

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: N0715A270017 Konstruování strojů a technických zařízení

Specializace: N0715A270017S01 Konstruování vozidel a manipulačních zařízení

DIPLOMOVÁ PRÁCE

NÁVRH PALIVOVÉHO DOPRAVNÍHO ČERPADLA DO ZÁSTAVBY
„CANISTER / CARTRIDGE“

Autor: **Bc. Martin Zeman**

Vedoucí práce: **doc. Ing. Ladislav NĚMEC, CSc.**

Akademický rok: 2020/2021

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta strojní

Akademický rok: 2020/2021

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Martin ZEMAN**
Osobní číslo: **S19N0129P**
Studijní program: **N0715A270017 Konstruování strojů a technických zařízení**
Studijní obor: **Konstruování vozidel a manipulačních zařízení**
Téma práce: **Návrh palivového dopravního čerpadla do zástavby „Canister / Cartridge“**
Zadávací katedra: **Katedra konstruování strojů**

Zásady pro vypracování

Základní požadavky:

Zpracovat speciální konstrukci tělesa (canister / cartridge) pro instalaci stávajícího palivového čerpadla do nádrže letounu tak, aby byla umožněna výměna čerpadla bez nutnosti vypouštění paliva a dehermetizace nádrže.

Základní technické údaje :

Technické parametry jsou uvedeny v příloze zadání.

Osnova diplomové práce:

1. *Rešerše řešené problematiky, patentová rešerše*
2. *Vypracování konstrukčního návrhu včetně systematické specifikace požadavků a variant koncepčních návrhů, výběr optimálního řešení.*
3. *Zjištění klíčových vlastností konstrukčního návrhu s potřebnými technickými výpočty a hodnocením.*
4. *Vypracování 3D modelu a potřebné výkresové dokumentace.*

Rozsah diplomové práce: **40 – 60 stran**
Rozsah grafických prací: **podle potřeby**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná**

Seznam doporučené literatury:

- [1] HOSNEDL, S., KRÁTKÝ, J. *Příručka strojího inženýra: obecné strojí části*. Praha: Computer Press, 1999. ISBN 80-7226-055-3
[2] VLK, F. *Vozidlové spalovací motory*. Brno: F.. VLK, 2003. ISBN 80-238-8756-4
Podkladové materiály, výkresy, prospekty, katalogy apod. poskytnuté zadavatelem úkolu.

Vedoucí diplomové práce: **Doc. Ing. Ladislav Němec, CSc.**
Katedra konstruování strojů

Konzultant diplomové práce: **Ing. Pavel Šimeček**
JIHOSTROJ, a.s.

Datum zadání diplomové práce: **16. října 2020**
Termín odevzdání diplomové práce: **28. května 2021**

L.S.

Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.
děkan

Prof. Ing. Václava Lašová, Ph.D.
vedoucí katedry

Prohlášení o autorství

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

V Plzni dne:
podpis autora

.....

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Ladislavu Němcovi, CSc. za trpělivost, cenné rady a metodické vedení práce.

Ing. Pavlu Šimečkovi děkuji za uvedení do problematiky palivových čerpadel a za profesionální rady a připomínky poskytnuté při konzultování diplomové práce.

Dále chci poděkovat společnosti Jihostroj a.s. za poskytnutí potřebných informací o svých produktech.

V neposlední řadě děkuji Šárce Šimonové za pomoc při formální úpravě textu.

ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Bc. Zeman	Jméno Martin	
STUDIJNÍ PROGRAM	N0715A270017 Konstruování strojů a technických zařízení		
VEDOUcí PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) doc. Ing. NĚMEC, CSc.	Jméno Ladislav	
PRACOVISTĚ	ZČU - FST - KKS		
DRUH PRÁCE	BAKALÁŘSKÁ	DIPLOMOVÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Návrh palivového dopravního čerpadla do zástavby „canister / cartridge“		

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KKS	ROK ODEVZD.	2021
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	78	TEXTOVÁ ČÁST	61	GRAFICKÁ ČÁST	17
---------------	----	---------------------	----	----------------------	----

<p style="text-align: center;">STRUČNÝ POPIS (MAX. 10 ŘÁDEK) ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</p>	<p>Zpracovat speciální konstrukci tělesa (canister / cartridge) pro instalaci stávajícího palivového čerpadla do nádrže letounu tak, aby byla umožněna výměna čerpadla bez nutnosti vypouštění paliva a dehermetizace nádrže.</p>
<p style="text-align: center;">KLÍČOVÁ SLOVA (ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE)</p>	<p>Čerpadlo, konstrukce, palivo, dopravní, instalace, těleso, letoun, nádrž, dehermetizace, vypouštění, výměna.</p>

SUMMARY OF MASTER SHEET

AUTHOR	Surname Bc. Zeman	Name Martin
STUDY PROGRAMME	N0715A270017 Design engineering of machines and technical devices	
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) doc. Ing. NĚMEC, CSc.	Name Ladislav
INSTITUTION	ZČU - FST - KKS	
TYPE OF WORK	BACHELOR	DIPLOMA Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Design of the Canister / Cartridge Type Fuel Booster Pump	

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	KKS	SUBMITTED IN	2021
----------------	------------------------	-------------------	-----	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (*A4 and eq. A4*)

TOTALLY	78	TEXT PART	61	GRAPHICAL PART	17
----------------	----	------------------	----	-----------------------	----

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	The aim of this thesis is the design of the canister / cartridge type fuel booster pump which allows to change the pump without draining of the tank. Thesis includes drawings of assembly.
KEY WORDS	Pump, booster, fuel, draining, aircraft, canister, cartridge.

Obsah:

SEZNAM OBRÁZKŮ	6
SEZNAM TABULEK	8
1. ÚVOD	9
2. TECHNICKÁ SPECIFIKACE ZADÁNÍ	10
2.1 ARCHITEKTURA VÝCHOZÍHO MODELU ČERPADLA	10
2.2 TECHNICKÉ PARAMETRY ČERPADLA	11
2.3 ODOLNOST ČERPADLA VŮČI VNĚJŠÍM VLVIVŮM	12
2.4 POŽADAVKY NA ZÁSTAVBU ČERPADLA	13
2.5 POŽADAVKY NA KONSTRUKCI	14
2.5.1 <i>Materiály a procesy</i>	14
2.5.2 <i>Materiály způsobující korozi</i>	14
2.5.3 <i>Povrchové úpravy</i>	14
2.5.4 <i>Nekovové materiály</i>	14
2.5.5 <i>Přezkové materiály</i>	14
2.5.6 <i>Kabeláž</i>	14
2.5.7 <i>Přechodové odpory</i>	14
2.5.8 <i>Vnější úniky</i>	14
2.5.9 <i>Odlitky</i>	14
2.5.10 <i>Maximální pevnostní tlaky</i>	14
3. PATENTOVÁ REŠERŠE	15
3.1 PATENT: US3539272A	15
3.2 PATENT: US4324532A	17
3.3 PATENT: US8561629B2	18
4. ANALÝZA KONKURENČNÍHO PROSTŘEDÍ	20
4.1 PARKER HANNIFIN	20
4.1.1 <i>28 VDC bezkartáčové palivové čerpadlo Parker Hannifin</i>	20
4.2 TEST-FUCHS	21
4.2.1 <i>Bezkartáčové podávací palivové čerpadlo 240900</i>	21
5. KONCEPČNÍ NÁVRHY	22
5.1 VARIANTA A	22
5.2 VARIANTA B	23
5.3 VARIANTA C	24
6. KONSTRUKČNÍ NÁVRHY	25
6.1 VARIANTA I.	25
6.1.1 <i>Pracovní prostor čerpadla</i>	27
6.1.2 <i>Vstup impelleru</i>	28
6.1.3 <i>Vstupní kanál čerpadla</i>	28
6.1.4 <i>Rotační šoupátko čerpadla</i>	29
6.1.5 <i>Spodní kryt čerpadla</i>	29
6.1.6 <i>Spodní deska canisteru čerpadla</i>	29
6.1.7 <i>Horní deska canisteru čerpadla</i>	30
6.1.8 <i>Canister</i>	30

6.1.9	<i>Trubička průchodu kabelu</i>	31
6.1.10	<i>Vstup kabelu do tělesa</i>	31
6.1.11	<i>Zpětný ventil paliva</i>	31
6.1.12	<i>Zástavbové rozměry varianty I</i>	32
6.2	VARIANTA II.	33
6.2.1	<i>Pracovní prostor čerpadla</i>	35
6.2.2	<i>Vstup impelleru</i>	35
6.2.3	<i>Vstupní kanál čerpadla</i>	36
6.2.4	<i>Horní deska canisteru čerpadla</i>	36
6.2.5	<i>Střední deska canisteru čerpadla</i>	37
6.2.6	<i>Spodní deska canisteru čerpadla</i>	37
6.2.7	<i>Páka zajišťovacího mechanismu</i>	38
6.2.8	<i>Pístek ventilu</i>	38
6.2.9	<i>Canister</i>	39
6.2.10	<i>Odvzdušňovací ventil</i>	39
6.2.11	<i>Zástavbové rozměry varianty II</i>	40
6.3	VARIANTA III.	40
6.3.1	<i>Ovládání pístového ventilu</i>	41
6.3.2	<i>Pístek ventilu</i>	41
6.3.3	<i>Vstupní kanál čerpadla</i>	41
6.4	VARIANTA IV.	42
6.4.1	<i>Páka zajišťovacího mechanismu</i>	42
6.4.2	<i>Spodní deska canisteru</i>	42
6.4.3	<i>Vstupní kanál čerpadla</i>	42
7.	VÝBĚR NEJVHODNĚJŠÍ VARIANTY	43
8.	FINÁLNÍ VARIANTA	44
8.1	ZMĚNY FINÁLNÍ VARIANTY	44
8.1.1	<i>Vedení kabelu čerpadla</i>	45
8.1.2	<i>Duralový canister čerpadla</i>	46
8.1.3	<i>Připojení k plášti letadla</i>	46
8.1.4	<i>Spodní kryt čerpadla</i>	46
8.2	SOUHRN VLASTNOSTÍ FINÁLNÍ VARIANTY	47
9.	PEVNOSTNÍ A TUHOSTNÍ KONTROLA CANISTERU ČERPADLA	48
9.1	DEFINICE ÚLOHY:	48
9.1.1	<i>Příprava modelu</i>	48
9.1.2	<i>Mesh mating</i>	48
9.1.3	<i>Síťování</i>	49
9.1.4	<i>Definice okrajových podmínek</i>	50
9.1.5	<i>Regiony + simulation object type</i>	50
9.2	ZATĚŽOVACÍ STAVY	50
9.3	NASTAVENÍ ŘEŠIČE	51
9.4	VÝSLEDKY SIMULACE	52
9.4.1	<i>První zatěžovací stav (24 Psi)</i>	52
9.4.2	<i>Druhý zatěžovací stav (2,5 x 24 Psi)</i>	53
9.4.3	<i>Zohlednění vlivu teploty na dovolené zatížení</i>	54
9.4.4	<i>Shrnutí výsledků kontroly</i>	55
10.	ZKOUŠENÍ	56
10.1	ZKOUŠKY DTP A QTP	56
10.1.1	<i>Kontrola hmotnosti</i>	56
10.1.2	<i>Tlakové zkoušky</i>	56

10.1.3	<i>Zkouška kontaminovaným palivem</i>	56
10.1.4	<i>Teplotní zkouška</i>	57
10.1.5	<i>Další možné zkoušky</i>	57
10.2	Zkoušky ATP	57
10.2.1	<i>Kontrola vnějšího vzhledu</i>	57
10.2.2	<i>Tlakové zkoušky</i>	57
10.2.3	<i>Kontrola přechodových odporů</i>	57
10.2.4	<i>Kontrola izolačního odporu</i>	58
10.2.5	<i>Seřízení a záběh</i>	58
10.3	POPIS ZAPOJENÍ ZKOUŠKY	59
11.	ZÁVĚR	60
12.	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	61
13.	SEZNAM PŘÍLOH	62

Seznam použitých zkratek a jednotek:

A	..... ampér
AMC	..... řídicí jednotka motoru
ATP	..... přijímací zkouška konkrétního kusu
BLDC	..... stejnosměrný bezkartáčový motor
DC	..... stejnosměrný proud
DTP	..... ověření požadovaných vlastností ve fázi návrhu
ft	..... stopa (jednotka výšky)
g	..... gram
I	..... elektrický proud
JSV	..... Jihostroj a.s.
kg	..... kilogram
kN	..... kilonewton
kPa	..... kilopascal
m	..... metr
MKP	..... metoda konečných prvků
mm	..... milimetr
MPa	..... megapascal
ot/min	..... otáčky za minutu
p	..... tlak
pph	..... libra za hodinu (průtok)
PSI	..... libra na čtvereční palec
PSIG	..... libra na čtvereční palec relativního tlaku
Q	..... objemový průtok
QTP	..... schvalovací zkouška pro uvolnění do letového provozu
RPM	..... otáčky za minutu
TBD	..... bude upřesněno
TVP	..... skutečný tlak par
VDC	..... volt stejnosměrného proudu
W	..... watt
°C	..... stupeň Celsia
°F	..... stupeň Fahrenheita

Seznam obrázků

OBRÁZEK 1 - EXISTUJÍCÍ POTRUBNÍ VERZE ČERPADLA	10
OBRÁZEK 2 - PŘEPOKLÁDANÉ PRŮTOKY PALIVA U NOVÉHO MODELU ČERPADLA	11
OBRÁZEK 3 - PRINCIPUÁLNÍ SCHÉMA INSTALACE	13
OBRÁZEK 4 - PATENT: US3539272A - ŘEZ ZAŘÍZENÍM [1].....	15
OBRÁZEK 5 - PATENT: US3539272A - ROZKRESLENÉ OTOČNÉ ŠOUPÁTKO [1].....	16
OBRÁZEK 6 - PATENT: US4324532A - SYSTÉM ZAJIŠTĚNÍ A OVLÁDÁNÍ PŘÍVODU PALIVA [2].....	17
OBRÁZEK 7 - PATENT: US4324532A - ŘEZ MODULU ČERPADLA [2].....	18
OBRÁZEK 8 - PATENT: US8561629B2 - SCHÉMA FUNKCE ŠOUPÁTKOVÉHO VENTILU [3]	19
OBRÁZEK 9 - PATENT: US8561629B2 - VYPOUŠTĚCÍ ZAŘÍZENÍ NÁDRŽE [3].....	19
OBRÁZEK 10 - KONKURENČNÍ ŘEŠENÍ ČERPADLA OD PARKER HANNIFIN CORPORATION [6].....	20
OBRÁZEK 11 - KONKURENČNÍ ŘEŠENÍ ČERPADLA OD TEST-FUCHS [8]	21
OBRÁZEK 12 - SKICA VARIANTY A.....	22
OBRÁZEK 13 - SKICA VARIANTY B.....	23
OBRÁZEK 14 - SKICA VARIANTY C.....	24
OBRÁZEK 15 - KONSTRUKČNÍ VARIANTA I.	25
OBRÁZEK 16 – SCHÉMA VARIANTY I.....	26
OBRÁZEK 17 - ZAJIŠŤOVACÍ MECHANIZMUS VARIANTY I.	27
OBRÁZEK 18 - PRACOVNÍ PROSTOR ČERPADLA VARIANTA I	27
OBRÁZEK 19 - VSTUP IMPELLERU VARIANTA I	28
OBRÁZEK 20 - VSTUPNÍ KANÁL ČERPADLA VARIANTA I	28
OBRÁZEK 21 - ROTAČNÍ ŠOUPÁTKO VARIANTA I	29
OBRÁZEK 22 - SPODNÍ KRYT ČERPADLA VARIANTA I.....	29
OBRÁZEK 23 - SPODNÍ DESKA CANISTERU VARIANTA I.....	30
OBRÁZEK 24 - HORNÍ DESKA CANISTERU VARIANTA I.....	30
OBRÁZEK 25 - CANISTER ČERPADLA VARIANTA I	30
OBRÁZEK 26 - TRUBIČKA PRŮCHODU KABELU VARIANTA I	31
OBRÁZEK 27 - VSTUP KABELU DO TĚLESA ŘÍDÍCÍ JEDNOTKY MOTORU	31
OBRÁZEK 28 – HRUBÉ ZÁSTAVBOVÉ ROZMĚRY VARIANTY I.	32
OBRÁZEK 29 - KONSTRUKČNÍ VARIANTA II.	33
OBRÁZEK 30 - ČÁSTEČNĚ ROZLOŽENÝ POHLED NA SESTAVU VARIANTY II.	33
OBRÁZEK 31 - SCHÉMA VARIANTY II.	34
OBRÁZEK 32 - PRACOVNÍ PROSTOR ČERPADLA VARIANTA II.	35
OBRÁZEK 33 - VSTUP IMPELLERU VARIANTA II	35
OBRÁZEK 34 - VSTUPNÍ KANÁL ČERPADLA VARIANTA II	36
OBRÁZEK 35 - HORNÍ DESKA CANISTERU VARIANTA II.....	36
OBRÁZEK 36 - STŘEDNÍ DEKA CANISTERU VARIANTA II	37
OBRÁZEK 37 - SPODNÍ DESKA CANISTERU VARIANTA II.....	37
OBRÁZEK 38 - PÁKA ZAJIŠŤOVACÍHO MECHANIZMU VARIANTA II	38
OBRÁZEK 39 - DETAIL OVLÁDÁNÍ PÍSTU VENTILU VARIANTA II	38
OBRÁZEK 40 - CANISTER VARIANTA II	39
OBRÁZEK 41 - ODVZDUŠŇOVACÍ VENTIL [7].....	39
OBRÁZEK 42 – HRUBÉ ZÁSTAVBOVÉ ROZMĚRY VARIANTY II.	40
OBRÁZEK 43 - KONSTRUKČNÍ VARIANTA III.	41
OBRÁZEK 44 - DETAIL SPODNÍ ČÁSTI ZAMONTOVANÉHO ČERPADLA VARIANTA III	41
OBRÁZEK 45 - KONSTRUKČNÍ VARIANTA IV	42
OBRÁZEK 46 - FINÁLNÍ KONSTRUKČNÍ VARIANTA	44
OBRÁZEK 47 - ŘEZ FINÁLNÍ KONSTRUKČNÍ VARIANTOU V MÍSTĚ VEDENÍ KABELU.....	45
OBRÁZEK 48 - SPODNÍ KRYT ČERPADLA, FINÁLNÍ VERZE.....	46
OBRÁZEK 49 – MODEL PŘIPRAVENÝ PRO SIMULACI.....	48
OBRÁZEK 50 – MODEL OPATŘENÝ SÍTÍ	49
OBRÁZEK 51 - UKÁZKA POJMENOVÁNÍ PŘI TVORBĚ REGIONŮ A JEJICH KONTAKTŮ.....	50

OBRÁZEK 52 - ZATĚŽOVACÍ STAVY A KONTAKTY CANISTERU	51
OBRÁZEK 53 - NASTAVENÍ ŘEŠIČE	51
OBRÁZEK 54 - VÝSLEDNÁ POSUNUTÍ PRO PRVNÍ STAV.....	52
OBRÁZEK 55 - MAXIMÁLNÍ NAPĚTÍ PRO PRVNÍ STAV	52
OBRÁZEK 56 – DETAIL SÍTĚ VE VÝŠETŘOVANÉM MÍSTĚ.....	53
OBRÁZEK 57- VÝSLEDNÁ POSUNUTÍ PRO DRUHÝ STAV	53
OBRÁZEK 58 - MAXIMÁLNÍ NAPĚTÍ PRO DRUHÝ STAV	54
OBRÁZEK 59 - GRAF ZÁVISLOSTI PEVNOSTI V TAHU NA TEPLITĚ PRO SLITINU EN AW - 2014 [11]	55
OBRÁZEK 60 - SCHÉMA ZAPOJENÍ ZKOUŠKY	59

Seznam tabulek

TABULKA 1 - ODOLNOST ČERPADLA VŮČI VNĚJŠÍM VLIVŮM DLE RTCA/DO-160G	12
TABULKA 2 - SPECIFIKACE KONKURENČNÍHO ČERPADLA PARKER HANNIFIN [6]	20
TABULKA 3 - SPECIFIKACE KONKURENČNÍHO ČERPADLA TEST-FUCHS [8]	21
TABULKA 4 - HODNOCENÍ A VÝBĚR NEJVHODNĚJŠÍ KONSTRUKČNÍ VARIANTY	44
TABULKA 5 - SOUHRN VLASTNOSTÍ FINÁLNÍ VARIANTY	47
TABULKA 6 - SHRNUTÍ VÝSLEDKŮ KONTROLY	55
TABULKA 8- UKÁZKA SEŘIZOVACÍCH HODNOT ČERPADLA	58
TABULKA 7 - POPIS SCHÉMATU ZAPOJENÍ	59

1. Úvod

Diplomová práce bude zaměřena na konstrukční návrh zástavby dopravního palivového čerpadla přímo do nádrže letounu tak, aby byla umožněna demontáž čerpadla bez nutnosti vypuštění a dehermetizace nádrže. Při návrhu bude vycházeno ze současné potrubní verze čerpadla v míře úprav stanovené zadáním.

V první části je nutné ve spolupráci se zadavatelem upřesnit zadání, neboť letecký průmysl je velmi specifický z hlediska četnosti předpisů a standardů, které toto odvětví regulují a je nutné je při návrhu respektovat. Dále bude provedena rešerše patentů zabývajících se touto problematikou a rešerše stávajících řešení nabízených konkurenčními subjekty.

Ve druhé části budou vypracovány varianty řešení, ze kterých bude následně vybrán návrh pro detailní zpracování včetně výkresové dokumentace dle dohody se zadavatelem.

Zadání vychází z reálné poptávky zákazníka.

Palivové čerpadlo je součástí palivového drakového systému letounu a zajišťuje dodávku paliva k motoru ve všech režimech letu.

2. Technická specifikace zadání

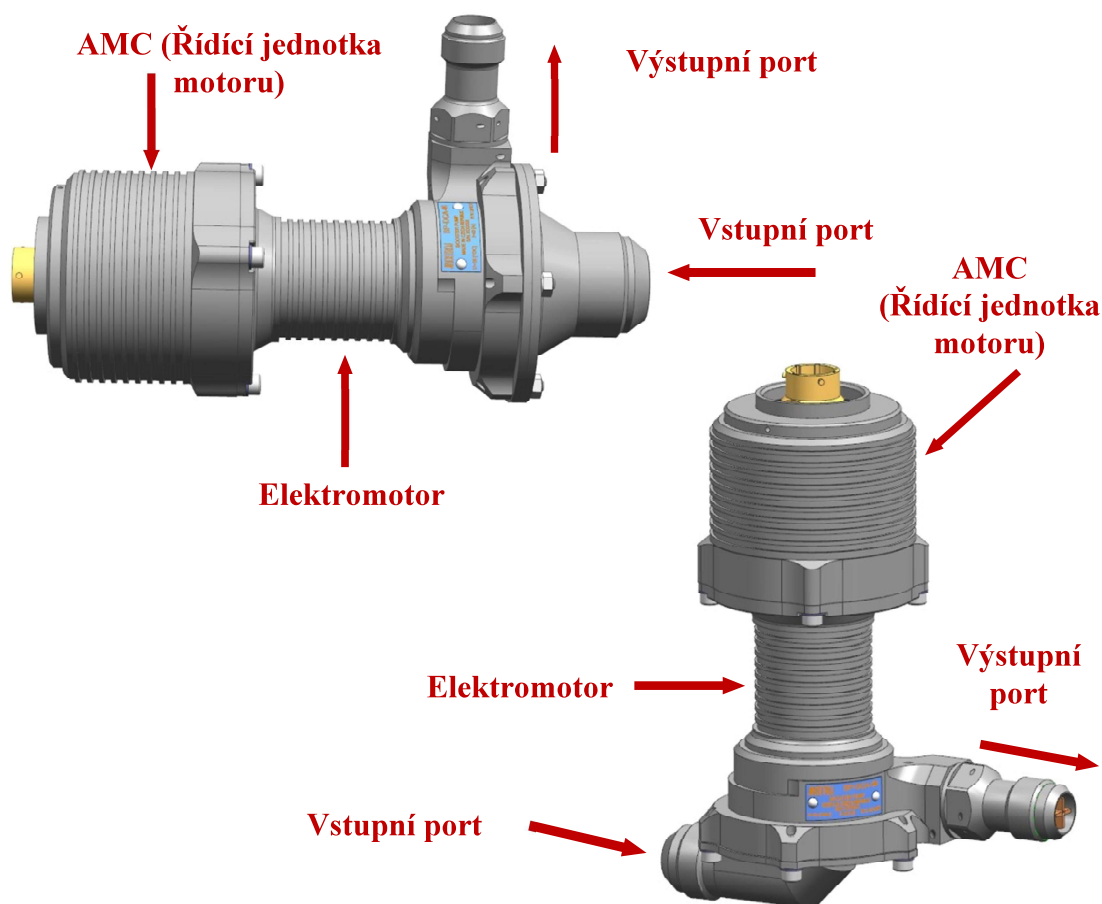
2.1 Architektura výchozího modelu čerpadla

Výchozím typem čerpadla je potrubní verze existujícího palivového čerpadla typové řady BP-DCA. Toto čerpadlo slouží k dodávce paliva do hlavního palivového čerpadla motoru. Čerpadlo pracuje s palivou na bázi leteckého petroleje nebo s leteckým benzínem.

Výchozí potrubní model čerpadla je modulární koncepce. Skládá se z hydraulického stupně (odstředivé čerpadlo), BLDC elektromotoru, řídicí elektroniky AMC a zpětného ventilu ve výstupním šroubení. Palivové čerpadlo je odstředivého typu a skládá se z rotoru a statoru. Elektrický motor je typu BLDC a pro jeho lepší chlazení a mazání kluzných ložisek je zaplaven palivem.

Řídicí elektronika je umístěna v hermeticky uzavřeném tělese a k elektrické síti draku letounu je připojena konektorem, ke kterému se připojí kabel s napájecím DC napětím. Řídicí jednotka zajišťuje chod motoru v daném rozmezí napájecího napětí a dále obsahuje ochranné funkce čerpadla.

Na obr. 1 je znázorněno typické uspořádání existující potrubní verze čerpadla.

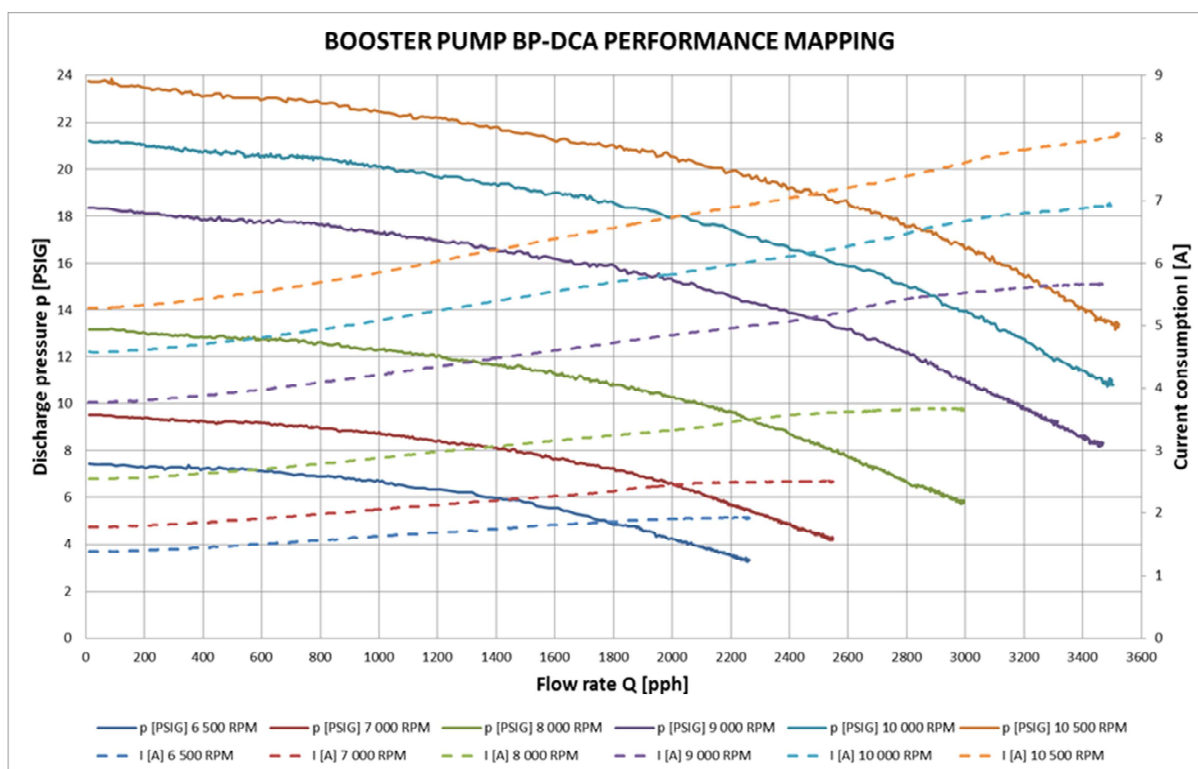


Obrázek 1 - Existující potrubní verze čerpadla

2.2 Technické parametry čerpadla

Technické parametry čerpadla pro nový model zůstanou zachovány kromě hmotnosti.	
Provozní teplota okolí	-55 °C až +70 °C
Neprovozní teplota okolí	-55 °C až +85 °C
Teplota paliva na vstupu do čerpadla	-55 °C až +60 °C
Provozní kapalina	letecké palivo na bázi petroleje a letecký benzín
Provozní výšky	0 až 45 000 ft
Napájecí napětí nominální	22 – 30,2 VDC
Napájecí napětí provozní	22 – 30,2 VDC
Napájecí napětí limitní	18 – 32,2 VDC
Maximální proud	10 A
Provozní otáčky (nastavitelný parametr)	5 500 – 10 800 ot/min
Tlak paliva na vstupu do čerpadla	minimum 15 kPa + TVP
Hmotnost	TBD

U nového modelu se předpokládají průtoky paliva dle následujícího grafu.



Obrázek 2 - Předpokládané průtoky paliva u nového modelu čerpadla

2.3 Odolnost čerpadla vůči vnějším vlivům

Odolnost čerpadla vůči vnějším vlivům bude odpovídat kategoriím normy RTCA/DO-160G dle následující tabulky.

Tabulka 1 - Odolnost čerpadla vůči vnějším vlivům dle RTCA/DO-160G

Section	Environmental Conditions	Categories
4	Temperature and Altitude	C2
5	Temperature Variation	B
6	Humidity	B
7	Operational Shocks and Crash Safety	B
8	Vibration	S curve T
9	Explosion Proof	A environment I
10	Waterproofness	W
11	Fluid Susceptibility	F
12	Sand and Dust	D
13	Fungus Resistance	F
14	Salt Spray	S
15	Magnetic Effect	B
16	Power Input	B
17	Voltage Spike	A
18	Audio Frequency Conducted Susceptibility-Power Inputs	B
19	Induced Signal Susceptibility	ZC
20	Radio Frequency Susceptibility (Radiated and Conducted)	YG
21	Emission of Radio Frequency Energy	B
22	Lightning Induced Transient Susceptibility	A3J3L3
23	Lightning Direct Effects	X

2.4 Požadavky na zástavbu čerpadla

Při řešení konstrukce nové verze palivového čerpadla budou použity existující podsestavy:

- a) Hydraulický stupeň – Impeller a jeho instalace na rotoru elektromotoru, část tvaru statoru.
- b) Elektromotor – konstrukce rotoru s jeho uložením, stator s jeho uložením (bez tělesa).
- c) Řídící elektronika AMC – bude modifikováno těleso.

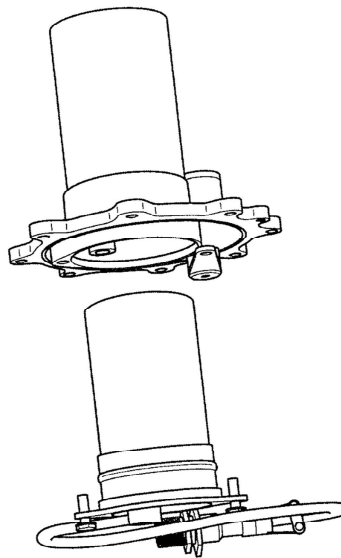
Nová verze čerpadla bude tzv. cartridge / canister type booster pump. Čerpadlo bude umístěno na spodní straně křídla.

Nové řešení čerpadla bude na vstupním a výstupním portu vybaveno takovým zařízením, že při výměně čerpadla nebude nutno vypouštět palivo z nádrže.

Sání čerpadla bude vybaveno sítím s otvory cca 2,5mm.

Součástí řešení čerpadla bude i těleso, do kterého se bude čerpadlo zasouvat. Toto těleso bude pevně přišroubováno ke spodní stěně nádrže.

Principiální schéma instalace je na obr. 3.



Obrázek 3 - Principiální schéma instalace

Elektrické připojení bude řešeno pomocí konektoru.

2.5 Požadavky na konstrukci

2.5.1 Materiály a procesy

Je zakázáno používat slitiny hořčíku, mědi v kontaktu s palivem, nízkouhlíkovou ocel.

2.5.2 Materiály způsobující korozi

Je zakázáno používat materiálové dvojice dle MIL-STD-889B, které způsobují elektrochemickou korozi, pokud nedojde k příslušnému ošetření povrchu

2.5.3 Povrchové úpravy

Povrch dílců bude ošetřen takovým způsobem, aby nedocházelo k degradaci povrchů korozi při vystavení vnějším vlivům dle kapitoly 2.3.

2.5.4 Nekovové materiály

Všechny nekovové materiály budou odolné vůči palivům, mazacím syntetickým olejům a konzervačním látkám.

2.5.5 Pryžové materiály

Všechny pryžové materiály budou odolné vůči všem provozním látkám a nebudou podléhat stárnutí v palivu.

2.5.6 Kabeláž

Pokud bude použita kabeláž, musí být zajištěna těsnost připojení.

2.5.7 Přechodové odpory

Elektrický odpor mezi čerpadlem a křídlem nebude vyšší než $2,5\text{m}\Omega$.

2.5.8 Vnější úniky

Není povolený žádný vnější únik při čerpadle instalovaném v kanystru.

Pokud je čerpadlo vyjmuto z kanystru, je maximální únik na vstupním portu $0,5\text{ccm}/\text{min}$ při výšce sloupce 1100 mm. (Jet A-1, okolní teplota)

2.5.9 Odlitky

V konstrukci nebudou použity odlitky.

2.5.10 Maximální pevnostní tlaky

Proof pressure - konstrukce musí vydržet bez poškození maximální tlak rovnající se 1,5 násobku maximálního provozního tlaku na výstupu čerpadla.

Burst pressure - konstrukce musí vydržet bez nebezpečí ztráty integrity nebo vnější těsnosti maximální tlak rovnající se 2,5 násobku maximálního provozního tlaku na výstupu čerpadla.

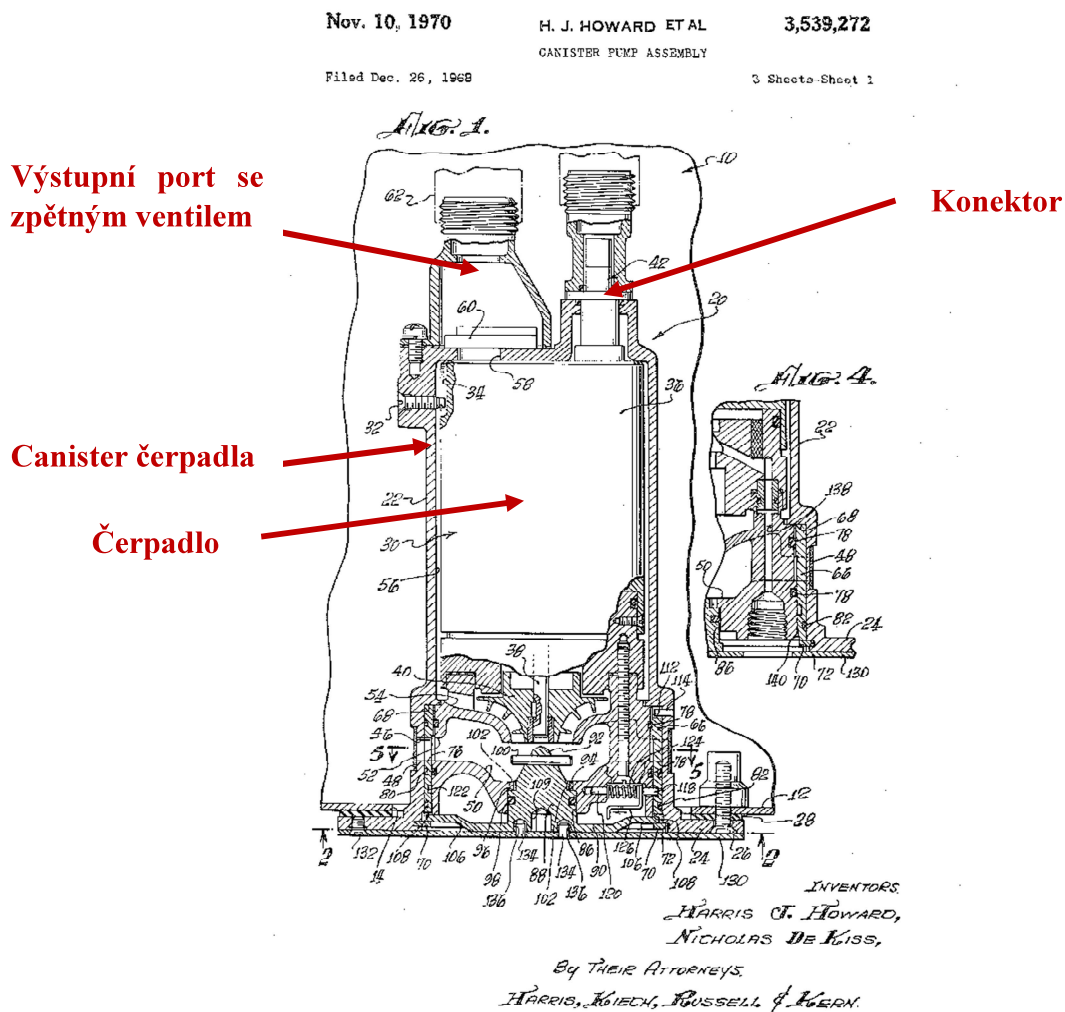
3. Patentová rešerše

Tímto konstrukčním celkem s parametry velmi podobnými zmíněnému zadání se zabývá hned několik patentů a to zejména v USA. Tyto patenty poslouží jako inspirace pro vlastní návrh, zároveň bude potřeba vyhnout se případným sporům s konkurenčními výrobci.

3.1 Patent: US3539272A

Patent pánů Harrise J. Howarda a Nicholase De Kisse, USA 1970. Posledním majitelem patentu byl Delaval Turbine California Inc a platnost vypršela v roce 1987. [1]

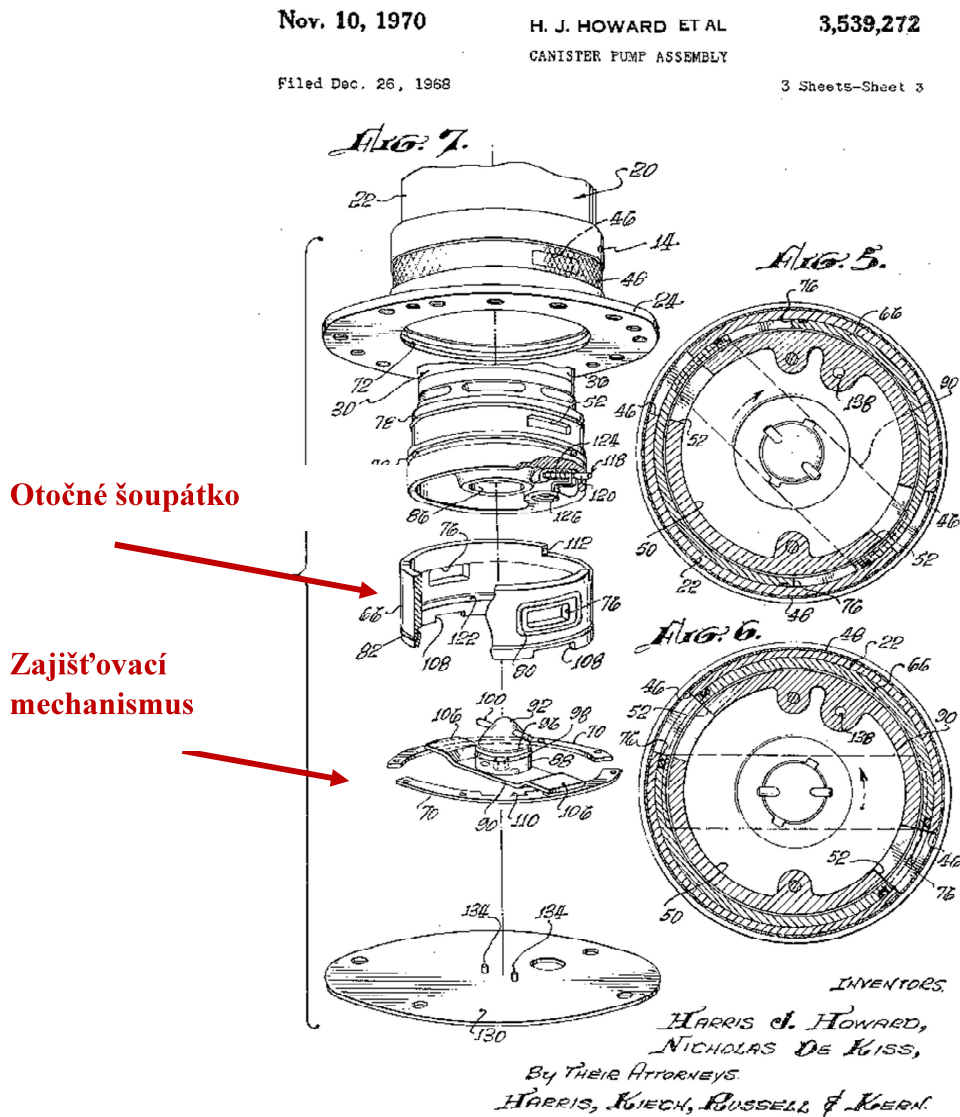
Jedná se o patentované řešení vestavby podávacího palivového čerpadla do canisteru přišroubované ke dnu palivové nádrže umožňující demontáž bez vypouštění nádrže. Pro umožnění demontáže čerpadla z plné nádrže je ve spodní části umístěn šoupátkový ventil, který pootočením uzavírá přívod paliva do canisteru čerpadla. Dále je ventil vybaven zařízením pro zajištění bezpečnosti tak, aby nebylo možné vyjmout čerpadlo s otevřeným ventilem, nebo naopak dokončit montáž s uzavřeným ventilem. Výstupní port čerpadla je v horní části canisteru a je opatřen zpětným ventilem. To má za následek proudění paliva kolem motoru čerpadla a zajišťuje jeho chlazení. Konektor pro připojení elektrického proudu je situován taktéž v horní části canisteru. [1] Na obrázku 4 je znázorněn princip tohoto řešení.



Obrázek 4 - Patent: US3539272A - řez zařízením [1]

Toto řešení sice ošetřuje možné chyby v postupu montáže a demontáže čerpadla, ale dle mého názoru je tato konstrukce zbytečně složitá a obsahuje velké množství komponent. Naopak velmi zajímavé je zde připojení čerpadla na konektor na vrchní části canisteru uvnitř nádrže, neboť nejlépe odpovídá výchozí potrubní konstrukci našeho palivového čerpadla.

Na obrázku 5 jsou znázorněny části otočného šoupátka.



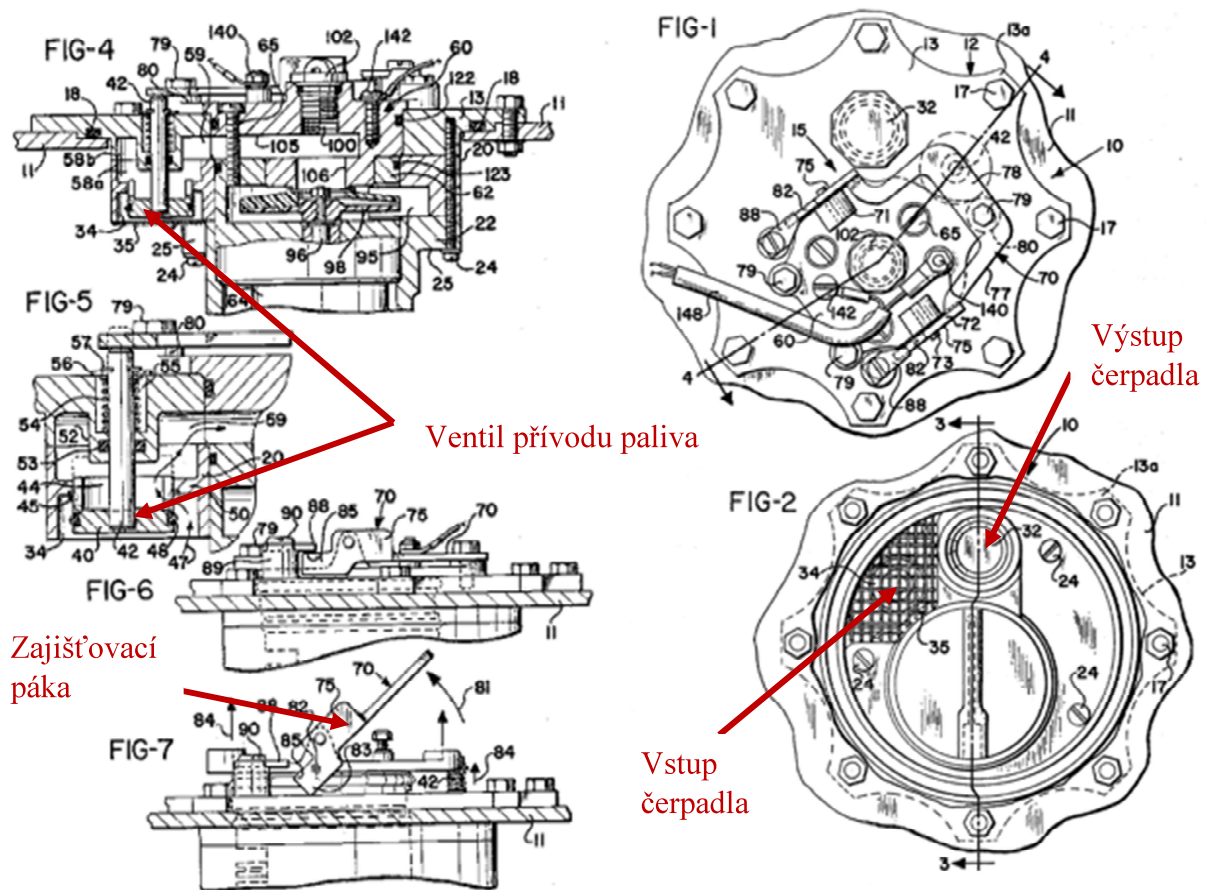
Obrázek 5 - Patent: US3539272A - rozkreslené otočné šoupátko [1]

3.2 Patent: US4324532A

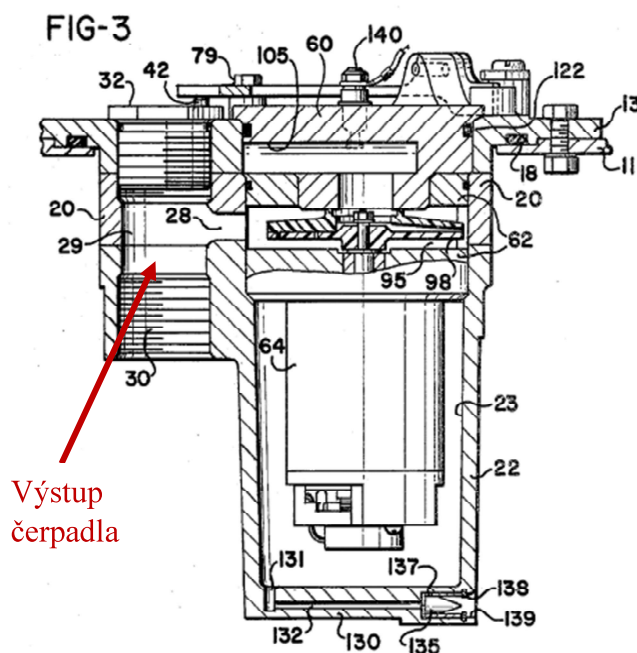
Autor James E. Knife, USA 1980. Poslední majitel patentu Globe Motors Inc. Platnost vypršela v roce 2000. [2]

Jedná se o poměrně jednoduché řešení tělesa a zástavby čerpadla do canisteru pevně přišroubované ke dnu nádrže. Čerpadlo je zasunuto do canisteru a zatěsněno pomocí těsnících kroužků po jeho obvodu. Zajištění správné polohy čerpadla a zároveň jeho dotěsnění zajišťuje páka umístěna na čerpadle. Vstupní port čerpadla je opatřen pístkem, který je tlačěn pružinou do uzavřené polohy. Až po zajištění upevňovací páky čerpadla je touto zároveň pístek přizvednut a vstupní port otevřen. Napájení čerpadla elektrickým proudem je řešeno pomocí šroubů s kontakty na základní desce canisteru. V horní části canisteru nad elektromotorem je menší kanálek, opět opatřený zpětným ventilem, který umožňuje odvodu vzduchu z canisteru po demontáži čerpadla a dále zlepšuje proudění paliva kolem motoru, čímž napomáhá jeho chlazení. [2]

Na obrázku 6 je znázorněn princip tohoto řešení. Obrázek 7 zobrazuje řez modulem čerpadla.



Obrázek 6 - Patent: US4324532A - systém zajištění a ovládní přívodu paliva [2]



Obrázek 7 - Patent: US4324532A - řez modulu čerpadla [2]

3.3 Patent: US8561629B2

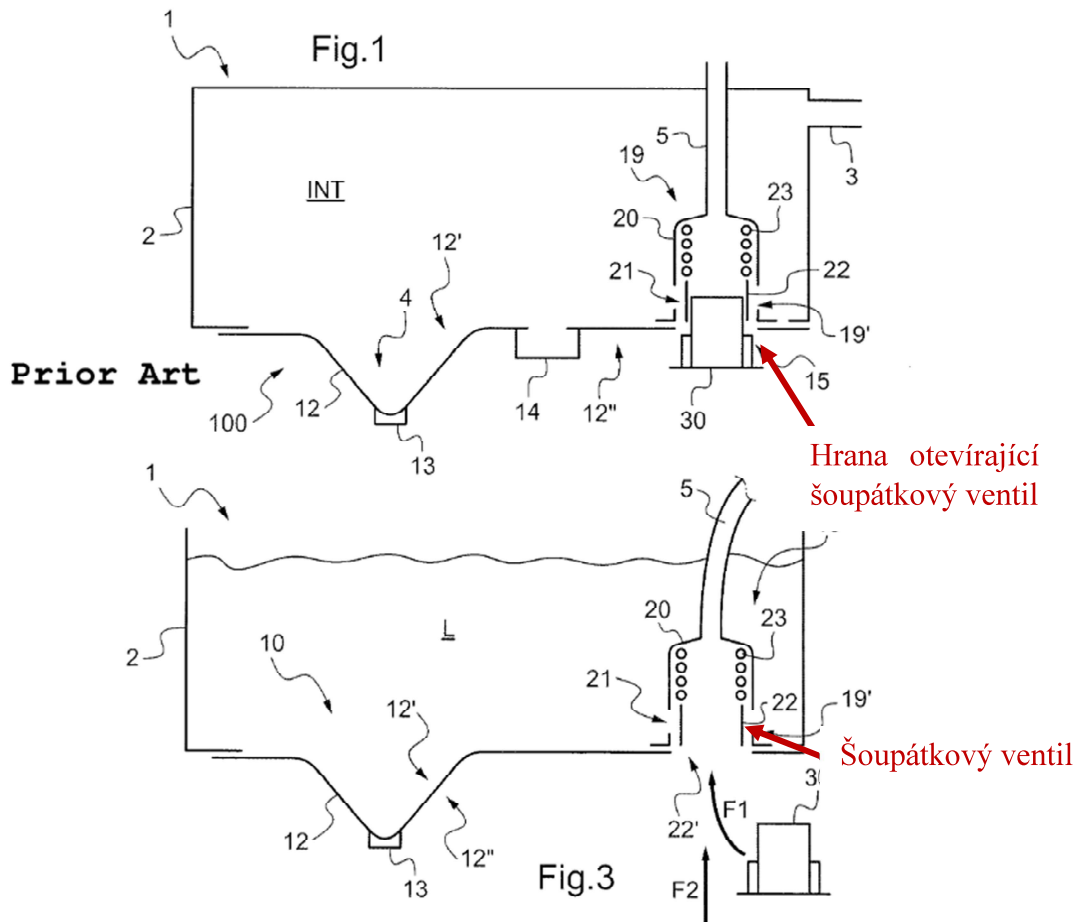
Autor Stéphane Mougin, USA 2010. Současný majitel patentu Airbus Helicopters SAS. Platnost vyprší v roce 2032. [3]

Jedná se o patent popisující způsob demontáže palivového čerpadla, vypouštění nádrže a zařízení k tomu určená.

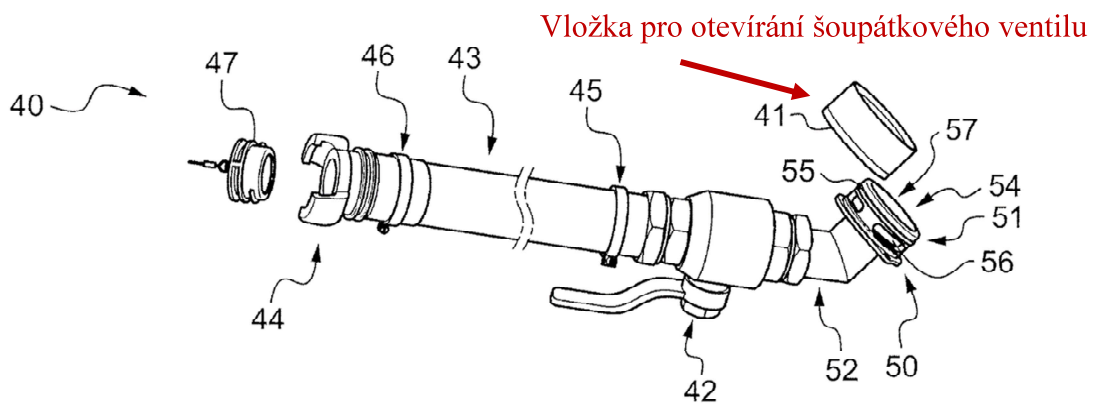
Základní princip je opět ovládnutí vstupního portu pomocí šoupátkového ventilu, který se tentokrát neotáčí, ale je nadzdvihován. Pokud je čerpadlo demontováno, canister je zatěsněn pomocí šoupátkového ventilu, který je pružinou přidržován v zavřené poloze. Při montáži je tento ventil nadzdvihnut hranou čerpadla a přívod paliva je otevřen. Výstup je opět opatřen zpětným ventilem a elektrické připojení čerpadla se provádí na vnější straně desky. [3]

Pro vypouštění nádrže je navržena speciální přípojka, která nadzdvihne rukávový ventil místo čerpadla. Není tedy potřeba, aby nádrž obsahovala další vypouštěcí ventil. [3]

Na obrázku 8 je naznačena funkce šoupátkového ventilu a obrázek 9 ukazuje vypouštěcí zařízení.



Obrázek 8 - Patent: US8561629B2 - schéma funkce šoupátkového ventilu [3]



Obrázek 9 - Patent: US8561629B2 - vypouštěcí zařízení nádrže [3]

4. Analýza konkurenčního prostředí

4.1 Parker Hannifin

Primárním konkurentem v oblasti palivových čerpadel koncepce canister/cartridge je Parker Hannifin Corporation která již podobné produkty řadu let nabízí. Jedná se o společnost s více než 100letou tradicí, která byla založena v roce 1917 a zaměstnává více než 55 000 pracovníků ve 49 zemích po celém světě. Korporace dodává produkty v mnoha oblastech průmyslu jako je hydraulika, pneumatika, filtrace a separace, elektrotechnika, senzory a diagnostika. V neposlední řadě dodává komponenty pro letectví a vesmírný průmysl. [4]

Parker Hannifin Corporation dodává palivová čerpadla pro vojenská i civilní letadla, a to většinou na zakázku dle konkrétních potřeb zákazníka. Čerpadla jsou jak podávací, která pod tlakem dodávají palivo přímo do motoru, tak i přečerpávací, která udržují hladinu paliva v hlavní nádrži a přečerpáváním paliva vyrovnávají těžiště. [5]

4.1.1 28 VDC bezkartáčové palivové čerpadlo Parker Hannifin

Navržené pro civilní a vojenské letouny. Jedná se o odstředivá čerpadla složená z bezkartáčového elektromotoru s permanentními magnety a z analogového řízení. Tato čerpadla jsou napájena stejnosměrným proudem o nominálním napětí 28 volt. Dodávají se pro montáž přímo do nádrže (intank), ale také jako canister/cartridge varianty umožňující demontáž čerpadla bez vypuštění nádrže. [5][6]

Tento systém čerpadla je použit na Embraer Legacy 450, 500 a Northrop Grumman Global Hawk. [5]

V tabulce 2 jsou shrnuté parametry a na obrázku 10 jsou zobrazeny čerpadla výrobce Parker Hannifin.

Tabulka 2 - Specifikace konkurenčního čerpadla Parker Hannifin [6]

Veličina	Hodnota
Průtok	0 až 11 000 pph
Výstupní tlak	10 až 32 psi
Příkon	200 až 600 W
Teplotní rozsah kapaliny	-54 až 57 °C
Teplotní rozsah okolí	-54 až 57 °C
Hmotnost sestavy	3,6 až 4,1 kg
Zatěžovací cykly	Občasný až trvalý



Obrázek 10 - Konkurenční řešení čerpadla od Parker Hannifin Corporation [6]

4.2 TEST-FUCHS

Jedná se společnost sídlící v Rakousku nedaleko hranic s Českou republikou.

Od roku 1995 TEST-FUCHS vyvíjí a vyrábí palivové, hydraulické a mazací komponenty a systémy pro helikoptéry i letouny s pevným křídlem. Od roku 2006 TEST-FUCHS začal vyrábět standardizované produkty, které jsou prodávány po celém světě za pomoci jejich partnerských společností.

4.2.1 Bezkartáčové podávací palivové čerpadlo 240900

Toto čerpadlo je navrženo pro canister/cartridge zástavbu, která umožňuje výměnu čerpadla bez vypouštění palivové nádrže. Canister čerpadla má automaticky uzavíratelný ventil. Odstředivé čerpadlo běží zaplaveno v palivu a je řízené systémem elektronické regulace rychlosti pro udržení konstantního průtoku a tlaku paliva. [8]

V tabulce 3 jsou shrnuté parametry čerpadla společnosti TEST-FUCHS a na obrázku 11 je vlastní čerpadlo.

Tabulka 3 - Specifikace konkurenčního čerpadla TEST-FUCHS [8]

Veličina	Hodnota	
Průtok	1548	pph
Výstupní tlak	12,3	psi
Teplotní rozsah okolí	-45 až 70	°C
Hmotnost sestavy	1,4	kg
Nominální napětí	28	VDC
Operační výška	-609 až 7620	m
Výška	160	mm
Zástavbový průměr	133	mm



Obrázek 11 - Konkurenční řešení čerpadla od TEST-FUCHS [8]

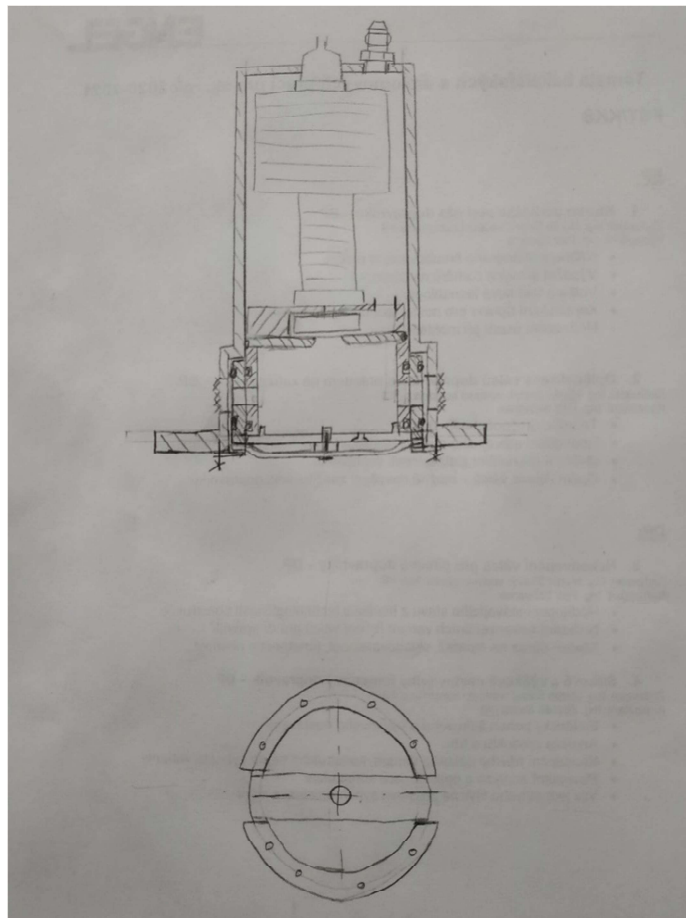
5. Koncepční návrhy

5.1 Varianta A

První varianta návrhu je inspirována patentem pánů Howarda a De Kisse z roku 1970 a ve zjednodušené formě aplikuje jeho základní princip.

Jedná se o variantu využívající rotačního šoupátka k uzavírání přívodu paliva do čerpadla. Zmíněné šoupátko je nainstalováno na vnitřní straně desek canisteru čerpadla a je zatěsněno pomocí těsnících kroužků. Tyto kroužky jsou umístěny kolem průtočných okének mezi canisterem a šoupátkem, ale také mezi šoupátkem a čerpadlem. Do výřezu šoupátka zapadá zajišťovací západka čerpadla, která plní jak funkci vlastního zajištění čerpadla, tak i ovládání šoupátka a tím pádem uzávěru přívodu paliva do canisteru. Veškerý výtlač z čerpadla prochází canisterem vzhůru ke zpětnému ventilu nainstalovanému na horní části canisteru čerpadla. Toto řešení dociluje maximálního možného chlazení elektromotoru. V této variantě je počítáno s přípojovacím konektorem montovaným do spodního víka čerpadla. Bylo by tedy nutné řešit nové elektrické připojení, které by tuto variantu umožnilo vzhledem k bezpečnostním předpisům.

Na obrázku 12 vidíme skicu varianty A.



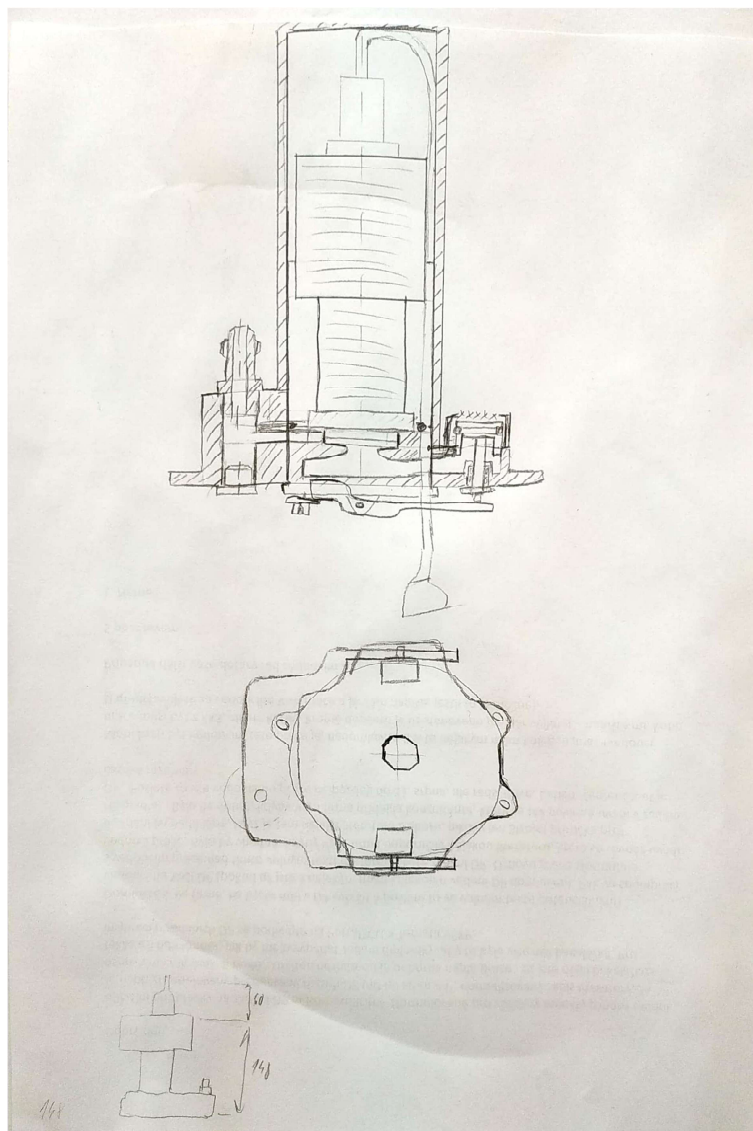
Obrázek 12 - Skica varianty A

5.2 Varianta B

V druhé variantě je přívod paliva ovládán pístovým ventilem, který je situován na desce uložení canisteru čerpadla. Palivo proudí skrz síto vstupního kanálu čerpadla k pístovému ventilu. Ten je pružinou přidržován v uzavřené poloze pro případ, že by bylo čerpadlo demontováno z plné nádrže. Otevřen je pouze pokud je zajišťovací páka čerpadla v uzavřené poloze, čímž přemůže sílu pružiny a otevře pístový ventil. Palivo následně zaplní pracovní prostor čerpadla. Z pracovního prostoru čerpadla vedou dva výstupní kanály. Hlavní s větším průřezem vede k výtlačnému ventilu, který je namontován taktéž na desce uložení canisteru. Druhý kanál má výrazně menší průřez a vede do prostoru canisteru kolem tělesa motoru čerpadla a dále k jednosměrnému ventilu v horní části canisteru čerpadla. Tento kanál umožňuje odvzdušnění prostoru canisteru po opětovné montáži palivového čerpadla do canisteru a dále umožňuje chlazení motoru čerpadla proudícím palivem. Elektrické připojení čerpadla je u této varianty vyvedeno na základní desku uložení canisteru čerpadla.

Jedná se o návrh inspirovaný patentem Jamese E. Knifa, USA 1980.

Skicu varianty B vidíme na obrázku 13.



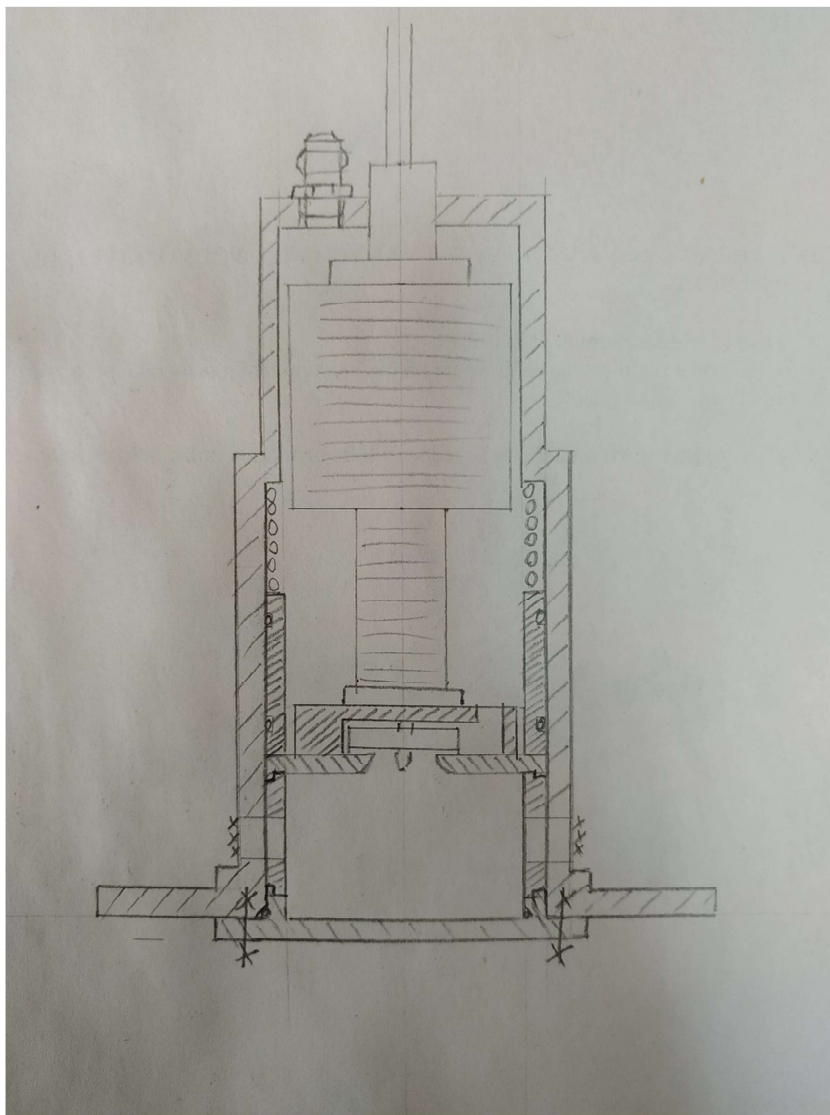
Obrázek 13 - Skica varianty B

5.3 Varianta C

Tato varianta je velmi podobná variantě A. Přívod paliva do canisteru čerpadla skrze síto na vnější straně je ovládán opět pomocí šoupátka. V tomto případě však není šoupátkem otáčeno, ale šoupátko je nadzdvihováno hranou ve spodní části palivového čerpadla. Pokud je čerpadlo demontováno, šoupátko je tlakem pružiny udržováno v zavřené poloze. Palivo je opět čerpadlem vytlačováno do horní části canisteru kolem motoru čerpadla, který je palivem chlazen. Horní dno canisteru je opatřeno zpětným ventilem, skrze který palivo proudí do palivové hadice. Koncepční návrh počítá s elektrickým připojením pomocí konektoru upevněného k hornímu dnu canisteru.

Na velmi podobném principu jako tato varianta funguje i doposud platný patent US8561629B2, jehož platnost vyprší až v roce 2032. Jelikož je patent stále platný. Tato varianta nebude dále rozpracována.

Skica varianty C je na obrázku níže.



Obrázek 14 - Skica varianty C

6. Konstrukční návrhy

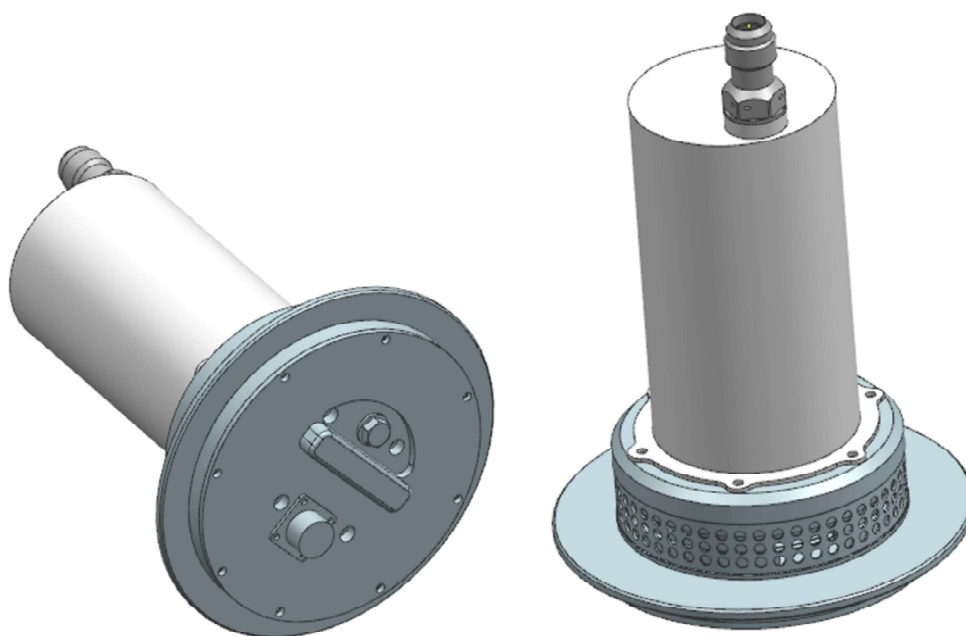
V této části budou podrobněji rozpracovány předešlé koncepční návrhy. Jelikož nebude důsledně dodržena přímá návaznost mezi koncepčními a konstrukčními variantami, bude zavedeno nové značení variant I až IV.

Konstrukční návrhy byly zpracovány pomocí CAD softwaru SIEMENS NX 12.

6.1 Varianta I.

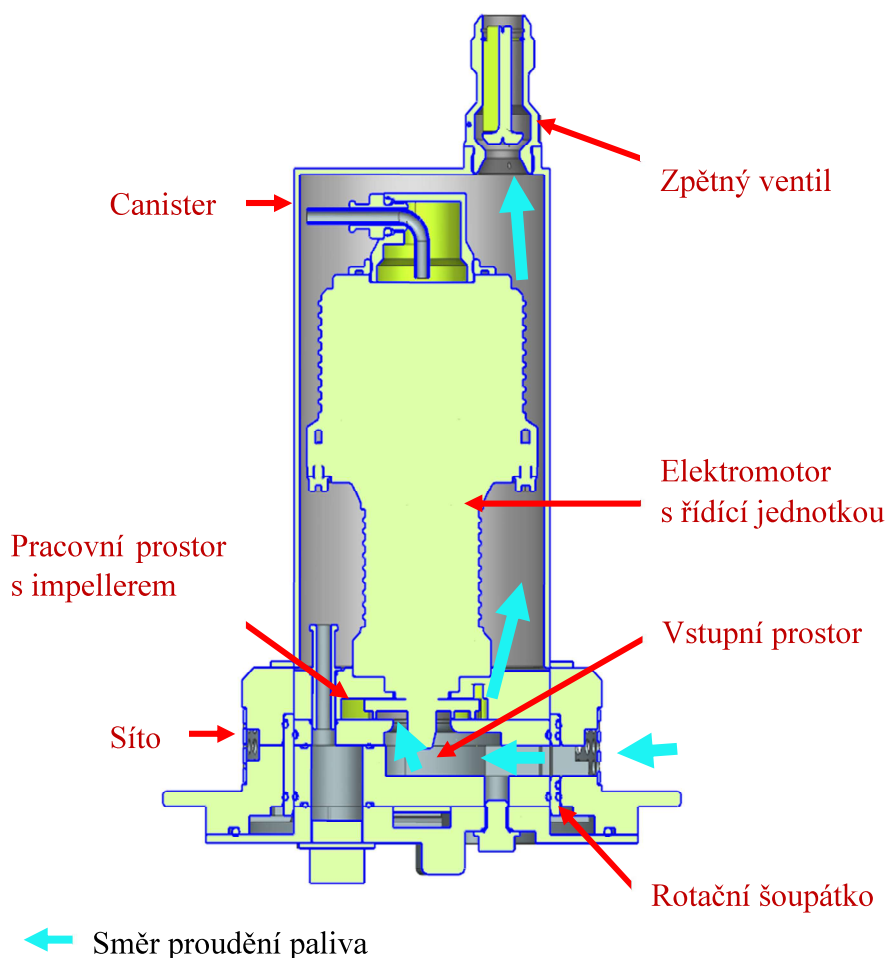
První konstrukční varianta vychází z výše popsaného koncepčního návrhu A se zásadní odlišností v umístění elektrického připojovacího konektoru. Ten byl v koncepčním návrhu situován v horní části canisteru. Z důvodů problematického připojování a zatěsnění konektoru je nyní umístěn ve spodním krytu čerpadla.

Na obrázku 15 je znázorněn koncepční návrh varianty I.



Obrázek 15 - Konstrukční varianta I.

Palivo do čerpadla umístěného v canisteru vstupuje skrze síto, které využívá celého obvodu spodní desky canisteru a má tedy dostatečnou plochu, aby se předešlo nebezpečí zneprůchodnění síta nečistotami z nádrže. Pokud je čerpadlo zamontováno v canisteru, proudí palivo otevřeným rotačním šoupátkovým ventilem do vstupního prostoru čerpadla a dále vstupem impelleru do pracovního prostoru čerpadla. Geometrie pracovního prostoru čerpadla je převzata z osvědčené stávající verze čerpadla. Po urychlení impellerem je palivo vytlačováno do prostoru canisteru čerpadla, kde přímo omývá těleso čerpadla. Tím zajišťuje jeho intenzivní chlazení. Zpětný výtlačný ventil, který je situován v horní části canisteru, zamezuje zpětnému proudění paliva z výtlačného potrubí v době, kdy je palivové čerpadlo demontováno, a tedy předchází zvýšenému úniku paliva. Obrázek 16 zachycuje schematický řez touto variantou.

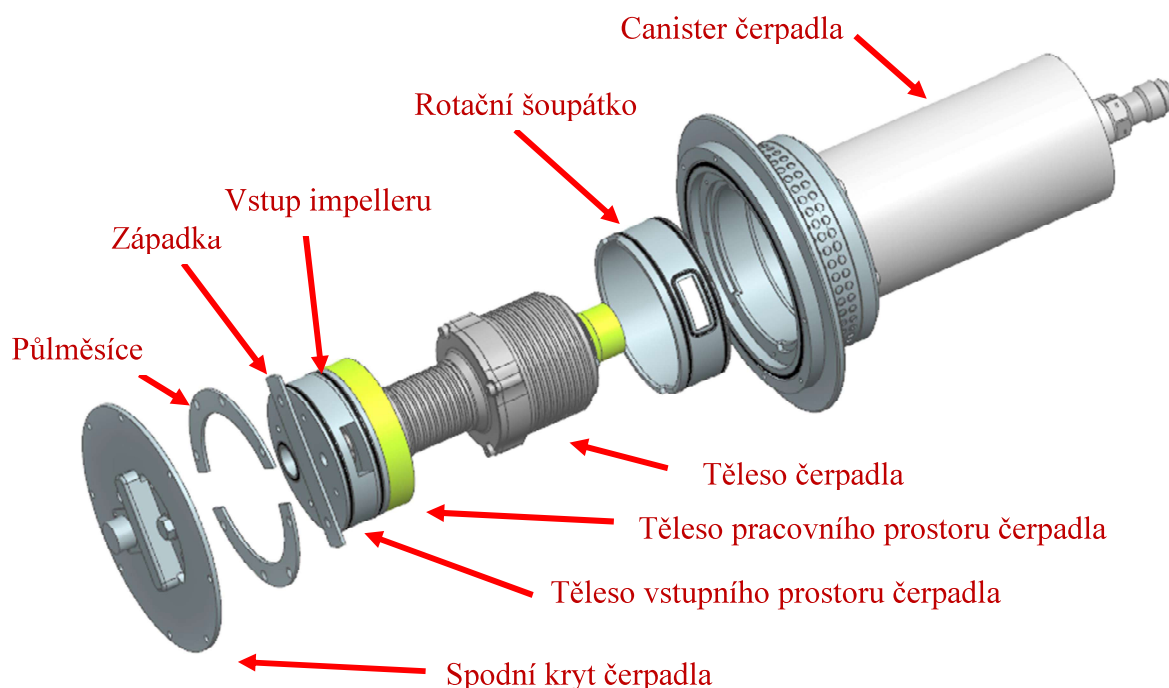


Obrázek 16 – Schéma varianty I.

Systém zajišťování čerpadla je tvořen dvěma půlměsíci z nerezové oceli připevněnými šrouby k desce canisteru. Při zasouvání čerpadla do canisteru právě mezi nimi projde západka, která je vyrobena taktéž z nerezové oceli a zasune se do výřezů v rotačním šoupátku. Po úplném zasunutí do canisteru musí být čerpadlem otočeno o 90° vpravo, čímž dojde k zajištění polohy a zároveň otevření přívodu paliva šoupátkem. Na závěr je čerpadlo přišroubováno šrouby k desce canisteru.

Při demontáži jsou nejprve vyšroubovány šrouby, které připevňují čerpadlo k desce canisteru. Následně dojde k uzavření přívodu paliva otočením čerpadla o 45° vlevo. Po vyšroubování vypouštěcího šroubu bude palivo vypuštěno z prostoru canisteru. Otočením o dalších 45° bude čerpadlo odjištěno. Demontáž bude dokončena vysunutím čerpadla ven z canisteru.

Rozpad dílců této varianty je zobrazen na obrázku 17.

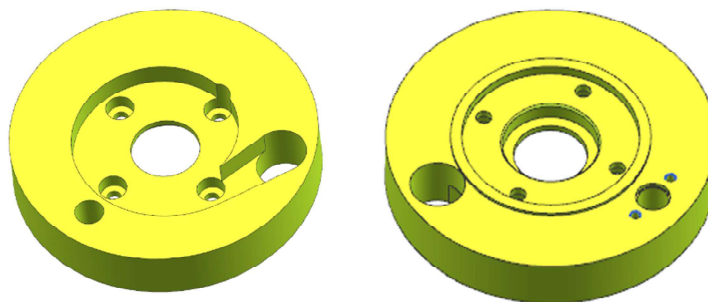


Obrázek 17 - Zajišťovací mechanismus varianty I.

Z hlediska elektrického připojení z řídicí jednotky čerpadla kabel vystupuje v horní části tělesa, ke kterému je vývod přišroubován pomocí nové příruby a kabel z něj vychází do strany skrz vývodku která je opatřena O-kroužkem. Kabel je ve vývodce utěsněn smršťovacími bužírkami. Obdobným způsobem je zatěsněn průchod pracovním prostorem čerpadla ke konektoru 62GB - 12H 12-3P přišroubovanému ke krytu čerpadla.

6.1.1 Pracovní prostor čerpadla

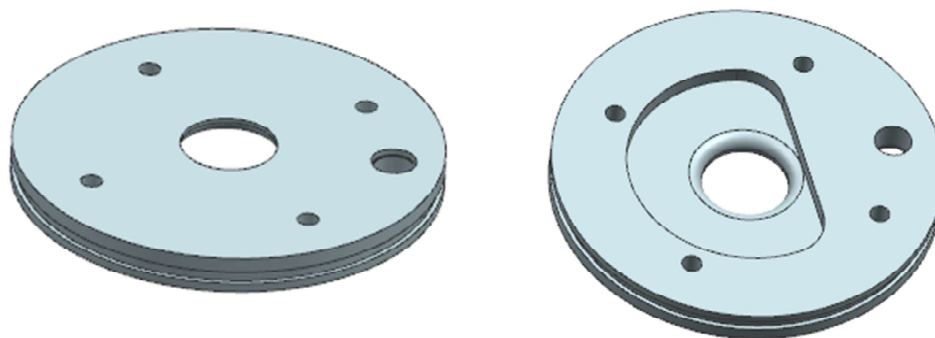
Těleso pracovního prostoru čerpadla je vyrobeno obráběním z duralu EN AW-2017 A. Vnější průměr tělesa byl volen 89 mm a to s ohledem na minimalizaci rozměrů při splnění všech dalších, zejména bezpečnostních, požadavků. Základní geometrie spirály pracovního prostoru, včetně děr pro šrouby, které tuto komponentu připojují k tělesu čerpadla, byla převzata z osvědčené současné potrubní verze. Dále za zmínku stojí otvor pro trubičku kabelu, který má po stranách 2 díry se závitem pro šrouby a uvnitř drážku pro těsnící kroužek. Analogicky je tato komponenta konstruovaná i u ostatních variant s akceptováním drobných odlišností zástavby. Základní tvar pracovního prostoru čerpadla je vidět na obrázku 18.



Obrázek 18 - Pracovní prostor čerpadla varianta I

6.1.2 Vstup impelleru

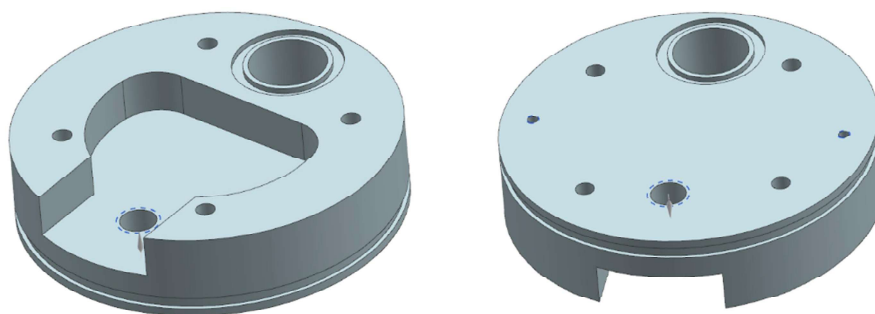
Tato komponenta je v sestavě nutná pro splnění požadavku, aby v konstrukci nebyli použity součásti vyráběné odléváním. Proto musí být všechny kanály konstruovány tím způsobem, že v jedné komponentě je vyfrézován vlastní tvar kanálu a druhá komponenta tvoří dno. Vstup impelleru svou horní plochou tvoří dno výtlačného kanálu, potažmo celého pracovního prostoru čerpadla a spodní plochou tvoří horní stěnu vstupního (sacího) kanálu. Po obvodu se nachází drážka pro těsnicí kroužek, který odděluje sací a výtlačné části. Hrana, kolem které palivo proudí do pracovního prostoru, je z důvodu zlepšení proudění opatřena zaoblením o poloměru 3 mm. Čtyři díry jsou pro šrouby spojující sestavu čerpadla, která se zasouvá do canisteru. Otvor průměru 8.5 mm, který je opatřen drážkou pro těsnicí kroužek, je určen pro trubičku kabelu. Obrázek 19 ukazuje vstup oběžného kola čerpadla.



Obrázek 19 - Vstup impelleru varianta I

6.1.3 Vstupní kanál čerpadla

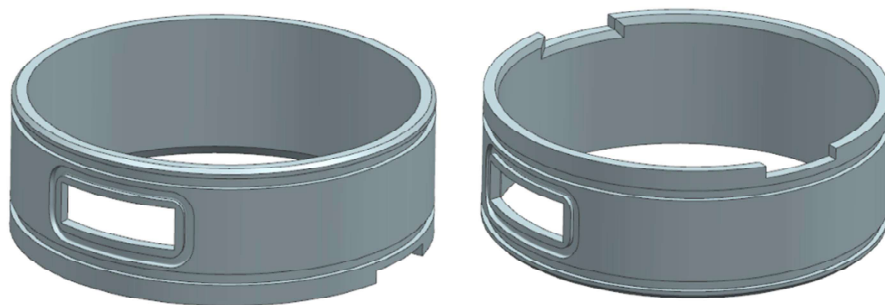
Vstupní kanál čerpadla je navržen tak, aby byl zajištěn dostatečný průřez a nebyl omezován průtok paliva ve všech režimech čerpadla. Použitý materiál je opět EN AW-2017A. Otvor o průměru 18 mm vytváří prostor pro konektor připojení čerpadla a zejména pro jeho naletování na kabel. Na horní i spodní straně je kolem otvoru drážka pro těsnicí kroužek. Následující obrázek ukazuje návrh vstupního kanálu čerpadla.



Obrázek 20 - Vstupní kanál čerpadla varianta I

6.1.4 Rotační šoupátko čerpadla

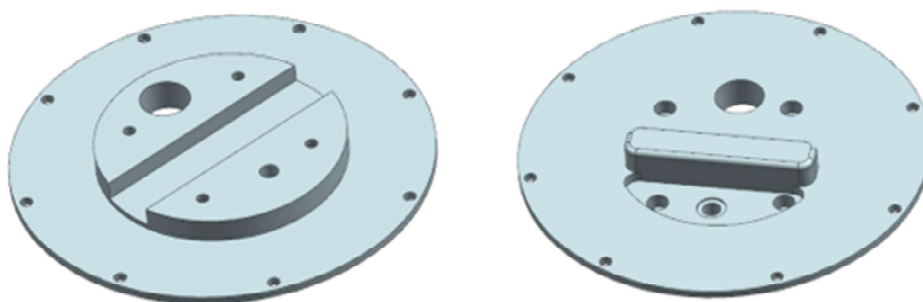
Rotační šoupátko, které se nachází na obrázku 21, plní funkci uzavírání přívodu paliva z nádrže do canisteru čerpadla. K tomuto účelu slouží okénko, které je na vnější straně těsněno O-kroužkem umístěným v drážce okolo okénka. Pro případ, kdy je šoupátko uzavřené, je na vnější straně opatřeno dvěma O-kroužky, které předcházejí prosakování a jsou prvkem dvojitého těsnění. Ve spodní hraně šoupátka jsou dvě drážky pro západku. Ta zajišťuje otáčení šoupátka a zároveň zajištění čerpadla v canisteru. Nezbytná jsou také sražení pro montáž O-kroužků. Materiál šoupátka je hliníková slitina EN AW-2017A.



Obrázek 21 - Rotační šoupátko varianta I

6.1.5 Spodní kryt čerpadla

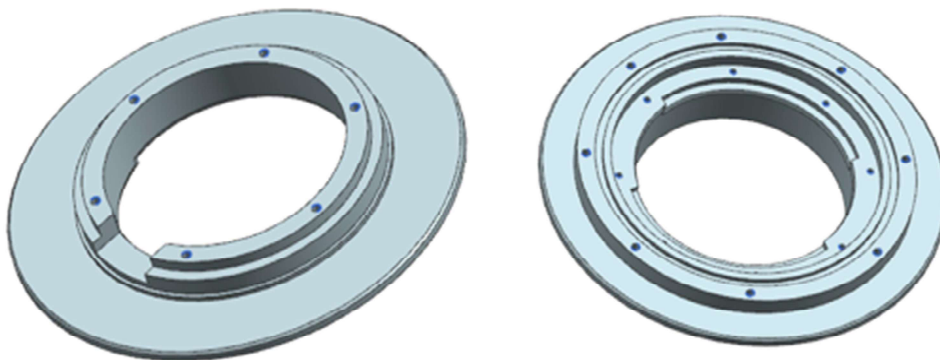
Spodní kryt čerpadla je vybaven drážkou pro západku a madlem ze spodní strany, které umožňuje pohodlné otáčení čerpadla do zajišťovací polohy. Na spodní straně je přišroubován konektor pro připojení elektrického napájení. Dále se na spodní straně nachází vypouštěcí šroub pro odpuštění zbytkového množství paliva při demontáži čerpadla. Těsnění je provedeno O-kroužkem na desce canisteru čerpadla v axiální zástavbě. Kryt je navržen ze slitiny EN AW-2017A a můžeme ho vidět na obrázku 22.



Obrázek 22 - Spodní kryt čerpadla varianta I

6.1.6 Spodní deska canisteru čerpadla

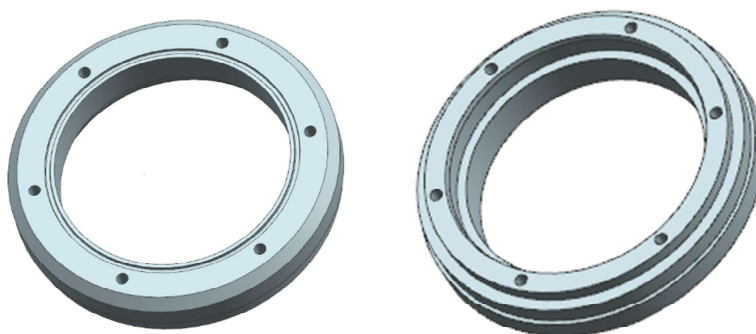
Spodní deska canisteru, znázorněná na obrázku 23, nese celou sestavu a zároveň zajišťuje její montáž k nádrži letadla. V horní části se nachází drážka pro proudění paliva od síta do vstupního kanálu. Síto je situováno po obvodu desek canisteru a zapadá do připraveného osazení. Horní čelo je opatřeno pěti děrami se závitem pro šrouby spojující canister a jeho desky. Spodní strana je uzpůsobena pro otáčení západky o devadesát stupňů drážkou v tomto rozsahu. Nad drážkou je dosedací plocha pro zajišťovací půlměsíce. Tato plocha je opatřena závity pro jejich přišroubování. Spodní čelo je opatřeno drážkou pro O-kroužek a děrami se závitem pro šrouby, které připevňují víko čerpadla. Navržený materiál je EN AW-2017A.



Obrázek 23 - Spodní deska canisteru varianta I

6.1.7 Horní deska canisteru čerpadla

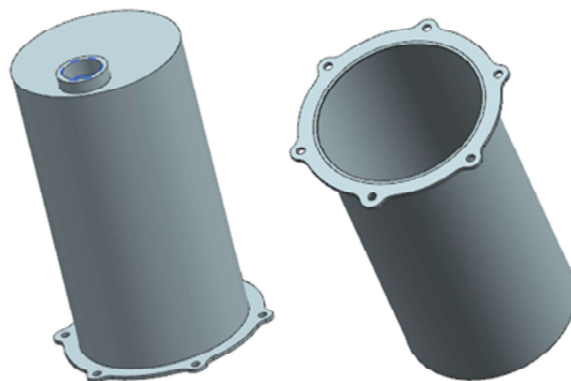
Horní deska je konstruována analogicky jako spodní deska, tedy obsahuje pět děr pro šrouby a uzpůsobení pro palivové síto. Na horní straně je opatřena drážkou pro o-kroužek, který těsní kontakt desky s canisterem čerpadla. Materiálem je taktéž dural EN AW-2017A. Tvar desky je ukázán na obrázku 24.



Obrázek 24 - Horní deska canisteru varianta I

6.1.8 Canister

Canister je konstruován jako jednoduchý svařenec z nerezové trubky o průměru 88.9 mm a síle stěny 2 mm, dna o síle 2 mm opatřeného šroubením pro zpětný ventil a příruby pro montáž k desce canisteru také o síle 2 mm. Zvolena byla nerezová ocel Wst.Nr. 1.4301 / AISI 304 (USA) / ČSN 17240, 17241 (ČR). Tvar canisteru ukazuje obrázek 25.

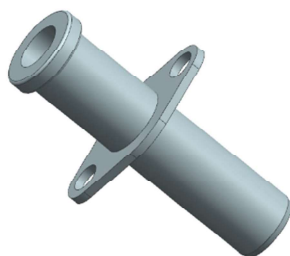


Obrázek 25 - Canister čerpadla varianta I

6.1.9 Trubička průchodu kabelu

Tato trubička je nainstalována v pracovním prostoru čerpadla a zajišťuje, aby se palivo nedostalo kolem kabelu do prostoru napájení konektoru. Toho je docíleno pomocí smršťovacích bužírek navlečených na kabel a přetažených přes trubičku průchodu kabelu. Trubička je připevněna pomocí dvou šroubů. Na konci trubičky je sražení pod úhlem 15° pro snadnou montáž O-kroužků. Navrženým materiálem je dural EN AW-2017A. Tato komponenta je shodná pro všechny navrhované varianty, a proto již nebude dále zmiňována.

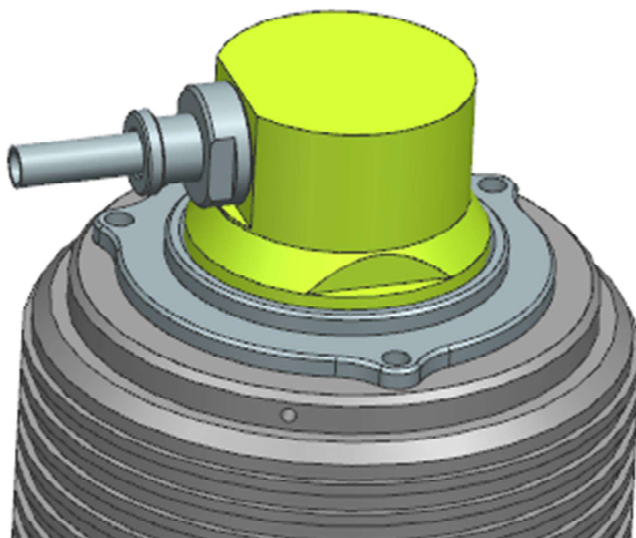
Trubička je ukázána na obrázku 26.



Obrázek 26 - Trubička průchodu kabelu varianta I

6.1.10 Vstup kabelu do tělesa

Vstup kabelu do tělesa řídicí jednotky motoru je přepracován oproti původnímu řešení s konektorem tak, aby byla snížena zástavbová výška. Z toho důvodu je kabel vyveden do strany. Vstupní těleso kabelu i v něm našroubovaný náustek pro smršťovací bužírku jsou vyrobeny z dural EN AW-2017A. Mezi sebou jsou těsněny O-kroužkem. Vlastní těleso řídicí jednotky bude opatřeno přírubou, která bude připevněna pomocí tří šroubů M3. Toto připojení



Obrázek 27 - Vstup kabelu do tělesa řídicí jednotky motoru

je aplikováno shodně na všech navrhovaných variantách a můžeme jej vidět na obrázku 27.

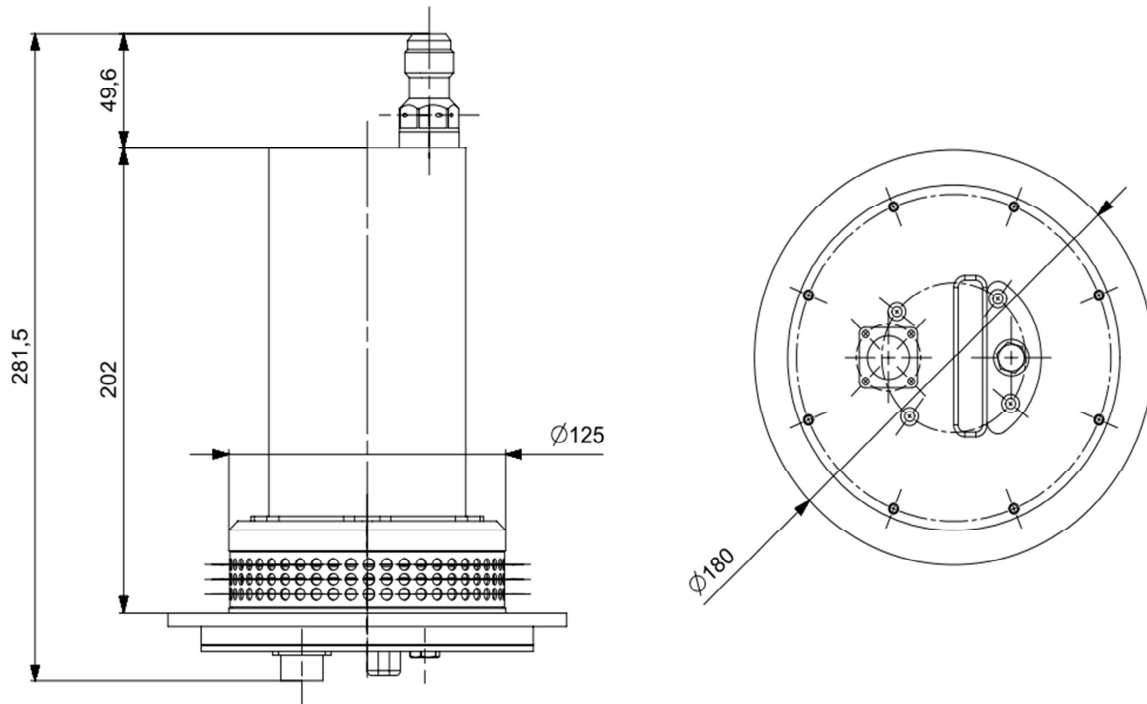
6.1.11 Zpětný ventil paliva

Zpětný ventil paliva pochází z produkce Jihostroj a.s. a je použit bez dalších úprav.

6.1.12 Zástavbové rozměry varianty I

Zástavbové rozměry varianty I jsou uvedené na obrázku 28

Pro úplné zástavbové rozměry je potřeba započítat výšku připojovacího konektoru a brát zřetel na maximální ohybový rádius kabelu. Typ konektoru s kabelem však závisí na volbě zákazníka, respektive zástavbě v letounu.

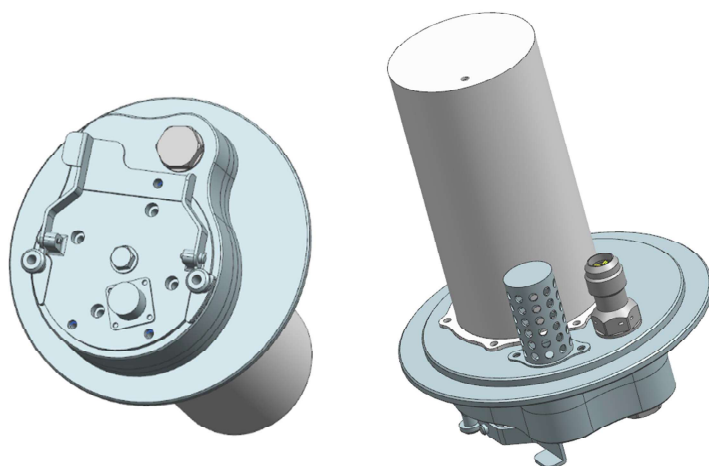


Obrázek 28 – Hrubé zástavbové rozměry varianty I.

6.2 Varianta II.

Tato varianta vychází z koncepčního návrhu B v jeho původní formě. Zachovává všechny jeho základní myšlenky jako je uzavírání přívodu paliva pístovým ventilem, připojení elektrického proudu konektorem na spodní desce čerpadla a zajištění čerpadla pákou. Tato páka je též umístěna přímo na spodní desce a plní zároveň funkci ovládání pístového ventilu.

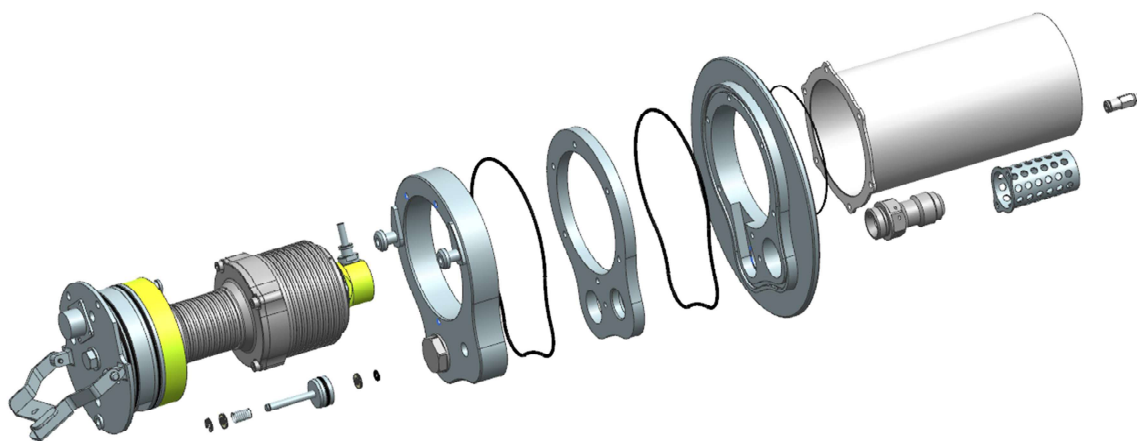
Vzhled varianty II ukazuje obrázek 29.



Obrázek 29 - Konstrukční varianta II.

Palivo do čerpadla vstupuje skrz síto, které je přizpůsobené této koncepci. Dále proudí otevřeným pístovým ventilem do vstupního prostoru čerpadla, odkud je nasáváno do pracovního prostoru a impellerem vytlačováno do výstupního kanálu. Tato koncepce umožňuje jak výtlak do potrubí připojeného přes zpětný ventil k desce canisteru, tak výtlak směrem dolů do prostoru mimo nádrž a to záměnou zpětného ventilu a zátky na spodní straně. Malá část paliva je otvorem ve výstupní spirále pracovního prostoru vytlačována do canisteru čerpadla, kde vytváří mírné proudění a zlepšuje chlazení čerpadla. Následně palivo odchází menším zpětným ventilem v horní části canisteru zpět do nádrže. Malý zpětný ventil též umožňuje odvětrání prostoru canisteru do nádrže při plnění palivem po provedení údržby.

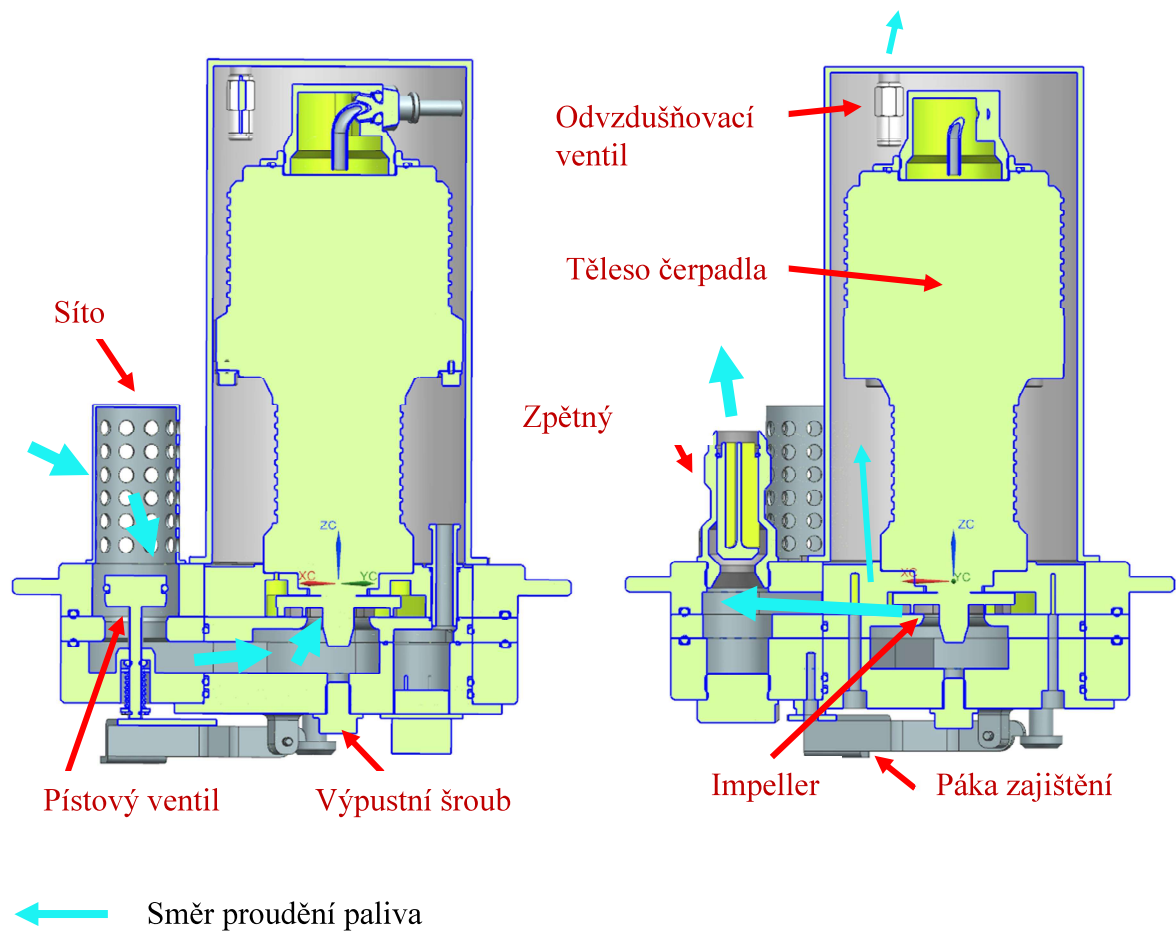
Rozklad varianty II je ukázán na obrázku 30.



Obrázek 30 - Částečně rozložený pohled na sestavu Varianty II.

Zajišťovací mechanismus je v tomto případě tvořen pákou upevněnou pomocí čepů přímo na spodní desce čerpadla. Při zasouvání čerpadla do canisteru je páka v odjištěné poloze. Po zasunutí je páka využita pro dotlačení čerpadla. Během zajišťování páka dosedne na píst ventilu a nadzdvihne ho, čímž vpustí palivo do vstupního otvoru, potažmo do celého prostoru canisteru. Páka je v zajištěné poloze držena šroubem, který spolu se dvěma dalšími šrouby fixuje čerpadlo na svém místě během provozu. Pokud je páka odjištěna, píst ventilu je pružinou tlačěn do sedla v desce canisteru, které zatěsňuje O-kroužkem, čímž automaticky uzavře přívod paliva do čerpadla.

Popsaný řez variantou II ukazuje obrázek 31.



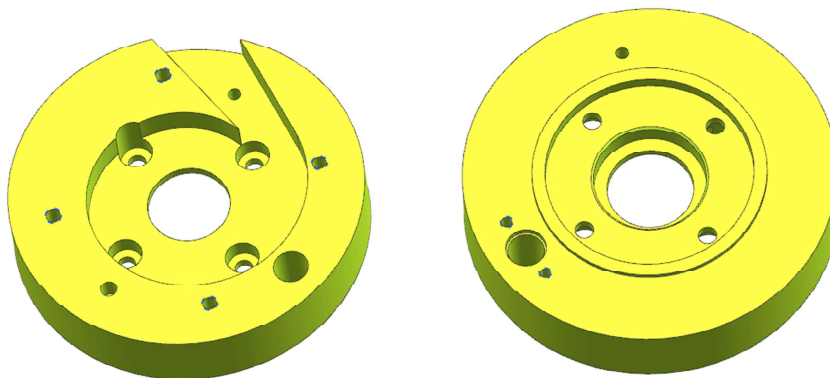
Obrázek 31 - Schéma varianty II.

Elektrické připojení je shodné s variantou I. Z řídicí jednotky čerpadla kabel vystupuje v horní části tělesa, ke kterému je vývod přišroubován pomocí příruby. Kabel z něj vychází do strany skrz vývodku, která je opatřena o-kroužkem. Kabel je ve vývodce utěsněn smršťovacími bužírkami. Obdobným způsobem je zatěsněn průchod pracovním prostorem čerpadla ke konektoru 62GB - 12H 12-3P přišroubovanému ke krytu čerpadla.

6.2.1 Pracovní prostor čerpadla

Stejně jako u předchozí varianty je pracovní prostor čerpadla zhotoven obráběním z duralu EN AW-2017A. Oproti první variantě má však druhá varianta o tři milimetry menší vnější průměr. To je umožněno tím, že výstupní spirála není zakončena vyústěním do prostoru canisteru, ale pokračuje dále do kanálu v deskách canisteru. Důvod této odlišnosti je zřejmý z popisu funkce uvedeného výše. Této změně je také přizpůsobeno rozmístění spojovacích šroubů. Základní geometrie spirály je převzata ze současné verze čerpadla. Do spirály je navíc umístěn otvor o průměru tři milimetry, který zajišťuje proudění v canisteru. Dále je zde doplněn otvor pro středící kolík zajišťující lícování kanálů.

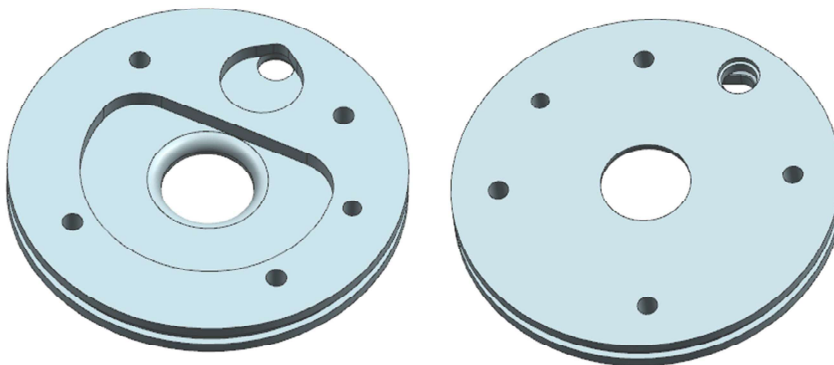
Obrázek 32 znázorňuje pracovní prostor čerpadla.



Obrázek 32 - Pracovní prostor čerpadla varianta II.

6.2.2 Vstup impelleru

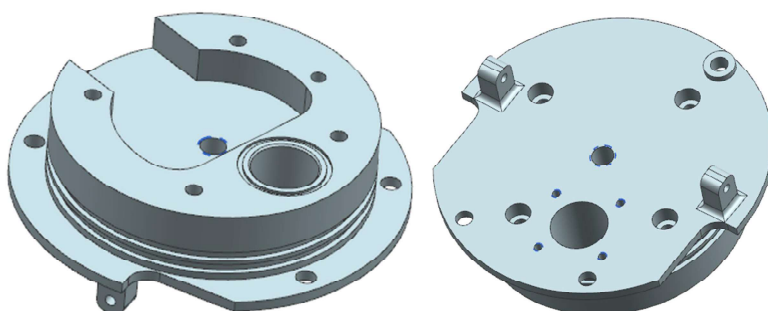
Vstup impelleru (zobrazený na obrázku 33) je zhotoven třískovým obráběním z duralu EN AW-2017A. Odlišný od první varianty je, stejně jako pracovní prostor čerpadla, v průměru, který je zde o tři milimetry menší. Dále se liší v prostoru pro konektor, který u této varianty začíná již ve vstupu impelleru. K tomuto řešení muselo být přikročeno, neboť těleso vstupního kanálu čerpadla je oproti variantě s rotačním šoupátkem výrazně nižší, čímž by byl snížen i prostor konektoru.



Obrázek 33 - Vstup impelleru varianta II

6.2.3 Vstupní kanál čerpadla

Vstupní kanál, znázorněný na obrázku 34, u této varianty sdružuje funkce spodního krytu čerpadla a vstupního kanálu čerpadla. Zároveň je ještě na spodní straně vybaven uchycením pro zajišťovací páku čerpadla. Toto uchycení má tvar kvádrů o rozměrech 7 x 8 x 13 mm, ve kterých jsou otvory se závitem M4. V těsné blízkosti jsou vytvořena vybrání, která zajišťují vymezení polohy čerpadla v canisteru. Po obvodu jsou v tomto případě dvě drážky pro O-kroužky. Drážky jsou z bezpečnostních důvodů dvě. Na palivovém systému, zejména v leteckém průmyslu, je upřednostňováno dvojité těsnění. Uprostřed spodní stěny je umístěn závit pro výpustní šroub. Dále je zde tvor pro konektor a okolo něj čtyři závity M2,5 pro jeho připevnění. Na horní straně je kolem otvoru konektoru drážka pro O-kroužek. Použitý materiál je stejný jako u předchozích komponent (EN AW-2017A).

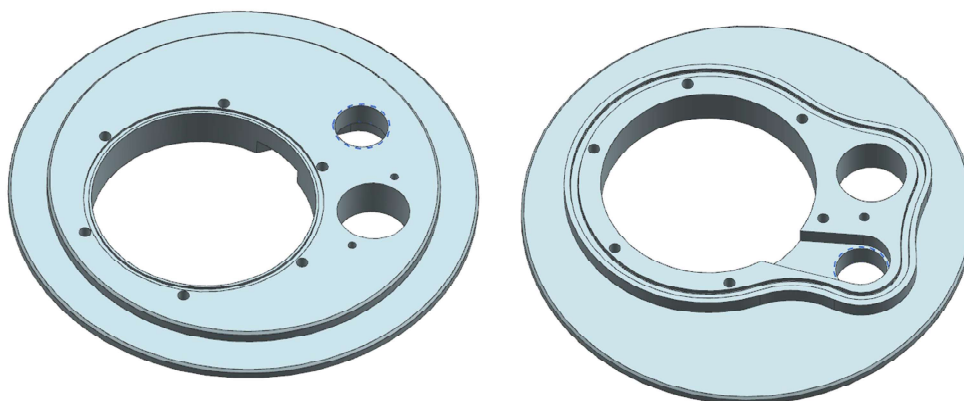


Obrázek 34 - Vstupní kanál čerpadla varianta II

6.2.4 Horní deska canisteru čerpadla

Horní deska canisteru u této varianty plní funkci připojení celku k palivové nádrži letounu (otvory pro šrouby budou doplněny dle přání zákazníka). Dále oproti předchozí variantě, deska obsahuje výtlačný kanál ze spirály čerpadla zakončený výstupem se závitem pro připojení zpětného ventilu. Větší otvor vedle výstupu slouží pro nasávání paliva, a proto jsou u něj z horní strany desky vytvořeny dvě díry se závitem pro šrouby síta paliva. Na horní straně dále vidíme drážku pro O-kroužek těsnící prostor canisteru čerpadla a šest děr pro šrouby, které spojují canister a desky mezi sebou. Na spodní straně je po obvodu plochy též drážka pro těsnící kroužek. Deska bude vyrobena obráběním z duralu EN AW-2017A.

Horní deska canisteru je znázorněna na obrázku 35.



Obrázek 35 - Horní deska canisteru varianta II.

6.2.5 Střední deska canisteru čerpadla

Střední deska canisteru (obrázek 36) má základní dvě funkce, kvůli kterým je konstruována jako samostatný díl. Zaprvé tvoří dno sacího, respektive výtlačného, kanálu, což je nezbytné, aby bylo možné komponenty vyrábět obráběním. Zadruhé tato deska tvoří sedlo pístového ventilu uzavírajícího přívod paliva. Za tímto účelem je průměr sacího kanálu v místě střední desky menší než v desce horní a přechod je opatřen náběhy pod úhlem 15° pro navedení pístku do sedla a hlavně pro dotěsnění O-kroužku na obvodu pístu. Z hlediska technologického se jedná o obrobek z duralu EN AW-2017A.

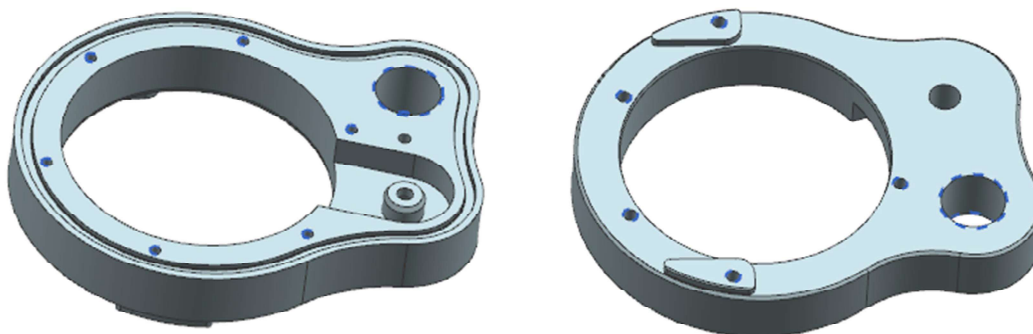


Obrázek 36 - Střední deska canisteru varianta II

6.2.6 Spodní deska canisteru čerpadla

Spodní deska canisteru (obrázek 37) má v této koncepci hned několik zásadních funkcí. Předně je do desky vyfrézován sací kanál čerpadla a vytvořeno uložení pístového ventilu včetně jeho ovládací pružiny. Pro vysvětlení budou použity obrázky 36 a 38. Jak je zřejmé z obrázku 38, v sacím kanálu spodní desky se nachází válcový výstupek, který zajišťuje lineární vedení pístu ventilu. Uvnitř tohoto dutého válcového výstupku je vytvořená drážka pro těsnicí kroužek pístku. Nadměrné deformaci, a tedy zvýšení třecího odporu O-kroužku, brání osazení, na které je přitlačována plochá podložka, která tvoří spodní stěnu drážky pro vlastní kroužek. Zavírací pružina je na pístnici zajištěna pomocí pojistného kroužku.

Dále je na obrázku 37 vidět otvor se závitem pro zpětný ventil výtlačku, respektive záslepku, kterou je ventil nahrazen při výtlačku směrem do nádrže.

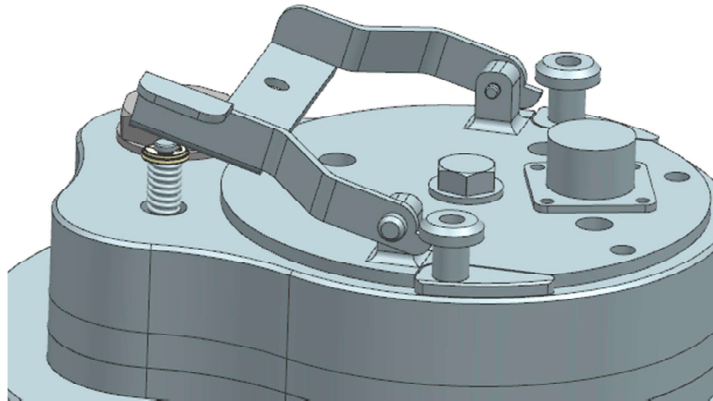


Obrázek 37 - Spodní deska canisteru varianta II

6.2.7 Páka zajišťovacího mechanismu

Páka zajišťovacího mechanismu je navržena jako výlisek z nerezového plechu. Jedná se o ocel W. Nr. 1.4301 o síle 2 mm. Jak již bylo výše popsáno, páka sdružuje funkce dotlačení a zajištění čerpadla do canisteru a otevření pístového ventilu na přívodu paliva do prostoru čerpadla. Pro snazší uvolnění páky při demontáži je opatřena úchopovou plochou vyvedenou do strany.

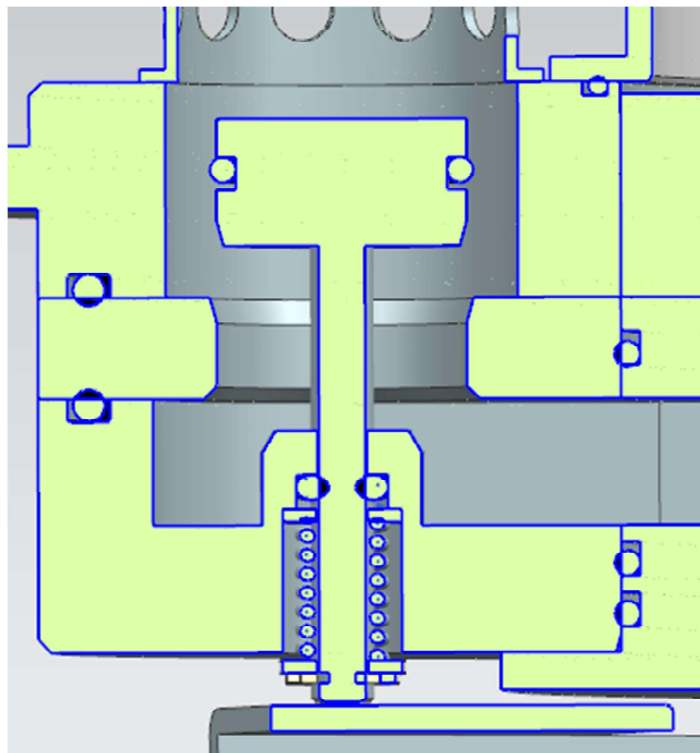
Zajišťovací páka je znázorněna na obrázku 38.



Obrázek 38 - Páka zajišťovacího mechanismu varianta II

6.2.8 Pístek ventilu

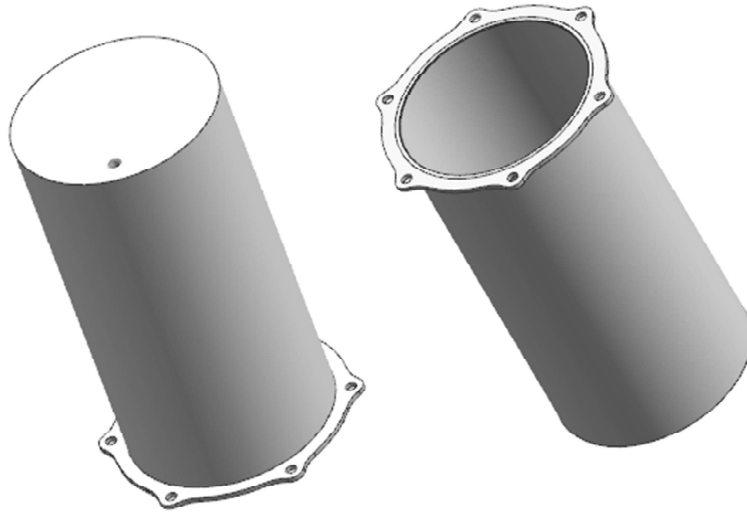
Pístek ventilu (obrázek 39) je navržen jako obrobek z jednoho kusu nerezové oceli. Po obvodu je vybaven drážkou pro těsnící kroužek. Obvod pístku je opatřen náběhy pro montáž těsnícího kroužku a zároveň pro navedení pístku do sedla. Na dřívku pístku je drážka pro pojistný kroužek zajišťující vratnou pružinu. Pístek je vyroben z oceli ČSN 17 022.6.



Obrázek 39 - Detail ovládní pístu ventilu Varianta II

6.2.9 Canister

Canister (obrázek 40) je konstruována jako jednoduchý svařenec z nerezové trubky o průměru 85 mm a síle stěny 2 mm, dna o síle 2mm opatřeného šroubením pro odvzdušňovací ventil a příruby pro montáž ke canisteru také o síle 2mm. Zvolena byla nerezová ocel Wst.Nr. 1.4301 / AISI 304 (USA) / ČSN 17240, 17241 (ČR).



Obrázek 40 - Canister varianta II

6.2.10 Odvzdušňovací ventil

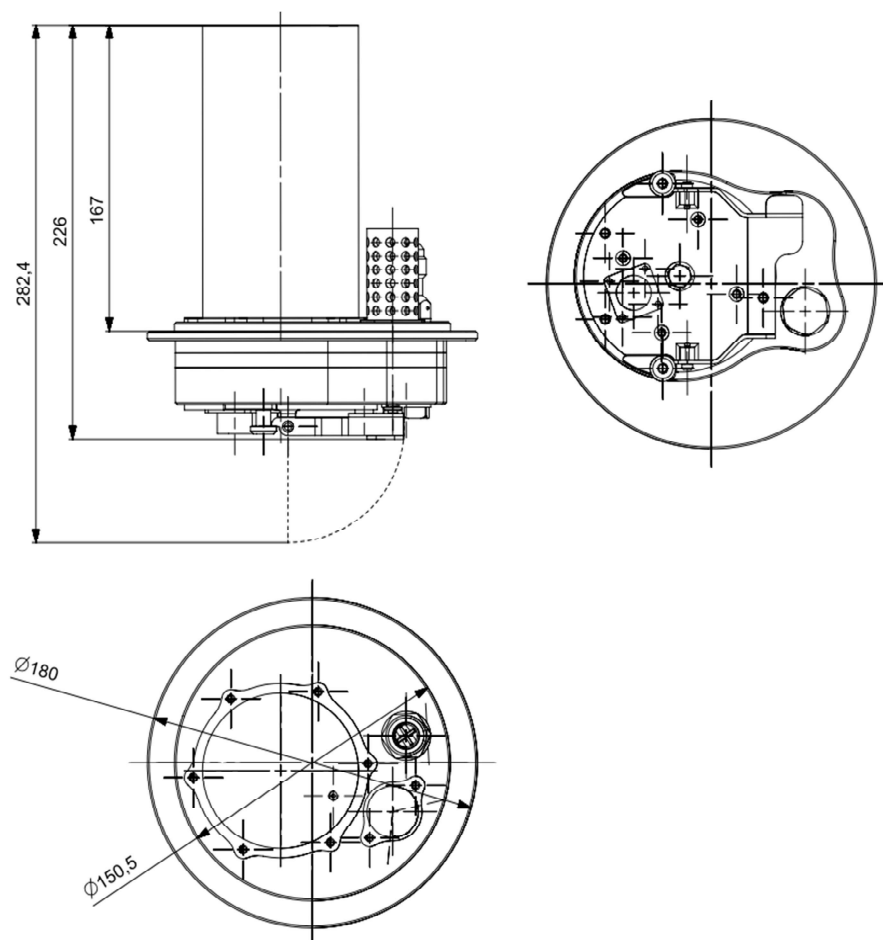
Pro tuto funkci byl vybrán ventil od firmy SMC a to konkrétně AKH04B-M5, který má otevírací tlak 0.005 MPa a maximální provozní tlak 1 MPa. Ventil je ke canisteru připojen pomocí závitu M5. [7] Odvzdušňovací ventil je znázorněn na obrázku 41.



Obrázek 41 - Odvzdušňovací ventil [7]

6.2.11 Zástavbové rozměry varianty II

Zástavbové rozměry varianty II jsou uvedeny na obrázku 42.



Obrázek 42 – Hrubé zástavbové rozměry varianty II.

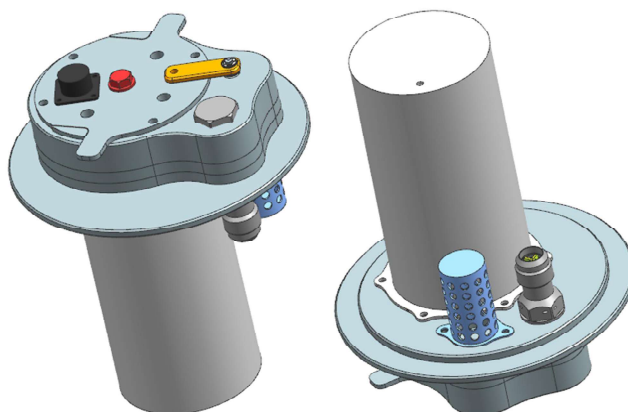
6.3 Varianta III.

Varianta III vychází taktéž z koncepčního návrhu B a v zásadě je velmi podobná variantě II. Rozdíl je pouze v zajišťovacím mechanismu, který zde není tvořen pákou sdružující funkci dotlačení, madla pro vytažení čerpadla z canisteru a ovládacího prvku pístového ventilu, nýbrž pouze šrouby. Ovládání pístového ventilu zde zajišťuje plochý nástavec na píst, který je v otevřené poloze zajištěn šroubem.

Tato varianta byla cíleně navržena jako méně komplikovaná verze varianty II. Zástavbové rozměry se v zásadě oproti předchozí variantě významně nezmění.

V následujícím popisu budou zmíněny pouze odlišnosti od předchozí varianty.

Vzhled varianty III je ukázán na obrázku 43.



Obrázek 43 - Konstrukční varianta III.

6.3.1 Ovládání pístového ventilu

Jak již bylo výše zmíněno, pro zjednodušení sestavy bylo u varianty III upuštěno od multifunkční zajišťovací páky, namísto které je použita plochá komponenta o rozměrech 45 x 15 x 4 mm. Tato plochá komponenta je vybavena dvěma otvory, a to na jedné straně pro pístek ventilu a na druhé straně pro šroub, která pístek zajišťuje v otevřené poloze za provozu. Na obrázku 44 je naznačena oranžovou barvou.

Tato varianta bohužel neošetřuje stav, kdy je čerpadlo zamontované, ale zároveň pístek zůstane v uzavřené poloze a čerpadlo tedy nemůže nasávat palivo.

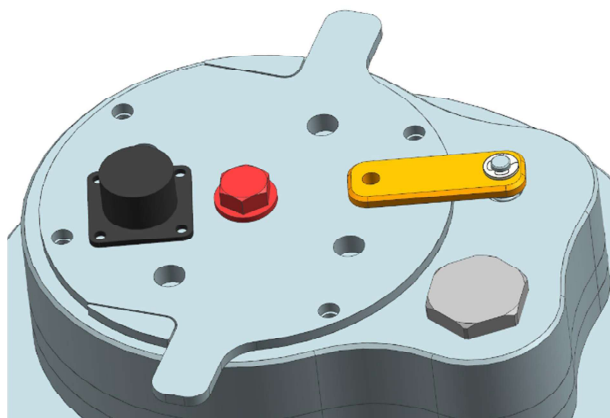
Nástavec je navržen z hliníkové slitiny EN AW-2017A.

6.3.2 Pístek ventilu

Základní tvar pístku je stejný jako u předchozí varianty. Pouze dřík pístku je asi o 10 mm prodloužen a opatřen drážkou pro pojistný kroužek upevňující plochý nástavec pro zajištění pístku v otevřené poloze.

6.3.3 Vstupní kanál čerpadla

Vstupní kanál čerpadla musel být také přizpůsoben změně zajištění. Předně zde nebude vyrobeno uložení pro zajišťovací páku čerpadla. Aby bylo možné čerpadlo vyjmout z canisteru, byly zde navrženy manipulační výstupky pro uchopení čerpadla, které jsou vidět na obrázku 44.



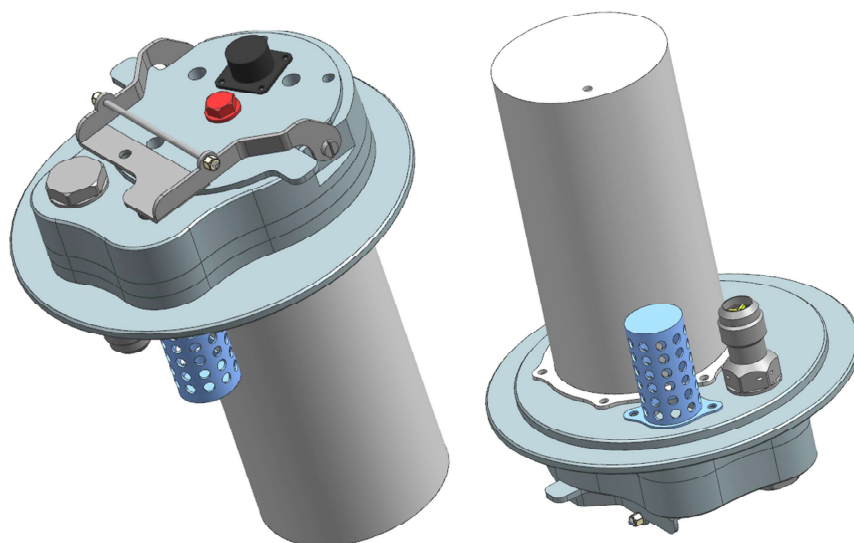
Obrázek 44 - Detail spodní části zamontovaného čerpadla varianta III

6.4 Varianta IV.

Poslední navržená varianta jistým způsobem kombinuje předchozí dvě zmíněné varianty (varianty II a III). Obsahuje multifukční páku, která pomáhá dotlačit čerpadlo při montáži, dále po zajištění šroubem upevňuje čerpadlo na svém místě v canisteru a konečně ovládá pístový ventil přívodu paliva. U této varianty je páka uložena na vnější obvodové části spodní desky canisteru čerpadla, proto jsou pro vyjmutí čerpadla opět nutné manipulační výstupky.

Zástavbové rozměry jsou prakticky totožné jako u varianty II.

Vzhled varianty IV ukazuje obrázek 45.



Obrázek 45 - Konstrukční varianta IV

6.4.1 Páka zajišťovacího mechanismu

Páka je navržena jako výlisek z nerezové oceli W. Nr. 1.4301 o síle 2 mm. Pro snazší uvolnění je páka opatřena tyčkou k uchopení. Jedná se o alternativní řešení úchopu k variantě II.

6.4.2 Spodní deska canisteru

Spodní deska canisteru je oproti variantě II z boku opatřena vybráním a závitem pro výše zmiňované uložení zajišťovací páky. Na spodní straně dále chybí uchycení pro čepy zajišťovací páky.

6.4.3 Vstupní kanál čerpadla

Vstupní kanál čerpadla je stejný jako u varianty III.

7. Výběr nejvhodnější varianty

V této kapitole bude provedena vícekritériální analýza jednotlivých konstrukčních variant a výběr nejvhodnější z nich.

Hodnocena budou níže popsaná kritéria [váha kritéria od 1 (nejméně důležité) do 5 (nejvíce důležité)]. Váha kritérií byla zvolena s ohledem na zvyklosti v leteckém průmyslu a zkušenosti zadavatele.

- Spolehlivost [5]

Nebezpečí vzniku poruchy během provozu a vážnosti důsledků pro vlastní letoun (zejména přerušení dodávky paliva, nebo únik paliva vlivem zvýšeného opotřebení těsnění).

Problematickým místem všech variant využívajících pístový ventil je právě jeho utěsnění. Zde může dojít k nedokonalému uzavření přívodu paliva vlivem opotřebení těsnícího kroužku, nebo vniknutím nečistoty, která by znemožnila dosednutí pístku do sedla. Také těsnící kroužek na dřívku pístku by mohl být poškozen, či opotřebován, díky čemuž by došlo k úniku paliva z modulu.

Stupnice hodnocení bude na škále od 1 (nejhorší) do 5 (nejlepší)

- Hmotnost [5]

Zásadní kritérium v oblasti leteckého průmyslu. Snižování hmotnosti komponent letounu, při stejné nosnosti, zvyšuje hodnotu možného užitečného zatížení a snižuje náklady na provoz.

Hmotnost bude hodnocena na škále:

1 (> 2740g); 2 (2740-2685g); 3 (2685-2630g); 4 (2630-2575g); 5 (< 2575g)

- Minimální výška hladiny pro zatopení sání čerpadla [3]

Tento požadavek souvisí s minimalizací neodčerpatelných zbytků paliva, tedy využitelným objemem nádrže.

Stupnice hodnocení: 5 ($\leq 10\text{mm}$); 4 (10-15mm); 3 (15-20mm); 2 (20-25mm); 1 (25-30mm)

- Komplikovanost konstrukce [2]

Komplikovanost konstrukce ovlivňuje náklady na výrobu.

Komplikovanost konstrukce je dána počtem dílců, ze kterých se skládá, a zároveň náročností použitých výrobních technologií.

Například výroba výlisku vyžaduje vybavení podniku lisovací technologií a přípravu lisovacích nástrojů, nebo zadání zakázky externímu dodavateli. Proto jsou všechny varianty obsahující výlisky hodnoceny hůře.

Stupnice hodnocení: od 1 (nejvíce komplikované) do 5 (nejméně komplikované)

Všechna kritéria jsou vyhodnocena v tabulce 4.

Tabulka 4 - Hodnocení a výběr nejvhodnější konstrukční varianty

	Varianta I	Varianta II	Varianta III	Varianta IV	Váha
Spolehlivost	5	3	3	3	5
Hmotnost	4 (2629,5g)	3 (2677,5 g)	5 (2572,5 g)	4 (2615,5g)	5
Hladina	3 (18 mm)	4 (15 mm)	4 (15 mm)	4 (15 mm)	3
Komplikovanost	5	2	4	3	2
Celkem	64	46	60	53	
Pořadí	1	4	2	3	

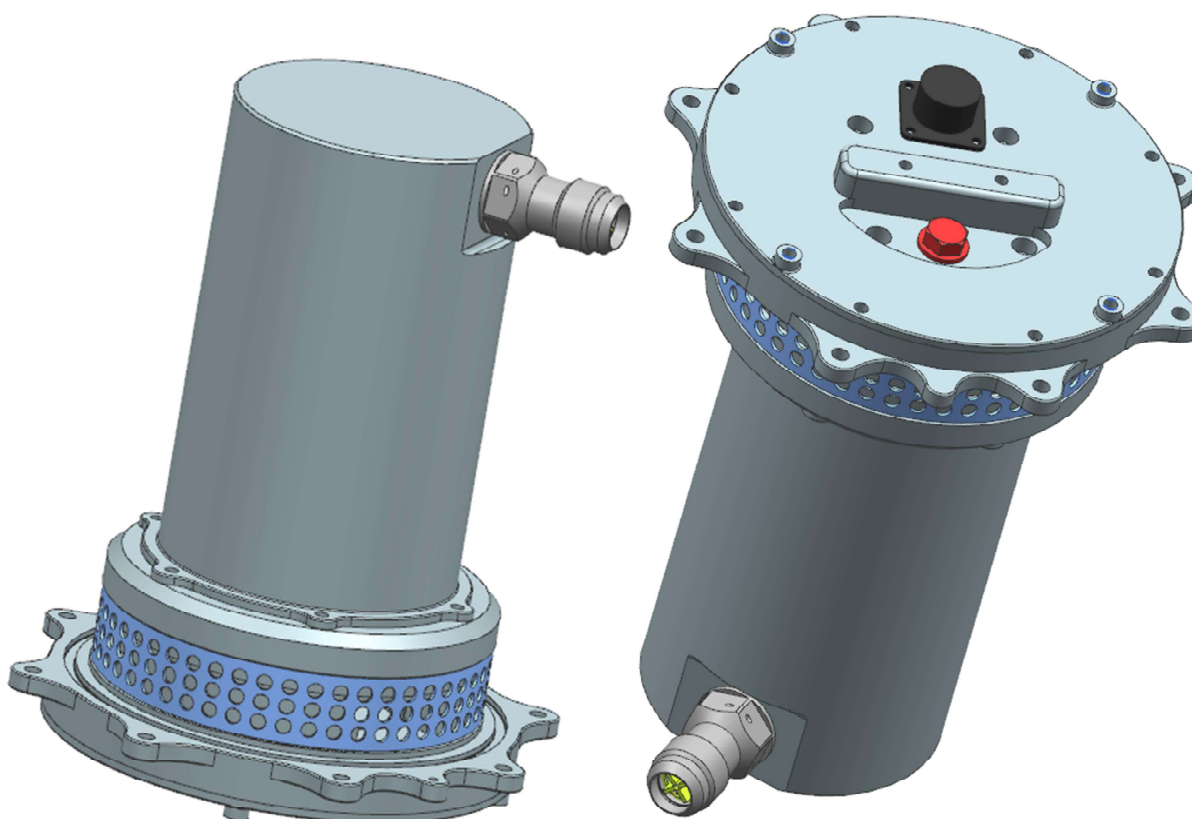
Na základě výše popsaných kritérií a jim přiřazené váhy byla jako nejvhodnější vybrána konstrukční **varianta I**.

8. Finální varianta

Po konzultaci práce se zadavatelem bylo navrženo ještě několik změn v konstrukci, a to z důvodů zástavby čerpadla (omezená výška), ochrany vodičů proti mechanickému poškození a technologických postupů používaných zadavatelem.

8.1 Změny finální varianty

Nákres finální varianty je zobrazen na obrázku 46.



Obrázek 46 - Finální konstrukční varianta

8.1.1 Vedení kabelu čerpadla

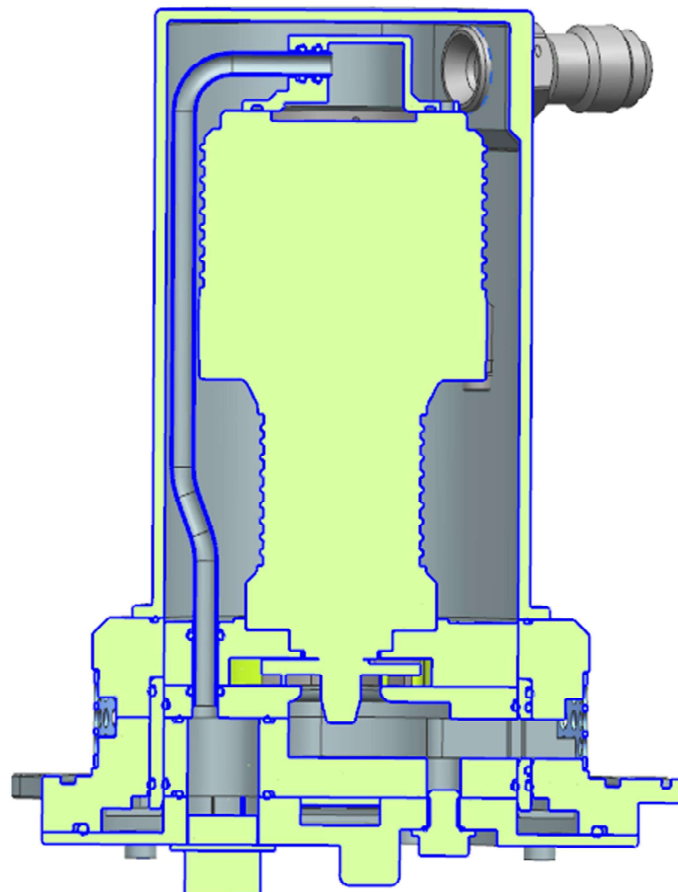
U zvolené varianty je výstupní šroubení z čerpadla orientováno v horní části canisteru a dopravované palivo je využito pro ochlazování čerpadla, které přímo omývá. V canisteru tedy bude docházet k významnému proudění a izolace volného kabelu by byla značně namáhána zejména otěrem. V krajním případě by mohlo dojít k jejímu porušení.

Kabel byl tedy umístěn do hliníkové trubky, která zajišťuje vedení a ochranu kabelu, ale zároveň usnadňuje dotěsnění. Těsnění je řešeno uložením v těsnících kroužcích po dvou kusech na každém konci trubky.

Po konzultaci s pracovníky elektro vývoje byla zvolena trubka o vnitřním průměru 5 mm, což zajistí dostatečný prostor pro protažení kabelu.

Zároveň musel být pro uložení trubky přepracován i vývod z čerpadla, kde se povedlo oproti původnímu řešení ušetřit několik milimetrů na výšku.

Řez finální variantou znázorňuje obrázek 47.



Obrázek 47 - Řez finální konstrukční variantou v místě vedení kabelu.

8.1.2 Duralový canister čerpadla

Původně byl canister čerpadla u všech variant navržen jako svařenec z nerezové oceli, sestávající se z trubky jako polotovaru a k ní přivařeného dna a příruby. K tomuto záměru bylo přistoupeno, jelikož se zdál být technologicky nejjednodušší a ekonomicky výhodný. Po konzultaci se zadavatelem byl však tento předpoklad vyvrácen. Svařování je v letectví řazeno mezi speciální procesy podléhající doзору autority a auditům. Postup by byl tedy ve výsledku mnohem náročnější a nákladnější než zhotovení canisteru z jednoho kusu duralu.

Tento postup zároveň umožní snáze vyrobít canister složitějšího tvaru, a tak je možné výstupní ventil orientovat do strany. Tím bude ušetřeno dalších několik desítek milimetrů z výšky čerpadla, což je podstatné vzhledem k zástavbě v profilu křídla letounu. V původním návrhu byl ventil orientován směrem vzhůru.

Varianta vyrobená z duralu je i tak oproti původní variantě z oceli přibližně o 220 gramů lehčí.

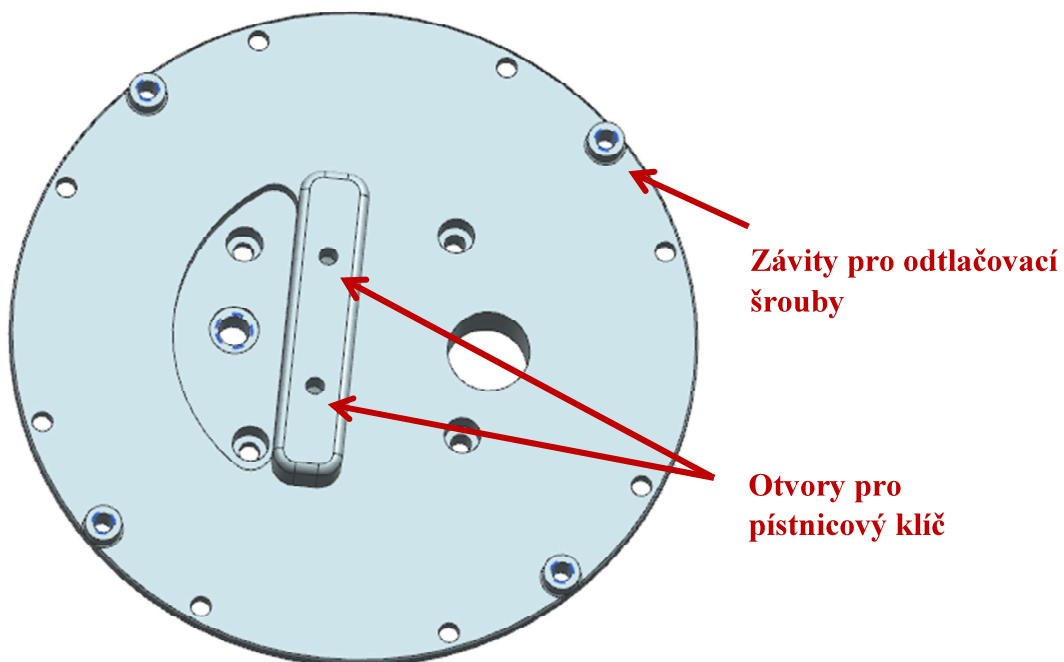
Nový tvar canisteru je vidět v řezu na obrázku 47.

8.1.3 Připojení k plášti letadla

Připojení k plášti letadla je realizováno pomocí příruby s osmi děrami pro šrouby o průměru 5,5 mm rovnoměrně rozmístěnými na roztečné kružnici o průměru 164 mm a otvorem pro středící kolík, který určuje polohu čerpadla. Příruba je těsněna pomocí těsnícího kroužku v axiální zástavbě.

8.1.4 Spodní kryt čerpadla

Oproti původní variantě byl kryt doplněn o otvory pro pístnicový klíč usnadňující otočení čerpadlem při odjištění a o závity pro odtlačovací šrouby usnadňující demontáž čerpadla z canisteru, viz obrázek 48.



Obrázek 48 - Spodní kryt čerpadla, finální verze

8.2 Souhrn vlastností finální varianty

Všechny klíčové vlastnosti jsou shrnuty v tabulce 5.

Tabulka 5 - Souhrn vlastností finální varianty

Hmotnost (bez čerpadla)	2433 g
Výška nad přírubou	193 mm
Celková výška	223 mm
Minimální výška hladiny	15 mm
Průměr montážního otvoru	125 mm

9. Pevnostní a tuhostní kontrola canisteru čerpadla

Canister čerpadla byl podroben pevnostní a tuhostní analýze pro ověření vhodnosti zvolené konstrukce, materiálu a tloušťky stěny.

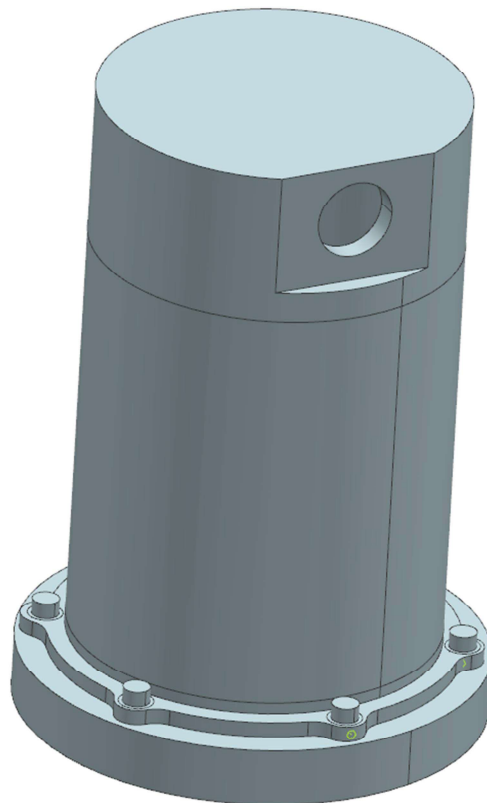
Analýzy byly zpracovány pomocí softwaru SIEMENS NX12, ve kterém byly tvořeny i vlastní modely sestavy.

9.1 Definice úlohy:

V této kapitole budou popsány přípravné kroky a postupy zadávání výpočtu.

9.1.1 Příprava modelu

Pro vlastní simulaci zatížení canisteru byl použit její zjednodušený model (obrázek 49). Tělesa byla rozdělena na jednotlivé části, na které budou aplikovány různé typy sítí. Dále byla namodelována zjednodušená náhrada horní desky canisteru pro simulaci uchycení canisteru a v neposlední řadě i částečný model vlastních šroubů.



Obrázek 49 – Model připravený pro simulaci

9.1.2 Mesh mating

Následně byl vytvořen soubor typu FEM (metoda konečných prvků), kde byl nejdříve nastaven mesh mating (spojování sítí prvků) v manuálním režimu. Pro pevně spojené plochy byla preferována vazba glue-coincident (lepení) a pro plochy, kde bude nastaven surface to surface contact (kontakt plocha na plochu), byl použit free-coincident (volný režim).

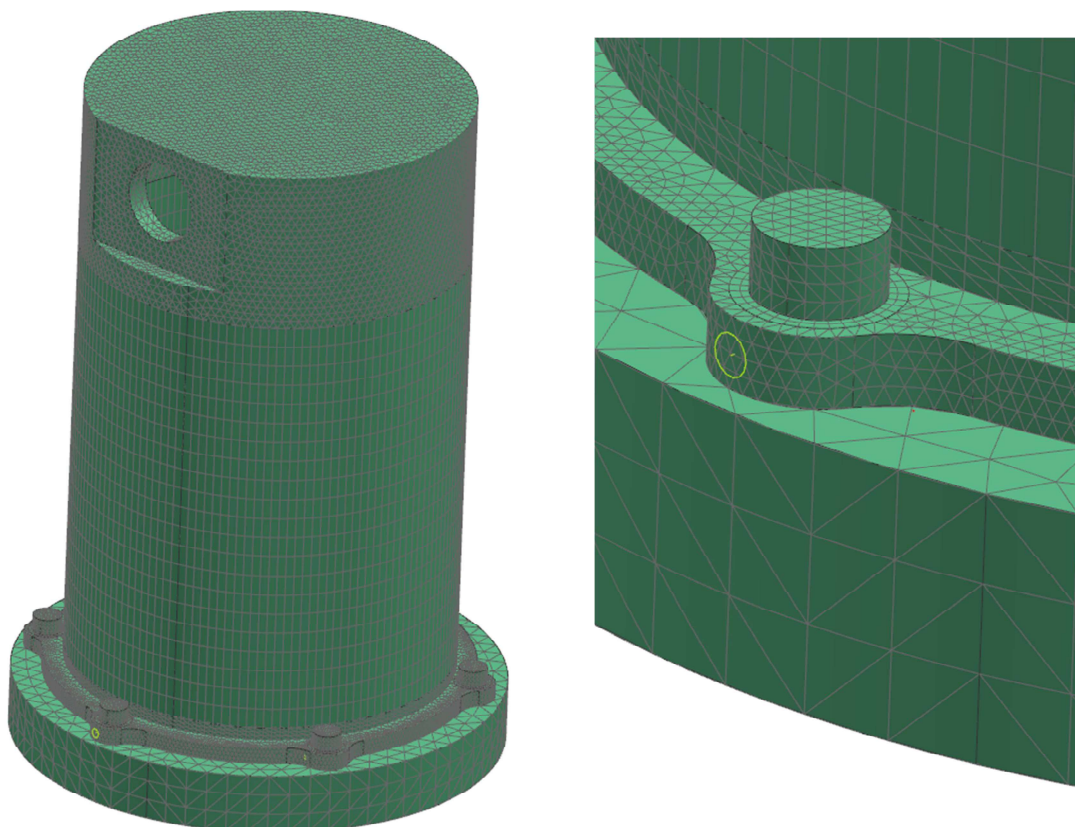
Simulace byla zpracována ve dvou variantách. První varianta pracuje s nahrazením šroubového spoje funkcí Bolt Connection, která tělo šroubu nahradí 1D prvkem (BEAM) o

zadaném průřezu a konce uchyty pomocí růžice opět z 1D prvků typu RB3 případně RB2 (tuhé prvky) v rozsahu zadaného průměru hlavy šroubu. Prvky RB3 jsou oproti prvkům RB2 deformovatelné, takže lépe simulují skutečné chování deformace pod hlavou šroubu. Na vnitřní hraně ovšem vznikla tak vysoká špičková napětí, že simulace ztratila vypovídací hodnotu. Bylo tedy přistoupeno k druhé variantě, kde hlava a část těla šroubu byla modelována pomocí 3D elementů, které jsou náročnější na simulování, ale dávají reálnější výsledky.

9.1.3 Sít'ování

Sít' byla použita tažená CHEXA20 a to s elementy 0,5 mm v místech kontaktů a 5 mm v místě válcové části canisteru. V problematických místech pro tažení byly použity tetraedry CTETRA10 s elementy 2 mm v horní části canisteru, 1 mm v místě příruby canisteru a na spojovací šrouby. Na náhradu horní desky canisteru byly použity elementy o velikosti 5 mm, protože je tato oblast z hlediska hodnot nezajímavá. Postupováno bylo od tažených částí s nejvíce kontakty po oblasti s tetraedrovou sítí, která byla sít'ována nakonec, protože se snáze přizpůsobí okolním sítím.

Model opatřený sítí je vidět na obrázku 50.



Obrázek 50 – Model opatřený sítí

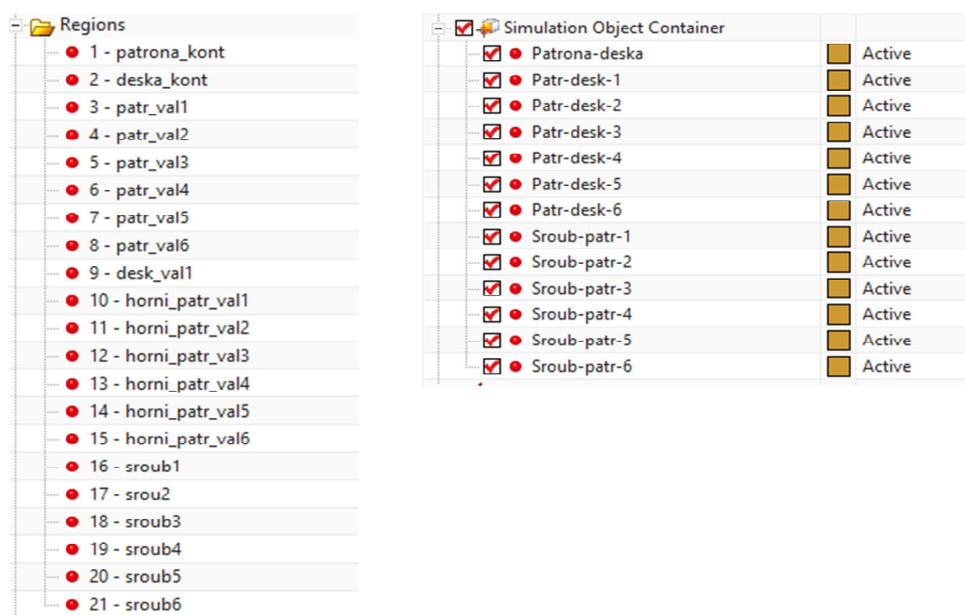
9.1.4 Definice okrajových podmínek

Po dokončení sítě byl collectoru (skupině sítě) přiřazen materiál - slitina hliníku řady 2xxx pro canister a desku, následně ocel pro spojovací šrouby.

Spodní strana desky byla fixována pomocí pevné vazby.

9.1.5 Regiony + simulation object type

Po přepnutí do simulace byly vytvořeny regiony a kontakty surface to surface. To znamená, že byly vybrány kontaktní plochy a bylo nastaveno, jak na sebe mají při kontaktu reagovat. Vše bylo nastavováno v manuálním režimu s důrazem kladeným na pečlivé pojmenování jak kontaktů, tak i regionů (viz obrázek 51).



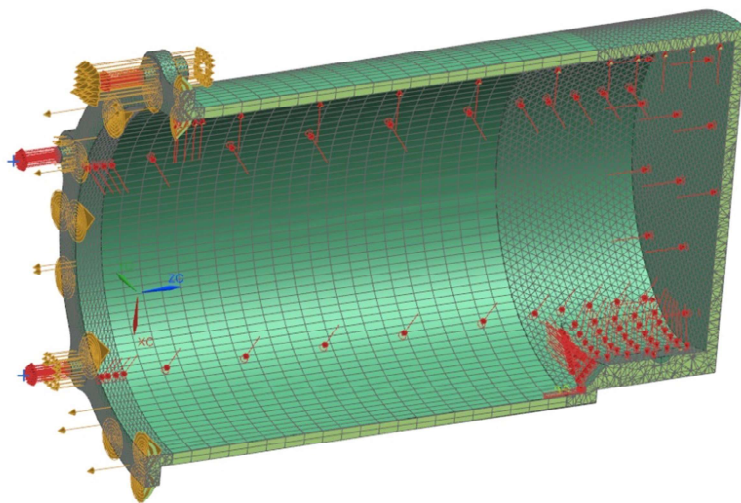
Obrázek 51 - Ukázka pojmenování při tvorbě regionů a jejich kontaktů

9.2 Zatěžovací stavy

Kontrola byla provedena pro dva zatěžovací stavy. Pro maximální provozní tlak čerpadla a dále pro maximální tlak, který součást musí vydržet (Burst pressure). Dle zadání by měla být provedena kontrola ještě pro zkušební tlak (Proof pressure), jelikož se jedné o lineární simulaci, může být tento výsledek získán interpolací z prvních dvou zmíněných.

Prvnímu stavu odpovídá tlaková síla o velikosti 24 Psi (0.1655 MPa) generovaná čerpaným palivem. Druhému stavu odpovídá nejvyšší kontrolované tlakové zatížení (Burst pressure) $2,5 \times 24 = 60$ Psi (0,4137 MPa), při kterém čerpadlo nesmí ztrácet vnější integritu a těsnost. Jelikož tlak, který vznikne v kapalině v uzavřené nádobě důsledkem působení vnější síly na povrch kapaliny, je ve všech místech kapaliny stejný, musíme pro korektní simulaci nahradit i tlakovou sílu, která by působila v místech, kde je na canistr napojené další zařízení (například výstupní hadice). Substituční síla byla aplikována v místě závitu pro výstupní šroubení a její velikost spočítáme jako součin plochy průřezu výstupního šroubení a tlaku v canisteru. Nakonec byla aplikována předepínací síla na každý šroub o velikosti 3 kN (2,5Nm). Tato hodnota byla zvolena jako doporučená hodnota z tabulky švicarské firmy Bossard, což je jeden z předních dodavatelů spojovacího materiálu. [10]

Jak bylo zatížení aplikováno znázorňuje obrázek 52.

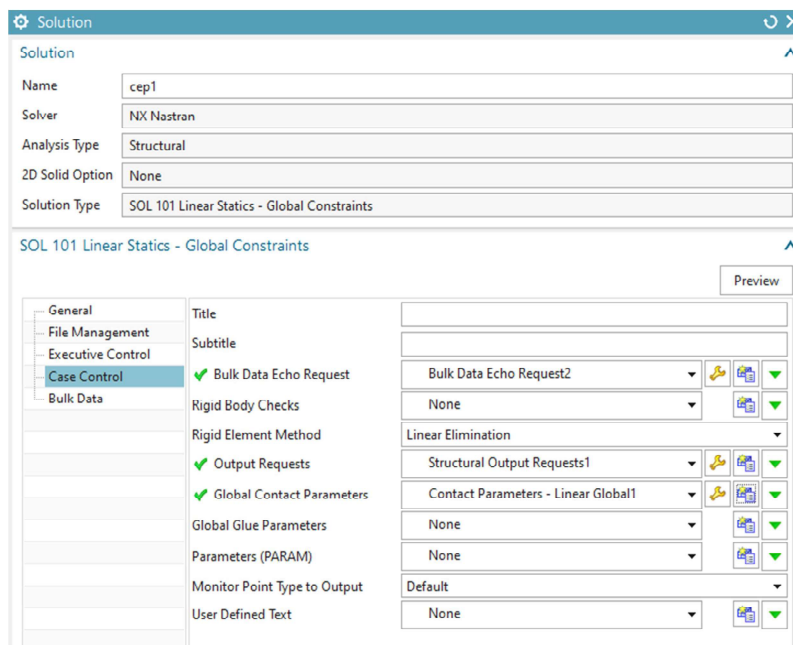


Obrázek 52 - Zatěžovací stavy a kontakty canisteru

9.3 Nastavení řešiče

Pro výpočet byl použit řešič SOL 101 Linear Statics – Global Constraints se zapnutou funkcí Element iterative solver.

Obrázek 53 ukazuje nastavení řešiče.



Obrázek 53 - Nastavení řešiče

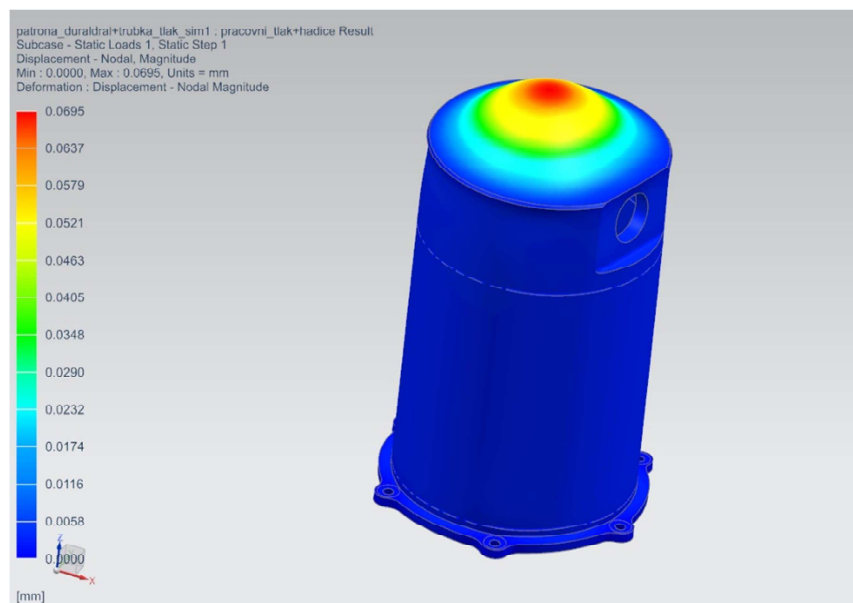
9.4 Výsledky simulace

V této kapitole jsou popsány výsledné deformace canisteru, nejvíce namáhaná místa a maximální napětí v materiálu.

9.4.1 První zatěžovací stav (24 Psi)

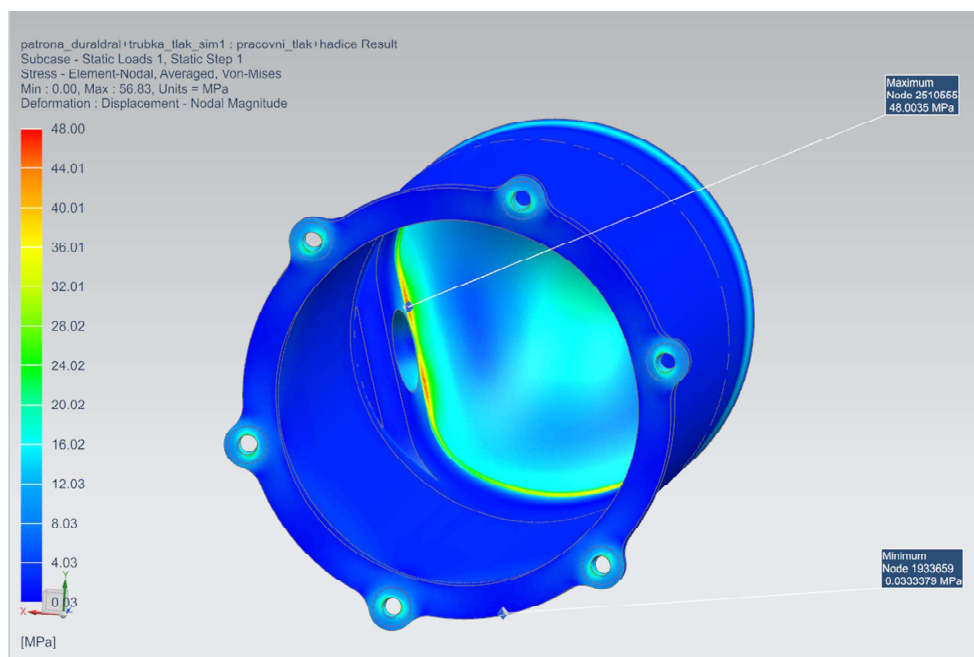
Vlastní výpočet celé simulace trval asi 120 minut. Výsledné maximální posunutí vyšlo dle očekávání ve středu horního dna canisteru a činí 0.07mm.

Výsledná posunutí pro první zatěžovací stav jsou znázorněna na obrázku 54.



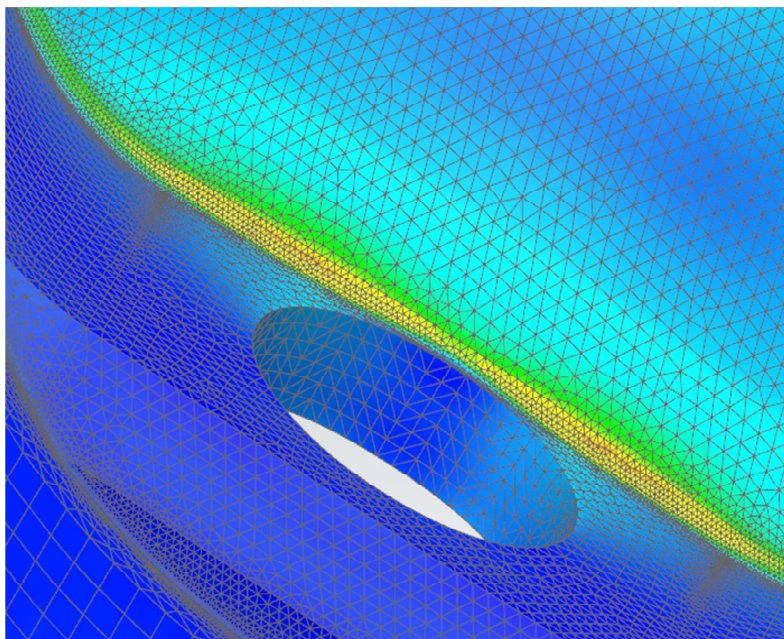
Obrázek 54 - Výsledná posunutí pro první stav

Maximální napětí vyšlo v přechodu mezi dnem a stěnou canisteru v místě u výstupního šroubení 48MPa (obrázek 55 a 56).



Obrázek 55 - maximální napětí pro první stav

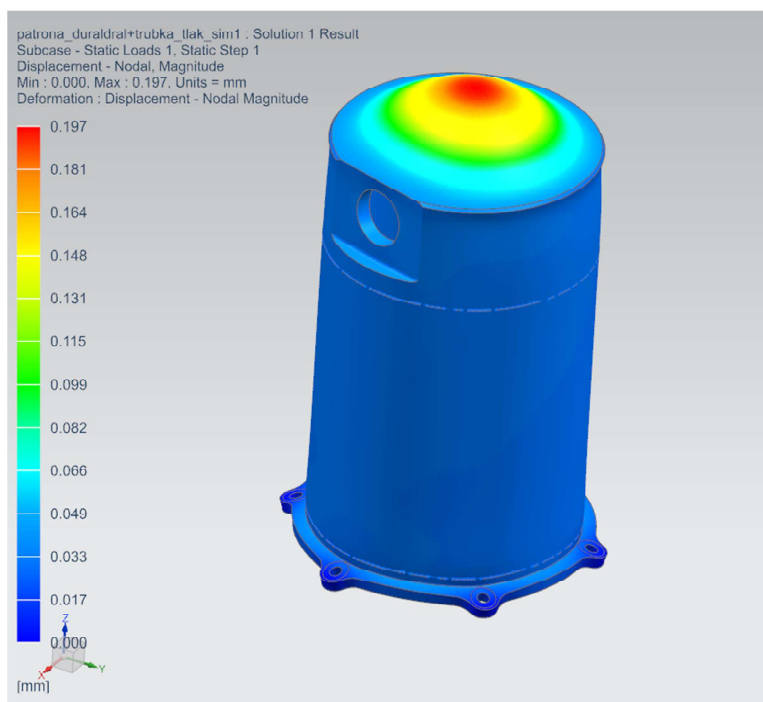
Mez kluzu slitiny EN AW 2017 A dosahuje hodnoty 240 MPa. Je tedy zřejmé, že dosahuje-li maximální napětí pouze 48MPa, canister čerpadla **vyhovuje** s bezpečností 5.



Obrázek 56 – Detail sítě ve vyšetřovaném místě

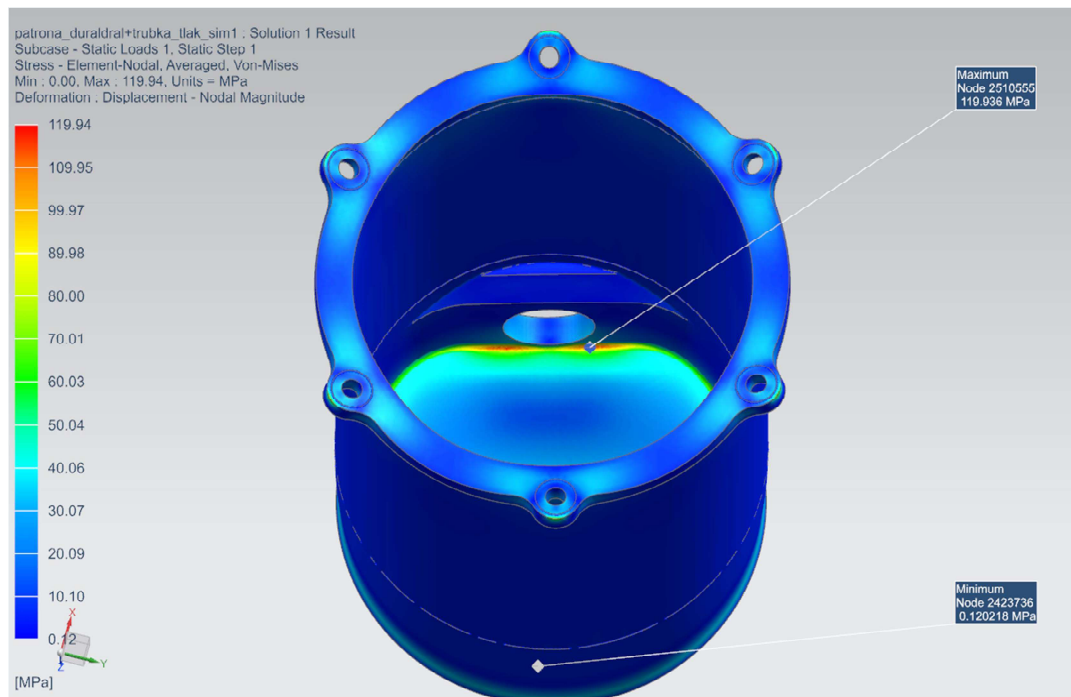
9.4.2 Druhý zatěžovací stav (2,5 x 24 Psi)

Pro navýšené zatížení se čas výpočtu prodloužil asi na 135 minut a maximální posunutí na horním dně canisteru činí přibližně 0,2 mm (obrázek 57).



Obrázek 57- Výsledná posunutí pro druhý stav

Maximální napětí u druhého zatěžovacího stavu vyšlo v napojení horního dna a plochy pro zašroubování zpětného ventilu a činí 120 MPa (obrázek 58). Jelikož se jedná o mezní stav, při kterém nesmí dojít k porušení celistvosti, posuzuje zde bezpečnost k mezi pevnosti, která dosahuje 360 MPa, nikoliv mezi kluzu jako v minulém případě. Součást tedy **vyhovuje** s bezpečností 3.



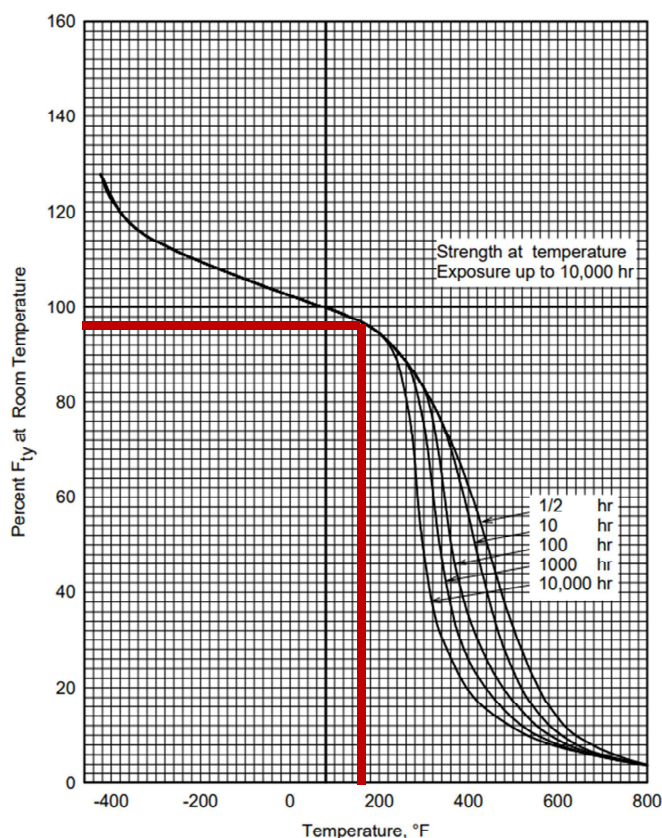
Obrázek 58 - Maximální napětí pro druhý stav

9.4.3 Zohlednění vlivu teploty na dovolené zatížení

Pro úplnost vyhodnocení výsledků kontroly je nutné uvážit vliv teploty na pevnost materiálu. Tento vliv bude zohledněn koeficientem, který sníží dovolené napětí. Tento koeficient je odečten z grafu závislosti pevnosti v tahu na teplotě, který byl uveřejněn v příručce Ministerstva obrany Spojených států amerických nazvané METALLIC MATERIALS AND ELEMENTS FOR AEROSPACE VEHICLE STRUCTURES. Zvolena byla slitina vlastnostmi nejbližší použité slitině EN AW – 2017A.

Pro odečtení z grafu musela být nejvyšší provozní teplota daná zadáním převedena ze °C na °F (70 °C je 158 °F). Následně byl proveden vlastní odečet, při kterém bylo zjištěno, že hledaný koeficient dosahuje hodnoty 0,96, tedy dovolené napětí klesne na 96% původní hodnoty.

Odečtení z grafu je znázorněno na obrázku 59.



Obrázek 59 - Graf závislosti pevnosti v tahu na teplotě pro slitinu EN AW - 2014 [11]

9.4.4 Shrnutí výsledků kontroly

Jelikož se jedná o lineární simulaci, můžeme interpolací zjištěných výsledků doplnit i vynechaný zatěžovací stav pro Proof pressure, který dosahuje 1,5násobek provozního tlaku (1,5x24=36 Psi).

$$\frac{\text{napětí v MPa pro 2. stav}}{\text{tlakové zatížení v Psi pro 2. stav}} * \text{tlakové zatížení hledaného stavu v Psi} =$$

$$\frac{120}{60} * 36 = 72 \text{ MPa}$$

Pro přehlednost byly výsledky kontroly uspořádány do tabulky 6.

Tabulka 6 - Shrnutí výsledků kontroly

Zatěžovací stav	Max. posunutí [mm]	Max. napětí [MPa]	Dov. napětí při 20 °C [MPa]	Dov. napětí při 70 °C [MPa]	Hodnocení
1. Stav (24 Psi)	0,07	48	240	230	Vyhovuje
2. Stav (60 Psi)	0.197	120	360	345	Vyhovuje
Proof pressure (36 Psi)	-----	72	240	230	Vyhovuje

10. Zkoušení

Aby byla zajištěna spolehlivost komponent dodávaných pro letecký průmysl, musí každá komponenta projít sérií zkoušek od prototypu, až po jednotlivé vyrobené kusy. Tyto zkoušky jsou v České republice předepisovány na základě zákona č. 49/1997 sbírky O civilním letectví. Oddělení řízení jakosti pracuje pod dohledem Úřadu pro civilní letectví (ÚCL), v případě vojenských dodávek pod dohledem ministerstva obrany ČR.

Dle fáze výroby, při které jsou prováděny, se zkoušky dělí na:

DTP design test procedure – ověření požadovaných vlastností ve fázi návrhu.

QTP qualification test procedure – schvalovací zkouška pro uvolnění do letového provozu.

ATP acceptance test procedure – přijímací zkouška konkrétního kusu před předáním zákazníkovi.

Pro bližší představu bude uvedeno několik příkladů konkrétních zkoušek.

10.1 Zkoušky DTP a QTP

V současné době je snaha o nahrazení DTP zkoušek simulacemi a výpočty prováděnými v CAD systémech. Tím dochází k úsporám nejen finančním, ale také časovým.

QTP jsou zkoušky na úrovni homologace. Na tyto zkoušky dohlíží nejen zákazník, ale především dohlížecí orgán, do jehož kompetence právě certifikace spadají. Pro Evropskou certifikaci se jedná o EASA, což je Evropská agentura pro civilní letectví, pro USA FAA (Federal Aviation Administration), případně další civilní, nebo vojenské organizace.

V praxi jsou někdy úspěšně provedené zkoušky DTP přebírány jako QTP.

10.1.1 Kontrola hmotnosti

V leteckém průmyslu je kladen důraz na nízkou hmotnost. To se týká i všech dodávaných komponent. Kontroluje se tedy i suchá hmotnost přístroje.

10.1.2 Tlakové zkoušky

Tlaková zkouška se provádí ve dvou stupních. Kontroluje se:

Proof pressure - konstrukce musí vydržet bez poškození maximální tlak rovnající se 1,5 násobku maximálního provozního tlaku na výstupu čerpadla.

Burst pressure - konstrukce musí vydržet bez nebezpečí ztráty integrity nebo vnější těsnosti maximální tlak rovnající se 2,5 násobku maximálního provozního tlaku na výstupu čerpadla.

10.1.3 Zkouška kontaminovaným palivem

Pro tuto zkoušku je do paliva přimícháváno přesné předem stanovené množství nečistot a měří se doba, po kterou přístroj vydrží v provozu. Jedná se zejména o přístroje obsahující filtry.

Jedná se o speciální zkoušku, které je vyžadována zejména u letounů provozovaných v písčítých oblastech a pouštích.

10.1.4 Teplotní zkouška

Přístroje jsou během provozu namáhány značnými změnami teplot, a to vlivem klimatu, či například poklesem teplot v souvislosti s nadmořskou výškou.

Požadovaný pracovní rozsah se může pohybovat například v rozmezí -55°C až 70°C .

Během zkoušky přístroj běží v simulovaném pracovním režimu a je zatěžován různými teplotami.

10.1.5 Další možné zkoušky

Dále bývají prováděny:

- Zkoušky vibrací
- Kavitační zkouška
- Zkoušky odolnosti vlivům prostředí (vlhkost, slaná voda, plísně...)
- Odolnost vůči elektromagnetickému působení
- Odolnost proti ledovým krystalům a vodě v palivu
- Odolnost vůči výbuchu
- a další ...

10.2 Zkoušky ATP

Každý vyrobený nebo repasovaný kus se před předáním zákazníkovi musí důkladně seřídít a vyzkoušet. Součástí tohoto procesu je i záběh, který zajišťuje funkční spolehlivost od prvního okamžiku provozu.

10.2.1 Kontrola vnějšího vzhledu

Vnější povrch výrobku 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. Dále se kontroluje kompletnost přístroje a doprovodné dokumentace.

10.2.2 Tlakové zkoušky

Tlakové zkoušky, které byly zmíněny již u QTP, jsou součástí také ATP.

10.2.3 Kontrola přechodových odporů

Jelikož uvnitř přístroje dochází ke tření, je nutné, aby všechny jeho části byly vodivě propojeny. Případný výboj by totiž mohl způsobit požár, či výbuch.

Kontrolován je přechodový odpor mezi pinem C napájecího konektoru a výstupním šroubením pomocí miliohmetru. Maximální povolená hodnota je uvedena v protokolu zkoušky.

10.2.4 Kontrola izolačního odporu

Kontrola izolačního odporu odhaluje, zda uvnitř přístroje nedošlo k porušení izolace. Provádí se následujícím postupem:

- a) Připojit zkušební konektor
- b) Izolační odpor je měřen stejnosměrným napětím 100 V DC mezi zkušebním konektorem a výstupním šroubením výrobku. Hodnota izolačního odporu je odečtena po ustálení. Výrobek má mezi kostrou a jednotlivými kolíky konektoru připojeny kondenzátory, které se v průběhu měření musí nabít. Proto je nutné při měření izolačního odporu vyčkat na ustálení hodnoty.
- c) Po odpojení zkušebního napětí je nutné vybit kondenzátory přiložením vybíjecí sondy, která je součástí zkušebního konektoru, na výstupní šroubení výrobku.

Výsledek je zaznamenán do protokolu.

10.2.5 Seřízení a záběh

Pro bezproblémovou funkčnost přístroje po montáži na letoun je nutné vyrobený, či repasovaný přístroj po kompletaci seřídít na předepsané parametry a zaběhnout. Tím se předejde změnám provozních parametrů v počátku provozu.

Záběh se většinou provádí v automatizovaných cyklech na speciálních stolicích.

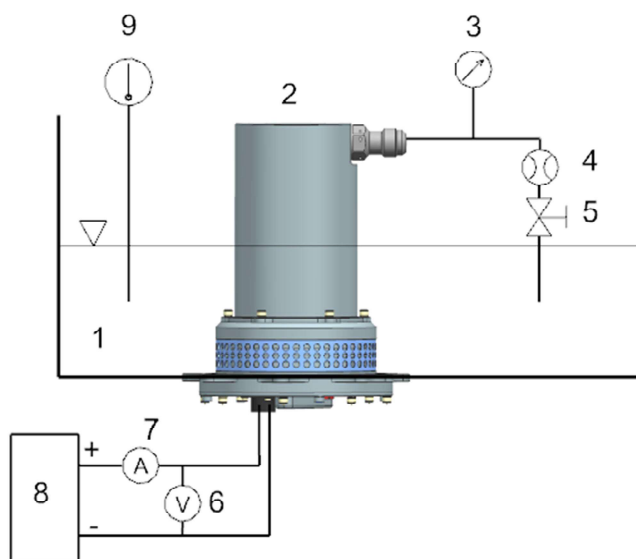
Ukázka seřizovacích hodnot je v tabulce 8.

Tabulka 7- Ukázka seřizovacích hodnot čerpadla

PUMP SETTING TABULKA SEŘÍZENÍ ČERPADLA		
Nominal voltage: 28 VDC; nominal current: 7 A at flow rate and discharge pressure per section 1.2 <i>Jmenovité napětí: 28 VDC; nominální proud: 7 A při jmenovité dodávce podle bodu 1.2</i>		
Fluid: Kerosine based aviation fuel <i>Pracovní médium: letecká paliva na bázi leteckého petroleje</i>		
Impeller rotation: CCW facing pump inlet <i>Smysl otáčení: CCW při pohledu na vstup do čerpadla</i>		
Test pump according to specification stated in items 1.1 to 1.4 <i>Zkontrolujte parametry čerpadla dle bodů 1.1 až 1.4 při podmínkách</i>		
Fluid temperature <i>Teplota pracovního média</i>		+10 to +35 °C
1.1	Discharge pressure p for U=28±0,5 VDC and Q=0 l/h <i>Výstupní tlak p při U=28±0,5 VDC a Q=0 l/h</i>	min 150 kPa
1.2	Discharge pressure p for U=28±0,5 VDC and Q=600±50 l/h <i>Výstupní tlak p při U=28±0,5 VDC a Q=600±50 l/h</i>	min 138 kPa
1.3	Discharge pressure p for U=30,3±0,5 VDC and Q=600±50 l/h <i>Výstupní tlak p při U=30,3±0,5 VDC a Q=600±50 l/h</i>	min 138 kPa
1.4	Discharge pressure p for U=18±0,5 VDC and Q=600±50 l/h <i>Výstupní tlak p při U=18±0,5 VDC a Q=600±50 l/h</i>	min 115 kPa

10.3 Popis zapojení zkoušky

Pro doplnění je uveden obrázek znázorňující možné schéma zapojení zkoušky (obrázek 59) a popis tohoto schématu (tabulka 7) včetně určení rozsahů a přesností jednotlivých přístrojů.



Obrázek 60 - Schéma zapojení zkoušky

Tabulka 8 - Popis schématu zapojení

1	Nádrž
2	Výrobek - čerpadlo
3	Snímač tlaku / Manometr 0 ÷ 250 kPa, přesnost přístroje 2 %
4	Průtokoměr 200 ÷ 2000 l/h, přesnost přístroje 2,5 %
5	Uzavírací škrtkový ventil (SV1)
6	Voltmetr 0÷40 V, přesnost přístroje 2 %
7	Ampérmetr 0÷40 A, přesnost přístroje 2 %
8	Zdroj stejnosměrného napájení 0÷40 V, 0÷40 A
9	Teploměr 0 ÷ +50 °C, přesnost přístroje 2,5 %

11. Závěr

Cílem této práce bylo navrhnout modul palivového čerpadla pro zástavbu canister/cartridge, která by umožnila snazší údržbu palivového čerpadla, neboť při jeho demontáži nebude potřeba dehermetizovat nádrž.

Po detailním rozpracování zadání práce bylo přistoupeno k rešerši patentů v této oblasti a dále k rešerši konkurenčního prostředí. Byly nalezeny tři patenty zabývající se tímto tématem, avšak pouze jeden z nich je doposud v platnosti. Z konkurence byli vybráni dva zástupci pro možnost porovnání s navrhovaným produktem.

V další části bylo přistoupeno ke koncepčním a následně i konstrukčním návrhům ve více variantách. Byly navrženy čtyři konstrukční varianty, ze kterých byl proveden výběr pomocí vícekritériální analýzy. Vítězným návrhem se stala varianta I využívající pro ovládání přívodu paliva princip rotačního šoupátka.

Po konzultaci se zadavatelem byla zvolená varianta ještě upravena s ohledem na technologické postupy využívané v JSV.

Na závěr návrhu byla provedena kontrola z hlediska pevnosti a tuhosti pomocí MKP analýzy. Navržená varianta pevnostně vyhověla.

Poslední část práce byla věnována krátkému úvodu do problematiky zkoušení přístrojů pro letecký průmysl.

Součástí práce je i výkresová dokumentace, uvedená v příloze.

12. Seznam použité literatury

- [1] US3539272A. In: Patents.google.com/ [online]. [cit. 2020-07-27]. Dostupné z: <https://patents.google.com/patent/US3539272>
- [2] US4324532A. In: Patents.google.com/ [online]. [cit. 2020-07-27]. Dostupné z: <https://patents.google.com/patent/US4324532A/en?q=F04D29%2f608>
- [3] US8561629B2. In: Patents.google.com/ [online]. [cit. 2020-07-28]. Dostupné z: <https://patents.google.com/patent/US8561629>
- [4] Obchodní společnost v Klecanech. *Parker.cz* [online]. [cit. 2020-07-29]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=124307
- [5] Customizable Aircraft Fuel Pumps Reduce Cost and Boost reliability. *blog.parker.com* [online]. [cit. 2020-08-05]. Dostupné z: <http://blog.parker.com/customizable-aircraft-fuel-pumps-reduce-cost-and-boost-reliability>
- [6] PRODUCT FAMILY 28 VDC Brushless Fuel Pump. *www.parker.com* [online]. [cit. 2020-08-05]. Dostupné z: <https://www.parker.com/literature/Fluid%20Systems%20Division/AFD%20Static%20Files%20for%20Literature/FSD%20OTS%2028VDC%20Brushless%20Fuel%20Pump.pdf?elqTrackId=928c2da9729d461492836867cfed298a&elqaid=10035&elqat=2>
- [7] SMC AKH04B-M5 check valve, m/connector, mm. In: Amazon.com [online]. [cit. 2020-12-04]. Dostupné z: <https://www.amazon.com/SMC-AKH04B-M5-check-valve-connector/dp/B00DD6VRSC>
- [8] BRUSHLESS CANISTER FUEL BOOSTER PUMP. Pdfslide.net [online]. 2015 [cit. 2021-01-29]. Dostupné z: <https://pdfslide.net/documents/brushless-canister-fuel-booster-pump-test-fuchs-brushless-canister-fuel-booster.html>
- [9] EN AW-2017A AlCu4MgSi(A). Proal.cz [online]. [cit. 2021-02-11]. Dostupné z: <https://proal.cz/hlinik/slitiny-hliniku/en-aw-2017a>
- [10] Předpětí a utahovací momenty. Bossard.com [online]. [cit. 2021-5-12]. Dostupné z: https://media.bossard.com/cz-cs/-/media/bossard-group/website/documents/technical-resources/cz/f_047_cz.pdf
- [11] DEPARTMENT OF DEFENSE HANDBOOK: METALLIC MATERIALS AND ELEMENTS FOR AEROSPACE VEHICLE STRUCTURES. USA: United States Department of Defense, 2003.

13. Seznam příloh

Příloha 1 – Výrobní výkres:	Caniter čerpadla
Příloha 2 – Výkres sestavy:	Sestava canisteru
Příloha 3 – Kusovník:	Sestava canisteru
Příloha 4 – Výkres sestavy:	Sestava čerpadla
Příloha 5 – Kusovník:	Sestava čerpadla
Příloha 6 – Výkres sestavy:	Modul čerpadla
Příloha 7 – Kusovník:	Modul čerpadla
Příloha 8 – Zástavbový výkres:	Modul čerpadla