

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady uvedené v příloženém seznamu.

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

V Praze dne

.....

PODPIS

Obsah

1. Úvod:.....	1
1.1 Popis letounu Bücker Bü-131 Jungmann	1
1.2 Rešerše stávajícího stavu přestavby letounu	3
2. Popis konstrukčního návrhu palivové soustavy pro letoun	4
2.1 Motor LOM M 332AK.....	4
2.1.1 Palivový systém motoru M132AK:.....	5
2.2 Palivový systém letounu.....	8
3. Stanovení zatížení hlavních částí palivové soustavy	12
3.1 Nádržka nastříkovaní paliva.....	13
3.2 Kontrola uchycení nádržky k příhradové konstrukci trupu.....	18
3.2.1 Kontrola objímky s vložkou pro pásek.....	18
3.2.2 Kontrola opásání nádržky.....	19
3.3 Kontrola držáku nastříkovaní pumpy	21
3.3.1 Kontrola čelní plochy držáku na ohybové namáhání	23
3.4 Kontrola ovladače přípusti a korekce.....	24
3.4.1 Čep ovládacích pák	24
3.4.2 Páka přípusti.....	25
3.4.3 Páka korekce	26
4. Certifikované komponenty palivového systému	29
5. Analýza použitelnosti navržené konstrukce.....	30
6. Závěr	30
7. Použité zdroje.....	31
8. Přílohy	32

Seznam obrázků

Obr.č.1	Aero C-104
Obr.č.2	Bü-131 B
Obr.č.3	Aktuální stav přestavby
Obr.č.4	motor HIRT HM 504 A-2
Obr.č.5	motor LOM M132AK
Obr.č.6	Štítek motoru M 132AK
Obr.č.7	Palivový systém motoru
Obr.č.8	Vstřikovací čerpadlo
Obr.č.9	Vstřikovací tryska Yc-070
Obr.č.10	Model motoru po obnovení vztahů
Obr.č.11	3D sestava Inventor
Obr.č.12	3D sestava Inventor
Obr.č.13	Schéma palivového systému
Obr.č.14	Ovladač polohy kohoutu
Obr.č.15	Vysílač tlaku paliva
Obr.č.16	Uzavírací ventil
Obr.č.17	Nádržka nastřikování
Obr.č.18	Letová obálka
Obr.č.19	Rozměry nádržky
Obr.č.20	Uspořádání uchycení (schéma)
Obr.č.21	Nádržka nastřikování
Obr.č.22	Poloha těžiště nádržky
Obr.č.23	Rozložení sil nádržky
Obr.č.24	Zatížení nádržky
Obr.č.25	Namáhání svarů objímky
Obr.č.26	Opásání nádržky
Obr.č.27	Držák nastřikovací pumpy
Obr.č.28	Rozklad síly ve svaru
Obr.č.29	Čelní plocha držáku
Obr.č.30	Čep s pákou přípusti
Obr.č.31	Páka přípusti
Obr.č.32	Páka přípusti
Obr.č.33	Páka korekce
Obr.č.34	Namáhání spojovacích čepů
Obr.č.35	Spodní část páky korekce
Obr.č.36	Horní část páky korekce

Seznam příloh

- I. Ing. Miroslav Sysel: Statické výpočty pro zástavbu motoru LOM-M332AK do letounů typu Bü 131 a licenčně vyráběných C.A.S.A.-131,C-104.
 - II. 3D Modely palivové soustavy
 - III. Stavební předpis CS-23
 - IV. Výkres sestavy palivového systému
-

Seznam použitých symbolů

g	$[m/s^2]$	gravitační zrychlení
j_U	$[-]$	jistota početního napětí
j_L	$[-]$	jistota provozního napětí
f	$[-]$	součinitel bezpečnosti
R_m	$[N/mm^2]$	mez pevnosti materiálu
R_e	$[N/mm^2]$	mez kluzu materiálu
F_{xn}	$[N]$	složka hmotových setrvačných sil v těžišti palivové nádržky do osy x
F_{yn}	$[N]$	složka hmotových setrvačných sil v těžišti palivové nádržky do osy y
F_x	$[N]$	složka sil osy x
F_y	$[N]$	složka sil osy y
F_z	$[N]$	složka sil osy z
F_{OP}	$[N]$	síla v opásání
S_{OP}	$[mm^2]$	plocha průřezu opásání
S_3	$[mm^2]$	minimální plocha průřezu šroubu
τ_S	$[N/mm^2]$	stříhové napětí
F_P	$[N]$	síla vyvinutá pilotem na ovládací prvek
W_O	$[mm^3]$	průřezový modul v ohybu
W_K	$[mm^3]$	průřezový modul v krutu
M_{Omax}	$[Nmm]$	maximální ohybový moment
M_{Kmax}	$[Nmm]$	maximální krouticí moment
$M_{K\check{S}}$	$[Nmm]$	krouticí moment šroubu
σ_O	$[N/mm^2]$	ohybové napětí
τ	$[N/mm^2]$	stříhové napětí působící na svar
α_k	$[-]$	převodní součinitel svaru
α_{\parallel}	$[-]$	převodní součinitel svaru
α_{\perp}	$[-]$	převodní součinitel svaru
σ_t	$[N/mm^2]$	tahové napětí
σ_{red}	$[N/mm^2]$	redukované napětí
G_K	$[kg]$	hmotnost konstrukce nádržky
G	$[kg]$	celková hmotnost
α	$[\circ]$	úhel náběhu
β	$[-]$	součinitel pro krut obdélníkových profilů
P	$[mm^2]$	plocha elipsy
V	$[mm^3]$	Celkový objem nádržky
V_{PL}	$[mm^3]$	objem pláště nádržky
$V_{\check{C}}$	$[mm^3]$	objem čela nádržky
V_m	$[mm^3]$	celkový materiálový objem nádržky
V_{vn}	$[mm^3]$	vnitřní objem nádržky
j_e	$[kg/dm^3]$	měrná hmotnost paliva
l	$[mm]$	délka spojitého zatížení
a	$[mm]$	rameno elipsy
b	$[mm]$	rameno elipsy
L	$[mm]$	vzdálenost mezi podporami
R_A	$[N]$	reakce v podpoře A
R_B	$[N]$	reakce v podpoře B
Q	$[N]$	celková síla od spojitého zatížení
q	$[N/m]$	spojitého zatížení nádržky

ε_z	[<i>rad/sec</i>]	uhlové zrychlení okolo osy z
x_{Tn}	[<i>mm</i>]	souřadnice těžiště nádržky
y_{Tn}	[<i>mm</i>]	souřadnice těžiště nádržky
z_{Tn}	[<i>mm</i>]	souřadnice těžiště nádržky
Δ_{yn}	[<i>mm</i>]	přírůstek násobků v těžišti hmotnosti nádržky
Δ_{xn}	[<i>mm</i>]	přírůstek násobků v těžišti hmotnosti nádržky

Seznam použitých programů

Autodesk Inventor Professional 2014
Microsoft Office 2007

Anotace bakalářské práce

FILIP,R.: Rekonstrukce palivového systému letounu Bücker Bü 131: bakalářská práce. Praha: ČVUT-České vysoké učení technické, Fakulta strojní, Ústav letadlové techniky, 2015, 29 s. Vedoucí práce: Ing. Robert Theiner, Ph.D.

Bakalářská práce se zabývá rekonstrukcí palivového systému letounu a jeho změn v souvislosti se zástavbou alternativní pohonné jednotky do repliky Bücker Bü-131. Tato práce by měla být technickou dokumentací k certifikaci a prokázání letové způsobilosti repliky letounu. Palivový systém je popsán a zachycen v 3D modelu, provedena pevnostní kontrola vybraných dílů a konstrukce porovnána s předpisem.

Annotation of bachelor's thesis:

FILIP,R.: Reconstruction of the Bücker Bü 131 aircraft fuel system: bachelor's thesis. Prague: CTU-Czech Technical University, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Aerospace Engineering, 2015, 29 p. Thesis head: Ing. Robert Theiner, Ph.D.

This thesis deals with the reconstruction of the aircraft fuel system and its changes in connection with the installation of alternative powertrain into a replica of Bücker Bü-131. This work should be technical documentation for certification and demonstrate the airworthiness of the airplane replicas. The fuel system is described and captured in the 3D model, the strength check of selected parts of a design compared with a prescription.

1. Úvod:

Cílem této bakalářské práce je zpracování podkladů pro certifikaci přestavby pohonné jednotky historického letounu se zaměřením na palivovou soustavu a její změny v souvislosti se zástavbou alternativní pohonné jednotky M332AK do letounu Bücker Bü 131 stavěného podle původní dokumentace. 3D model komponentů a rozvod palivového systému včetně připojení k motoru M332AK je zpracován podle původní dokumentace a skutečného stavu v programu INVENTOR 2014.

1.1 Popis letounu Bücker Bü-131 Jungmann

Dvoumístný cvičný letoun vyráběný v minulosti v pražském Aeru má původ v prvním výrobku německé firmy Bücker Flugzeugbau z roku 1934, letounu Bü-131 Jungmann. Ten byl navržen A. Andersonem (švédského původu). Přestože letoun byl prvotinou firmy Bücker, stal se hned od začátku své existence velmi oblíbeným a prokázal, že je velmi zdařilou konstrukcí školního letounu. Vyráběl se ve velkém množství nejen pro německé civilní letecké školy, ale později i pro Luftwaffe. Vedle toho byl exportován do řady zemí a některé země jej vyráběly v licenci. Např. v Japonsku bylo postaveno více než 1000 letounů pro potřeby japonské armády. Vedle Japonska byl vyráběn také ve Španělsku a ve Švýcarsku.

V polovině 30-tých let bylo založeno letecké oddělení ve firmě Ringhoffer - Tatra ve Studénce. Pro rozběhnutí výroby a zaučení zaměstnanců zakoupila firma v roce 1935 licenci Bü-131. Pod vedením hlavního konstruktéra ing. Tomáše vzlétl první prototyp pod firemním označením Tatra T-131 v roce 1936. Bylo vyrobeno celkem 35 kusů T-131. Po německé okupaci byla letecká výroba v Tatře zastavena, ale současně byla do pražského Aera zavedena výroba Bü-131D jako válečná výroba pro potřeby Luftwaffe. Po válce pak pokračovala pro potřeby tehdejší ČSR pod označením C-4 (vyrobena 20 kusů). O rok později byl nahrazen původně používaný motor Hirth HM 504 čs. motorem Walter Minor 4-III o výkonu (77 kW, 105k). Letoun byl označen C-104 a byl vyráběn až do roku 1949. Bylo vyrobeno celkem 260 ks. Letadla byla využívána jak v armádě, tak později i v aeroklubech. C-104 byl dvouplošník s obdélníkovým, mírně šípovým křídlem (11°). Použitý profil křídla po celém rozpětí obou ploch byl NACA 3410.5. Nosníky křídla tvořily dřevěné na výšku postavené hranoly, odlehčené z obou stran frézovaným vybráním do tvaru I. Dřevěná kostra křídla byla potažena plátnem, křídlo nemělo torsní skříň, příhradový trup byl svařen z ocelových trubek a byl rovněž potažen plátnem. Sedadla za sebou byla otevřená, chráněna větrným štítkem. Z důvodu centráží se v jednomístném obsazení létalo ze zadního sedadla.

Letoun měl křídélka na horním i dolním křídle, neměl vztlakové klapky. Podvozek byl ostruhového typu a měl relativně malý rozchod a byl poměrně tvrdý. Původní Bü-131 začínal s výkonem motoru 60 kW (Hirth HM-60R, 80 k), pozdější Bü-131 D byl vybaven motorem 75 kW (Hirth HM-504, 90 k) a konečně čs. C-104 již měly 77kW (Walter Minor 4 – III). Všechny typy měly dřevěnou vrtuli. V čs. aeroklubech byl využíván pro elementární výcvik, pro akrobatické létání a v jistém období i pro vleky větroňů. C-104 také sehrály malou epizodní roličku v aeroklubech v r. 1953, když posloužily pro nácvik vývrtek na dvojím řízení

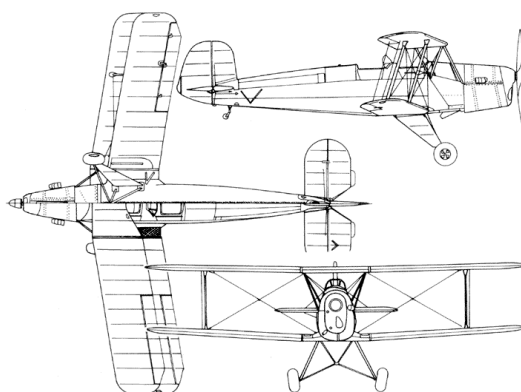
pro plachtaře v období, kdy tehdejší masově provozovaný dvoumístný větroň LF 109 Pionýr měl vývrtky přechodně zakázány. [5]



Obr.č.1 Aero C-104 [8]

Technická data letounu C-104

Rozpětí	7,40	m
Délka	6,76	m
Nosná plocha	13,5	m ²
Prázdná hmotnost	390	kg
Vzletová hmotnost	680	kg
Plošné zatížení	50,5	kg.m ²
Motor Walter Minor 4-III	77	kW
Maximální rychlost	185	km.h ⁻¹
Cestovní rychlost	170	km.h ⁻¹
Dostup	4300	m
Dolet	650	km



Obr.č.2 Bü-131 B [8]

1.2 Rešerše stávajícího stavu přestavby letounu

Replika je vyráběna firmou BMZ AIR SERVICE podle původní výrobní dokumentace a tedy zachovává vnější tvary a rozměry originálního Bü-131. Výjimku tvoří pouze zástavba alternativní pohonné jednotky Walter M332AK. Tato jednotka byla pečlivě zvolena především pro svoji tvarovou podobnost s původním motorem Hirt HM 504 A-2, který se již nevyrábí a není ani možné pořídit repasovaný. M332AK je však výkonnější pohonnou jednotkou a tato skutečnost si vyžádala stavební úpravy, především zesílení příhradové konstrukce přední části draku. Vzhledem k požadavku certifikovat letoun v kategorii „normal“ a zachovat akrobatický status je nutné zpracovat podklady prokazující plnění daného stavebního přepisu, v tomto případě CS-23. Zesílení přední části draku a statické výpočty provedl Ing. Sysel (viz. [1]). Návrh a výpočet motorového lože byl již rovněž proveden (viz. [2]) a také olejová instalace již byla zpracována (viz. [3]). Předmětem této Bakalářské práce je tedy vypracování podkladů pro certifikaci palivového systému.



Obr.č.3 Aktuální stav přestavby

Přestavba se nyní nachází ve fázi, kdy je hotový trup letounu včetně všech ovladačů, který je osazen směrovým a výškovým kormidlem. Pohonná jednotka je také na místě a veškeré motorové rozvody jsou hotovy. Trup je připraven na potažení plátnem. Vybavení obou pilotních prostorů je rovněž kompletní.

Náročnost přestavby dokládá i fakt, že bylo nutné dodržet tvar motorové kapotáže pouze s jedinou změnou, vstupem chladícího vzduchu, který bylo nutné pro motor M332AK přesunout na opačnou stranu. Důvodem této změny je ta skutečnost, že motor Walter má opačnou konfiguraci chlazení a výfukového potrubí než motor Hirt. Proto bylo také nutné přesunout filtr paliva na druhou stranu motorové přepážky, aby byl umístěn co nejdále od výfukového potrubí a zabránilo se tím nežádoucímu přestupu tepla. Celý palivový systém je vyroben podle původní dokumentace s výjimkou pozice filtru paliva. Změna v rozvodu paliva spočívá pouze ve změně délek jednotlivých hadic. Mechanismus ovládání palivového kohoutu, který je součástí filtru paliva, zůstal zachován až k původní pozici filtru a došlo pouze k prodloužení posledního táhla na protilehlou stranu motorové přepážky. Vzhledem k instalaci nové pohonné jednotky dochází také ke změně umístění lanovodů ovládání připusti a korekce motoru M332AK.



Obr.č.4 motor HIRT HM 504 A-2 [7]



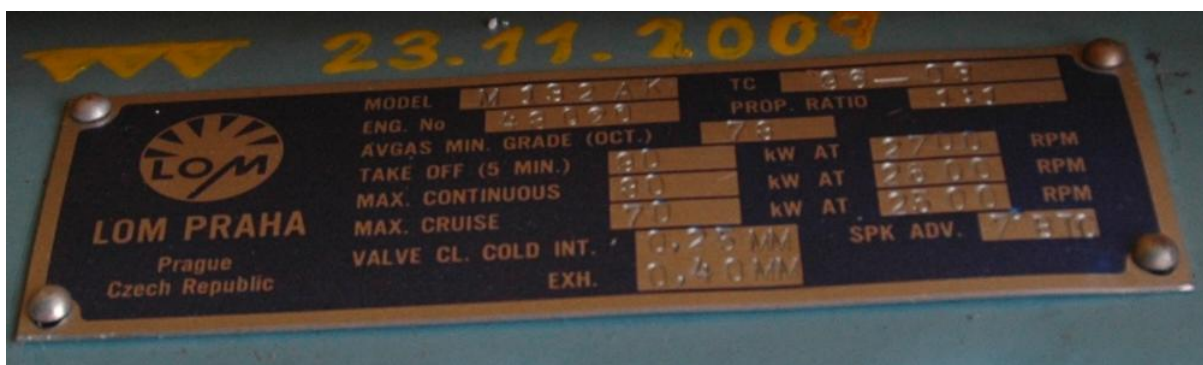
Obr.č.5 motor LOM M132AK [6]

2. Popis konstrukčního návrhu palivové soustavy pro letoun

2.1 Motor LOM M 332AK

V roce 1992 se LOM Praha a.s. stal hlavním projektantem invertních pístových motorů s plánem stát se pokračovatelem výroby motorů a náhradních dílů. Výroba byla zahájena v druhé polovině roku 1992 čtyřválcovým, řadovým, zážehovým, invertním, vzduchem chlazeným motorem M 332A, který získal certifikát letové způsobilosti v listopadu téhož roku. Dalším krokem byl typ M 332AK konstrukčně uzpůsobený pro akrobatický provoz, certifikovaný roku 1994. [4]

V replice letounu Bücker Bü-131 nesoucího výrobní číslo 001, je zabudován motor LOM M 132AK (výr.číslo:48020). Tento motor je totožný s typem M 332AK, jediným rozdílem je absence přeplňování kompresorem. Jedná se o jednotku určenou pro plnou akrobacii a lety na zádech s provozním omezením +6g a -3,5g. Kopané prvky jsou zakázány! Je možné jej osadit pevnou i stavitelnou vrtulí. Díky robustní konstrukci motoru dosahuje jeho doporučená provozní životnost 2000 hodin do GO. Vyznačuje se také nejmenším čelním odporem ve své třídě. [4]



Obr.č.6 Štítek motoru M132AK [3]

Technické údaje motoru M 132AK [6]:

Délka (mm)	1 102
Šířka (mm)	425
Výška (mm)	655
Suchá hmotnost (kg)	113
Zdvihový objem (L)	3,98
Kompresní poměr (-)	6,3 : 1

	Max. vzletový	Max. trvalý	Max. cestovní	Ekonomický cestovní
Výkon (kW/k)	90 / 122,4	80 / 108,8	70 / 95,2	58,5 / 79,6
Otáčky (1/min)	2 700	2 600	2 500	2 350
Spotřeba paliva (L/hod)	38,5	32	28,6	23,5

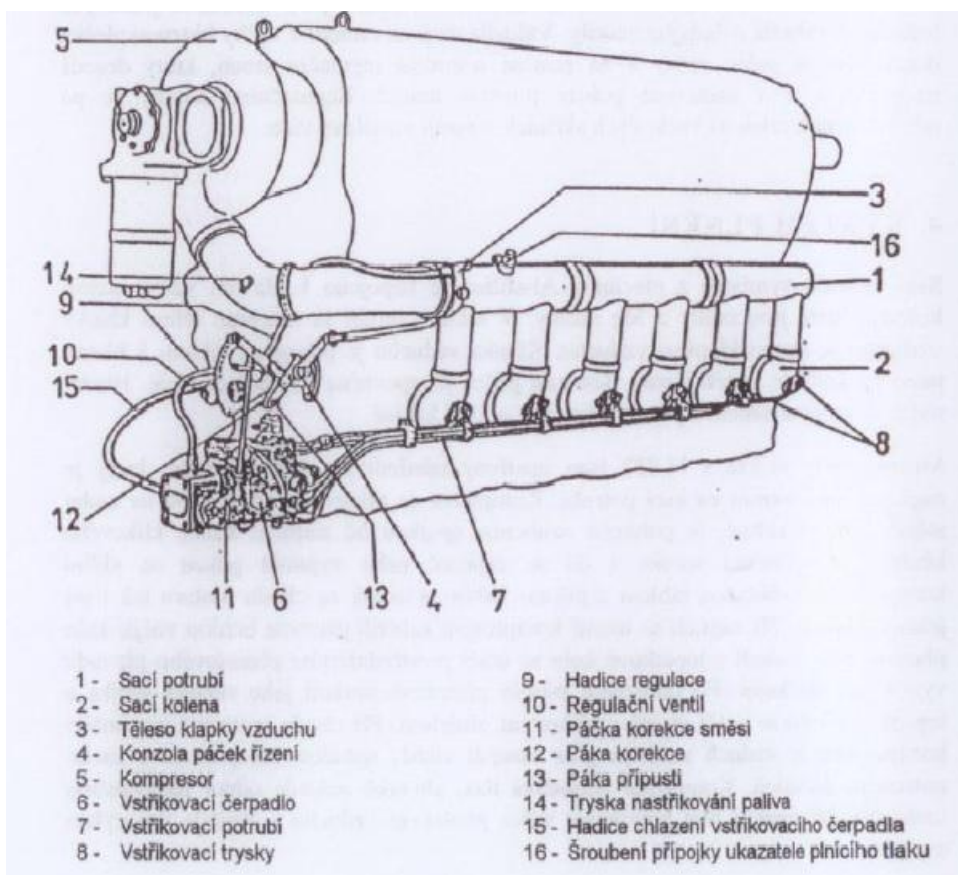
2.1.1 Palivový systém motoru M132AK:

Palivový systém motoru (obr.č.7 [4]) se skládá ze sacího potrubí(1) vyrobeného z plechu z Al-slitiny, které je napojeno k hlavám válců pomocí sacích kolen(2) z Mg slitiny. Do sacího potrubí je začleněno těleso klapky vzduchu se škrťící klapkou vzduchu. Tato klapka je připojena táhlem k hlavní páce na konzole páček řízení(4) upevněné na sběrači oleje. Hlavní páka je spojena táhlem s pákou přípusti v pilotní kabině. [4]

Motory řady M 132 nejsou vybaveny odstředivým kompresorem, proto se jeho funkcí v palivovém systému nebude dále zabývat. [4]

Pro tvoření směsi je motor opatřen vstřikovacím čerpadlem(6) paliva připevněným na přírubu skříňky pohonu rozvodu a je poháněno ozubcem od vačkového hřídele. Vstřikovací čerpadlo nasává palivo přes čistič vlastním palivovým čerpadlem a vstřikuje jej tryskami(8) umístěnými v sacích kolenech a spojených se vstřikovacím čerpadlem vstřikovacím potrubím(7). Palivo je přes sací ventil vstřikováno do sacího hrdla hlavy válce. Z důvodu

odvzdušnění se část paliva vrací zpět do nádrže. Ve spodní části sacích kolena jsou umístěny odkapávací ventilký určené k odvodu přebytečného paliva nashromážděného při spouštění motoru v sacím potrubí. [4]

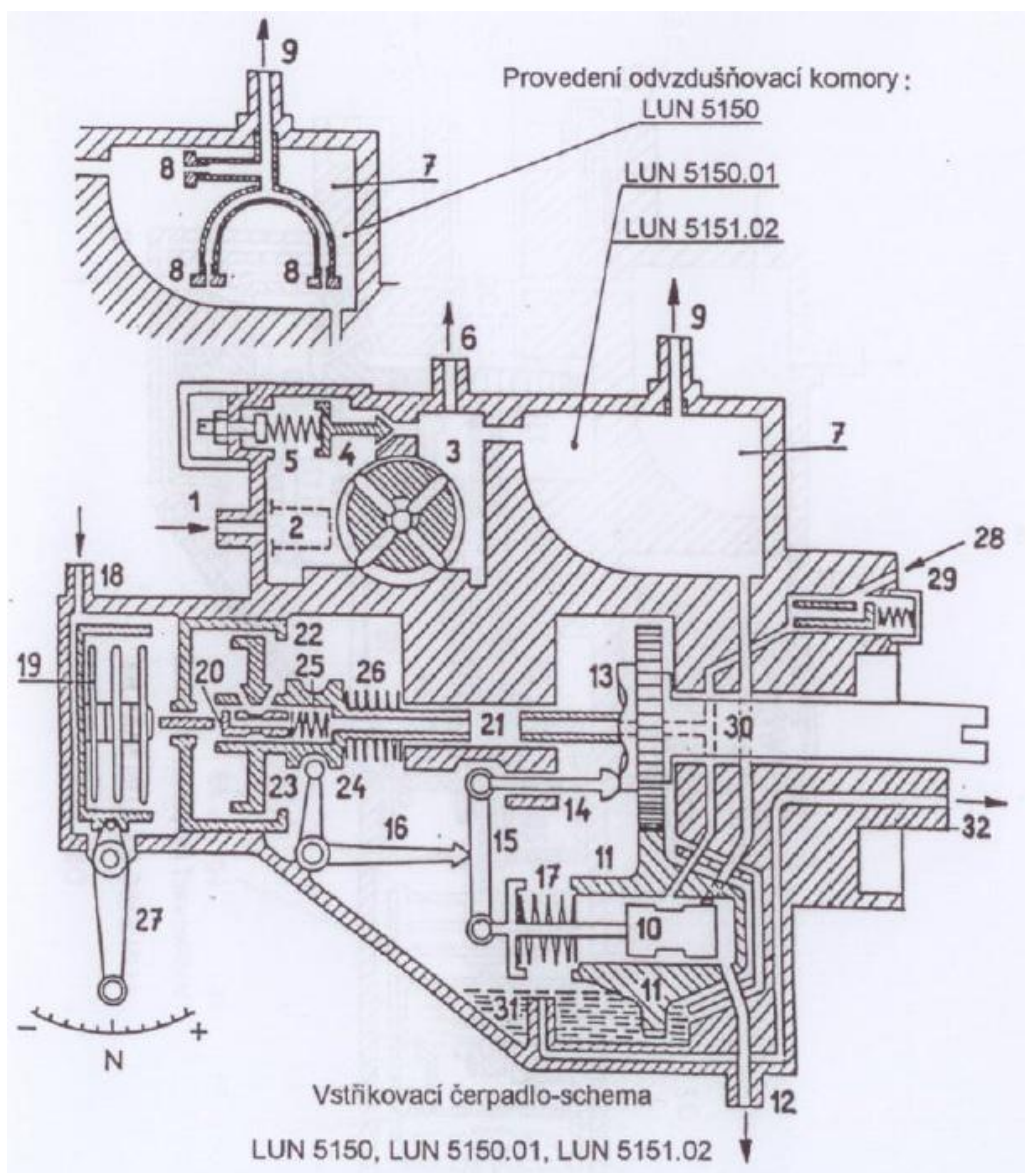


Obr.č.7 Palivový systém motoru [4]

Vstřikovací čerpadlo LUN5150 je plně automatický přístroj odměřující a rozdělující přesně odměřené dávky paliva pro jednotlivé válce v celém rozsahu otáček motoru i s ohledem na nadmořskou výšku letadla do 800 m MSA. Při vyšších hladinách letu je potřeba ručně korigovat spotřebu paliva ruční pákou korekce umístěnou v pilotní kabině. Vstřikovací čerpadlo nasává palivo vstupním šroubením(1) přes vstupní čistič(2) vlastním křídélkovým dopravním čerpadlem(3), které vhání palivo pod tlakem 30÷40 kPa dále do odvzdušňovací komory vstřikovacího čerpadla(7). Vyloučené plyny se odvádí společně s vratným proudem paliva zpět do nádrže letadla šroubením(9). U tohoto typu čerpadla jsou v odvzdušňovací komoře tři kalibrované otvory(8) Ø 0,45 mm, jeden nahoře a dva dole, což znamená, že v každé poloze letadla se plyny přetlakem paliva odvádí ven z čerpadla. Tlak paliva je možné regulovat předpětím pružiny(5), která tlačí ventil do sedla. K měření tlaku paliva je vyvedeno šroubení(6) z prostoru za čerpadlem paliva. Pístek(10) nasává palivo otvory v rotujícím rozdělovacím šoupátku(11) a vytlačuje je opět přes rotační šoupátko do výtláčného šroubení(12) vstřikovacího potrubí. Zdvih pístku je přenášen ze čtyřvrcholové vačky(13) pomocí zvedáku(14) a dvojjzvatné páky(15), která se opírá o regulační rameno(16) měnící poměr ramen páky a tím i množství vstřikovaného paliva. Pístek vrací zpět vratná pružina(17). [4]

Regulace pro správné složení směsi pracuje automaticky do výšky cca 800 m MSA. Při letech ve vyšších hladinách se směs ochuzuje a je tedy nutné ji postupně s výškou obohacovat ručně pomocí páky korekce bohatosti směsi. [4]

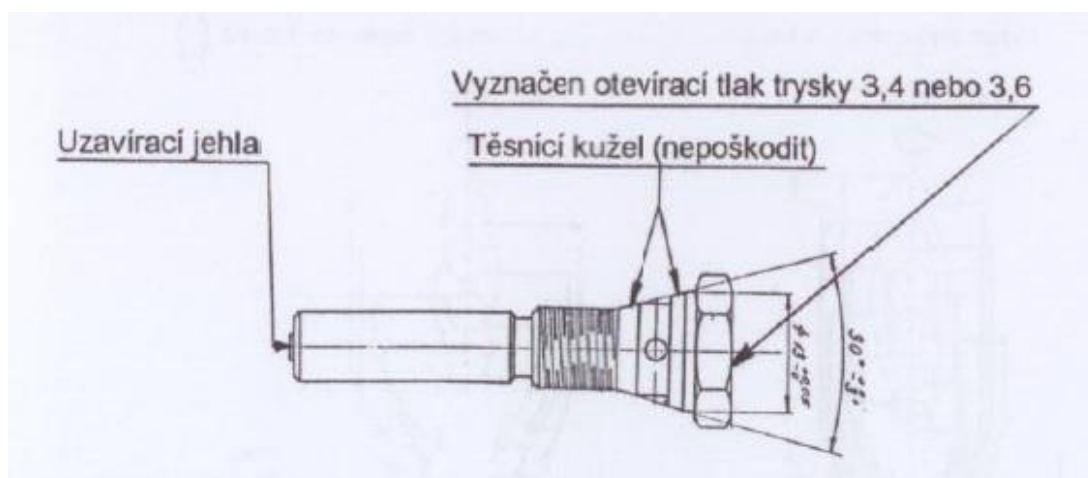
Do vstřikovacího čerpadla je přiváděn tlakový olej z motoru otvorem v přírubě(28) přes redukční ventil(29), který tlak zredukuje na 200 kPa. Tímto olejem je mazáno celé čerpadlo a přes převáděcí trubku(21) poháněno také servořízení. Při poklesu tlaku motorového oleje k nule, servořízení obohatí automaticky vstřikovací čerpadlo a zabrání tak dalšímu chodu motoru a tedy jeho poškození. Trubka(31) určuje svým ústím hladinu oleje ve skříni čerpadla. [4]



Obr.č.8 Vstřikovací čerpadlo [4]

Nedílnou součástí palivového systému motoru jsou vstřikovací trysky. Na motoru M132AK jsou použity trysky Yc-070. Tryska vytvoří kužel rozprášeného paliva, který směřuje doprostřed nasávaného proudu vzduchu. Každá vstřikovací tryska je zkoušena na

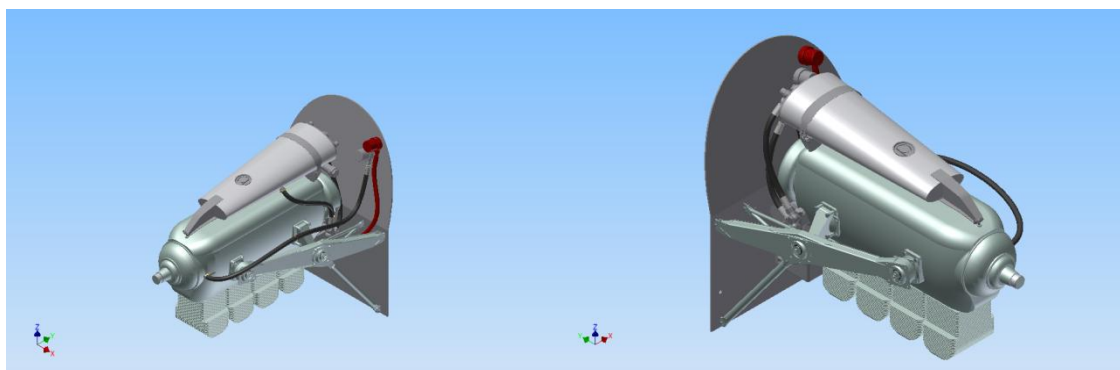
otevírací tlak a tento údaj je na ní vyznačen. Pro správnou funkci vstřikování a pravidelný spolehlivý chod motoru je nutné, aby trysky byly tzv. sadovány výběrem tak, že všechny osazené trysky na jednom motoru budou mít stejný otevírací tlak. [4]



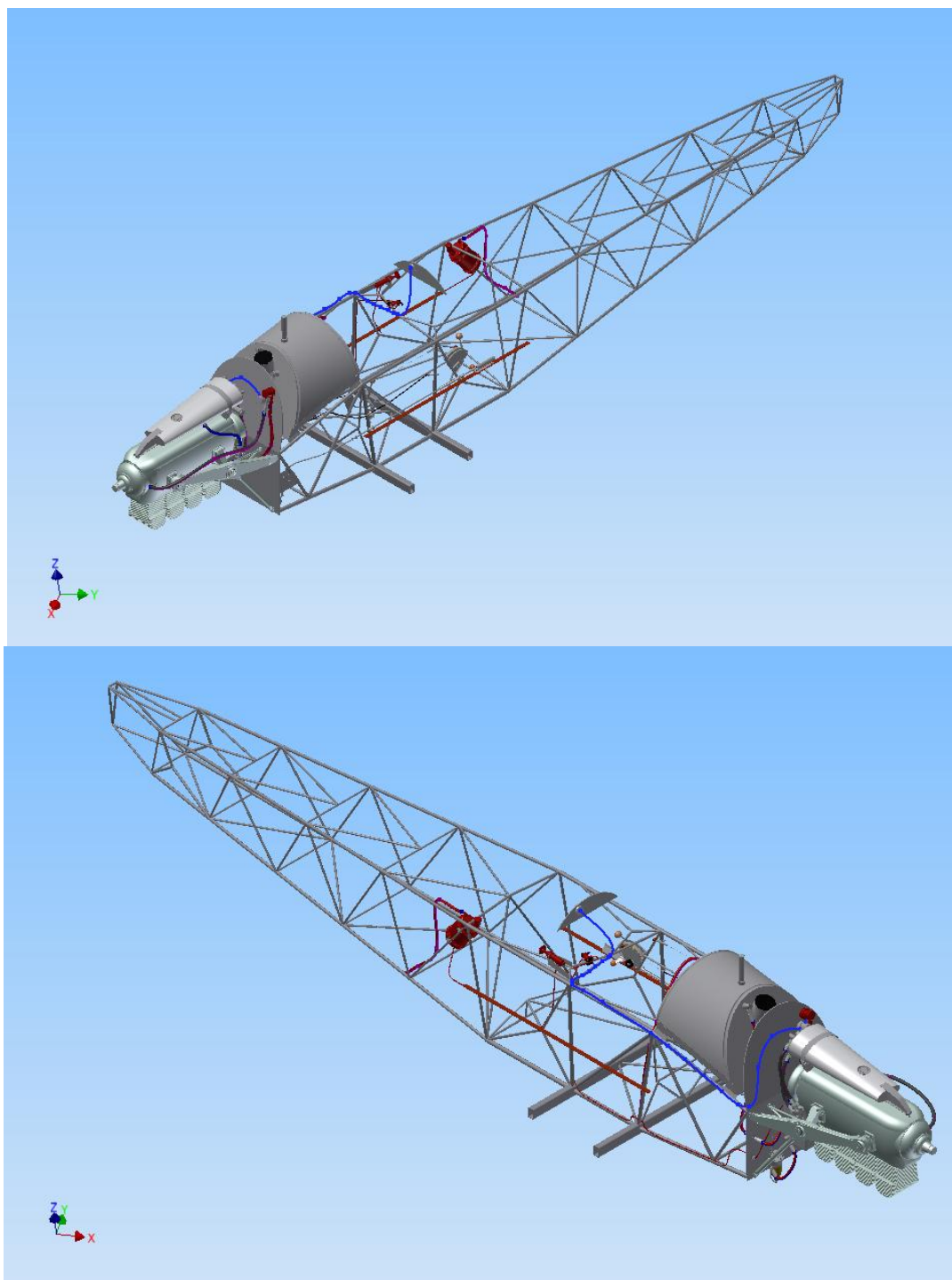
Obr.č.9 Vstřikovací tryska Yc-070 [4]

2.2 Palivový systém letounu

Jak již bylo zmíněno v úvodu, palivový systém je vyroben podle původní dokumentace s výjimkou pozice filtru paliva a pochopitelně lanovodů ovládání připustí a korekce. Také palivové hadice je nutné přizpůsobit novým skutečnostem. Za účelem zdokumentování těchto změn byla modelována sestava příhradové konstrukce trupu s motorem a všemi částmi palivového systému v programu Autodesk Inventor Professional 2014. Výchozím stavem pro tvorbu 3D modelu byl použit 3D model olejové soustavy z bakalářské práce [3], který však v prostředí Inventoru nepracoval zcela korektně, a proto byl ještě použit 3D model motoru a motorového lože z diplomové práce [2]. Po obnovení vazeb bylo možné přistoupit k tvorbě vlastní 3D sestavy palivového systému. Vzhledem ke skutečnosti, že přestavba již byla v minulosti na letounech Bücker Bü-131 provedena v kategorii „experimental“, sestava dokumentuje stav systému pro potřebu certifikace kategorie „normal“.



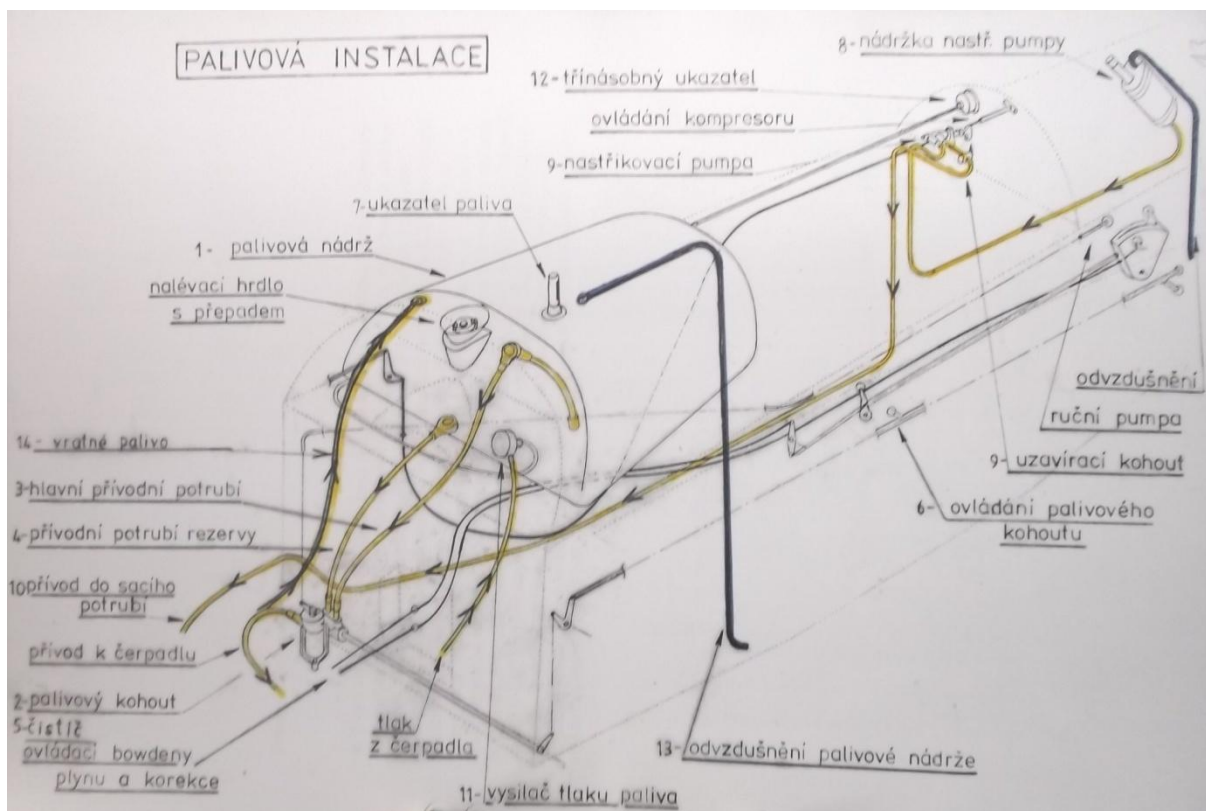
Obr.č.10 Model motoru po obnovení vztahů



Obr.č.11 a 12 3D sestava Inventor

Celý systém je konstrukčně rozdělen do dvou samostatných okruhů. První (hlavní) palivový okruh se skládá z nádrže paliva, palivového čističe s kohoutem a ručním čerpadlem, vysílače tlaku paliva a palivových hadic. Druhý okruh je určen pro nastřikování paliva do sacího potrubí pohonné jednotky při studených startech a je zcela oddělen od hlavního rozvodu paliva. Skládá se z nádržky, nastřikovací pumpy, uzavíracího ventilu, potrubí a trysky nastřikování paliva umístěné v sacím potrubí motoru. Letoun má v rámci své obratové obálky povoleno akrobatické létání s výjimkou kopaných prvků do provozních násobků zatížení $+6g$ a $-3g$ a palivová soustava tomuto režimu musí být přizpůsobena. Nádrž paliva o

obsahu 90 l tedy musí dodávat palivo v jakékoliv letové poloze a k tomu je konstrukčně uzpůsobena tak, že sací koš v nádrži je umístěn na gumové ohebné hadici a díky jeho hmotnosti se vždy nachází pod hladinou paliva v nádrži. Sací koš v normální poloze letounu nedosahuje na dno, ale zůstává několik centimetrů nade dnem. U dna palivové nádrže je umístěn vývod tzv. rezervního paliva. Vývod sacího koše je umístěn zhruba v polovině výšky nádrže. Oba vývody jsou palivovými hadicemi staženy do palivového kohoutu, který je součástí čističe paliva. Tento kohout umožňuje přepnutí z normálního režimu na režim záloha a tím je docíleno upozornění pilota na kritický stav paliva. Vývod rezervního paliva slouží zároveň pro odkalování paliva krátkým přepnutím kohoutu do polohy záloha během motorové zkoušky. V přední stěně nádrže nahoře je umístěno nalévací hrdlo s přepadem a také vstup vratného paliva z odvzdušňovací komory vstřikovacího čerpadla motoru M132AK. V zadní stěně je pak vývod odvzdušnění, který je gumovou hadicí vyveden pod trup letounu. Ukazatel paliva je umístěn v horním plášti nádrže a díky otevřeným kokpitům umožňuje pilotovi pouhým pohledem vpřed zjistit aktuální stav paliva. Přepnutí kohoutu je nutné během letu provést při poklesu stavu paliva na ukazateli pod 25 litrů! Nádrž je umístěna v trupu před předním pilotem.



Obr.č.13 Schéma palivového systému [8]

Palivový čistič s palivovým kohoutem a ručním čerpadlem se nachází na požární stěně a je propojen palivovými hadicemi s nádrží a vstřikovacím čerpadlem. Kohout má tři polohy: a) Zavřeno (poloha při požáru) b) Otevřeno c) Záloha. Ovládání kohoutu je realizováno pákou, umístěnou v pilotním prostoru po levé ruce pilota, pomocí táhel a pákového mechanismu, jak je patrné z obr.č.13. Indikace aktuální polohy kohoutu je realizována pomocí ukazatele, který je pevně spojený s pákou a tabulky s potiskem, pevně

spojené s příhradovou konstrukcí trupu (viz obr.č.14). Ruční čerpadlo má v pilotní kabině také svůj ovladač, umístěný pod přístrojovým panelem, který je spojen lanovodem. Toto čerpadlo slouží k zaplavení vstřikovacího čerpadla palivem a ke zvýšení tlaku ve vstřikovacím systému motoru M132AK před startem, než dopravu paliva převezme dopravní čerpadlo.

V pilotním prostoru nad pákou ovládání palivového kohoutu se nachází sdružený ovladač přípusti a korekce. Větší páka přípusti je spojena pomocí pevného táhla s pákou v předním pilotním prostoru a poté přes dvojramennou páku pokračuje lanovodem přes požární stěnu na páčku přípusti motoru M132AK. Díky otočnému uložení páky na třecích elementech je možné, dotážením nebo povolením plastové matice, regulovat tuhost pohybu ovladače a také zamezit svévolnému přestavení (např. vlivem vibrací). Menší páka korekce je propojena s páčkou korekce motoru pomocí lanovodu rovnou, protože ovládání korekce není zdvojeno pro přední pilotní prostor. Páka korekce disponuje mechanickou aretací v poloze, která odpovídá základnímu složení směsi, tím usnadňuje správné nastavení polohy a znemožňuje nechtěnou manipulaci. V zajištěné poloze je páka udržována pružinou.

Tlak paliva ve vstřikovacím čerpadle je přiváděn palivovou hadicí do vysílače tlaku paliva, který se nachází v horní části požární stěny vedle vysílače tlaku oleje. Z obou vysílačů je signál veden elektrickým svazkem k třínásobnému ukazateli umístěnému na přístrojové desce zadního pilotního prostoru.

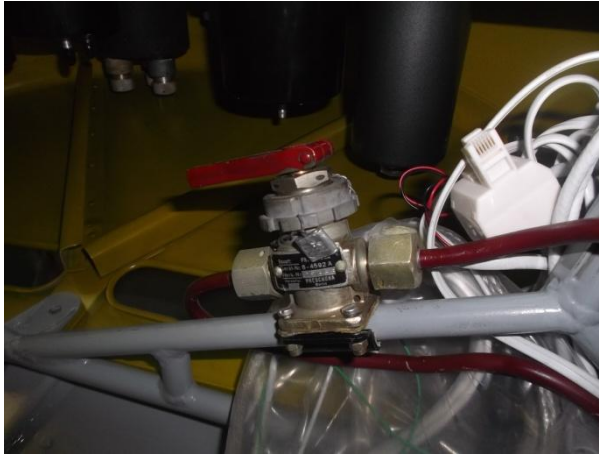


Obr.č.14 Ovladač polohy kohoutu

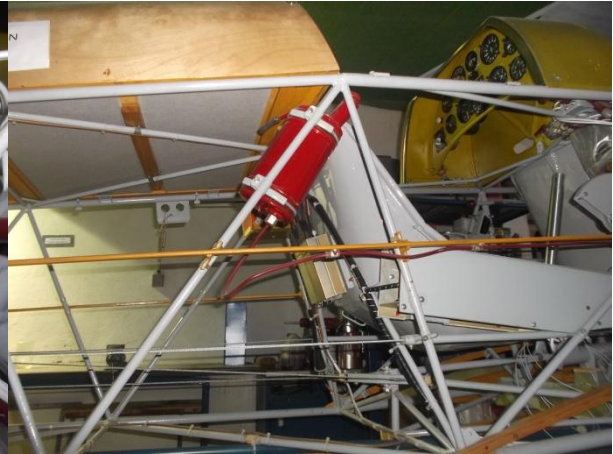


Obr.č.15 Vysílač tlaku paliva

Druhá samostatná část palivové instalace slouží k nastříkávání paliva během spouštění studeného motoru. Nádržka o obsahu 1 litr umístěná za zadním pilotním sedadlem na pravé straně se plní samostatně vlastním plnicím hrdlem. Nádržka je připevněna pomocí pásků a objímek k příhradové konstrukci trupu letounu. Odsud je palivo vedeno hydronalovým potrubím 6 x 1 mm do nastříkovací pumpy, umístěné pod přístrojovou deskou na pravé straně, a dále stejným potrubím přes uzavírací kohout do nastříkovací trysky v sání motoru. Uzavírací kohout slouží k zamezení samovolného vytékání paliva do sání motoru během jeho chodu. Kohout je umístěn ve stejné oblasti, tedy hned vedle nastříkovací pumpy, což umožňuje snadné uzavření po použití pumpy a spuštění studeného motoru.



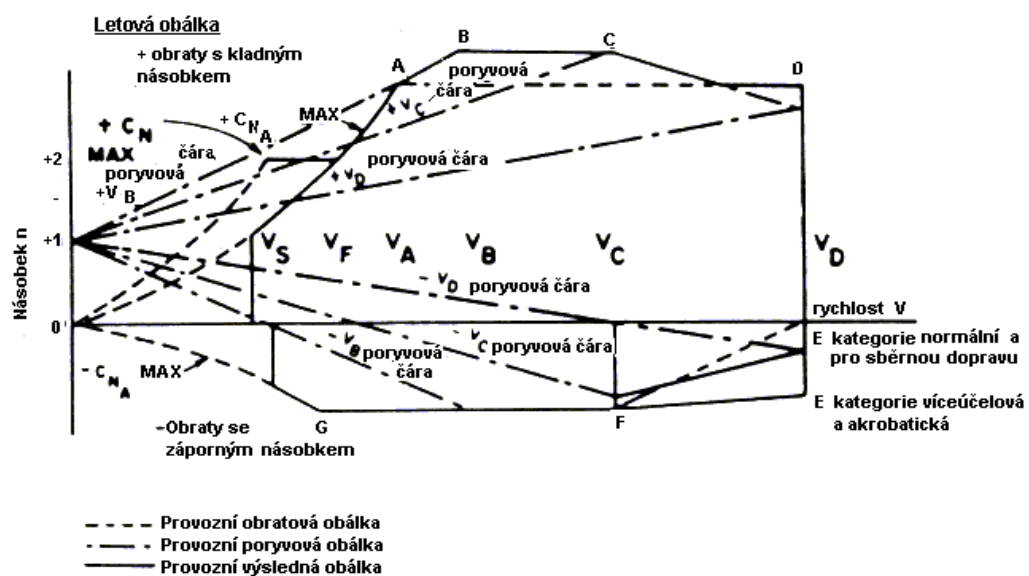
Obr.č.16 Uzavírací ventil



Obr.č.17 Nádržka nastříkávání

3. Stanovení zatížení hlavních částí palivové soustavy

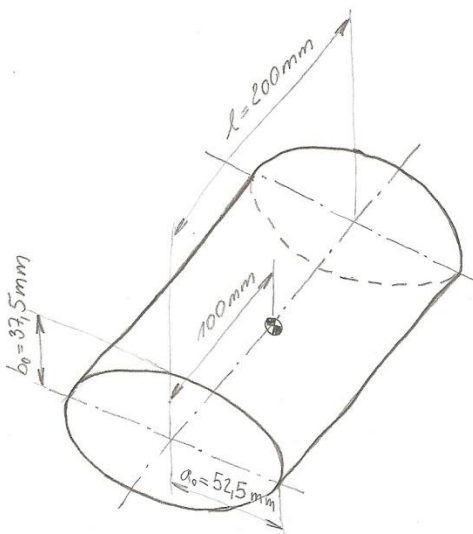
Jak již bylo dříve napsáno, palivová soustava a její komponenty jsou vyrobeny podle původní dokumentace bez podstatných změn, proto bylo přistoupeno ke kontrole vybraných částí této soustavy. Kontrolní výpočty vychází ze zjednodušujících předpokladů, vždy však na straně vyšší bezpečnosti. Silové zatížení konstrukce je převzato z výpočtů provedených pro letoun Bücker Bü 131 Ing. Syslem [1], kontrolní výpočty jsou provedeny dle metodiky výpočtů Ing. Sysla [1]. Početní zatížení $f=1,5$ násobek zatížení provozního. Kontrolní výpočty vždy končí kontrolou jistoty j a to jak provozního, tak početního zatížení. Kontrolované jistoty musí vždy být větší než 1 , to znamená, že zatížení nezpůsobí v dané konstrukci mezní stav! Převzaté výpočty včetně metodiky jsou uvedeny v příloze. Případ A, G jsou rovněž převzaty z práce Ing. Sysla a odpovídají bodům A a G letové obálky dle CS-23 (viz. Obr.č.18).



Obr.č.18 Letová obálka [5]

3.1 Nádržka nastříkování paliva

Nádržka je vyrobena z hliníkového plechu tl. 1 [mm] jako svařenec. Použitý materiál 42 4432.14 dle ČSN. Na horním čele je navařeno nalévací hrdlo. Ve zjednodušeném modelu je nádržka uvažována jako válec s eliptickými čelními plochami, vliv hrdla je pro jeho minimální váhu zanedbán. Prolisy v plášti nádržky, určené k upevnění nádržky k příhradové konstrukci jsou rovněž zanedbány a z hlediska namáhání mají téměř zanedbatelný vliv. Síly působící na nádržku jsou soustředěny do těžiště. Samotná nádržka je uvažována jako nosník na dvou podporách zatížený spojitým zatížením, které jej namáhá ohybem. Podélná osa nádržky po montáži svírá s x -ovou osou letounu úhel $51,75^\circ$ (viz. Obr.č.20), to znamená, že odvodušnění se nachází v nejvyšším bodě a dle CS-23 se expanzní prostor nepožaduje.



Obr.č.19 Rozměry nádržky

Stanovení hmotnosti nádržky:

$$\begin{aligned} \text{Plocha elipsy: } P &= \pi \cdot a \cdot b \\ P &= 6185,01 \text{ [mm}^2\text{]} \\ l &= 200 \text{ [mm]} \end{aligned}$$

Celkový objem nádržky:

$$\begin{aligned} V &= P \cdot l = 6185,01 \cdot 200 = 1237000 \text{ [mm}^3\text{]} \\ V &= 1,237 \text{ [dm}^3\text{]} \end{aligned}$$

Odhad hmotnosti konstrukce nádržky

-hliníkový plech tl.1 mm \rightarrow měrná hmotnost $j_e=1,7 \text{ [g/cm}^3\text{]}$

Plášť:

$$\begin{aligned} V_{pl} &= \pi \cdot \left[\frac{3}{2} \cdot (a_0 + b_0) - \sqrt{a_0 \cdot b_0} \right] \cdot l \cdot tl \\ V_{pl} &= \pi \cdot \left[\frac{3}{2} \cdot (52,5 + 37,5) - \sqrt{52,5 \cdot 37,5} \right] \cdot 200 \cdot 1 \\ V_{pl} &= 56944 \text{ [mm}^3\text{]} = 56,944 \text{ [cm}^3\text{]} \end{aligned}$$

Čela:

$$V_{\xi} = 2 \cdot \pi \cdot a_0 \cdot b_0 \cdot tl = 2 \cdot \pi \cdot 52,5 \cdot 37,5 \cdot 1 = 12370 \text{ [mm}^3\text{]} = 12,37 \text{ [cm}^3\text{]}$$

Celkový objem plechu:

$$\Sigma V_m = V_{pl} + V_{\xi} = 56,944 + 12,37 = 69,314 \text{ [cm}^3\text{]}$$

Hmotnost konstrukce nádržky:

$$G_k = V_m \cdot j_e = 69,314 \cdot 1,7 = 117,834 [g] = 0,118 [kg]$$

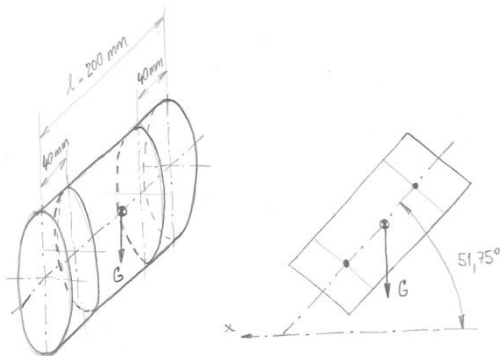
Vnitřní objem nádržky:

$$V_{vn} = V - V_m = 1,237 - 0,069314 = 1,168 [dm^3]$$

Maximální množství paliva v nádržce = $1,168 [dm^3]$

Měrná hmotnost paliva $j_e=0,72 [kg/dm^3]$ → hmotnost paliva = $1,168 \cdot 0,72 = 0,84 [kg]$.

Celková hmotnost nádržky včetně paliva: $G = 0,958 [kg]$.

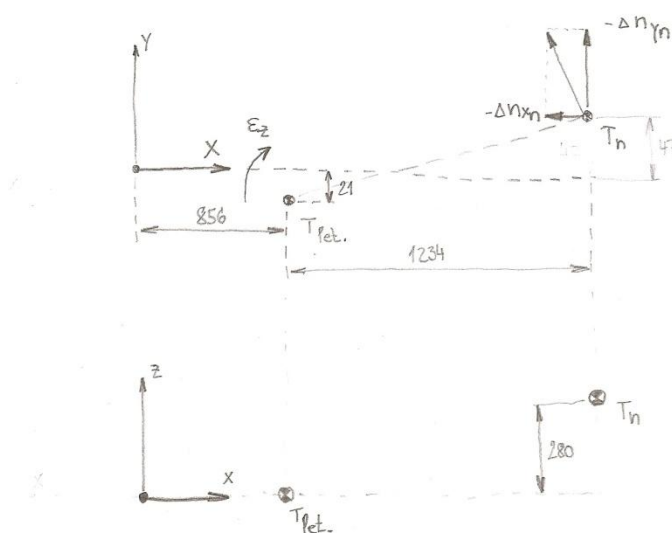


Obr.č.20 Uspořádání uchycení (schéma)



Obr.č.21 Nádržka nastříkování

Poloha těžiště nádržky nastříkování:



$$x_{T_n} = 1234 [mm]$$

$$y_{T_n} = 47 [mm]$$

$$z_{T_n} = 280 [mm]$$

Obr.č.22 Poloha těžiště nádržky

Případ A- ΔP_{VOP} : $n_1 = +6$

Přírůstky násobků v těžišti hmotnosti nádržky od uhlového zrychlení kolem osy „Z“
 $\varepsilon_Z = -14,657 [s^{-2}]$.

$$\Delta n_{yn} = \frac{\varepsilon_Z \cdot x_{Tn}}{g} = \frac{-14,657 \cdot 1,234}{9,80665} = -1,85$$

$$\Delta n_{xn} = \frac{\varepsilon_Z \cdot y_{Tn}}{g} = \frac{-14,657 \cdot 0,047}{9,80665} = -0,07$$

Složky hmotových setrvačných sil od translačních a rotačních zrychlení:

Početní $f = 1,5$; $(\alpha - \varphi) = 12^\circ$ $\alpha = \angle$ *náběhu* ; $\varphi = \arctg \frac{c_x}{c_y}$ - viz.[1]

$$F_{yn} = -f \cdot G \cdot g \cdot [n_1 \cdot \cos(\alpha - \varphi) + \Delta n_{yn}]$$

$$F_{yn} = -1,5 \cdot 0,958 \cdot 9,80665 \cdot [6 \cdot \cos(12^\circ) - 1,85] = -56,28 [N]$$

$$F_{xn} = -f \cdot G \cdot g \cdot [n_1 \cdot \sin(\alpha - \varphi) + \Delta n_{xn}]$$

$$F_{xn} = -1,5 \cdot 0,958 \cdot 9,80665 \cdot [6 \cdot \sin(12^\circ) - 0,07] = -16,45 [N]$$

Případ G + ΔP_{VOP} : $n_2 = -3$

$\varepsilon_Z = 14,657 [s^{-2}]$; $\Delta n_{yn} = +1,85$; $\Delta n_{xn} = +0,07$; $\alpha - \varphi = 1,3^\circ$; Početní $f = 1,5$

$$F_{yn} = -f \cdot G \cdot g \cdot [n_2 \cdot \cos(\alpha - \varphi) + \Delta n_{yn}]$$

$$F_{yn} = -1,5 \cdot 0,958 \cdot 9,80665 \cdot [-3 \cdot \cos(1,3^\circ) + 1,85] = 16,1 [N]$$

$$F_{xn} = -f \cdot G \cdot g \cdot [n_2 \cdot \sin(\alpha - \varphi) + \Delta n_{xn}]$$

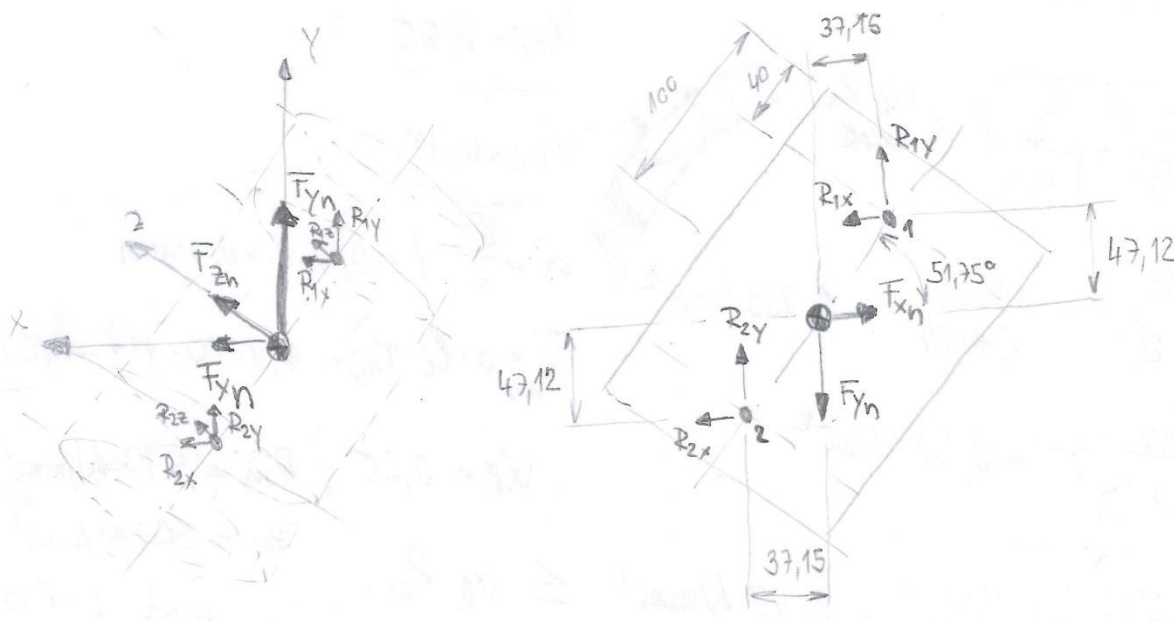
$$F_{xn} = -1,5 \cdot 0,958 \cdot 9,80665 \cdot [-3 \cdot \sin(1,3^\circ) + 0,07] = 0,03 [N]$$

Boční zatížení nádržky:

1/3 zatížení Případ A- ΔP_{VOP} ; početní $f = 1,5$

$$F_z = \pm F_{yn} \max. = \pm \frac{1}{3} \cdot 56,28 = \pm 18,76 [N]$$

Výpočet reakčních sil v místech uchycení nádržky:



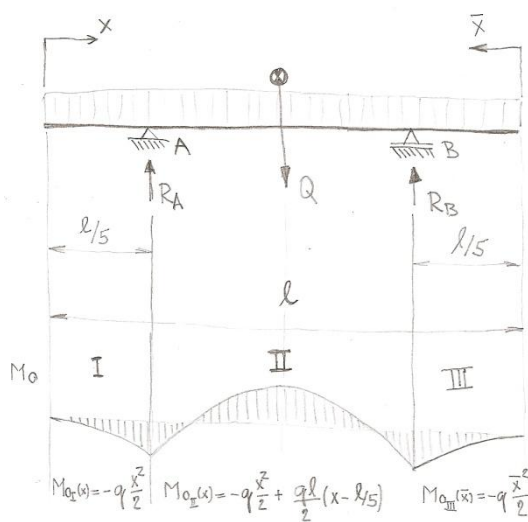
Obr.č.23 Rozložení sil nádržky

$$\sum F_x = 0 = F_{xn} - R_{1x} - R_{2x} \Rightarrow R_{1x} = R_{2x} = \frac{1}{2} F_{xn} = 8,225 \text{ [N]}$$

$$\sum F_y = 0 = F_{yn} - R_{1y} - R_{2y} \Rightarrow R_{1y} = R_{2y} = \frac{1}{2} F_{yn} = 23,12 \text{ [N]}$$

$$\sum F_z = 0 = F_{zn} - R_{1z} - R_{2z} \Rightarrow R_{1z} = R_{2z} = \frac{1}{2} F_{zn} = 9,38 \text{ [N]}$$

Kontrola nádržky nastříkování:



$$Q = q \cdot l = 56,28 \text{ [N]}$$

$$y: R_A + R_B - Q = 0$$

$$M_{(B)}: R_A \cdot 120 - Q \cdot 60 = 0$$

$$R_A = \frac{60 \cdot Q}{120} = \frac{Q}{2} = 28,14 \text{ [N]}$$

$$R_B = R_A = 28,14 \text{ [N]}$$

$$q = \frac{Q}{l} = \frac{56,28}{0,2} = 281,4 \text{ [N/m]}$$

Obr.č.24 Zatížení nádržky

Analýza ohybového momentu:

$$M_{OI(x)} = -q \cdot \frac{x^2}{2}; M_{OII(x)} = -q \cdot \frac{x^2}{2} + \frac{q \cdot l}{2} \cdot \left(x - \frac{l}{5}\right); M_{OIII(\bar{x})} = -q \cdot \frac{\bar{x}^2}{2}$$

$$M_{OII(x=\frac{l}{2})} = -q \cdot \frac{l^2}{8} + \frac{q \cdot l}{2} \cdot \left(\frac{l}{2} - \frac{l}{5}\right) = -q \cdot \frac{l^2}{8} + \frac{q \cdot l}{2} \cdot \frac{3 \cdot l}{10} = -q \cdot \frac{l^2}{8} + q \cdot \frac{3 \cdot l^2}{20}$$

$$= q \cdot \left(\frac{-5 \cdot l^2 + 6 \cdot l^2}{40}\right) = q \cdot \frac{l^2}{40}$$

$$M_{OI(x=\frac{l}{5})} = -q \cdot \frac{l^2}{50} = -281,4 \cdot \frac{0,2^2}{50} = -0,22512 \text{ [Nm]}$$

$$M_{OII(x=\frac{l}{2})} = q \cdot \frac{l^2}{40} = 281,4 \cdot \frac{0,2^2}{40} = 0,2814 \text{ [Nm]}$$

$$M_{OIII(\bar{x}=\frac{l}{5})} = -q \cdot \frac{l^2}{50} = -281,4 \cdot \frac{0,2^2}{50} = -0,22512 \text{ [Nm]}$$

$$M_{OII(x=\frac{l}{2})} = M_{Omax} = 0,2814 \text{ [Nm]} = 281,4 \text{ [Nmm]}$$

Průřezový modul v ohybu pláště nádržky eliptického tvaru:

$$W_o = \frac{\pi \cdot 2a_0^2 \cdot 2b_0}{32} - \frac{\pi \cdot 2 \cdot (a_0 - 2)^2 \cdot 2 \cdot (b_0 - 2)}{32} = \frac{\pi \cdot 75^2 \cdot 105}{32} - \frac{\pi \cdot 73^2 \cdot 103}{32} =$$

$$= 57984,5 - 53886,86 = 4097,64 \text{ [mm}^3\text{]}$$

$$\sigma_{Omax} = \frac{M_{Omax}}{W_o} = \frac{281,4}{4097,64} = 0,07 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

Kontrola jistot:

Materiál nádržky ČSN 42 4432 - $R_m = 100 \text{ [N/mm}^2\text{]}$; $R_e = 35 \text{ [N/mm}^2\text{]}$

$$j_U = \frac{R_m}{\sigma_{Omax}} > 1$$

$$j_U = \frac{100}{0,07} = 1428,6 \gg 1$$

$$j_L = \frac{R_e}{\sigma_{Omax}/f} > 1$$

$$j_L = \frac{35}{0,07/1,5} = 750 \gg 1$$

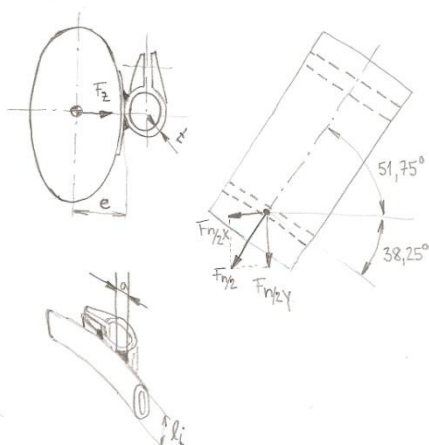
Z kontroly jistot vyplývá, že tloušťka plechu 1 mm použitá na konstrukci nádržky je předimenzovaná. Zde je tato tloušťka zvolena vzhledem k připevnění nádržky pomocí svěrného spoje páskami. Předepnutím pásků vznikne síla, která není zahrnuta do výpočtu, výsledek však ukazuje dostatečnou rezervu.

3.2 Kontrola uchycení nádržky k příhradové konstrukci trupu

3.2.1 Kontrola objímky s vložkou pro pásek

Objímka je běžně dostupný nakupovaný díl, který má vnitřní průměr 14 [mm], tloušťka stěny $t = 1$ [mm] a výška 10 [mm]. K objímce je přivařena zploštělá trubka se stěnou 1 [mm]. Stažení je provedeno šroubem M5 x 10 DIN 404 o třídě pevnosti 8.8 dle ISO 898. Vzhledem k velmi malým provozním zatížením je přistoupeno ke kontrole svarů mezi objímkou a trubkou. Součinitel bezpečnosti je opět použitý $f = 1,5$. Použitý materiál trubky i objímky je L-CM3 (dle ČSN: 15 130.1) tzn. $R_m = 570$ [N/mm²], $R_e = 360$ [N/mm²].

Síla F_z vyvodí tlakové nebo tahové namáhání $\pm 18,76$ [N], Reakce pak namáhání ohybové. Svary objímky jsou namáhány kombinací tah + ohyb (viz. obr.č.25).



Obr.č.25 Namáhání svarů objímky

Síla ohybová = $F_{n/2}$

$$F_{xn/2} = 8,225 \text{ [N]}; F_{yn/2} = 23,12 \text{ [N]}$$

$$F_{n/2} = \sqrt{(F_{xn/2})^2 + (F_{yn/2})^2} = \\ = \sqrt{8,225^2 + 23,12^2} = 24,54 \text{ [N]}$$

Redukované napětí s ohledem na ohybové namáhání – $R' = 180$ N/mm²

Převodní součinitel svaru - $\alpha_{\tau//} = 0,65$

Převodní součinitel svaru - $\alpha_{\tau\perp} = 0,75$

$$\text{Velikost svaru } a = \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot t = 0,7 \cdot 1 = 0,7 \text{ [mm]}$$

$$\tau = \sqrt{\left(\frac{\tau_{\parallel i}}{\alpha_{\tau\parallel}}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{\perp i}}{\alpha_{\tau\perp}}\right)^2} \leq \alpha_k \cdot R_m$$

$$\alpha_k = 0,65; R_m = 570 \text{ [N/mm}^2\text{]}; R_e = 360 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

$$\tau_{\parallel i} = \frac{F_n/2}{a \cdot 2 \cdot l_i} = \frac{24,54}{0,7 \cdot 20} = 1,753 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

$$\tau_{\perp i} = \frac{F_n/2}{\frac{1}{6} \cdot a \cdot 2 \cdot l_i^2} = \frac{24,54}{\frac{1}{6} \cdot 0,7 \cdot 2 \cdot 10^2} = 0,53 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

$$\tau = \sqrt{\left(\frac{1,753}{0,65}\right)^2 + \left(\frac{0,53}{0,75}\right)^2} = 2,79 \text{ [N/mm}^2\text{]} \leq 370,5 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

Kontrola jistot:

$$j_U = \frac{R_m}{\tau} > 1$$

$$j_U = \frac{570}{2,79} = 204,3 \gg 1$$

$$j_L = \frac{R_e}{\tau/f} > 1$$

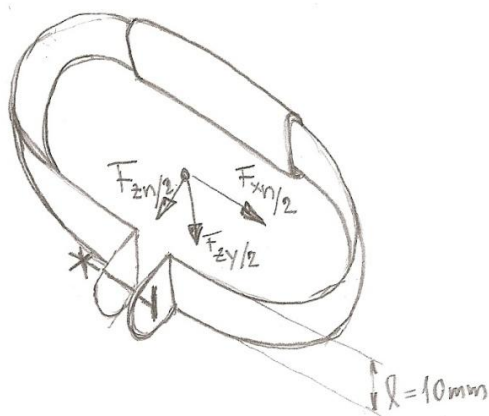
$$j_L = \frac{360}{2,79/1,5} = 193,55 \gg 1$$

Výsledky kontroly jistot opět ukazují předimenzovaný spoj, v tomto případě je však velikost svaru přizpůsobena šířce pásků, kterými se přichytí nádržka k objímce. Vzhledem k umístění svaru mezi objímku a zploštělou trubku je pravděpodobné, že velikost svaru a bude ještě větší, než ve výpočtu a velikost jistot ještě naroste.

3.2.2 Kontrola opásání nádržky

V místě uchycení nádržky páskami byli vypočteni reakce $R_{1x} = R_{2x} = \frac{1}{2} F_{xn}$ a síla působící kolmo na osu nádržky $\frac{1}{2} F_{zn}$ (viz. obr.č.23). Tyto síly vyvolají v opásání tahovou sílu F_{OP} . Působí zde ještě síla F_{yn} , která působí rovnoběžně s osou nádržky. Díky prolisu v plášti nádržky však tato síla působí především na objímce, proto její účinky na opásání nejsou ve výpočtu uvažovány. Opásání je vyrobeno z ocelového plechu tloušťky $t=0,5$ [mm] a šířky $I=10$ [mm]. Materiál opásání je L-CM3 (dle ČSN: 15 130.1) tzn. $R_m=570$ [N/mm²], $R_e=360$ [N/mm²]. Ve spoji je použit šroub M3 x 30 DIN 404 o třídě pevnosti 5.8 dle ISO 898, $R_m=490$ [N/mm²], $R_e=390$ [N/mm²].

Síla v opásání:



Obr.č.26 Opásání nádržky

$$F_{OP} = \sqrt{\left(\frac{1}{2} \cdot F_{zn}\right)^2 + \left(\frac{1}{2} \cdot F_{xn}\right)^2}$$

$$F_{OP} = \sqrt{9,38^2 + 23,12^2} = 24,95 \text{ [N]}$$

Plocha pásku:

$$S_{OP} = t \cdot l = 0,5 \cdot 10 = 5 \text{ [mm}^2\text{]}$$

Napětí v tahu:

$$\sigma_{OP} = \frac{F_{OP}}{S_{OP}} = \frac{24,95}{5} = 4,99 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

Kontrola jistot:

$$j_U = \frac{R_m}{\sigma_{OP}} > 1$$

$$j_U = \frac{570}{4,99} = 114,2 \gg 1$$

$$j_L = \frac{R_e}{\sigma_{OP}/f} > 1$$

$$j_L = \frac{390}{4,99/1,5} = 117,2 \gg 1$$

Kontrola spojení šroubem M3 x 30 DIN 404

Šroub je namáhán osovou silou $Q_0 = F_{OP}$ a také krutem pocházejícím od krouticího momentu při utahování šroubového spoje. Jedná se tedy o kombinované namáhání.

Krouticí moment:

$$M_{Kš} = Q_0 \cdot \frac{d_2}{2} \cdot \text{tg}(\gamma + \varphi') \quad \text{kde} \quad \text{tg}\gamma = \frac{i \cdot P}{\pi \cdot d_2} = \frac{1 \cdot 0,5}{\pi \cdot 2,675} = 0,0595 \Rightarrow \gamma = 3,4^\circ$$

$$M_{Kš} = 24,95 \cdot \frac{2,675}{2} \cdot \text{tg}(3,4 + 8,83) \quad \text{tg}\varphi' = \frac{f}{\cos\beta} = \frac{0,15}{\cos 15^\circ} = 0,15529 \Rightarrow \varphi' = 8,83^\circ$$

$$M_{Kš} = 7,24 \text{ [Nmm]}$$

Napětí v krutu:

$$\tau_K = \frac{M_{K\dot{s}}}{W_{K\dot{s}}} = \frac{M_{K\dot{s}}}{\pi/16 \cdot d_3^3} = \frac{7,24}{\pi/16 \cdot 2,387^3} = 2,72 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

Napětí v tahu:

$$\sigma_t = \frac{F_{OP}}{S_3} = \frac{24,95}{1,875} = 13,31 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

Redukované napětí dle hypotézy HMM (houževnatý materiál):

$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma_t^2 + 3 \cdot \tau_K^2} = \sqrt{13,31^2 + 3 \cdot 2,72^2} = 14,12 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

Kontrola jistot:

$$j_U = \frac{R_m}{\sigma_{red}} > 1$$

$$j_U = \frac{490}{14,12} = 34,7 \gg 1$$

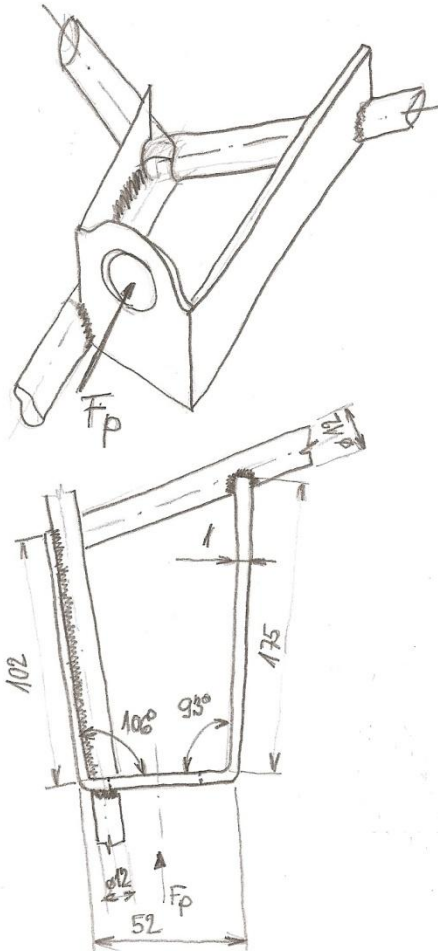
$$j_L = \frac{R_e}{\sigma_{red}/f} > 1$$

$$j_L = \frac{390}{14,12/1,5} = 41,43 \gg 1$$

Kontrolované jistoty opět ukazují předimenzovaný spoj, zde je však šířka pásku dána velikostí objímky a i použitý šroub je vzhledem k šířce pásku zvolen jako nejmenší možný. Přihlédne-li se k síle působící v ose nádržky, velikost kontrol jistoty zaručuje dostatečnou zásobu pevnosti i v případě společného působení této síly.

3.3 Kontrola držáku nastřikovaní pumpy

Držák nastřikovací pumpy je návarek tvaru rozevřeného písmene „U“, který je navařen na příhradovou konstrukci trupu letounu. Pravá strana držáku přenáší zatížení pomocí tvarového spoje pojištěného svarem, levá strana přenáší zatížení svarem v délce 102 [mm]. Ve zjednodušeném modelu je uvažováno, že celé zatížení přenesou svary levé strany. Materiál návarku je L-CM3 (dle ČSN: 15 130.1) tzn. $R_m=570 \text{ [N/mm}^2\text{]}$, $R_e=360 \text{ [N/mm}^2\text{]}$. Zatěžující síla je stanovena dle předpisu CS-23: Síla vyvinutá pilotem na ovládací prvky bez podpory paže pouze zápěstím $F_P = 150 \text{ [N]}$!



Obr. č. 27 Držák nastříkovací pumpy

Převodní součinitel svaru - $\alpha_{//} = 1$

Převodní součinitel svaru - $\alpha_{\perp} = 0,75$

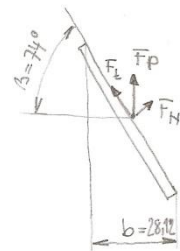
Převodní součinitel svaru - $\alpha_{\tau} = 0,65$

Velikost svaru $a = \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot t = 0,7 \cdot 1 = 0,7 \text{ [mm]}$

Rozklad síly ve svaru (viz.obr.č.28):

$$F_t = F_p \cdot \sin\beta = 150 \cdot \sin 74^\circ = 144,2 \text{ [N]}$$

$$F_n = F_p \cdot \cos\beta = 150 \cdot \cos 74^\circ = 41,35 \text{ [N]}$$



Obr. č. 28 Rozklad síly ve svaru

Výpočet redukovaného napětí ve svaru:

$$\sigma_{//} = \frac{F_t}{a \cdot b / \sin\beta} = \frac{144,2}{0,7 \cdot 28,11 / \sin 74^\circ} = 7,05 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

$$\tau = \frac{F_t}{a \cdot b / \cos\beta} = \frac{144,2}{0,7 \cdot 28,11 / \cos 74^\circ} = 2,02 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

$$\sigma_{\perp} = \frac{F_n}{a \cdot b} = \frac{41,35}{0,7 \cdot 28,11} = 2,1 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

Dle hypotézy HMMH:

$$\sigma_{red} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_{//}}{\alpha_{//}}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{\perp}}{\alpha_{\perp}}\right)^2 + \left(\frac{\tau}{\alpha_{\tau}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{7,05}{1}\right)^2 + \left(\frac{2,1}{0,75}\right)^2 + \left(\frac{2,02}{0,65}\right)^2} = 9,3 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

Kontrola jistot:

$$j_U = \frac{R_m}{\sigma_{red}} > 1$$

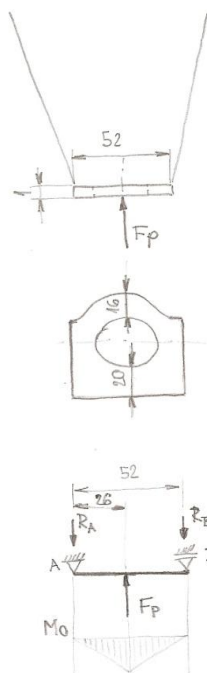
$$j_U = \frac{570}{9,3} = 61,3 \gg 1$$

$$j_L = \frac{R_e}{\sigma_{red}/f} > 1$$

$$j_L = \frac{360}{9,3/1,5} = 58,06 \gg 1$$

Podle výsledku kontroly se jedná o předdimenzovaný spoj, zde je velikost svaru přizpůsobena zástavbovým rozměrům nastříkovací pumpy. Ve zjednodušeném modelu byl zatížen pouze svar na levé straně, pokud by se zatěžující síla rozdělila na obě strany návarku, kontrolované jistoty by byli ještě větší.

3.3.1 Kontrola čelní plochy držáku na ohybové namáhání



Obr.č.29 Čelní plocha držáku

Analýza ohybového momentu:

$$y: R_A + R_B - F_P = 0$$

$$M_A: F_P \cdot 26 - R_B \cdot 52 = 0$$

$$R_B = \frac{F_P \cdot 26}{52} = \frac{150 \cdot 26}{52} = 75 \text{ [N]}$$

$$R_A = F_P - R_B = 150 - 75 = 75 \text{ [N]}$$

$$M_{Omax} = R_A \cdot 26 = 75 \cdot 26 = 1950 \text{ [Nmm]}$$

Napětí v ohybu:

$$\sigma_o = \frac{M_{Omax}}{W_o} = \frac{M_{Omax}}{\frac{b \cdot h^2}{6}} = \frac{1950}{\frac{16^2}{6} + \frac{20^2}{6}} = \frac{1950}{109,34} = 17,83 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

Kontrola jistot:

$$j_U = \frac{R_m}{\sigma_o} > 1$$

$$j_U = \frac{570}{17,83} = 31,97 \gg 1$$

$$j_L = \frac{R_e}{\sigma_o/f} > 1$$

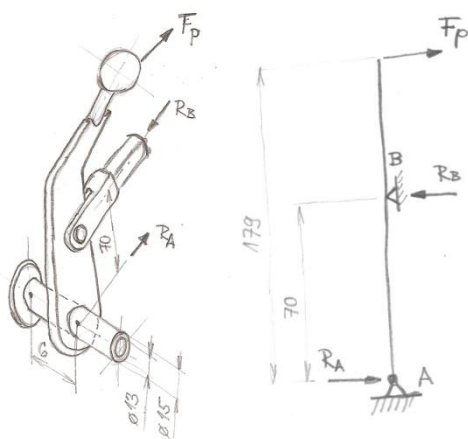
$$j_L = \frac{360}{17,83/1,5} = 30,27 \gg 1$$

I v tomto případě je velikost přizpůsobena zástavbovým rozměrům pumpy, proto velikost kontroly jistot ukazuje na předdimenzovaný konstrukční uzel.

3.4 Kontrola ovladače přípusti a korekce

3.4.1 Čep ovládacích pák

Čep ovládacích pák je nosný prvek celého sdrúženého ovladače společný pro obě ovládací páky. Páky jsou na čepu uloženy otočně s vůlí, což znamená, že čep je namáhán pouze ohybovým momentem, který je vyvozen silou vyvinutou pilotem. Stejně jako v předchozím případě, i zde je tato síla $F_P = 150 \text{ [N]}$ podle předpisu CS-23. Vzhledem k poloze pák nad sebou na levé straně pilotního prostoru je téměř nemožné, aby pilot mohl ovládat obě páky současně, proto je uvažovaný ohybový moment odvozen z jedné, větší páky ovládací přípusti. Čep je vyroben z trubky o průměru 15 [mm] a tloušťce stěny 1 [mm] z materiálu L-CM3 (dle ČSN: 15 130.1) tzn. $R_m=570 \text{ [N/mm}^2\text{]}$, $R_e=360 \text{ [N/mm}^2\text{]}$.



Obr.č.30 Čep s pákou přípusti

Analýza ohybového momentu:

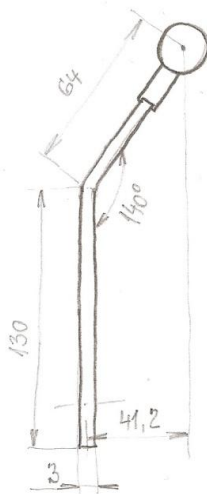
$$x: F_P - R_B + R_A = 0$$

$$M_A: F_P \cdot 0,179 - R_B \cdot 0,07 = 0$$

$$R_B = \frac{F_P \cdot 0,179}{0,07} = \frac{150 \cdot 0,179}{0,07} = 383,6 \text{ [N]}$$

$$R_A = R_B - F_P = 383,6 - 150 = 233,6 \text{ [N]}$$

$$M_O = R_A \cdot 6 = 233,6 \cdot 6 = 1401,6 \text{ [Nmm]} = 1,4016 \text{ [Nm]}$$



Obr.č.31 Páka přípusti

Napětí v ohybu:

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} = \frac{M_o}{\frac{\pi \cdot (D^3 - d^3)}{32}} = \frac{1401,6}{\frac{\pi \cdot (15^3 - 13^3)}{32}} = \frac{1401,6}{115,65} = 12,12 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

Kontrola jistot:

$$j_U = \frac{R_m}{\sigma_o} > 1$$

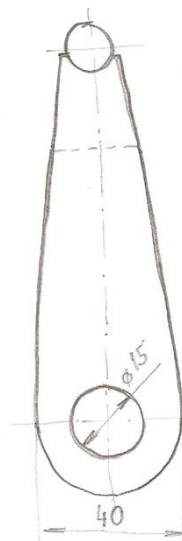
$$j_U = \frac{570}{12,12} = 47,03 \gg 1$$

$$j_L = \frac{R_e}{\sigma_o/f} > 1$$

$$j_L = \frac{360}{12,12/1,5} = 44,55 \gg 1$$

Z výsledku kontroly jistot je patrné, že zásoba bezpečnosti je dostatečná pro obě páky ovládání i v případě, že by došlo k pohybu obou pák současně.

3.4.2 Páka přípusti



Obr.č.32 Páka přípusti

Z obrázku č.30, 31, 32 vyplývá, že je páka i díky otočnému uložení namáhána krutem vyvolaným silou pilota $F_P = 150 \text{ [N]}$ na rameni $41,2 \text{ [mm]}$, opět dle CS-23. Nejslabším místem je spodní část páky s vyvrtaným otvorem o průměru 15 [mm] určeným k navlečení na čep. Použitým materiálem je plech o tloušťce 3 [mm] L-CM3 (dle ČSN: 15 130.1) tzn. $R_m=570 \text{ [N/mm}^2\text{]}$, $R_e=360 \text{ [N/mm}^2\text{]}$.

Krouticí moment:

$$M_K = F_P \cdot 41,2 = 6180 \text{ [Nmm]}$$

Napětí v krutu:

$$\tau_K = \frac{M_K}{W_K} = \frac{M_K}{\beta \cdot h^2 \cdot b} = \frac{6180}{0,042 \cdot 25^2 \cdot 3} = \frac{6180}{78,75} = 78,47 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

Kontrola jistot:

$$j_U = \frac{R_m}{\tau_K} > 1$$

$$j_U = \frac{570}{78,47} = 7,26 > 1$$

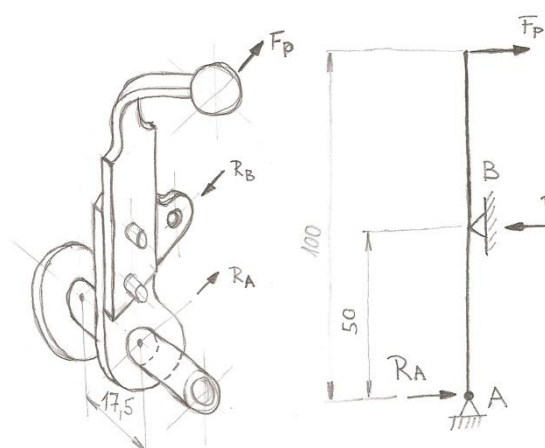
$$j_L = \frac{R_e}{\tau_K/f} > 1$$

$$j_L = \frac{360}{78,47/1,5} = 6,88 > 1$$

Kontrola jistot vychází větší než 1, což znamená, že páka přípusti je schopna přenést zatížení a nedojde k meznímu stavu v konstrukci.

3.4.3 Páka korekce

Páka korekce je složena ze dvou částí. Spojení těchto částí je realizováno pomocí dvou čepů o průměru 4 mm. Tyto čepy jsou namáhány na střih. Páka je opět nasazena na hlavním čepu stejně, jako páka přípusti, mění se pouze rameno působíště síly pilota. Proto je provedena nejprve kontrola hlavního čepu, následuje kontrola spojovacích čepů a nakonec je provedena kontrola samotné páky namáhané na krut. Nejslabším místem spodní části páky je oblast s průměrem pro nasunutí na čep. Nejvíce krutem namáhaným místem horní části je zúžení před ohybem. Pro čep jsou převzaty materiálové hodnoty z odstavce 3.4.1. Spojovací čepy o průměru 4 [mm] jsou normalizované součásti vyrobené z materiálu ČSN 11 600, tzn. $\tau_{Ds} = 70 [N/mm^2]$. Páka korekce je vyrobena z plechu tloušťky 3 [mm]. Materiál L-CM3 (dle ČSN: 15 130.1) tzn. $R_m=570 [N/mm^2]$, $R_e=360 [N/mm^2]$. Dle CS-23 $F_P = [150 N]$.



Obr.č.33 Páka korekce

Analýza ohybového momentu:

$$x: F_P + R_A - R_B = 0$$

$$M_A: F_P \cdot 0,1 - R_B \cdot 0,05 = 0$$

$$R_B = \frac{F_P \cdot 0,1}{0,05} = \frac{150 \cdot 0,1}{0,05} = 300 [N]$$

$$R_A = R_B - F_P = 300 - 150 = 150 [N]$$

$$M_O = R_A \cdot 17,5 = 150 \cdot 17,5 = 2625 [Nmm]$$

Napětí v ohybu:

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} = \frac{M_o}{\frac{\pi \cdot (D^3 - d^3)}{32}} = \frac{2625}{\frac{\pi \cdot (15^3 - 13^3)}{32}} = \frac{2625}{115,65} = 22,7 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

Kontrola jistot:

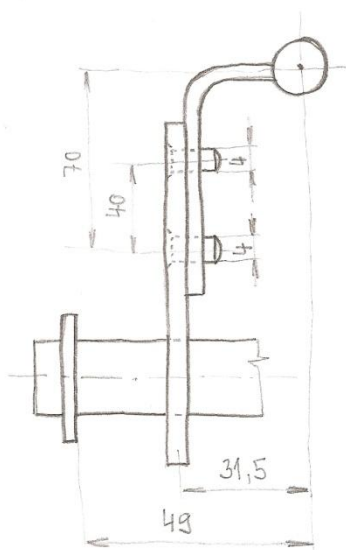
$$j_U = \frac{R_m}{\sigma_o} > 1$$

$$j_U = \frac{570}{22,7} = 25,11 \gg 1$$

$$j_L = \frac{R_e}{\sigma_o/f} > 1$$

$$j_L = \frac{360}{22,7/1,5} = 23,8 \gg 1$$

Pro uvažované zatížení hlavní čep vyhovuje.



Spojovací čepy

Výpočet reakcí v čepích:

$$y: R_A + R_B - F_P = 0$$

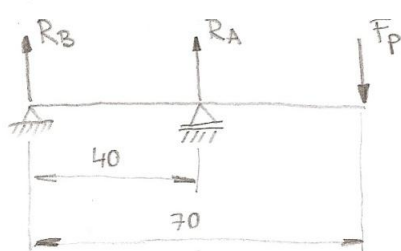
$$M_B: F_P \cdot 70 - R_A \cdot 40 = 0$$

$$R_A = \frac{F_P \cdot 70}{40} = \frac{150 \cdot 70}{40} = 262,5 \text{ [N]}$$

$$R_B = F_P - R_A = 150 - 262,5 = -112,5 \text{ [N]}$$

Napětí ve stříhu:

$$\tau_s = \frac{R_A}{S_{\check{c}}} = \frac{R_A}{\pi \cdot r_{\check{c}}^2} = \frac{262,5}{\pi \cdot 2^2} = 20,89 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$



Obr.č.34 Namáhání spojovacích čepů

Kontrola jistot:

$$j_U = \frac{\tau_{DS}}{\tau_S} > 1$$

$$j_U = \frac{70}{20,89} = 3,35 > 1$$

$$j_L = \frac{R_m}{\tau_K/f} > 1$$

$$j_L = \frac{70}{20,89/1,5} = 5,02 > 1$$

Výsledek kontroly jistot potvrzuje, že spojovací čepy zatížení přenesou.

Spodní část páky korekce: (viz. obr.č. 34,35)

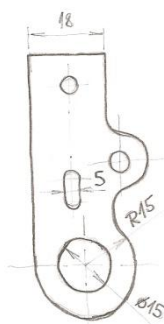
Krouticí moment:

$$M_K = F_P \cdot 31,5 = 4725 \text{ [Nmm]}$$

Součinitel β pro krut obdélníkových profilů:

$$\frac{h}{b} = \frac{18}{3} = 6 \Rightarrow \beta = 0,0564$$

Napětí v krutu:



Obr.č.35 Páka korekce

$$\tau_K = \frac{M_K}{W_K} = \frac{M_K}{\beta \cdot h^2 \cdot b} = \frac{4725}{0,0564 \cdot 15^2 \cdot 3} = \frac{4725}{38,07} = 124,11 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

Kontrola jistot:

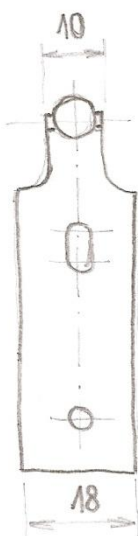
$$j_U = \frac{R_m}{\tau_K} > 1$$

$$j_U = \frac{570}{124,11} = 4,6 > 1$$

$$j_L = \frac{R_m}{\tau_K/f} > 1$$

$$j_L = \frac{360}{124,11/1,5} = 4,35 > 1$$

Horní část páky korekce:(viz.obr.č. 34,36)



Obr.č.36 spodní část
páky korekce

Krouticí moment:

$$M_K = F_p \cdot (31,5 - 3) = 150 \cdot 28,5 = 4275 \text{ [Nmm]}$$

Součinitel β pro krut obdélníkových profilů:

$$\frac{h}{b} = \frac{10}{3} = 3,33 \Rightarrow \beta = 0,1048$$

Napětí v krutu:

$$\tau_K = \frac{M_K}{W_K} = \frac{M_K}{\beta \cdot h^2 \cdot b} = \frac{4275}{0,1048 \cdot 10^2 \cdot 3} = 136 \text{ [Nmm]}$$

Kontrola jistot:

$$j_U = \frac{R_m}{\tau_K} > 1$$

$$j_U = \frac{570}{136} = 4,2 > 1$$

$$j_L = \frac{R_m}{\tau_K/f} > 1$$

$$j_L = \frac{360}{136/1,5} = 4 > 1$$

Konstrukce páky přípusti vyhovuje, zatížení přenesa a nenastanou mezní stavy.

4. Certifikované komponenty palivového systému

Pumpa nastřikování paliva

LUN 62008 – WIY 22-584

Uzavírací kohout Preschona Berlin

8-4592 A

Palivový kohout JS

LUN 7520.02 typ 8 – 731112

5. Analýza použitelnosti navržené konstrukce

Celý palivový systém letounu Bücker Bü-131 je vyroben podle původní dokumentace s výjimkou umístění filtru. Použité materiály a komponenty systému jsou v souladu s předpisem CS-23. Také parametry konstrukce jsou v souladu s uvedeným předpisem. Kvalita návrhu konstrukce je mnohokrát prověřena na vyrobených letounech a nevykazuje žádné konstrukční nedostatky. Vzhledem k typovému osvědčení vydanému na letoun právě v tomto konstrukčním provedení, je palivový systém ponechán v původní podobě, tedy rozdělený na dva samostatné okruhy. Později, např. na letounech Zlín řady trenér, byl podobný systém modifikován do podoby, kdy nastřikovací okruh není zcela oddělený, ale palivo je do nastřikovací pumpy přivedeno přímo z nádrže letounu a tím se odstraní samostatná nádržka. To zcela jistě usnadní pilotovi obsluhu nastřikování paliva, protože není potřeba plnit nádržku, také to znamená, že pilot nemusí manipulovat s palivem v otevřené nádobě a také se zabrání degradaci paliva stárnutím a kondenzací vody v palivu.

V souladu s předpisem CS-23[5] jsou všechny spoje, použité v systému, jištěny proti nežádoucímu povolení během provozu, palivový filtr je snadno přístupný po sejmutí motorového krytu. Dále jsou splněny požadavky na expanzní prostor nádrže, ovládání přívodu paliva do motoru včetně možnosti úplného uzavření v případě požáru. Ovládací prvky jsou umístěny v dosahu pilota a opatřeny odpovídajícím tvarem ovladačů. Z provedených kontrol vybraných komponentů palivové soustavy jasně vyplývá, že konstrukce palivového systému je navržena s dostatečnou bezpečností provozního i početního zatížení.

6. Závěr

Důvodem vzniku bakalářské práce bylo vytvoření technické dokumentace palivového systému letounu Bücker Bü-131 jako podklad pro certifikaci repliky v kategorii „normal“ v akrobatickém režimu. Bylo nutné zpracovat především změny vynucené zástavbou alternativní pohonné jednotky LOM M332AK a kontrolou vybraných komponentů ověřit dostatečnou tuhost a pevnost konstrukce systému. Také bylo provedeno ověření souladu palivového systému se stavebním předpisem CS-23[5].

V úvodu byla popsána historie letounu Bü-131 Jungmann i licenčně vyráběných strojů. Následoval popis stávajícího stavu repliky a zástavby motoru M332AK. Tento motor byl popsán včetně rozdílů původní a nové pohonné jednotky. Detailněji bylo popsáno vstřikovací čerpadlo a jeho funkce, aby bylo možné pochopit a zadokumentovat nutnost právě takového provedení palivového systému. Z toho důvodu byl vytvořen 3D model trupu s motorem a kompletním palivovým systémem, který zachycuje celé řešení a také trasy jednotlivých vedení paliva. Z modelu byly vytvořeny obrazy a výkresy sestav, které jsou přílohami této práce. V přílohách je také umístěna část práce Ing. Sysla [1], podle které byly realizovány některé výpočty a z níž byly převzaty hodnoty provozního zatížení letounu. Do

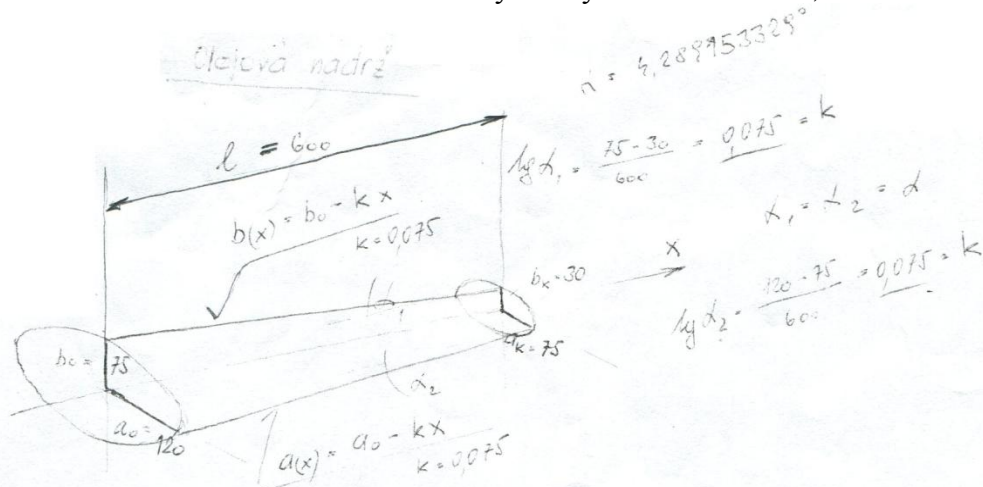
příloh jsou v neposlední řadě umístěny pasáže předpisu CS-23[5] týkající se palivového systému a jeho ovladačů.

7. Použité zdroje

- [1] SYSEL, Miroslav. *Statické výpočty pro zástavbu motoru LOM-M332AK do letounů typu Bü 131 a licenčně vyráběných C.A.S.A.-131, C-104*. Praha: BMZ AIR SERVICE, 2005, 5s.
- [2] HAJŠL, Petr. *Motorové lože sportovního letounu: diplomová práce*. Praha: ČVUT- České vysoké učení technické, Fakulta strojní, Ústav letadlové techniky, 2008, 76s.
- [3] BRDEK, Matouš. *Rekonstrukce olejového systému letounu Bücker Bü 131*. Praha: ČVUT- České vysoké učení technické, Fakulta strojní, Ústav letadlové techniky, 2014, 25s.
- [4] LOM PRAHA. *Technický popis a návod k obsluze motorů řady M332*. Praha: LOM PRAHA s.p., 1998, 95s.
- [5] EASA. *Stavební předpis CS-23*. Praha: ÚCL- Úřad civilního letectví, 2009, 454s.
- [6] LOM PRAHA-*Pístové motory* [online]. 2015 [Cit. 21.5.2015].
URL: <http://www.pistovemotory.cz/>
- [7] HIRT HM 504 A-2 [online]. 2015 [Cit. 21.5.2015].
URL: <http://www.aircraftengine.cz/>
- [8] AERO C-104 [online]. 2015 [Cit. 21. 5. 2015].
URL: http://www.stavefind.cz/stavba/letadla/Aero_C-104.aspx

8. Přílohy

I. Ing. Miroslav Sysel: Statické výpočty pro zástavbu motoru LOM-M332AK do letounů typu Bü 131 a licenčně vyráběných C.A.S.A.-131,C-104.



Plocha elipsy: $P = \pi \cdot a \cdot b$

$$P(x) = \pi (a_0 - kx)(b_0 - kx)$$

$$dV = \pi (a_0 - kx)(b_0 - kx) dx$$

$$V = \pi \int_0^l (a_0 b_0 - a_0 kx - b_0 kx + k^2 x^2) dx$$

$$V = \pi \left[a_0 b_0 x - \frac{a_0 k}{2} x^2 - \frac{b_0 k}{2} x^2 + \frac{k^2}{3} x^3 \right]_0^l$$

$$a_0 = 1,2 \text{ dm} ; b_0 = 0,75 \text{ dm} ; k = 0,075 ; l = 6 \text{ dm}$$

$$V = \pi \left[1,2 \cdot 0,75 \cdot 6 - \frac{1,2 \cdot 0,075}{2} \cdot 6^2 - \frac{0,75 \cdot 0,075}{2} \cdot 6^2 + \frac{0,075^2}{3} \cdot 6^3 \right] =$$

$$= \pi [5,4 - 1,62 - 1,0125 + 0,405] = \pi \cdot 3,1725 = \underline{\underline{9,9667 \text{ dm}^3}}$$

$$dM = dV x$$

$$M = \pi \int_0^l dV x dx = \pi \int_0^l (a_0 b_0 x - a_0 k x^2 - b_0 k x^2 + k^2 x^3) dx =$$

$$= \pi \left[\frac{a_0 b_0}{2} x^2 - \frac{a_0 k}{3} x^3 - \frac{b_0 k}{3} x^3 + \frac{k^2}{4} x^4 \right]_0^l =$$

$$\pi \left[\frac{a_0 b_0}{2} l^2 - \frac{a_0 k}{3} l^3 - \frac{b_0 k}{3} l^3 + \frac{k^2}{4} l^4 \right]$$

$$= \pi \left[\frac{1,2 \cdot 0,75}{2} \cdot 6^2 - \frac{1,2 \cdot 0,075}{3} \cdot 6^3 - \frac{0,75 \cdot 0,075}{3} \cdot 6^3 + \frac{0,075^2}{4} \cdot 6^4 \right]$$

$$= \pi [16,2 - 6,48 - 4,05 + 1,8225] [\text{dm}^4] = \pi \cdot 7,4925 = \underline{\underline{23,53838296 \text{ dm}^4}}$$

$$X_T = \frac{M}{V} = \frac{23,53838296}{9,9667} = 2,3617 \text{ dm} = \underline{\underline{236 \text{ mm}}}$$

rozpázení prostoru § 23.1013 (b) FAR 23 → 10% objemu nebo 9,5 gallonů (USA)
(včetně toho která hodnota je větší) 1 gallon USA = 3,785 l.

olejová nádrž

odhad hmotnosti konstrukce nádrže: - plech tl 1,6 424432.14 - ARCA-M
plášť: $\rho = 2,7 \text{ g cm}^{-3}$

$$l_1 = \pi [1,5(a_0 + b_0) - \sqrt{a_0 b_0}] = \pi [1,5(12 + 7,5) - \sqrt{12 \cdot 7,5}] = 62 \text{ cm}$$

$$l_2 = \pi [1,5(a_k + b_k) - \sqrt{a_k b_k}] = \pi [1,5(7,5 + 3) - \sqrt{7,5 \cdot 3}] = 35 \text{ cm}$$

$$V_{pl.} = \frac{62 + 35}{2} \cdot \frac{60}{\cos \alpha} \cdot 0,16 = 467 \text{ cm}^3$$

$\alpha = 4,285^\circ$

část ① $V_1 = \pi a_0 b_0 t = \pi \cdot 12 \cdot 7,5 \cdot 0,16 = 45,24 \text{ cm}^3$

část ② $V_2 = \pi a_k b_k t = \pi \cdot 7,5 \cdot 3 \cdot 0,16 = 11,31 \text{ cm}^3$

vnitřní příp. 30 cm^3

zdvěsy 60 cm^3

$$\Sigma V = 613,55 \text{ cm}^3$$

$$G = \Sigma V \cdot \rho = 613,55 \cdot 2,7 = 1657 \text{ g}$$

obsah nádrže 9,97 dm³ požadovaný exp. prostor 1,9 l am. galon
10% → $0,997 \text{ l} < 0,5 \cdot 3,785 = 1,9 \text{ l}$

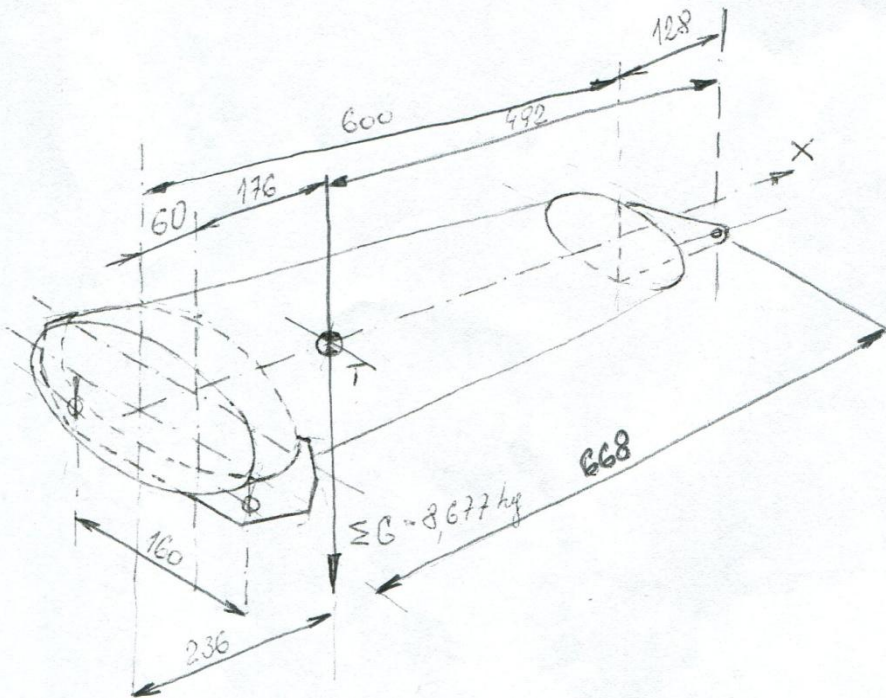
max. obsah oleje = 9,97 - 1,9 = 8,07 l

hmotnost oleje = 8,07 · 0,87 = 7,02 kg

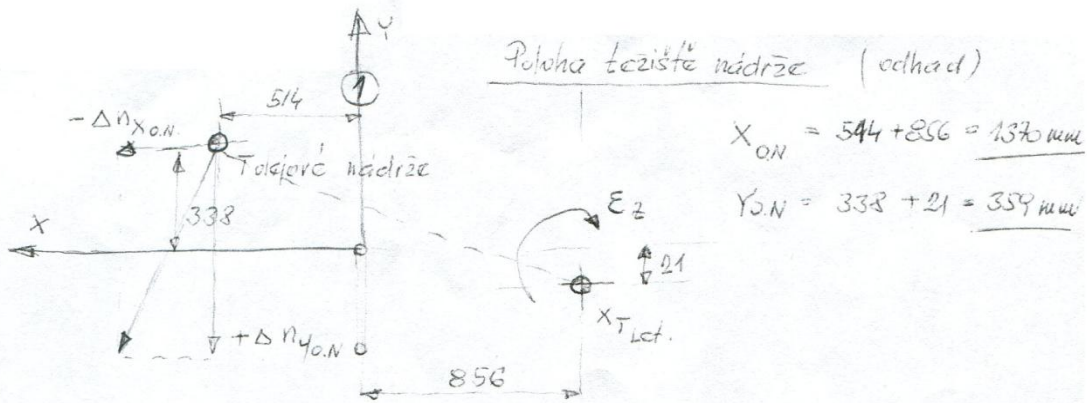
hmotnost nádrže 1657 g - 1,657 kg

$\Sigma G = 8,677 \text{ kg}$

Uspořádání uchytní (schéma)



olejová nádrž



Případ A - ΔP_{rod}

$n_1 = +6$

číselný násobků v těžišti hmot nádrže: od $\epsilon_2 = 14,657 \text{ sec}^{-2}$

$$\Delta n_{y_{o.n.}} = \frac{\epsilon_2 \cdot x_{o.n.}}{g} = \frac{14,657 \cdot 1,370}{9,80665} = \underline{2,05}$$

$$\Delta n_{x_{o.n.}} = \frac{\epsilon_2 \cdot y_{o.n.}}{g} = \frac{14,657 \cdot -0,338}{9,80665} = \underline{-0,54}$$

Složky hmotových setrvačných sil od translacních a rotačních zrychlení
Početní $f = 1,5$; $(\alpha - \varphi) = 12^\circ$; $\alpha \neq \text{neobchů}$
 $\varphi = \arctg \frac{c_a}{c_g}$ } = viz Bu 131

$$F_{y_{o.n.}} = -f \cdot \sum m_{o.n.} \cdot g [n_1 \cos(\alpha - \varphi) + \Delta n_{y_{o.n.}}] =$$

$$= -1,5 \cdot 8,677 \cdot 9,80665 [6 \cos 12^\circ + 2,05] = \underline{-1009,6 \text{ N} - 1010,75 \text{ N}}$$

$$F_{x_{o.n.}} = -f \cdot \sum m_{o.n.} \cdot g [n_1 \sin(\alpha - \varphi) + \Delta n_{x_{o.n.}}] =$$

$$= -1,5 \cdot 8,677 \cdot 9,80665 [6 \sin 12^\circ - 0,54] = \underline{-90,3 \text{ N}}$$

Případ G + ΔP_{prop} ; $n_2 = -3$; $\epsilon_2 = -14,657 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$

$\Delta n_{y_{o.n.}} = -2,05$; $\Delta n_{x_{o.n.}} = +0,54$; $\alpha - \varphi = 1,3^\circ$
početní $f = 1,5$

$$F_{y_{o.n.}} = -f \cdot \sum m_{o.n.} \cdot g [n_2 \cos(\alpha - \varphi) + \Delta n_{y_{o.n.}}] =$$

$$= -1,5 \cdot 8,677 \cdot 9,80665 [-3 \cos 1,3^\circ - 2,05] = \underline{644,5 \text{ N}}$$

$$F_{x_{o.n.}} = -f \cdot \sum m_{o.n.} \cdot g [n_2 \sin 1,3^\circ + \Delta n_{x_{o.n.}}] =$$

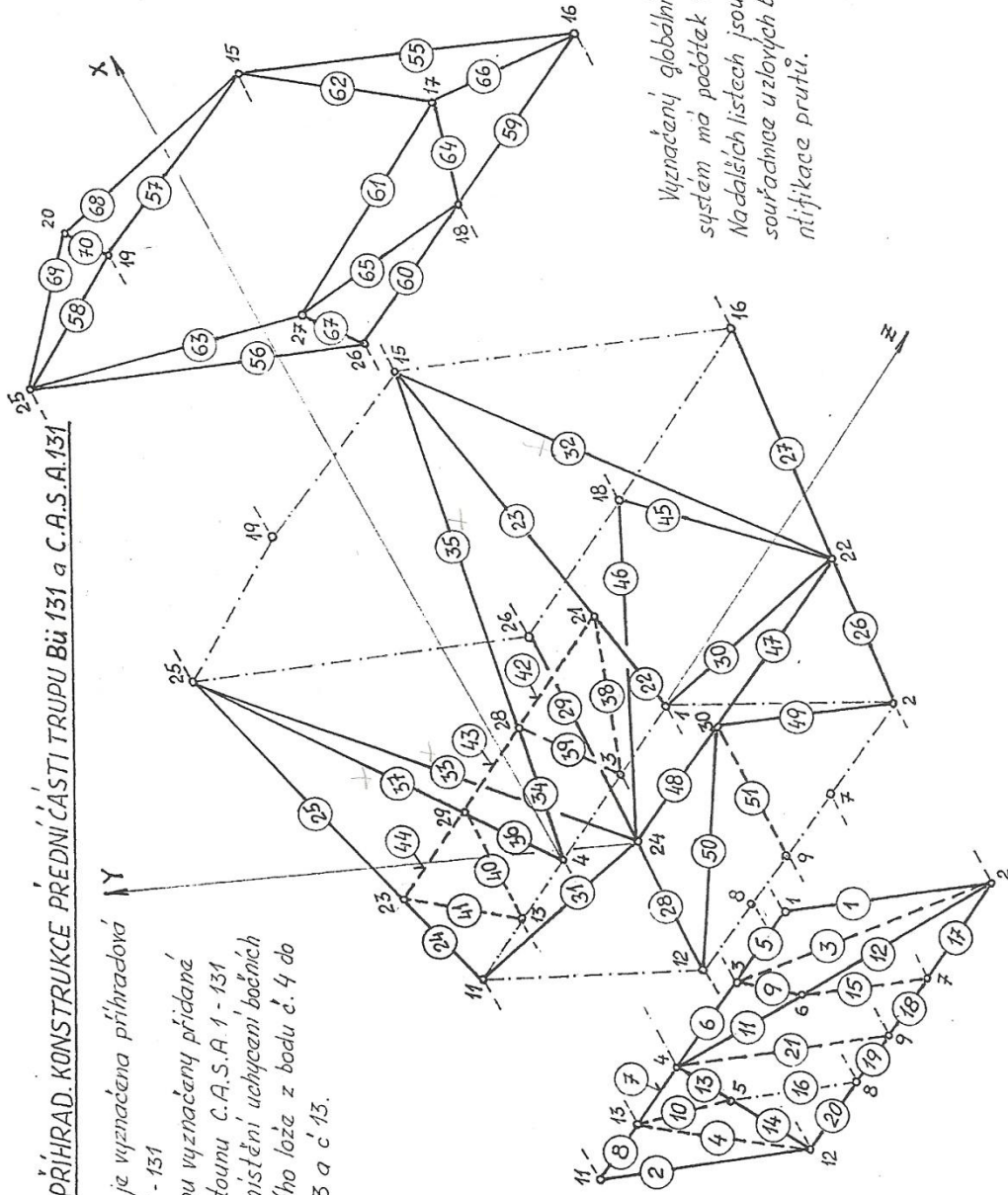
$$= -1,5 \cdot 8,677 \cdot 9,80665 (-3 \sin 1,3^\circ + 0,54) = \underline{-60 \text{ N}}$$

Boční zatížení nádrže $\frac{1}{3}$ zatížení při A - ΔP_{prop} ; $f = 1,5$
od $n_{y_{o.n.}}$

$$F_z = \pm \frac{1}{3} F_{y_{o.n.}} = \pm \frac{1}{3} \cdot 1010,75 = \underline{\pm 337 \text{ N}}$$

SCHEMA PŘÍHRAD. KONSTRUKCE PŘEDNÍ ČÁSTI TRUPU BÜ 131 a C.A.S.A. 131

Plnými čarami je vyznačena příhradová konstrukce Bü - 131
Čerchované jsou vyznačeny přidane v konstrukci letounu C.A.S.A. 1 - 131 z důvodu přemístění uchyacení bočních prutů motorového lože z bodu č. 4 do dvou bodů č. 3 a č. 13.



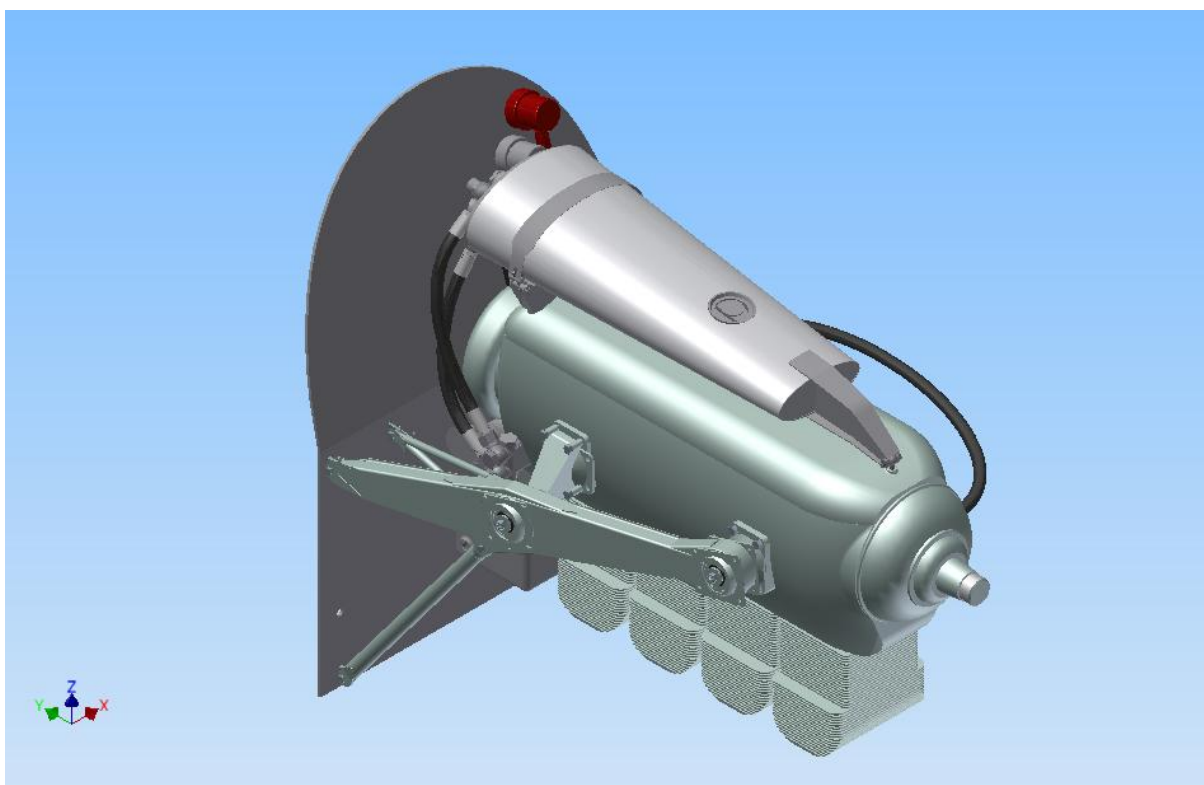
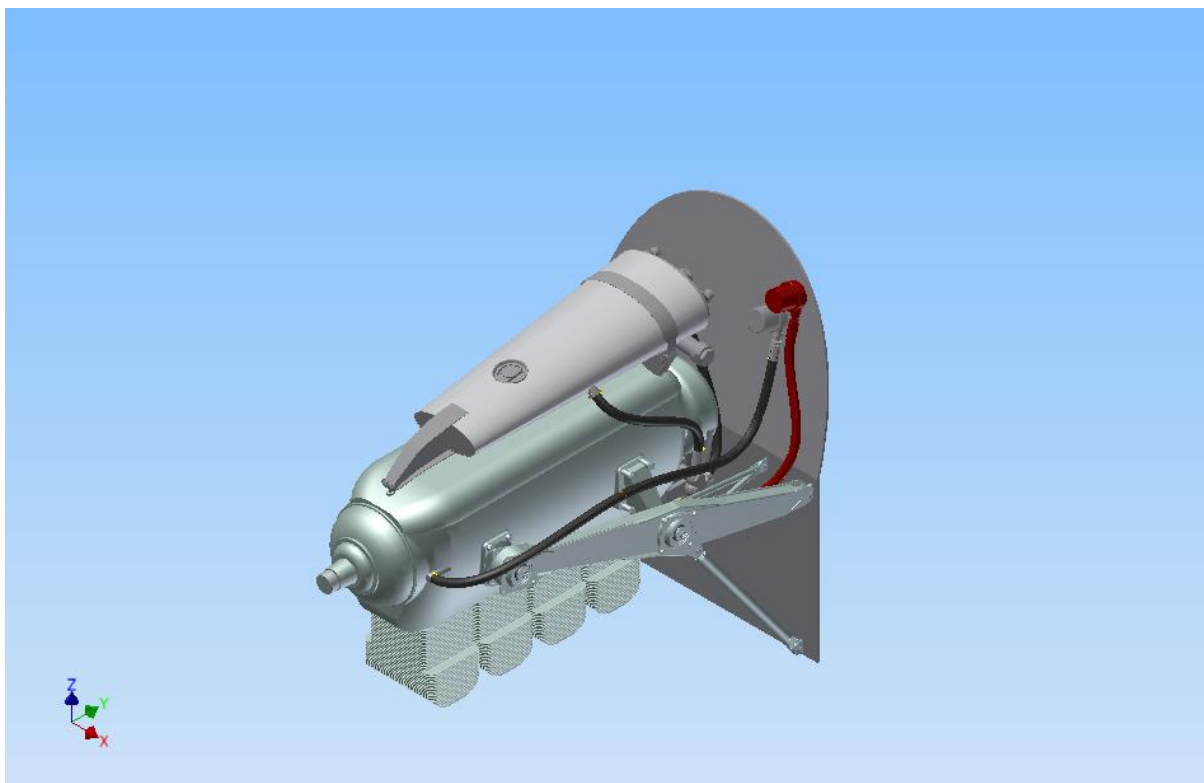
Vyznačený globální souřadný systém má počátek v bodu č. 4
Nadřazených listech jsou uvedeny souřadnice uzlových bodů a identifikace prutů.

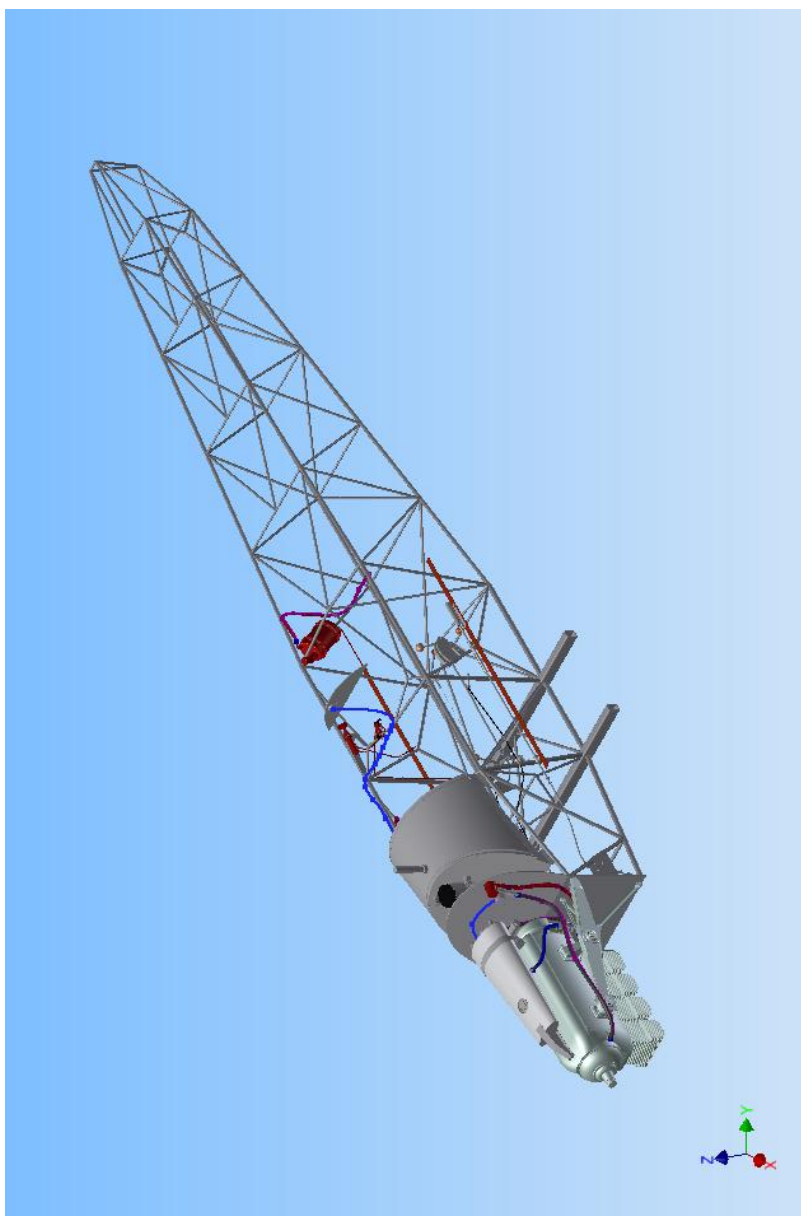
POROVNÁNÍ STAT. VÝSLEDKŮ PRIMÁRNÍCH PRUTŮ PŘÍHRADOVÉ KONSTRUKCE PŘEDNÍ ČÁSTI TRUPU.

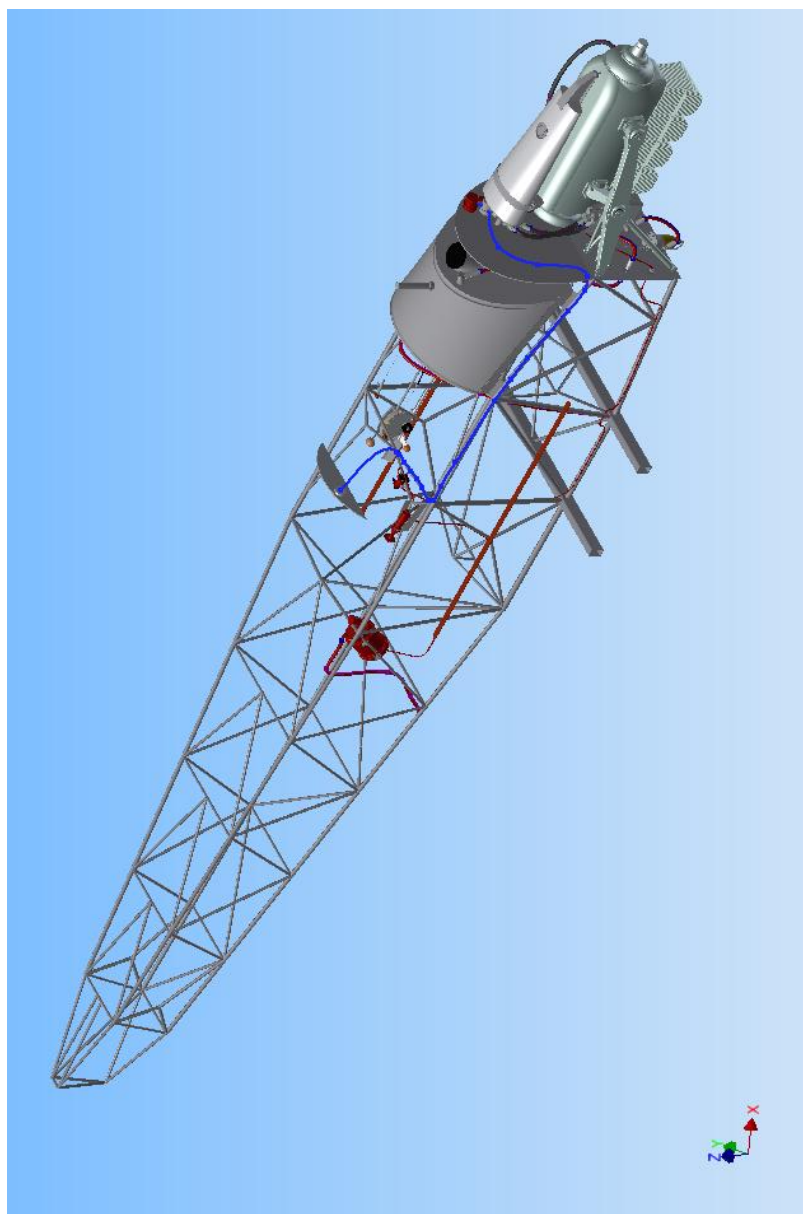
Označení prutu ve výpočtu Bü-131	Označení prutu v provedeném výpočtu	Průřez trubky d/s [mm/mm]	Statický výpočet Bü-131 provedený fy. „Bücker“ G _{stat.} = 480 kg; n _y = +3				Nové provedení výpočet let. s motorem M 332-A G = 480 kg; n _y = +3				Nové provedení výpočet let. s motorem M 332-A G = 680 kg; n _y = +4						
			Max. Tahové Tlakové síly P [kp]	Rozh. příp. E	Tahové napětí σ _D [kp/cm ²]	Kritická síla P _k [kp]	Souč. bezp. pro: + -	Max. Tahové Tlakové síly P [kp]	Rozh. příp. E	Tahové napětí σ _D [kp/cm ²]	Kritická síla P _k [kp]	Souč. bezp. pro: + -	Max. Tahové Tlakové síly P [kp]	Rozh. příp. E	Tahové napětí σ _D [kp/cm ²]	Kritická síla P _k [kp]	Souč. bezp. pro: + -
l ₁ ^{ur}	26	25/10,75	+279 -500	E A	-875 +490	-3320	12,2 6,65	+318,4 -564,3	E A	-988 +557	-2754	10,8 4,98	+217,7 -370,3	E A	-648 +381	-2754	15,7 7,44
l ₁ ^{ur}	28	25/10,75	+279 -500	E A	-875 +490	-3320	12,2 6,65	+221,6 -667,0	E A	-1167 +388	-2754	15,5 4,13	+122,2 -470,7	E A	-824 +214	-2754	28,0 5,85
l ₂ ^{ur}	27	25/10,75	+585 -1082	E A	-1900 +1020	-2300	5,9 2,13	+534,9 -999,0	E A	-1573 +936	-2304	6,4 2,56	+416,7 -661,4	E A	-1158 +799	-2304	8,2 3,48
l ₂ ^{ur}	29	25/10,75	+585 -1082	E A	-1900 +1020	-2300	5,9 2,13	+441,3 -990,8	E A	-1134 +772	-2304	7,8 2,33	+322,7 -753,9	E A	-1319 +565	-2304	10,6 3,06
r ₆ ^{ur}	1	14/10,75	+288 -151	A E	-485 +920	-880	5,9 5,82	+668,3 -357,5	A E	-1145 +2140	-855	2,8 2,39	+440,1 -243,7	A E	-781 +1697	-855	4,3 3,51
r ₆ ^{ur}	2	14/10,75	+288 -151	A E	-485 +920	-880	5,9 5,82	+758,8 -269,3	A E	-863 +2430	-855	2,5 3,17	+529,7 -155,9	A E	-499 +1697	-855	3,54 5,48
d ₁ ^{ur}	30	18/10,75	+296 -600	E A	-1480 +730	-1290	8,2 2,15	+395,2 -620,5	E A	-1527 +972	-1350	6,17 2,18	+338,6 -498,0	E A	-1225 +833	-1350	7,2 2,71
d ₁ ^{ur}	31	18/10,75	+296 -600	E A	-1480 +730	-1290	8,2 2,15	+354,4 -651,3	E A	-1603 +872	-1350	6,88 2,07	+295,8 -532,6	E A	-1311 +728	-1350	8,2 2,53
d ₁ ^{ur}	32	18/10,75	+568 -282	A E	-690 +1400	-682	4,3 2,42	+598,6 -380,1	A E	-935 +1469	-630	4,08 1,66	+479,0 -325,7	A E	-801 +1179	-630	5,09 1,93
d ₁ ^{ur}	33	18/10,75	+568 -282	A E	-690 +1400	-682	4,3 2,42	+626,5 -310,9	A E	-839 +1542	-630	3,89 1,85	+512,3 -284,5	A E	-700 +4261	-630	4,76 2,21

Označ. prutu ve výp. Bü-131	Označ. prutu v proved. výp.	Průřez trubky d/s [mm]	Max. Tahové síly P [kp]	Rozh. příp.	Tlakové napětí σ_D [kp/mm ²]	Tahové napětí σ_z [kp/mm ²]	Kritická síla P_K [kp]	Souč. bezp. pro: \pm	Max. Tahové síly P [kp]	Rozh. příp.	Tlakové napětí σ_D [kp/mm ²]	Tahové napětí σ_z [kp/mm ²]	Kritická síla P_K [kp]	Souč. bezp. pro: \pm
ℓ_{01}	(22) (23)	22/10,75	+823 -546	A E	-1070 +1640	+1613	-1300	3,72 2,59	+807,6 -500,6	A E	-1000 +1613	+1272	-1300	4,7 3,26
ℓ_{02}	(24) (25)	22/10,75	+823 -546	A E	-1070 +1640	+1473	-1300	3,04 3,75	+988,1 -346,5	A E	-692 +1473	+1612	-1300	3,7 5,20
v_{01}	(5) (6)	16/10,75	0	—	—	+87	-1530	68,9 12,75	+31,4 -120	E Boč. z.	-334 Boč. z.	+61	-1530	98,4 12,75
v_{0r}	(7) (8)	16/10,75	0	—	—	+334	-1530	17,96 20,21	+120 -75,7	Boč. z. A	-211 A	+334	-1530	18,0 25,88
v_{0u}	(17) (18) (19) (20)	12/10,75	0	—	—	+183	-288	32,8 12,70	+48,6 -22,7	A E	-86 A	+183	-288	49,2 19,07
v_{0ur}	(47) (48)	12/10,75	0	—	—	+766	-252	7,8 2,28	+203,0 -110,5	A E	-417 A	+766	-252	10,3 -2,92
k_{01}	(34) (35)	14/10,75	0	—	—	+722	-252	7,2 4,19	+259,4 -60,1	A E	-192 A	+722	-252	9,0 8,18
k_{0r}	(36) (37)	14/10,75	0	—	—	+611	-252	9,8 1,96	+190,9 -128,4	A E	-411 A	+611	-252	13,4 2,54
k_{11}	(49)	12/10,75	0	—	—	+108	-648	55,6 21,2	+28,6 -30,6	S Boč. z.	-115 Boč. z.	+108	-648	55,6 21,2
k_{1r}	(50)	12/10,75	0	—	—	+114	-648	52,6 22,7	+30,1 -28,6	Boč. z. S	-108 S	+114	-648	52,6 22,7
k_{21}	(45)	16/10,75	0	—	—	+627	-864	9,57 2,40	+225,3 -359,7	E A	-1001 A	+627	-864	12,1 3,28
k_{2r}	(46)	16/10,75	0	—	—	+481	-864	12,5 2,11	+172,9 -409,1	E A	-1139 A	+481	-864	17,3 2,76

II. 3D Modely palivové soustavy







III. Stavební předpis CS-23

PALIVOVÝ SYSTÉM

CS 23.951 Všeobecně

- (a) Každý palivový systém musí být navržen a uspořádán tak, aby za všech předpokládaných provozních podmínek včetně obrátů, pro které se požaduje schválení, a během nichž motor nebo pomocná energetická jednotka mohou být v provozu, zajišťoval přívod paliva v takovém množství a tlaku, jaké jsou stanoveny pro správnou činnost motoru nebo pomocné energetické jednotky.
- (b) Každý palivový systém musí být uspořádán tak, aby byly splněny tyto požadavky:
 - (1) Žádné palivové čerpadlo nesmí současně nasávat palivo z více než jedné palivové nádrže; nebo
 - (2) Musí existovat prostředky k zabránění vstupu vzduchu do palivového systému.
- (c) Každý palivový systém pro turbínový motor musí být schopen nepřetržitého provozu v celém rozsahu průtočného množství a tlaku s palivem zpočátku nasyceným vodou při 27°C (80°F), do kterého bylo přidáno 0,75 cm³ volné vody na 3,8 l (US galon) a které bylo ochlazené na nejkritičtější podmínky pro vytváření ledu, jaké se mohou v provozních podmínkách vyskytnout.

CS 23.959 Nevyužitelný zbytek paliva

(Viz AMC 23.959 (a))

- (a) Musí být stanoven nevyužitelný zbytek paliva pro každou nádrž a to jako množství, které není menší než to, při kterém se poprvé vyskytnou neklamné známky nesprávné činnosti za nejnepríznivějších podmínek přívodu paliva, ke kterým dochází při všech předpokládaných provozních podmínkách a letových obrazech při odběru z této nádrže. Poruchy jednotlivých součástí palivového systému se nemusí brát v úvahu.
- (b) Navíc musí být stanoven vliv poruchy kteréhokoliv čerpadla na nevyužitelné množství paliva.

CS 23.963 Palivové nádrže: všeobecně

- (a) Každá palivová nádrž musí být schopna odolávat bez poruchy vibracím, zatížením od setrvačných sil, kapalin a konstrukčním zatížením, kterým může být během provozu vystavena.
- (b) Každá pružná vložka palivové nádrže musí být prokázána jako vhodná pro specifické použití.
- (c) Každá integrální palivová nádrž musí být opatřena vhodnými prostředky pro provádění prohlídek a oprav vnitřních částí nádrží.
- (d) Celkový použitelný objem palivových nádrží musí být dostatečný pro minimálně půlhodinový provoz při maximálním trvalém výkonu.
- (e) Každý ukazatel množství paliva musí být seřízen podle CS 23.1337 (b) tak, aby byl vzat v úvahu nevyužitelný zbytek paliva stanovený podle CS 23.959 (a).

CS 23.969 Expanzní prostor palivové nádrže

Každá palivová nádrž musí mít expanzní prostor o objemu ne menším než 2 % kapacity nádrže za předpokladu, že vývod odvětrání nádrže není vyveden mimo letoun (je-li vyveden mimo letoun, expanzní prostor se v takovém případě nepožaduje). Nesmí být možné neúmyslně naplnit expanzní prostor palivové nádrže, je-li letoun v normální poloze na zemi.

CS 23.993 Potrubí a spoje palivového systému

- (a) Každé palivové potrubí musí být zastavěno a uloženo takovým způsobem, který zabraňuje nadměrnému chvění a umožňuje přenést zatížení vznikající tlakem paliva a zrychlením za letu.
- (b) Každé palivové potrubí, spojené s částmi letounu, mezi kterými může dojít k vzájemnému pohybu, musí být vybaveno prostředky umožňujícími pružné přizpůsobení.
- (c) Každý pružný spoj v palivovém potrubí, který může být pod tlakem a axiálně zatížen, se musí používat v sestavě s pružnou hadicí.
- (d) Musí být prokázáno, že každá použitá pružná hadice je vhodná pro daný účel.

- (e) Pružná hadice, která by mohla být nepříznivě ovlivněna vysokými teplotami, nesmí být použita tam, kde by mohly nastat během provozu nebo po vypnutí motoru nebo pomocné energetické jednotky nadměrné teploty.

CS 23.995 Palivové ventily a řízení paliva

- (a) Musí být k dispozici prostředky umožňující příslušným členům letové posádky uzavřít za letu rychle přívod paliva ke každému motoru samostatně.
- (b) Žádný uzavírací ventil nesmí být na motorové straně kterékoliv protipožární přepážky. Mimo to musí být k dispozici prostředky:
- (1) K ochraně každého uzavíracího ventilu před neúmyslným přestavením; a
 - (2) Umožňující příslušným členům letové posádky každý ventil po uzavření opět rychle otevřít.
- (c) Každý ventil a řídicí prvek palivového systému musí být upevněny tak, aby se zatížení vznikající při jeho obsluze nebo vlivem zrychlení za letu nepřenesla do potrubí spojeného ventilem.
- (d) Každé zařízení k řízení ventilů a palivového systému musí být uloženo tak, aby tíhové zrychlení a vibrace neovlivnily jeho nastavenou polohu.
- (e) Každá rukojeť palivového ventilu a její připojení k mechanismu ventilu musí být navrženy tak, aby možnost nesprávné zástavby byla snížena na minimum.
- (f) Každý ventil musí být navržen tak, nebo zahrnovat taková opatření, aby jeho konstrukce vylučovala možnost nesprávného sestavení nebo připojení ventilu.
- (g) Přepínací ventily palivových nádrží musí splňovat tyto požadavky:
- (1) Nastavení přepínacího ventilu palivových nádrží do polohy „VYPNUTO“ („OFF“) musí vyžadovat samostatný a odlišný úkon; a
 - (2) Polohy přepínacího ventilu palivových nádrží musí být stanoveny tak, aby při přepínání nádrží z jedné na druhou nemohl přepínací ventil procházet polohou „VYPNUTO“ („OFF“).

CS 23.997 Palivové sítko nebo filtr

Mezi výstupem z palivové nádrže a vstupem buď do měřiče průtoku paliva, nebo do objemového čerpadla poháněného motorem (podle toho, co je blíže k výstupu z palivové nádrže) musí být palivové sítko nebo filtr. Toto palivové sítko nebo filtr musí splňovat následující požadavky:

- (a) Být přístupné za účelem vypouštění a čištění a být opatřeny sítkem nebo vložkou, které jsou snadno vyjímatelné;
- (b) Musí být vybaveny odlučovačem usazenin a výpustí s tou výjimkou, že nemusí mít výpust v případě, jsou-li sítko nebo filtr snadno vyjímatelné za účelem vypouštění;
- (c) Být připevněny tak, aby jejich hmotnost nebyla přenesena připojovacími potrubími nebo vstupní či výstupní přípojkou samotného sítka nebo filtru, pokud potrubí a přípojky nemají dostatečnou rezervu pevnosti za všech podmínek zatížení; a
- (d) Musí mít kapacitu (vzhledem k provozním omezením motoru) zajišťující, že funkce palivového systému motoru nebude narušena palivem znečištěným na stupeň (vzhledem k velikosti a hustotě částic) překračující hodnoty stanovené pro motor během jeho typové certifikace.
- (e) Pro letouny kategorie pro sběrnou dopravu, nejsou-li v palivovém systému provedena opatření zabráňující hromadění ledu ve filtru, musí být navíc k dispozici prostředky k automatickému zajištění průtoku paliva filtrem, dojde-li k jeho ucpání ledem.

CS 23.965 Zkoušky palivových nádrží

- (a) Každá palivová nádrž musí být schopna odolávat následujícím tlakům bez porušení nebo vzniku netěsnosti:
- (1) Každá konvenční kovová i nekovová palivová nádrž, jejíž stěny nejsou podepřeny konstrukcí letounu, musí odolávat tlaku 24 kPa (3,5 psi), nebo tlaku vzniklému při

maximálním početním zrychlení s plnou nádrží, podle toho, který z tlaků je větší.

System sekundárního řízení

Zatížení působením rukou a nohou předpokládaná při návrhu systému sekundárního řízení a ovládní motoru by neměla být nižší než:

1 Zatížení od působení rukou na malé volantové řídicí prvky vyvolaná silou prstů nebo zápěstí; $P = 150 \text{ N}$

2 Zatížení od působení rukou na páky a volantové řídicí prvky vyvolaná silou nepodepřené paže bez použití hmotnosti těla; $P = 350 \text{ N}$

3 Zatížení od působení rukou na páky a rukojeti vyvolaná silou nepodepřené paže s použitím hmotnosti těla; $P = 600 \text{ N}$

4 Zatížení od působení nohou vyvolaná pilotem sedícím s opřenými zády (např. zatížení při obsluze brzd kol); $P = 750 \text{ N}$.

IV. Výkres sestavy palivové soustavy

Název: PALIVOVÝ SYSTÉM

Číslo výkresu: EX-09-01-00