2} \cdot \cos(\alpha - \beta) \quad (5)$$

Celá rovnice (5) se vydělí tíhovým zrychlením  $g$  a jediná neznámá, což je hmotnost závaží, se převede na levou stranu.

$$m_z = \frac{m_{\check{c}}(R \cdot \cos \beta - P \cdot \cos(\alpha - \beta)) + m_r(T \cdot \cos \beta - P \cdot \cos(\alpha - \beta)) - m_p \cdot \frac{P}{2} \cdot \cos(\alpha - \beta)}{P \cdot \cos(\alpha - \beta)} \quad (6)$$

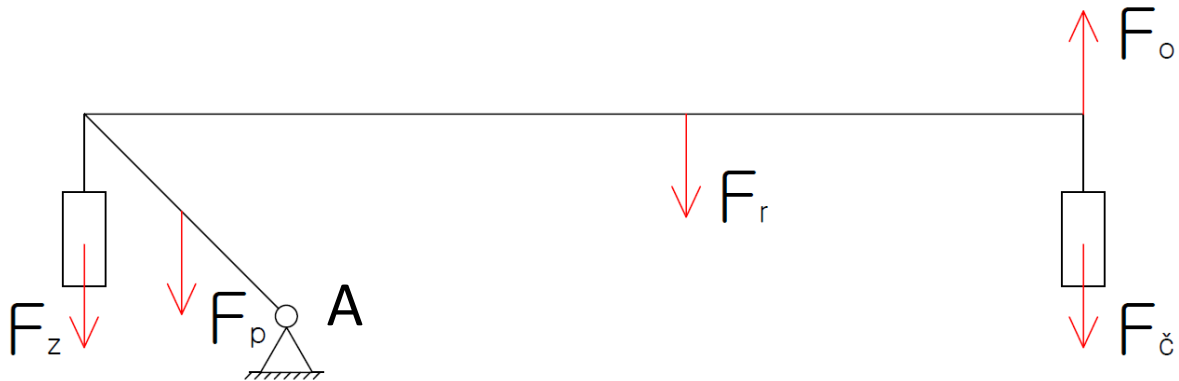
Získali jsme závislost hmotnosti závaží na úhlu natočení ramene  $\beta$ . Nás zajímá případ, kdy je rameno v horní pozici a úhel  $\beta=45^\circ$ . Do rovnice se dosadí všechny zadané hodnoty a spočítá se hmotnost závaží.

$$m_z = 13,28 \text{ kg} \quad (7)$$



Hmotnost  $m_z$  představuje nejmenší možnou hmotnost, jakou musí mít závaží, aby rameno setrvalo v horní pozici, aniž by spadlo dolů.

Pro vypočtenou hmotnost  $m_z$  se určí, jakou silou musí obsluha použít, aby rameno zvedla, pokud je v dolní pozici (Obr. 57). Síla, kterou působí obsluha, je označena jako  $F_o$ .



Obr. 57.: Rameno v dolní pozici

Z uvedeného obrázek (Obr. 57) se sestaví momentová rovnice k bodu A.

$$0 = F_o \cdot R - F_{\check{c}} \cdot R - F_r \cdot T + F_z \cdot P \cdot \cos(\alpha) + F_p \cdot \frac{P}{2} \cdot \cos(\alpha) \quad (8)$$

Z rovnice (8) se vyjádří neznámá  $F_o$ .

$$F_o = \frac{F_{\check{c}} \cdot R + F_r \cdot T - F_z \cdot P \cdot \cos(\alpha) - F_p \cdot \frac{P}{2} \cdot \cos(\alpha)}{R} \quad (9)$$

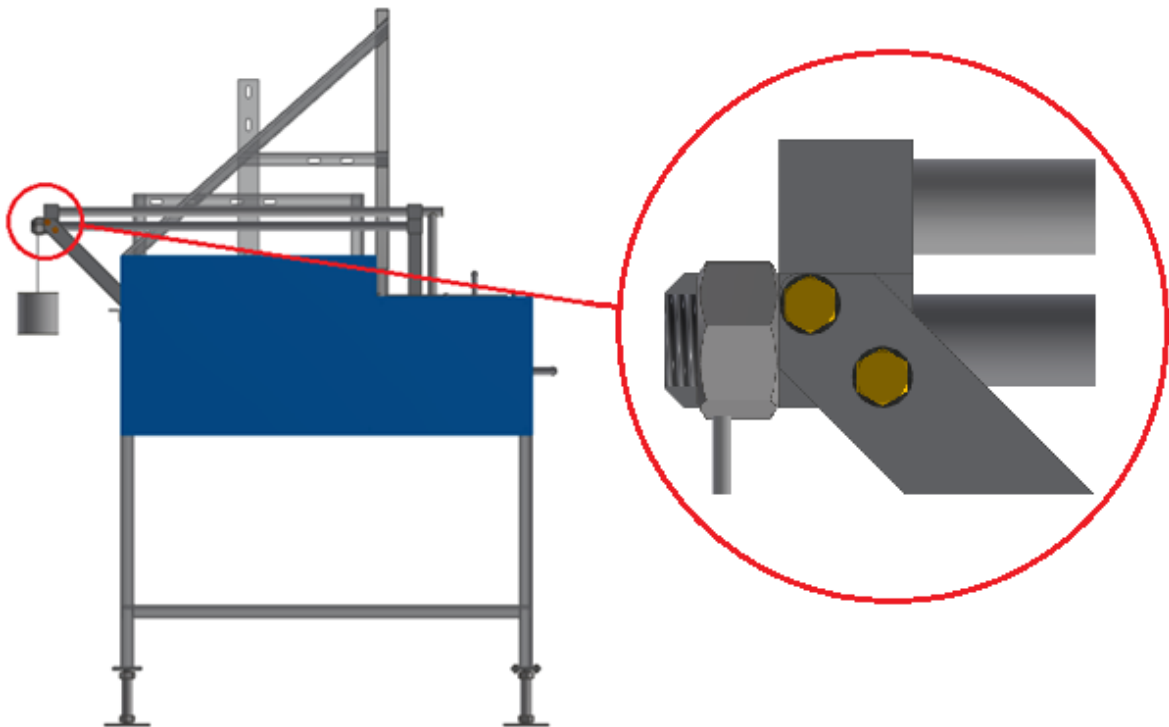
Do rovnice (9) se za síly dosadí součin hmotnosti a tíhového zrychlení z Tab. 2, a se spočítá  $F_o$ .

$$F_o = 103,82 \text{ N} \quad (10)$$

Výsledek  $F_o=103,82 \text{ N}$  znamená, že obsluha by musela být schopna zvednout ekvivalent více než desetakilové zátěže. Není to sice nic nereálného, ale rozhodně by to také nebylo nic příjemného. Proto by bylo vhodné zvětšit hmotnost závaží, aby tak klesla síla, kterou musí člověk při obsluze ramene vyvinout.

## 4.2. Návrh šroubů

Jedním z nejvíce namáhaných míst je spojení ramene a podpěry, které je vyznačeno na obrázku (Obr. 58). Šroubový spoj je realizován pomocí čtyř šroubů s šestihrannou hlavou a podložkou. Na každé straně ramena je dvojice šroubů. Jsou použity vysokopevnostní šrouby s jakostní třídou 8.8 a spojovaným materiálem je ocel s označením S 235, která má mez pevnosti 350 MPa.



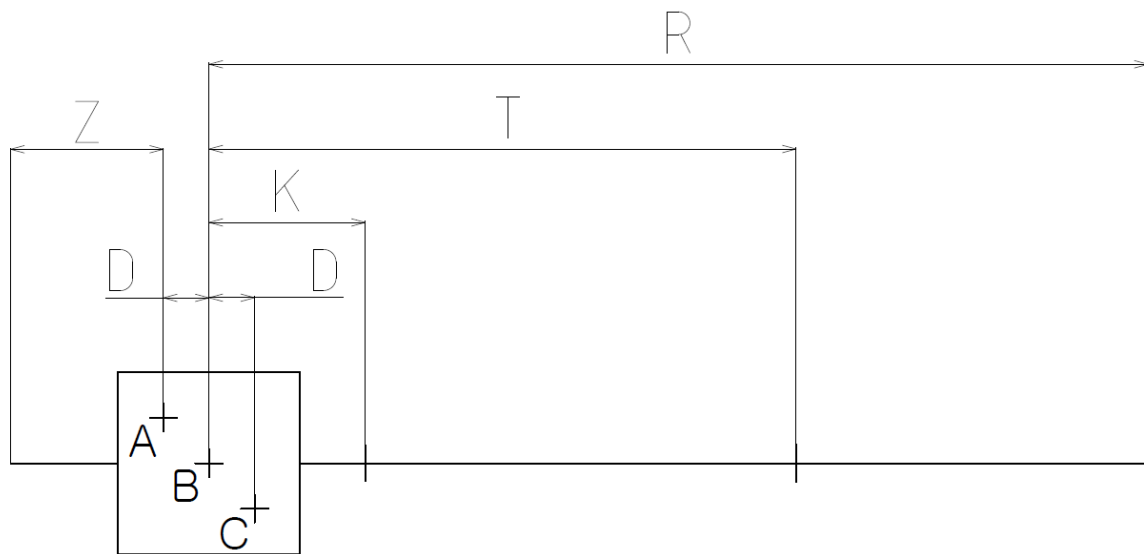
*Obr. 58.: Detail uchycení ramene*

Tento šroubový spoj je namáhán smykem. V praxi rozeznáváme tři druhy smykem namáhaných spojů.

- Kategorie A
  - šrouby všech pevnostních tříd
  - kontrola se provádí na stříh a na otláčení základního materiálu
- Kategorie B
  - třecí spoje odolné proti prokluzu v mezním stavu použitelnosti, použití vysokopevnostních šroubů tříd 8.8 a 10.9
  - kontrola na prokluz v mezním stavu použitelnosti a na stříh a otláčení v mezním stavu únosnosti
- Kategorie C
  - třecí spoje odolné proti prokluzu v mezním stavu únosnosti
  - kontrola na prokluz a na otláčení v mezním stavu únosnosti

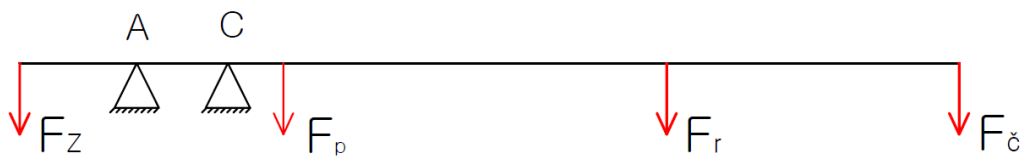
#### 4.2.1. Výsledná smyková síla

Šroubový spoj na obrázku (Obr. 58) patří do kategorie C. Na spoj působí kombinace síly a momentu. Šrouby budou kontrolovány na prokluz a na otláčení. Maximální zatížení spoje nastává, když se rameno nachází ve vodorovné poloze. V tomto případě je vzdálenost působících sil ke šroubům největší a tudíž je zde největší moment. Na obrázku (Obr. 59) je schematicky zakresleno rameno a okótovány potřebné vzdálenosti. Místa, kde jsou umístěny šrouby, jsou označeny písmeny A a C. Písmenem B je označen střed mezi A a C, který bude potřeba v následujících výpočtech.



Obr. 59.: Schematické znázornění ramene

Rameno se dá považovat za nosník, který leží na dvou podpěrách. Je potřeba si spočítat velikost výsledné síly, která působí na spoj, a její polohu vůči šroubům.



Obr. 60.: Zavedení sil

Tab. 3.: Velikosti sil a vzdálenosti

|                     |                               |       |
|---------------------|-------------------------------|-------|
| $F_z$ [N]           | Síla od závaží                | 130,3 |
| $F_p$ [N]           | Síla od podpěry               | 7,8   |
| $F_r$ [N]           | Síla od ramene                | 202,1 |
| $F_{\check{c}}$ [N] | Síla od čerpadla              | 12,7  |
| $R$ [mm]            | Délka ramene                  | 960   |
| $T$ [mm]            | Vzdálenost těžiště            | 550   |
| $K$ [mm]            | Vzdálenost od těžiště podpory | 88,4  |
| $Z$ [mm]            | Vzdálenost od závaží          | 32,5  |
| $D$ [mm]            | Vzdálenost od šroubu          | 9,5   |



#### 4.2.2. Návrhová únosnost v otláčení

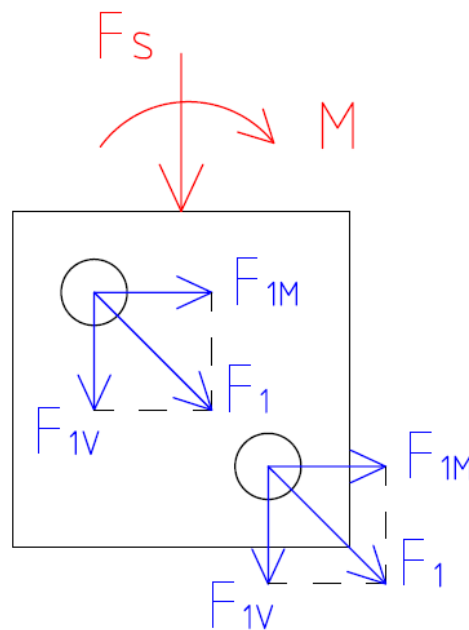
Třecí spoj musí splnit podmínku (11), kde  $F_{v,Sd}$ , je výslednice účinků od smykové síly a ohybového momentu a  $F_{b,Rd}$ , je únosnost proti otláčení.

$$F_{v,Sd} \leq F_{b,Rd} \quad (11)$$

Pro výpočet  $F_{v,Sd}$ , zjistit účinky kombinovaného namáhání od síly  $F_s$  a momentu  $M$ . Síla  $F_s$  je polovina celkové síly  $F_c$ , které vyšla z grafické metody (Obr. 61), protože rameno je přišroubováno ke dvěma podpěrám. Ohybový moment je vyjádřen jako síla  $F_s$  působící na rameni  $X$ .

$$F_s = \frac{F_c}{2} = 176,5N \quad (12)$$

$$M = \frac{F_c}{2} \cdot X = 60,1Nm \quad (13)$$



Obr. 62.: Namáhání šroubového spoje

Smyková síla pouze od působení síly se spočítá dle (14), kde  $n_b$  je počet šroubů.

$$F_{1V} = \frac{F_s}{n_b} = 93,25N \quad (14)$$

Smyková síla pouze od účinků momentu se spočítá podle (15).

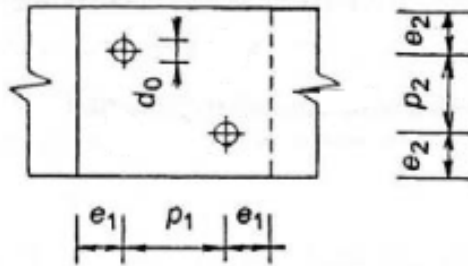
$$F_{1M} = \frac{M}{p_1} = 2992,45N \quad (15)$$

Výsledná smyková síla (16) vzniklá působením síly a momentu vychází.

$$F_1 = \sqrt{F_{1V}^2 + F_{1M}^2} = 2993,93N = F_{v,Sd} \quad (16)$$

Únosnost v otláčení je dána vzorcem (12).

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{Mb}} \quad (17)$$



Obr. 63.: Označení roztečí a vzdáleností od okrajů spoje

Tab. 4.: Navržené a spočtené hodnoty

|                            |  |      |
|----------------------------|--|------|
| $k_1$ [-]                  | Součinitel (závislý na poloze a velikosti díry)            | 1,92 |
| $\alpha_b$ [-]             | Součinitel (závislý na poloze, velikosti díry a materiálu) | 0,47 |
| $f_u$ [Nmm <sup>-2</sup> ] | Mez pevnosti základního materiálu                          | 350  |
| $d$ [mm]                   | Průměr šroubu  | 8    |
| $t$ [mm]                   | Nejmenší tloušťka ze spojovaných materiálů                 | 5    |
| $\gamma_{Mb}$ [mm]         | Dílčí součinitel spolehlivosti materiálu                   | 1,25 |
| $e_1, e_2$ [mm]            | Vzdálenost díry od kraje                                   | 12   |
| $p_1, p_2$ [mm]            | Vzdálenost děr od sebe                                     | 22   |

Do rovnice (12) se dosadí hodnoty z Tab. 3. Výsledkem je (13)

$$F_{b,Rd} = 10107N \quad (18)$$

Zjistíme, jestli šroub vychází na otláčení.

$$F_{v,Sd} = 2993,93N \leq F_{b,Rd} = 10106,88N \quad (19)$$

$$\rightarrow \text{VYHOVUJE} \quad (20)$$

### 4.2.3. Navrhovaná únosnost proti prokluzu

Třecí spoj musí splnit podmínku (14), kde  $F_{v,Sd}$ , je výslednice účinků od smykové síly a ohybového momentu a  $F_{s,Rd}$ , je únosnost proti prokluzu.

$$F_{v,Sd} \leq F_{s,Rd} \quad (21)$$

Únosnost proti prokluzu je dána vztahem (15),

$$F_{s,Rd} = \frac{k_s \cdot n \cdot \mu}{\gamma_{M3}} \cdot F_{p,C} \quad (22)$$

kde poslední člen představuje předepínací sílu.

$$F_{p,C} = 0,7 \cdot f_{ub} \cdot A_S \quad (23)$$

Tab. 5.: Navržené hodnoty

|                               |   |      |
|-------------------------------|---|------|
| $k_s$ [-]                     | Součinitel (závislý na tvaru a poloze díry) | 1    |
| $n$ [-]                       | Počet třecích ploch                         | 1    |
| $\mu$ [-]                     | Součinitel tření                            | 0,4  |
| $\gamma_{M3}$ [-]             | Dílčí součinitel spolehlivosti materiálu    | 1,25 |
| $f_{ub}$ [Nmm <sup>-2</sup> ] | Mez pevnosti šroubu                         | 800  |
| $A_S$ [mm <sup>2</sup> ]      | Plocha jádra šroubu                         | 36,6 |

Po dosazení hodnot z Tab. 4 do rovnice (16) vyjde předepínací síla.

$$F_{p,C} = 20496N \quad (24)$$

Únosnost proti prokluzu pak vychází v (18).

$$F_{s,Rd} = 6559N \quad (25)$$

Zjistíme, zda šroub vychází na prokluz.

$$F_{v,Sd} = 2993,93N \leq F_{s,Rd} = 6558,72N \quad (26)$$

$$\rightarrow \text{VYHOVUJE} \quad (27)$$



## 5. Metodika zkoušek

Vlastní vývoj nového produktu probíhá vždy v několika etapách a jeho vrcholem by mělo být ověření celého návrhu na prototypu. Správnost postupu ve všech etapách tj. v návrhové fázi, výpočtových postupech, počítačovém modelování, konstrukčním řešení a návrhu technologií, by měla být ověřena závěrečnými experimentálními zkouškami zvoleného řešení. [14]

Každé přístroj v leteckém průmyslu musí při svém vývoji projít nejdříve řadou kvalifikačních zkoušek. Pokud splní všechny kvalifikační zkoušky, tak se dostane do sériové výroby. Ze sériové výroby musí každý přístroj ještě projít sériovými zkouškami na zkušebnách, které také musí splnit. Až poté se může odeslat k zákazníkovi a být použit v reálném provozu.

### 5.1. Obecné zásady

- Vypracování teoretických východisek problému
  - provedení analýzy zkoumané soustavy a vytipování kritických míst soustavy
- Vytčení cílů měření
  - vytyčení cílů, sledování určených parametrů
- Stanovení typu a počtu potřebných senzorů
  - podle sledovaných parametrů se vyberou senzory, kterými se budou měřit
- Navržení způsobu dosažení provozních podmínek
  - definování zátěžného spektra (stanoveno normou nebo zadavatelem)
- Snímání a archivace dat
  - naměřená data musí být ukládána, aby se později dala interpretovat
- Stanovení způsobu řízení experimentu a zajištění proti havárii
  - zajištění stanoviště mechanickými nebo elektrickými prostředky (př. koncové spínače) při neočekávané chybě
- Navržení sledu jednotlivých kroků při měření
  - na základě rozboru problému a vytyčení cílů stanovit sled činností, jak bude měření probíhat
- Navržení vhodného systému záznamů o průběhu měření
  - zaznamenávání všech provedených kroků, aby nedošlo k chybě
- Navržení způsobu zpracování naměřených dat
  - měřené signály musí být zaznamenávány jednoznačným způsobem, aby nemohlo dojít k jejich záměně
  - archivace dat musí být systematická, aby se dal snadno vynést do grafů a interpretovat [14]

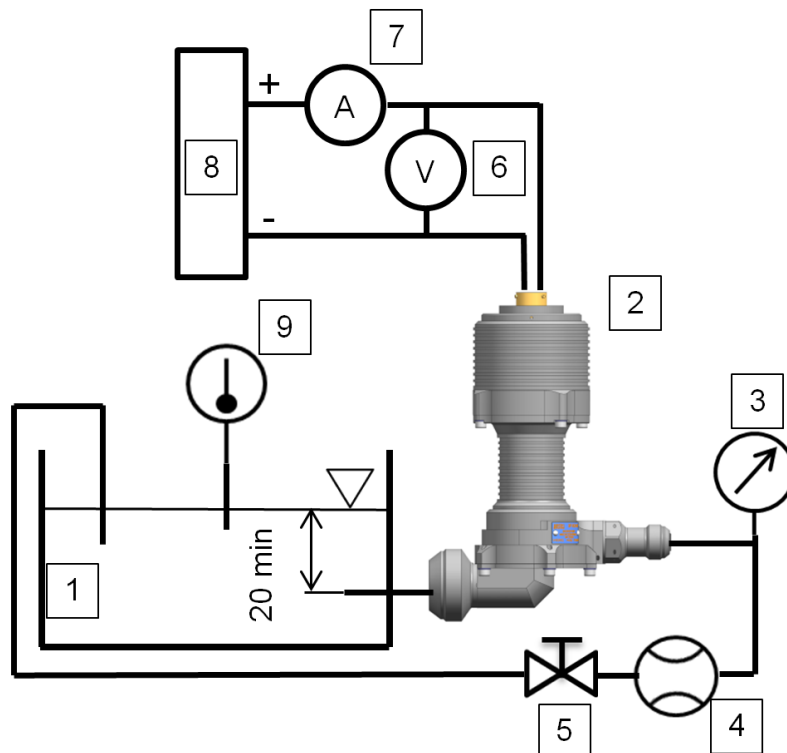
## 5.2. Průběh zkoušky na zkušebním zařízení

Zkouška bude popsána pouze pro ponorné čerpadlo, nicméně tento postup platí i pro ponornou verzi čerpadla.

Zapojení (Obr. 64) se skládá z následujících prvků (Tab. 6). Zapojení se provede dle schématu na obrázku (Obr. 64).

Tab. 6.: Seznam použitého vybavení

|   |  |
|---|--|
| 1 | Nádrž  |
| 2 | Výrobek – Dopravní čerpadlo                          |
| 3 | Snímač tlaku/ Manometr 0÷250 kPa, chyba přístroje 1% |
| 4 | Průtokoměr 200÷1100 l/h, chyba přístroje 1%          |
| 5 | Uzavírací škrtkící ventil                            |
| 6 | Voltmetr 0÷40 V, chyba přístroje 2%                  |
| 7 | Ampérmetr 0÷40 A                                     |
| 8 | Zdroj stejnosměrného napájení 0÷40 V, 0÷40 A         |
| 9 | Teploměr 0÷+50 °C, chyba přístroje 2,5%              |



Obr. 64.: Schéma zapojení zkoušky

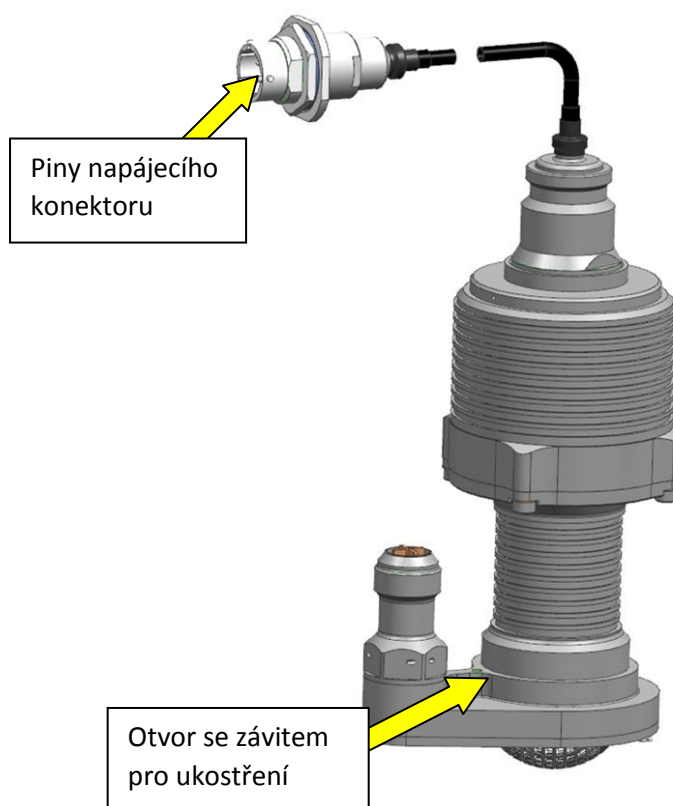
Výrobek se kontroluje podle parametrů, které jsou uvedeny na výkrese výrobku. Všechny změřené hodnoty se uvádějí do protokolu. Stejně tak se do protokolu zapisuje výrobní číslo čerpadla, druh pracovní kapaliny, teplota pracovní kapaliny a teplota okolí.

### 5.2.1. Kontrola vnějšího vzhledu

Před zahájením zkoušek se provede kontrola vnějšího vzhledu. Vnější povrch čerpadla nesmí být poškozen odřením, nárazy nebo jiným způsobem tak, aby tím byl zhoršen jeho vnější vzhled nebo narušena správná funkce. Všechna označení musí být provedena čitelně a trvanlivě.

### 5.2.2. Kontrola elektrických vlastností

Pomocí miliohmmetru se změří přechodový odpor mezi pinem C napájecího kabelu a kostřícím závitem. Všechny části čerpadla musí být vodivě spojeny, aby se někde neakumulovala statická elektřina.



*Obr. 65.: Zkoušení elektrických vlastností*

Dále se měří izolační odpor čerpadla. Zjišťuje se, jestli není přístroj náchylný ke zkratu.

### 5.2.3. Kontrola funkčnosti

Provede se zapojení čerpadla dle schématu na obrázku (Obr. 64). Poté se nastavují různé velikosti průtoku a napětí, přitom se zjišťuje, jestli čerpadlo dodává požadovaný tlak. Dalším parametrem, který se také sleduje, je proud odebíraný čerpadlem.

## 6. Závěr

Cílem mé diplomové práce bylo navrhnout zkušební zařízení pro zkoušení odstředivých čerpadel používajících se v leteckém průmyslu. Téma diplomové práce mi zadala společnost Jihostroj, a.s. V úvodu jsem stručně představil firmu a její produkty. Dále jsem popsal obecné fungování palivových soustav u letadel a také jakou funkci tam má dopravní palivové čerpadlo. Provedl jsem rešerši odstředivých čerpadel.

Dalším krokem byl popis stávajícího zkušebního zařízení a vypracování konkrétních požadavků na nové zařízení. Byly vytvořeny koncepční návrhy nového zkušebního zařízení a detailněji pak rozpracována jedna varianta. Nové zkušební zařízení bylo konstruováno s ohledem na to, aby se nemuselo nakupovat moc nového vybavení, ale dalo se použít to původní. Dále jsem provedl výběr jednotlivých prvků, které byly použity, a popsal jejich funkci. Samotné řešení spočívalo v navržení a sestavení 3D modelu celého zkušebního zařízení.

V následující kapitole jsou uvedeny výpočty. V jednom jsem zjišťoval, jakou hmotnost musí mít závaží umístěné na konci ramene, aby toto rameno zůstalo stabilní ve své horní pozici. Druhým výpočet se týkal šroubového spoje, který byl zatížen kombinací smykové síly a ohybového momentu. Toto místo bylo identifikováno jako třecí spoj a bylo kontrolováno na prokluz a na otláčení v mezním stavu únosnosti. Spoj splnil oba požadavky.

Na závěr jsem uvedl obecné zásady při experimentálním zkoušení strojů. Popsal jsem také průběh zkoušení odstředivých čerpadel na zkušebním zařízení.

## 7. Seznam použité literatury

- [1] *Profil společnosti Jihostroj, a.s.* [online]. Velešín: Jihostroj [cit. 2017-07-13]. Dostupné z: <http://www.jihostroj.com/>
- [2] PERGL, Kamil. *Palivové soustavy letadel* [online]. Brno, 2010 [cit. 2017-07-13]. Dostupné z: [https://www.vutbr.cz/studium/zaverecne-prace?zp\\_id=26327](https://www.vutbr.cz/studium/zaverecne-prace?zp_id=26327). Bakalářská práce. VUT Brno.
- [3] *Odstředivá čerpadla* [online]. Olomouc: ELUC, 2014 [cit. 2017-07-13]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1926>
- [4] *Příručka čerpací techniky* [online]. Olomouc: GRUNDFOS, 2004 [cit. 2017-07-13]. Dostupné z: [http://net.grundfos.com/doc/webnet/waterutility/\\_assets/downloads/gcz/pumphandbook\\_gcz.pdf](http://net.grundfos.com/doc/webnet/waterutility/_assets/downloads/gcz/pumphandbook_gcz.pdf)
- [5] *Kalové čerpadlo* [online]. Olomouc: K+H, 2008 [cit. 2017-07-13]. Dostupné z: <http://www.kalove-cerpadlo.cz/>
- [6] *Produktový katalog* [online]. Stuttgart: WESA, 2017 [cit. 2017-07-13]. Dostupné z: <http://www.wesa-armaturen.de/service/service.php?PHPSESSID=4757ed3462c828793145cd6d07cb4e1f>
- [7] *Průtokoměry* [online]. Olomouc: MULTITOOL, 2004 [cit. 2017-07-13]. Dostupné z: [http://mmg.hu/wp-content/uploads/2014/04/MK\\_8854\\_ENG1.pdf](http://mmg.hu/wp-content/uploads/2014/04/MK_8854_ENG1.pdf)
- [8] *Regulační ventil* [online]. Česká Třebová: LDM, 2009 [cit. 2017-07-13]. Dostupné z: <http://www.ldm.sk/Katalog/01083CZ.pdf>
- [9] *Filtry* [online]. ARGO HYTOS [cit. 2017-07-13]. Dostupné z: <http://www.argo-hytos.com/products/filtration/pressure-filters.html>
- [10] *Manometr* [online]. Nová Paka: ZPA, 2017 [cit. 2017-07-13]. Dostupné z: <http://www.zpanp.cz/celonerezovy-tlakomer-s-pruzninou-se-spodnim-pripojenim-prumer-100-mm-presnost-1-272.html>
- [11] *Univerzální programovatelný přístroj* [online]. Praha: ORBIT MERRET, 2017 [cit. 2017-07-13]. Dostupné z: <http://www.merret.cz/produkty/pristroje-pro-mar/pristroje/citace-merice-frekvence-stopky/om-602uqc>
- [12] *Snímač tlaku* [online]. Buchlovice: BD SENSORS, 2017 [cit. 2017-07-13]. Dostupné z: [http://www.bdsensors.cz/fileadmin/user\\_upload/Download/Datenblaetter\\_datasheets/18.600G\\_CS.pdf](http://www.bdsensors.cz/fileadmin/user_upload/Download/Datenblaetter_datasheets/18.600G_CS.pdf)
- [13] *Teleskopické lišty* [online]. Sulz am Neckar: KIPP, 2017 [cit. 2017-07-13]. Dostupné z: <https://www.kipp.cz/cz/cs/Produkty/Ovl%C3%A1dac%C3%AD-prvky-normovan%C3%A9-d%C3%ADly/Teleskopick%C3%A9-li%C5%A1ty.html>
- [14] DYNBYL, Vojtěch. *Výkonová metrologie: Experimentální podpora vývoje a inovací mechanismů ve strojírenství*. Praha: Česká technika - nakladatelství ČVTT, 2009. ISBN 978-80-01-04325-7.

## 8. Seznam obrázků

|   |    |
|---|----|
| Obr. 1.: Ukázka výrobků divize hydraulika [1] .....                     | 3  |
| Obr. 2.: Ukázka výrobků letecké divize [1] .....                        | 4  |
| Obr. 3.: Schéma palivové soustavy leteckého motoru [2] .....            | 5  |
| Obr. 4.: Hlavní části odstředivého čerpadla [3] .....                   | 6  |
| Obr. 5.: Radiální čerpadlo [4] .....                                    | 8  |
| Obr. 6.: Diagonální čerpadlo [4] .....                                  | 8  |
| Obr. 7.: Jednostupňové čerpadlo [3] .....                               | 8  |
| Obr. 8.: Vícestupňové čerpadlo [3] .....                                | 9  |
| Obr. 9.: Hermeticky utěsněné čerpadlo [4] .....                         | 9  |
| Obr. 10.: Čerpadlo pro sanitární aplikace [4] .....                     | 10 |
| Obr. 11.: Kalové čerpadlo [5] .....                                     | 10 |
| Obr. 12.: Stávající zkušební zařízení - pohled shora .....              | 11 |
| Obr. 13.: Stávající zkušební zařízení - pohled zezadu .....             | 12 |
| Obr. 14.: Připojené potrubní čerpadlo .....                             | 12 |
| Obr. 15.: Připojené ponorné čerpadlo .....                              | 12 |
| Obr. 16.: Řídící místnost .....   | 13 |
| Obr. 17.: Hydraulické schéma zkušebního zařízení .....                  | 14 |
| Obr. 18.: První návrh nového zkušebního zařízení – pohled shora .....   | 15 |
| Obr. 19.: Druhý návrh nového zkušebního zařízení .....                  | 16 |
| Obr. 20.: Otevírání pomocí kladky .....                                 | 16 |
| Obr. 21.: Otevírání pomocí výklopného ramene .....                      | 16 |
| Obr. 22.: Potrubní verze čerpadla .....                                 | 18 |
| Obr. 23.: Zastavovací výkres – potrubní verze .....                     | 18 |
| Obr. 24.: Ponorná verze čerpadla .....                                  | 19 |
| Obr. 25.: Zastavovací výkres – ponorná verze .....                      | 19 |
| Obr. 26.: Kulový ventil [6] .....                                       | 20 |
| Obr. 27.: Vybraný model [6] .....                                       | 20 |
| Obr. 28.: Řez turbínovým průtokoměrem [7] .....                         | 21 |
| Obr. 29.: Vybrané průtokoměry [7] .....                                 | 21 |
| Obr. 30.: Řez regulačním ventilem [8] .....                             | 22 |
| Obr. 31.: Vybraný model regulačního ventilu [8] .....                   | 22 |
| Obr. 32.: Uzavírací šoupátko .....                                      | 23 |
| Obr. 33.: Palivový filtr [9] .....                                      | 24 |
| Obr. 34.: Palivový filtr-rozložený [9] .....                            | 24 |
| Obr. 35.: Vybraný model palivového filtru [9] .....                     | 24 |
| Obr. 36.: Manometr [10] .....   | 25 |
| Obr. 37.: Rozměry manometru [10] .....                                  | 25 |
| Obr. 38.: Univerzální programovatelný přístroj [11] .....               | 25 |
| Obr. 39.: Kulový ventil s prodlouženou hřídelkou [6] .....              | 26 |
| Obr. 40.: Vybraný model [6] .....                                       | 26 |
| Obr. 41.: Tlakový snímač [12] .....                                     | 26 |
| Obr. 42.: Teleskopické lišty [13] .....                                 | 27 |
| Obr. 43.: Zásuvka s lištami .....                                       | 27 |
| Obr. 44.: Svařovaný rám .....   | 27 |
| Obr. 45.: Nastavitelná patka .....                                      | 28 |
| Obr. 46.: Nádrž 1 .....   | 28 |
| Obr. 47.: Nádrž 1 – pohled zepředu .....                                | 28 |
| Obr. 48.: Nádrž 2 v řezu .....  | 29 |
| Obr. 49.: Odkapová vana .....   | 29 |
| Obr. 50.: Krytování zkušebního zařízení .....                           | 30 |
| Obr. 51.: Celkový pohled zepředu (zneviditelněné krytování a rám) ..... | 31 |
| Obr. 52.: Celkový pohled zezadu (zneviditelněné krytování a rám) .....  | 31 |



|   |    |
|---|----|
| Obr. 53.: Celkový pohled na kompletní zkušební zařízení ..... | 32 |
| Obr. 54.: Rameno v horní pozici .....                         | 33 |
| Obr. 55.: Rameno s kótami .....                               | 33 |
| Obr. 56.: Rameno v obecné poloze se zavedenými silami.....    | 34 |
| Obr. 57.: Rameno v dolní pozici.....                          | 35 |
| Obr. 58.: Detail uchycení ramene .....                        | 36 |
| Obr. 59.: Schematické znázornění ramene.....                  | 37 |
| Obr. 60.: Zavedení sil .....                                  | 37 |
| Obr. 61.: Grafická metoda .....                               | 38 |
| Obr. 62.: Namáhání šroubového spoje.....                      | 39 |
| Obr. 63.: Označení roztečí a vzdáleností od okrajů spoje..... | 40 |
| Obr. 64.: Schéma zapojení zkoušky .....                       | 43 |
| Obr. 65.: Zkoušení elektrických vlastností .....              | 44 |





## 9. Seznam tabulek

|  |    |
|--|----|
| Tab. 1.: Provozní parametry čerpadel.....  | 20 |
| Tab. 2.: Zadané hodnoty .....              | 34 |
| Tab. 3.: Velikosti sil a vzdálenosti ..... | 37 |
| Tab. 4.: Navržené a spočtené hodnoty ..... | 40 |
| Tab. 5.: Navržené hodnoty.....             | 41 |
| Tab. 6.: Seznam použitého vybavení .....   | 43 |



## 10. Seznam příloh

- Příloha 1      Modely vytvořené v programu Autodesk Inventor Professional 2015.  
Na přiloženém CD.