



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
LETECKÝ ÚSTAV

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AEROSPACE ENGINEERING

PALIVOVÉ SOUSTAVY LETADEL

AIRCRAFT FUEL SYSTEMS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

KAMIL PERGL

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. KAREL TŘETINA, CSc.

BRNO 2010

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Letecký ústav

Akademický rok: 2009/2010

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Kamil Pergl

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Palivové soustavy letadel

v anglickém jazyce:

Aircraft Fuel Systems

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Palivové soustavy jsou určeny pro umístění potřebného množství paliva do konstrukce letadla a jeho bezpečnou dodávku do motorů.

V bakalářské práci zpracujte statistický přehled relativního množství paliva umístěného v nádržích dopravních letadel.

Uveďte základní požadavky, kladené předpisy na palivové soustavy z hlediska sledování množství a spotřeby paliva v průběhu letu a protipožární bezpečnosti.

Nakreslete základní používané způsoby propojení nádrží a postup dodávky paliva do hlavního palivového čerpadla motoru.

Porovnejte vrchní a tlakové plnění letounu palivem a naznačte trendy vývoje palivových soustav a jejich hlavních prvků.

Cíle bakalářské práce:

Cílem bakalářské práce je zpracovat přehled parametrů palivových soustav dopravních letadel. Dále uvést požadavky, kladené leteckými předpisy na palivové soustavy letadel z hlediska funkce, zástavby a zajištění požární bezpečnosti. Posoudit způsoby vyčerpávání paliva v průběhu letu a trendy vývoje plnění letounu palivem.

Seznam odborné literatury:

- [1] Jane's: All the World's Aircraft 2007-2008: Cambridge University Press, 2007.
- [2] TŘETINA, Karel. Letadlové instalace I. Brno: Vojenská akademie v Brně, 1986.
- [3] EASA Certification Specifications. CS-VLA, CS-23.
- [4] Seznámení s letounem L-159. Vodochody: Aero Vodochody, 1999.

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Karel Třetina, CSc.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2009/2010.

V Brně, dne 20.11.2009

L.S.

prof. Ing. Antonín Pištěk, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

Abstrakt

Literatura týkající se palivových soustav obecně se vždy dělí na literaturu pojednávající o palivové soustavě draku a palivové soustavě motoru zvlášť.

Jelikož se v důsledku jedná o jednu soustavu, je první část práce věnována právě těmto celkům a shromažďuje poznatky a způsoby řešení obou jmenovaných soustav v jednom dokumentu. V této první části se seznamujeme s konstrukčním řešením a činností palivových soustav, s požadavky, které na palivové soustavy klademe a s jejich údržbou a obsluhou.

Druhá část práce je potom věnována převážně skutečným palivovým soustavám. Uvedený přehled ukazuje, jak nezanedbatelná je hmotnost paliva při startu letadla s plnými nádržemi. Na závěr je popsána funkce konkrétní palivové soustavy.

Summary

Special literature related to aircraft fuel systems is usually separately divided into airframe fuel systems and engine fuel systems literature. Both systems have to work together, so airframe fuel system and engine fuel systems are joined together into one in this document.

First part of this thesis describes aircraft fuel systems in general terms. There are shown primary structural parts and there are mentioned important fuel systems requirements. Also there are said some basic crew and maintenance steps.

Second part of the thesis is more practical oriented. There is shown how great is the impact of the fuel on maximum takeoff weight. Also there is explained work of the real aircraft fuel system.

Klíčová slova

Palivové soustavy letadel, Palivové soustavy draku, Palivové soustavy motoru,

Keywords

Aircraft fuel systems, Engine fuel systems, Airframe fuel systems

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma palivové soustavy letadel vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu literatury, který tvoří závěr této práce.

Úvodem vyjadřuji poděkování vedoucímu mé bakalářské práce doc. Ing. Karlu Třetinovi, CSc. za jeho ochotu a poskytnuté materiály potřebné k vypracování práce.

Obsah:

1. ÚVOD.....	10
2. Palivové soustavy letadel obecně	11
2.1. Rozdělení palivových soustav	11
2.2. Palivová soustava draku.....	12
2.2.1. Činnost palivové letadlové soustavy.....	12
2.2.2. Požadavky kladené na palivové soustavy	13
2.2.3. Konstrukční provedení hlavních částí a letadlových celků	14
Palivové nádrže.....	14
Potrubí palivových soustav	16
Palivová čerpadla	17
Čističe	17
Uzavírací prvky palivové soustavy	18
Kontrolní a měřicí přístroje.....	18
2.2.4. Automatizace palivových soustav	18
2.2.5. Palivové soustavy v provozu	19
Plnění letadla palivem.....	19
Výskyt vody v palivu	19
Údržba a opravy palivových soustav	19
Vyprazdňování paliva	20
2.3. Palivová soustava motoru	21
2.3.1. Činnost palivové soustavy motoru a její funkce.....	21
2.3.2. Požadavky kladené na palivové soustavy	21
2.3.3. Hlavní části vnitřní palivové soustavy a jejich konstrukční provedení	21
Palivové čerpadlo.....	22
Čističe	22
Palivo-olejový výměník.....	22
Kohouty palivové soustavy motoru	23
Regulátor paliva	23
Palivové trysky	24
Palivové potrubí vnitřní palivové soustavy	25
3. Palivové soustavy a jejich parametry.....	26
3.1. Přehled parametrů palivových soustav	26
3.1.1. Porovnání parametrů vybraných dopravních letadel	27
3.2. Plnění letounu palivem – porovnání způsobů.....	30
3.3. Přecherpávání paliva za letu	31
3.4. Popis skutečné palivové soustavy letounu Il-62	32
Závěr:	34
Seznam literatury:	35

1. ÚVOD

Letecká doprava představuje v současné době nejrychlejší a zároveň nejbezpečnější způsob dopravy na velké vzdálenosti. S postupem času rostou nároky na stálé zvyšování rychlosti letu a na zvětšování hmotnost i objemu přepravovaného nákladu. To si žádá používání motorů o vysokém tahu. Dá se očekávat, že motory o řádově vyšších tazích mají úměrně vyšší spotřebu paliva. Rozmístění velkého množství paliva v letadlech značně ovlivňuje nejen vzletovou hmotnost letadla. Především má toto množství paliva velký vliv polohu těžiště letadla, a to tím více, čím dále jsou nádrže od těžiště. Když potom uvážíme postupný úbytek paliva za letu v jednotlivých nádržích, který by bez jakéhokoliv vnějšího zásahu mohl být značně nerovnoměrný, je zřejmé, že návrh představuje složitou úlohu jednak výpočtovou a stejně tak i návrhovou na automatický systém řízení přečerpávání paliva mezi jednotlivými nádržemi za letu.

Má-li být zachována vysoká bezpečnost letecké dopravy z hlediska technické spolehlivosti a bezchybného provozu, je třeba, aby byla každé letadlové soustavě věnována adekvátní pozornost a to jak ve vývoji, tak především potom v údržbě. Každý letecký mechanik, pracující v praxi, musí bezpodmínečně znát všechny náležitosti pro svou specializaci a měl by rovněž mít alespoň částečný přehled o všech ostatních specializacích.

Následující práce ve své teoretické části shrnuje základní poznatky z celkové konstrukce, činnosti, konstrukčních provedení jednotlivých částí a z údržby palivových soustav jak drakových, tak i motorových. V příloze jsou pak uvedeny konkrétní případy, které se v základních bodech shodují, avšak je zde zřejmé, že reálné řešení konstrukcí se v konečném stavu od sebe do jisté míry liší. Je to dáno tím, že návrh každé soustavy a to obecně nejen palivové, vždy odpovídá danému návrhovému modelu letadla a musí splňovat návaznost na další letadlové soustavy. Z těchto důvodů jsou konkrétní řešení letadlových soustav poněkud odlišné od učebnicových případů. Základní principy však zůstávají vždy zachovány.

2. Palivové soustavy letadel obecně

Palivové soustavy letadel slouží k umístění potřebného množství paliva a jeho spolehlivé dodávce k pohonným skupinám.

Palivo musí být dodáváno vždy v potřebném množství a o dostatečném tlaku a to za všech režimů a výšek letu, pro které je letadlo určeno.

Na vývoj palivových soustav a zejména na jejich konstrukci má vliv řada parametrů. Na parametry palivové soustavy je kladena řada bezpečnostních a konstrukčních požadavků. Zvyšování tahu proudových motorů, zvětšování doletu a doby letu mají přímý vliv na parametry palivových soustav. Tyto požadavky vedou k potřebě zvětšování objemu palivových nádrží. S vyšším průtočným množstvím paliva pak rostou nároky na výkonnost palivového ústrojí určeného k dodávce paliva do motorů a celkově se také zvětšují nároky na spolehlivost funkce celé soustavy.

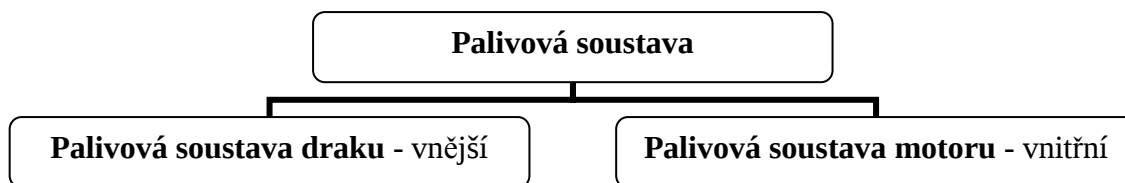
Na palivovou soustavu během provozu působí veškeré účinky zrychlení, způsobenou ať už plánovanou či neplánovanou změnou směru a rychlosti letu. Setrvačná zatížení mohou velmi ovlivňovat činnost takovéto soustavy, zejména mohou snižovat tlak před čerpadly, což je ekvivalentní ke zvětšení výšky letu.

Rozmístění paliva v letadle musí být promyšleno tak, aby změna zásoby paliva neměla podstatný vliv na posun těžiště za letu. Podstatná změna těžiště letadla je nepřípustná a je-li to nutné, musí se zajistit systém přečerpávání mezi nádržemi tak, aby mohla být tato změna polohy těžiště vykompenzována.

V některých typech letadel je využíváno proudícího paliva jako prostředí odvádějícího teplo například z oleje. To nám umožňuje použití palivo-olejových výměníků, které jsou běžnými prvky moderních palivových a olejových soustav.

2.1. Rozdělení palivových soustav

Obecně dělíme palivové soustavy na palivové soustavy draku a palivové soustavy motoru :



Palivová soustava vnější je součástí draku a v principu slouží k dodávce paliva k motoru. Patří do ní například palivové nádrže, přepravní čerpadla, odvzdušňovací a pojistné ventily, plnicí otvory, dodávací čerpadla, filtry, rychlouzavírací kohouty, měřiče spotřeby a různá potrubí.

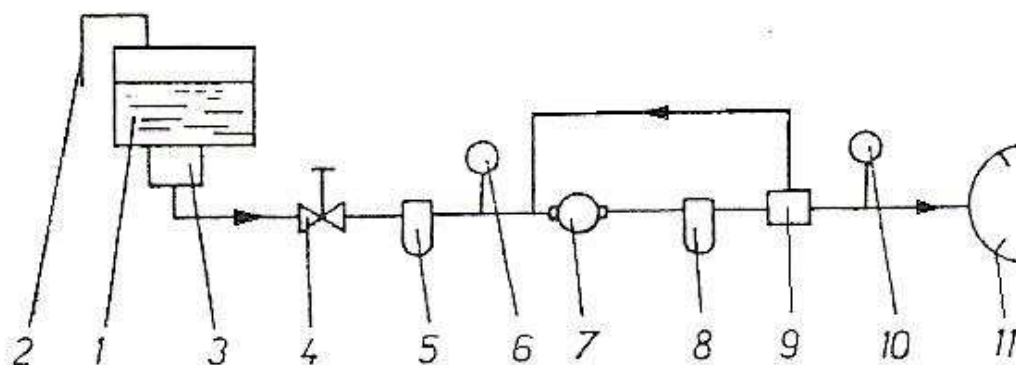
Palivová soustava vnitřní je naopak součástí motoru a je určena k nepřetržité dodávce paliva do spalovací komory a k regulaci režimu motoru. Palivo-regulační soustava musí zabezpečit dodávku paliva v závislosti na zadaném režimu práce motoru, výšce a rychlosti letu.

2.2. Palivová soustava draku

2.2.1. Činnost palivové letadlové soustavy

K umístění potřebného množství paliva v letadle a k jeho dodávce do hlavních čerpadel motoru slouží palivová soustava draku. Jak již bylo zmíněno, do této soustavy patří nádrže, potrubí, čističe a filtry, čerpadla dodávací a přečerpávací, kontrolní a signalizační přístroje.

Pro ilustrativní popis činnosti palivové soustavy draku využijeme následujícího obrázku, kde jsou schematicky znázorněny hlavní části. Uvažujeme palivovou soustavu proudového leteckého motoru.



Obr.2.1. Schéma palivové soustavy proudového leteckého motoru.

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

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

Další část palivové soustavy tvoří úsek umístěný na motoru. U některých proudových motorů obsahuje další dodávací čerpadlo, umístěné hned před hlavním vysokotlakým čerpadlem. To je určeno k zajištění stálého pracovního tlaku na vstupu hlavního čerpadla a přebytkem tlaku, který tvoří, kompenzuje tlakovou ztrátu, způsobenou hydraulickými ztrátami ve větvi od nádrže až po vysokotlaké čerpadlo. Palivo o vysokém tlaku zde dále proudí přes vysokotlaký filtr a přes regulátor otáček palivovým kolektorem k hlavním tryskám, kde je rozprašováno do spalovacích komor proudového motoru.

Uspořádání a schéma palivové soustavy vždy závisí na konkrétní konstrukci a především na určení letadla, jeho typu, na počtu motorů, na jejich typech a jejich umístění, na charakteristikách hlavních a pomocných agregátů a stejně tak i na odběru paliva z nádrží.

2.2.2. Požadavky kladené na palivové soustavy

Provedení palivových soustav již od jejich konstrukce představuje dosti obtížný problém. Je nutné uvažovat nutnost splnění následujících požadavků:

a) Minimální hmotnost. Do parametru hmotnosti spadá i hmotnost nevypotřebovatelného množství paliva. To u velkých dopravních letadel představuje zátěž, která odpovídá až stovkám kilogramů, což je nezanedbatelné množství, se kterým je nutno počítat.

b) Provozní spolehlivost do dávky paliva do hnacích skupin být vysoká za každého režimu letu a za všech okolních atmosférických podmínek.

c) Dostatečná výškovost, nebo-li zajištění dostatečné dodávky paliva minimálně do dosažení výšky odpovídající praktickému dostupu s jistou rezervou. Sportovní a zejména pak vojenská letadla musí mít palivovou soustavu vybavenou speciálním zařízením, které zaručí spolehlivou dodávku paliva i při obratech se zápornými násobky

d) Dostatečný obsah palivových nádrží, který zaručí požadovaný dolet a dobu letu pro daný konkrétní typ letadla.

e) Požární bezpečnost palivových soustav. Ta vychází zejména konstrukcí vzhledem k rozložení a umístění všech agregátů, potrubí a palivových nádrží. Aby se předešlo vzniku jisker, které jsou nejnebezpečnější hlavně při plnění paliva, je potřeba, aby veškeré kovové součásti soustavy byly spolehlivě ukostřeny. Mimo to je třeba myslet na protipožární ochranu v místech, kde prochází vedení paliva. Pro případ vzniku požáru v těchto náchylných prostorech se instaluje protipožární zařízení, které může být jednak ovládané ručně a nebo automaticky při detekci požáru.

f) Pro případ vyloučení selhání, nebo pro jeho identifikaci, musí mít palivová soustava spolehlivý systém kontroly. Proto soustava obsahuje tyto prvky:

- Palivoměry a spotřeboměry, který vždy musí udávat přesné množství paliva a jeho spotřebu během letu.
- Tlakoměry, které signalizují provozní tlaky při práci všech palivových čerpadel.
- Různá signalizační zařízení, které kontrolují jak vyprazdňování jednotlivých nádrží, tak nouzový zbytek paliva a řadu jiných potřebných údajů. Signalizace se obvykle provádí vizualizací na signalizačním table v kabině posádky pro každý údaj a podle závažnosti může být doplněna akustickým projevem.

g) Minimální vliv odběru paliva na polohu těžiště letadla. Musí se dodržet předdefinovaný postup vyprazdňování jednotlivých nádrží a jejich skupin, což musí probíhat automaticky bez přímého zásahu posádky. Ručně lze provádět pouze nouzové přečerpávání.

h) Velmi dobrá filtrace paliva. V letectví klademe na filtrování paliva velmi vysoké nároky.

i) Vzdušnění palivové soustavy musí být vždy spolehlivé, a to za všech atmosférických podmínek a při všech režimech letu. Je třeba, aby se chránili veškeré prvky vzdušnění před projevem námrazy a znečištění a při údržbě je nutné pozorně sledovat jeho stav.

j) Požadavek minimálního nutného času na údržbu palivové soustavy. Z podstatné části lze tento čas ovlivnit konstrukčním provedením, které určuje podmínky pro snadný přístup k jednotlivým celkům celé soustavy, na kterých se údržba provádí. Značně taky ovlivňuje možnosti rychlé vizuální diagnostiky poruch a stejně tak ovlivňuje možnosti rychlé výměny celků. Rychlost obsluhy potom závisí zejména na způsobech plnění a vypouštění paliva.

2.2.3. Konstrukční provedení hlavních částí a letadlových celků

Palivová soustava draku je složena zpravidla z těchto hlavních částí a celků :

- Palivové nádrže
- Potrubí palivových soustav
- Palivová čerpadla
- Čističe
- Uzavírací prvky palivové soustavy
- Kontrolní a měřicí přístroje

Palivová soustava pístového motoru se značně liší od palivové soustavy proudového motoru. Výše uvedené části jsou však obsaženy v palivových soustavách obou typů motorů.

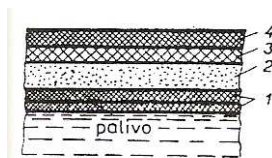
Rozdíl mezi palivovými soustavami pístových a proudových motorů plyne z podstatných rozdílů jak v principu ovládání, tak i v použití rozdílných druhů paliva a to i ve značně odlišném množství paliva. Stejně tak rozdíl plyne i z různých rychlostí a především výšek letu.

U palivových soustav proudových motorů se často setkáváme například s větším množstvím palivových čerpadel, dálkově ovládanými uzavíracími kohouty, přepouštěcími ventily a ostatními prvky. Stejně tak i potrubí těchto soustav má obvykle větší světlost, než potrubí soustav letadel poháněných pístovými motory, což je dáno větším průtočným množstvím.

Palivové nádrže

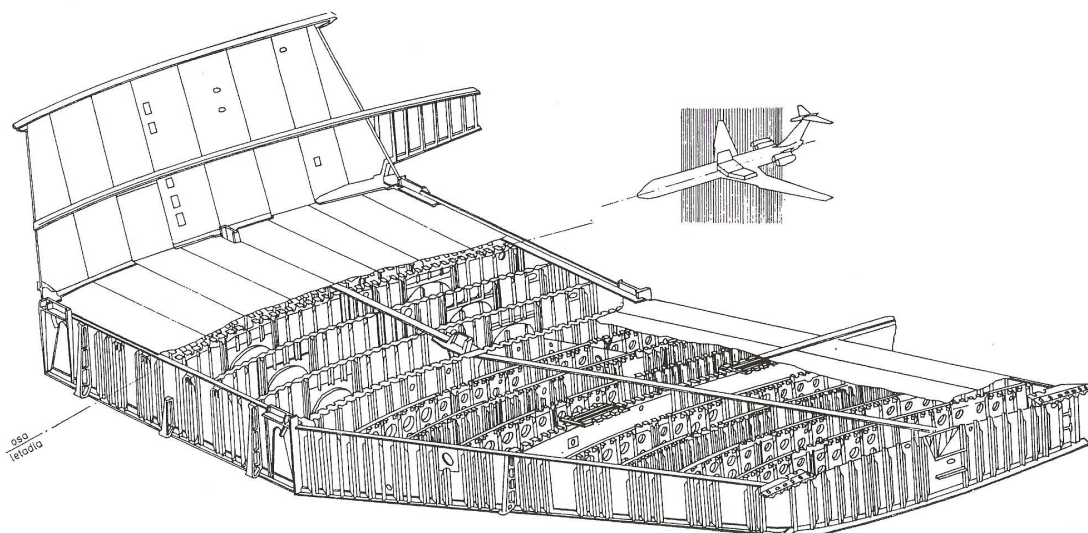
V palivové soustavě slouží palivové nádrže k umístění paliva. Tyto nádrže jsou přitom umístěny v křídlech nebo v trupu letadla. Jejich tvar musí odpovídat tvaru okolí, aby byl dokonale využit daný prostor. Jak již bylo zmíněno, u některých typů letadel mohou být použity přídavné nádrže, které jsou snímatelné a bývají připojeny na koncích křídel ke konstrukci draku. U rychlých moderních letadel se rovněž používá pevných vnějších nádrží umístěných pod křídly, což umožňuje jisté zlepšení aerodynamických vlastností letadla.

Vlastní palivové nádrže jsou pak vyrobeny buďto z tenkých plechů z lehkých slitin, nebo z plastů či z pogumované tkaniny – viz obr. 2.2. Časté a výhodné je použití integrálních nádrží, které jsou přímo tvořeny utěsněnými vnitřními prostory draku, zejména křídel. Příklad integrální nádrže je uveden na obr. 2.3.



Obr. 2.2. Příklad stěny pryžové nádrže

1- pryž odolná vlivu paliva; 2- surová pryž; 3- vulkanizovaná pryž; 4- tkanina



Obr. 2.3. Příklad konstrukce integrální nádrže centroplánu dopravního letadla

Pro zabránění změnám polohy těžiště při změně zrychlení letadla, kdy dochází k přelévání paliva v nádržích a následně i k rázům se nádrže vyztuží přepážkami. Ty zvýší tuhost potahu nádrže a zároveň také rozdělí nádrž na menší oddíly, čímž se zabrání těmto nechtěným jevům.

Plnění paliva se zajišťuje v zásadě dvěma způsoby. První způsob je plněním spádem shora, kdy plnicí hrdla se umísťují do míst, která jsou nejvyššími místy nádrží, stojí-li letadlo na zemi. Druhý způsob spočívá v tlakovém plnění paliva, kdy plnicí hrdla jsou umístěna na spodní straně nádrží, aby byla snadno přístupná – pokud možno rovnou ze země. Takovýto způsob plnění se často používá u velkých letadel a umožňuje velmi rychlé odbavení letadla na zemi.

Ve speciálních případech lze doplňovat palivo za letu. Zásadně se jedná o letadla vojenská a pro civilní účely se tankování za letu až na výjimky nepoužívá. Tato záležitost vyžaduje především velmi precizní přístup ze strany pilotů.

Tankování za letu probíhá nejčastěji jedním ze dvou způsobů. První způsob je tankování pomocí hadice, která je vybavena stabilizačními ploškami. Tento způsob je díky svým výhodám, zejména poměrně vysoké mobilitě, používán i pro doplňování paliva u vrtulníků.

Druhým způsobem je potom ráhnový systém tankování, který využívá kovových potrubí, tudíž lze použít pro větší průtočné množství a tím je možné čas procesu zkrátit, což je v případě tankování za letu značně výhodné. Realizace tohoto způsobu je poměrně komplikovanější a nelze využít u některých typů letounů a zejména pro vrtulníky.



Obr.2.4. Ukázka tankování paliva za letu, [4]

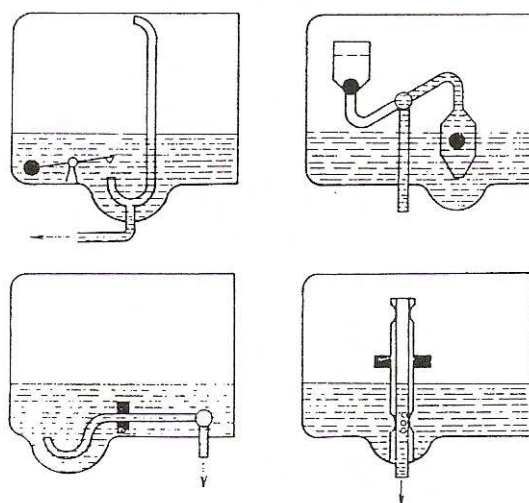
Na spodní stranu nádrží se umísťují nouzové výpustné ventily, které zajišťují v případě nouze vypustit přebytečné palivo a snížit tak hmotnost letadla na hodnotu, která je přípustná pro bezpečné přistání letadla.

Odvzdušnění vnější palivové soustavy lze provádět potrubím z nejvyššího místa palivových nádrží. Potrubí je vedeno tak, že ústí mimo drak a palivo tak může odvzdušněním vytékat mimo potah letadla.

Pro odstranění kalu, vody a nečistot, které jsou v palivu obsaženy jsou ve dnech nádrží jímky, kde se tyto nežádoucí látky usazují. Při plánované údržbě se potom vypouští odkalovacím či vypouštěcím kohoutem ven.

Množství paliva, které se nachází v nádržích je měřeno palivoměry. Ty jsou obvykle plovákové s elektrickým dálkovým přenosem údajů na ukazatele do pilotní kabiny. U velkých dopravních letadel je samozřejmostí umístění průtokoměrů před palivovou soustavou motoru. Měří se tak množství spotřebovaného paliva či jeho okamžitá spotřeba ze známého průtoku.

Akrobatická a vojenská letadla musí mít pro zajištění nepřetržité dodávky paliva do motoru i během obrátů se zápornými násobky speciální nádrž, která svou konstrukcí umožňuje dodávku paliva za všech režimů letu a při všech polohách a zrychleních letadla. Příklady řešení konstrukce těchto palivových nádrží jsou uvedeny na obrázku obr. 2.5.



Obr. 2.5. Řešení palivových nádrží pro lety se zápornými násobky

Potrubí palivových soustav

Potrubí je základním spojovacím dílem palivové soustavy. Slouží k rozvodu paliva mezi jednotlivými částmi soustavy, které mohou být vůči sobě jak nepohyblivé, tak i velmi omezeně pohyblivé. Potrubí bývá vyrobeno z bezešvých trubek, jenž jsou z lehkých slitin (do tlaku 10MPa) a pro vyšší tlaky se používá potrubí z legovaných ocelí. Potrubí je uloženo v objímkách s pružnými vložkami, aby se snížilo na minimum namáhání vibracemi, teplotními dilatacemi a průhyby, případně deformačním vzájemným posunutím částí konstrukce.

Ty části palivové soustavy, jejichž vzdálenost se za provozu může měnit, nebo části, které jsou ve větší míře namáhány vibracemi, se ve většině případů spojují pružnými

hadicemi vyrobenými ze speciální pryže se zpevňující vložkou. Pro vyšší tlaky se používá tlakových hadic vyztužených ocelovou kostrou.

Palivová čerpadla

K motoru se přívod paliva zajišťuje třemi způsoby:

Spádem paliva

Tlakem

Sdruženým vedením

Přívod paliva do motoru spádem se používá pouze výjimečně, zpravidla v nouzové situaci. U letadel s proudovými motory je palivo z nádrží do motoru dopravováno zásadně pod tlakem.

V palivové soustavě se k dodávce paliva používá odstředivých (radiálních) nebo osových (axiálních) dopravních čerpadel, které mají buďto elektrický, pneumatický (případně hydraulický) pohon, nebo jsou poháněny přímo od motoru.

Pro pístové motory se běžně používají čerpadla křídlová, membránová a výjimečně čerpadla zubová, která se vzhledem ke snížené sací schopnosti používají velmi málo.

Čističe

Účelem palivových čističů je zachycovat nečistoty a vodu v palivu. Tím se podílí na zajištění vysoké provozní spolehlivosti celé palivové soustavy.

Filtrace paliva je několikanásobná a probíhá již od plnění paliva do nádrží. Další filtrace je realizována přímo v palivové soustavě letadla pomocí čističů.

V čističích paliva protéká palivo přes čistící vložky, které mohou být vyrobeny z jemných kovových sítok, z plsti, tkaniny, filtračního papíru a zřídka pak ze soustavy lamel, které se používají méně protože mají velmi úzké štěrby.

Nejčastěji je použito sítkových palivových čističů, kvůli jejich jednoduchosti. Nezachycují však velmi jemné nečistoty. Pro jejich zachycení je výhodné použít čističe s plstěnou vložkou. Ty však mají poměrně velký hydraulický odpor se kterým je nutno počítat. Plst' má navíc vlastnost nasáknout vodu z paliva, čímž může docházet k zamrznutí těchto vložek. Řešením je potom pokrytí plsti tkaninou z umělých vláken. Podobným způsobem jsou upraveny i papírové filtrační vložky.

Čističe musí zajišťovat dostatečný průtok i při částečném zanesení, avšak pro případ přerušení průtoku ucpáním čističe je palivová soustava opatřena pojistným ventilem. Ten při zvýšeném odporu v čističi nad nastavenou hodnotu otevře obtokové potrubí a čistič je tak vyřazen z okruhu. Dále pak proudí palivo nefiltrované, což je velmi riskantní a palivový čistič je nutné před dalším letem vyčistit.

Pro snadné vypouštění mechanických nečistot, vody a kalů je potřeba, aby byly palivové čističe dobře přístupné i demontovatelné.

Uzavírací prvky palivové soustavy

Do této skupiny patří kohouty, ventily a klapky. Pro palivové soustavy proudových a pístových motorů se tyto části v podstatě neliší a jsou konstrukčně shodné a liší se především rozměry, které odpovídají průtočným množstvím paliva soustavou. U proudových motorů jsou tedy díky vyššímu průtoku rozměrnější.

Kohouty jsou v palivové soustavě ovládány převážně dálkově. Jejich úkolem není regulace průtočného množství paliva, ale jsou určeny pouze pro otevírání a uzavírání průtoku. Jejich konstrukční provedení bývá nejčastěji kuželové dvoucestné a vícecestné.

Ventily v palivové soustavě tvoří pojistné a regulační prvky a mnohdy automaticky ovládají připojování a vypínání jednotlivých úseků nebo nádrží na soustavu nebo hlavní potrubí. Ventily palivové soustavy mohou být talířové, kuželové, kuličkové či jehlové a jejich ovládání je zajištěno pomocí pružin, plováků, elektromagnetů a nebo mechanicky.

Kontrolní a měřicí přístroje

Mezi tyto přístroje patří palivoměry, spotřeboměry, tlakoměry, signalizační zařízení (pro kontrolu postupu vyprazdňování nádrží, k signalizaci nouzového zbytku paliva apod.) a další vybavení. Tyto přístroje jsou určeny zejména pro kontrolu parametrů palivové soustavy v provozu.

Výčet některých kontrolních přístrojů palivové soustavy :

System měření zásoby paliva – palivoměry

System měření tlaku paliva – tlakoměry

Měření průtočného množství paliva – průtokoměry (pro každý motor zvlášť)

Signalizace nouzového množství paliva

Signalizace přečerpávání paliva (i z přídatných nádrží)

2.2.4. Automatizace palivových soustav

Moderní dopravní letadla díky své velikosti a hmotnosti vyžadují motory o velkém tahu. To má za následek úměrně velkou spotřebu paliva a je tak kladen vysoký nárok na celkový objem nádrží v letadle, aby byl zajištěn potřebný dolet. Z důvodů úspory místa se mnohdy tyto nádrže nachází ve značně velkých vzdálenostech od těžiště letadla. Postupné vyprazdňování má potom velmi velký význam na polohu těžiště letadla za letu. Aby byla zajištěna minimální změna polohy těžiště vlivem postupného odběru paliva, je potřeba věnovat vyprazdňování nádrží zvláštní pozornost. Vždy musí být přesně stanovený a výpočty podložený postup plnění a vyprazdňování paliva. Vyvážení se přitom musí pohybovat v přípustných mezích za různých provozních plnění nádrží a při všech režimech letu, u vícemotorových letadel i když všechny motory nejsou v chodu a u akrobatických a vojenských letounů i při veškerých obrazech.

Ovládání odběru musí být automatizováno tak, aby splnilo požadavek snadného provozu a obsluhy, avšak v žádném případě nesmí být vyloučena možnost ručního ovládání přečerpávání.

2.2.5. Palivové soustavy v provozu

Především pečlivá příprava na zemi může zaručit spolehlivou funkci palivové soustavy za letu. Tato pozemní příprava se spočívá nejen v plnění paliva, ale hlavně v pečlivém provádění plánované údržby a v odstraňování závad.

Za letu je potom velmi důležité kontrolovat hlavně postup automatiky vyprazdňování nádrží, aby nemohlo dojít k narušení vyvážení letadla, čímž by mohla být značně narušena bezpečnost letu. Stejně tak je třeba neustále kontrolovat činnost signalizace tlaků, které jsou klíčovým prvkem k usuzování o správné funkci všech čerpadel palivové soustavy.

Plnění letadla palivem

Způsoby plnění paliva jsou popsány v kapitole 2.2.3. v části „Palivové nádrže“. Následující kapitola popisuje provádění samotného úkolu plnění.

Plnění letadla palivem na zemi se provádí z cisteren. Při každém plnění je nezbytné, aby všechny prvky včetně celého letadla a cisterny byly spolehlivě uzemněny a předešlo se možným nehodám způsobeným jiskrou vzniklou od statické elektřiny. Plnicí a výdejové zařízení cisteren musí být vybaveno účinným filtračním zařízením a před plněním jsou odebírány vzorky paliva na rozbor. Tím se určuje jeho složení a na jeho základě se rozhodne o možnosti plnění do letadla.

Množství paliva se vždy stanovuje pro konkrétní let, kde se uvažuje délka letu, hmotnost nákladu a ostatní parametry, které mají vliv na spotřebu paliva.

Výskyt vody v palivu

Výskyt vody v palivu je nepříjemným problémem, který by neměl být opomíjen. Voda může být v palivu v různých stavech. Jedná se buďto o vodu rozpuštěnou v palivu, vodu ve formě emulze a o vodu ve volném stavu, čili usazenou vodu. Požadavky na palivo nám udávají, že se v palivu nesmí vyskytovat voda usazená a ani voda ve formě emulze. I přes splnění těchto požadavků však může v palivu zůstat voda v rozpuštěné formě, což má za následek vytváření malých krystalů ledu v palivu. Ke tvorbě těchto krystalků dochází právě při vylučování přebytku rozpuštěné vody z paliva za současného ochlazování. Provozní zkušenosti ukázaly, že tvorba krystalků vody je závislá na teplotě a nejčastěji se krystalky tvoří při teplotě paliva blízké 0°C.

Množství vody v palivu můžeme redukovat použitím speciálních přísad do paliva. Tyto přísady pracují na principu schopnosti zvětšovat rozpustnost vody v palivu. Vysoce účinné jsou především kapalné přísady, které nemají negativní vliv na práci motorů a rovněž nezpůsobují korozi součástí. Velkou nevýhodou je ale relativně vysoká spotřeba.

Údržba a opravy palivových soustav

Při provádění prací při periodické údržbě je nezbytné vypustit veškeré usazeniny z palivových nádrží a z těles čističů. Především pak přes zimu, kdy může dojít k zamrznutí neodkaleného paliva, je dodržování těchto prací velmi důležité.

V rámci větších prohlídek je nutné prověřit celou palivovou soustavu na těsnost (prověřuje se i při práci motoru), prověřit stav a upevnění potrubí a letadlových celků a vizuálně zjistit, zda se zde nevyskytují trhliny, otlučeniny, koroze či promáčkliny. Velkou pozornost je třeba věnovat stavu a upevnění ukostřovacích elementů. Prostory, kde se nachází palivové nádrže a prostory, kterými vede palivová instalace je třeba pečlivě prohlížet, aby se vizuálně vyloučil únik paliva.

Oprava kovových nádrží, včetně integrálních se provádí po důkladném promytí a vysušení nádrží. Malé poškození (koroze a promáčkliny) je možno opravovat začističením či vyrovnáním pomocí přivařeného drátku. Místa s hlubším poškozením, proražení a trhliny se opravují svařováním. Poškozené místo vyřízneme do kruhového tvaru, stěny a záplata se olemují a na vnější straně nádrže se svaří švovým svarem kyslíko-acetylenovým plamenem. Pokud jde o záplaty v průměru nad 100mm, provede se ještě vyztužení záplaty a potahu nádrže okolo otvoru.

Zavařování trhlín nebo menších poškození se provádí při naplnění nádrže vodou, případně dusíkem. Po opravě je vždy nutno nádrž dokonale vyčistit od zbytků pilin a tavidla. Nádrže je nutné umýt a vysušit. Po vyčištění, vysušení a montáži armatury, šroubení a hrdel se provádí kontrola těsnosti.

U pryžových nádrží opravujeme poškození typu odlupování plátna, odlupování plátek zakrývajících švy, odlupování vnitřní vrstvy ve švech a u armatury. Tyto poškození jsou považována za opravitelná. Po opravě a kompletaci se opět provede kontrola na těsnost soustavy.

Vyprazdňování paliva

Znalost zásad plnění a vypouštění paliva je velmi důležitá a nezbytná pro leteckého mechanika a technika údržby a obsluhy. Velmi dobrá znalost veškerých bezpečnostních opatření a rizik, které s těmito úkony souvisí je naprosto nezbytná.

Platí zde obdobné zásady, jako při plnění paliva. Zejména se opět jedná o ukostření. Při vypouštění paliva je nutné dbát na ekologii a zabránit úniku paliva mimo určené sběrné nádrže. Palivo by nemělo být vypouštěno v hangárech a dílnách. Při dešti, sněžení a při značné prašnosti ovzduší je obvykle nutné při vyprazdňování paliva učinit příslušná opatření, která zaručí ochranu vypouštěného paliva před jeho znečištěním. Za bouřky je obecně vypouštění paliva zakázáno. Zrovna tak se dbá, aby v blízkosti prováděného vypouštění nedocházelo k jiskření, či přehřátí různých předmětů.

2.3. Palivová soustava motoru

2.3.1. Činnost palivové soustavy motoru a její funkce

Do vnitřní palivové soustavy, nebo-li palivové soustavy motoru, je obecně zahrnuta soustava regulace dodávky paliva do spalovací komory, soustava regulace dodávky do komory přidavného spalování a soustavy regulace dodávky spouštěcího paliva do spalovací komory. S postupem času je samozřejmostí, že funkci spouštěcího paliva obsahuje již soustava regulace dodávky paliva do spalovací komory.

2.3.2. Požadavky kladené na palivové soustavy

Palivová soustava musí dodávat přesné a v daném okamžiku potřebné množství paliva do palivových trysek ve spalovací komoře v celém rozsahu otáček.

Palivová soustava motoru musí navazovat na palivový systém letadla (draku). Proto je nezbytné, aby byly sladěny výstupní podmínky drakových soustav se vstupními podmínkami motoru.

Základní vlastností systémů musí být přesné reagování a zpracování všech vstupních veličin daného systému, které musí končit správným a přesným množstvím paliva dodávaného k vstřikovacím tryskám ve spalovací komoře.

Velký vývoj elektronických systémů dnešní doby se uplatňuje u palivo-regulačních soustav turbínových motorů a na jejich vysokou spolehlivost i za nejnáročnějších podmínek jsou kladeny velmi vysoké požadavky.

2.3.3. Hlavní části vnitřní palivové soustavy a jejich konstrukční provedení

Mezi důležité skupiny palivových soustav patří:

Čerpadlo

Regulátor paliva

Vlastní regulační obvod zajišťující
správnou dodávku paliva
k tryskám

Další části palivové soustavy:

Palivo-olejový výměník

Čistič

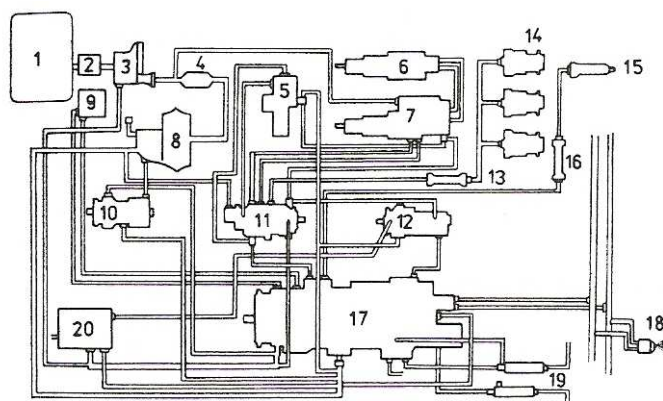
Požární kohout

Uzavírací palivový kohout

Rozdělovací kohout

Palivové trysky

Potrubií



- 1 – palivová nádrž
- 2 – dodávací čerpadlo drakové
- 3 – dodávací čerpadlo motorové DNC44–P3T
- 4 – spotřeboměr
- 5 – teploměr paliva TD – 30K
- 6 – válec natáčečního mechanismu CNA–30K
- 7 – regulátor natáčečního mechanismu RNA–30K
- 8 – palivo-olejový výměník 4845T
- 9 – výkonný mechanismus IMT–3
- 10 – regulátor RPPO–30KU

- 11 – snímač přivedených otáček DPO–30KU
- 12 – odstředivý regulátor CR–1–30K
- 13 – palivový čistič
- 14 – ventily odpouštění vzduchu od kompresoru
- 15 – válec ZOV
- 16 – palivový čistič
- 17 – čerpadlo-regulátor NR–30KU
- 18 – palivové trysky
- 19 – vzduchové čističe
- 20 – drenážní nádržka

Obr. 3.1. Příklad schématu palivové soustavy motoru D-30KU

Obecně jsou palivo- regulační systémy závislé na vstupních údajích následujících veličin:

Otáčky generátoru motoru

Otáčky vysokotlakého rotoru generátoru (v případě dvouhřídelového uspořádání generátoru plynu)

Tlak za kompresorem

Atmosferický tlak

Poloha páky paliva

Poloha páky výkonu

Palivové čerpadlo

Hlavní palivové čerpadlo slouží k dodávce paliva přes regulační soustavu přímo do motoru. Používá se čerpadel zubových nebo plunžrových (pístkových). Výhoda plunžrových čerpadel je možnost jejich snadné regulace pomocí šikmé desky. Sklon desky má přímý vliv na zdvih pístků a tedy i na regulaci dodávaného množství paliva. Nevýhodou tohoto čerpadla je značná citlivost na nečistoty obsažené v palivu. Tato citlivost je způsobena konstrukcí samotného čerpadla, kde vůle mezi pístky a skříní se pohybuje v řádu několika mikrometrů.

U obou zmíněných typů čerpadel se dosahuje tlaku až 15 MPa. Je možné říci, že plunžrová čerpadla se používají do průtoku 6000 kg/h a zubová až do 10 000 kg/h. Plunžrová mohou pracovat do teploty cca 120°C a zubová čerpadla až do teploty 200°C. Podle uvedených parametrů se potom volí typ čerpadla pro daný motor.

Čističe

V palivové soustavě bývají zařazeny dva druhy čističů, z nichž jedny bývají jemné a jedny hrubé. Hrubé čističe bývají převážně sítkové a slouží k zachytávání větších částic, obvykle o rozměru padesáti mikrometrů a větší. Jemné papírové čističe jsou schopny zachytit částice o rozměrech už od sedmi mikrometrů. Při zanesení čističe bývá následkem přetlaku otevřen obtok. Otevření obtoku je obvykle signalizováno v kabině osádky.

Palivo-olejový výměník

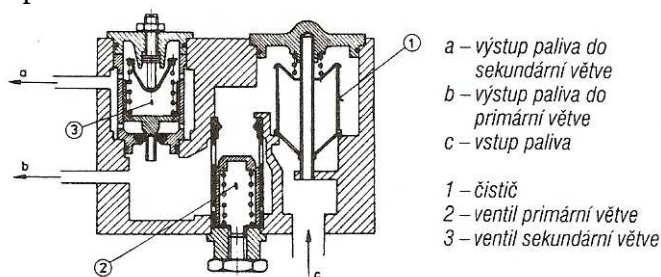
Do palivové soustavy se zpravidla zařazuje palivo-olejový výměník. Jeho velká výhoda je, že slouží jak k přehřívání paliva, tak zároveň ke chlazení oleje v olejové soustavě motoru. Horký olej je při svém výstupu z motoru veden nejdříve do palivo-olejového výměníku, kde předá část svého tepla palivu. Poté je ještě veden do vlastního olejového chladiče. Je třeba brát zřetel na atmosférické podmínky, díky kterým může palivo v křídlových nádržích během letu snadno prochladnout i pod -40°C. Přehřáté palivo potom podstatně sníží možnosti ucpávání jemného čističe ledovými krystalky vody i z takto podchlazeného paliva.

Kohouty palivové soustavy motoru

Požární kohout je určen k otevírání a uzavírání dodávky paliva do palivové soustavy motoru. Jeho obvyklé umístění bývá na zadní protipožární přepážce. Tento kohout je dálkově ovládán přímo z pilotní kabiny vlastní ovládací pákou.

Uzavírací palivový kohout je často umístěn na regulátoru paliva a ve většině případů tvoří přímo jeho součást. Tento uzavírací kohout slouží k otevírání a uzavírání přívodu paliva do spalovací komory při spouštění a vypínání motoru. Jeho ovládání je realizováno přímo z kabiny osádky pákou volby režimu motoru, jejíž krajní poloha pod volnoběhem představuje uzavřený palivový kohout. Často se používá též elektromagnetický ventil.

Rozdělovací kohout (Obr. 3.2.) slouží k rozdělení palivové soustavy na dvě větve, a to na primární a sekundární. Primární větev je určena ke spouštění motoru. Množství paliva, které je tato větev schopna dodávat je dostatečné jak pro zapálení paliva, tak i pro rozběh motoru do volnoběhu. Zvýšením otáček dojde i ke zvýšení tlaku paliva, které dodává hlavní čerpadlo. Působením tohoto zvýšeného tlaku na tlakový ventil je následně otevřena sekundární větev, čímž je pro akceleraci motoru zajištěna dostatečná dodávka paliva.



Obr. 3.2. Schéma rozdělovacího kohoutu

Regulátor paliva

Palivo musí být do motoru dodáváno v přesném množství. Proto je potřeba jeho přesné odměrování, které se zajišťuje pomocí regulátoru paliva. Regulace probíhá v závislosti na režimu motoru, rychlosti a výšce letu, teplotě výstupních plynů na dalších veličinách podle složitosti regulační soustavy.

Regulátor paliva u hydromechanické soustavy je poměrně složité zařízení, obsahující velké množství dalších agregátů, které jsou nezbytné pro zajištění optimálního a spolehlivého chodu motoru. Hlavní regulační prvek je škrtková jehla, která je v tomto případě ovládaná buďto mechanicky, nebo hydraulicky.

Některé části regulátoru paliva hydromechanické soustavy jsou:

Regulátor konstantního tlaku paliva

Regulátor konstantních otáček

Akcelerační automat

Omezovač převýšení otáček

Spouštěcí automat

Regulátor odpouštění vzduchu či natáčení lopatek

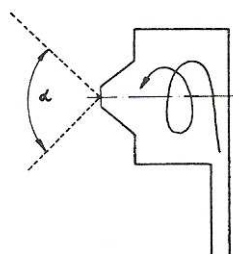
Rozdělovací kohout
Uzavírací ventil
Automat pro řízení zpětného tahu
Škrťací jehla (mechanicky či hydraulicky ovládaná)

Elektronický regulátor umožňuje použití jednodušší hydromechanické jednotky. Jejím úkolem je v první řadě zajistit konstantní tlak paliva. Škrťací jehla je v případě elektronického regulátoru ovládaná elektromotorem. Elektrický signál je zpracováván počítačem FADEC (Full Authority Digital Electronic Control), který získává velké množství informací od snímačů, rozmístěných na motoru a letadle, stejně tak jsou zpracovávány signály od autopilota a od automatu tahu a v neposlední řadě taky požadavky pilota. Tento počítač náležitě vyhodnocuje veškeré informace a jako výstup vysílá signál k elektromotoru škrťací jehly. Takto je řízen režim motoru. Z důvodu zálohy obsahuje FADEC dva nezávislé obvody.

Palivové trysky

Pro správnou funkci celého systému je potřeba, aby pracovali všechny jeho jednotlivé části bezchybně. Od správné funkce se odvíjí celková účinnost. Palivové trysky jsou velmi důležitou součástí soustavy a bez správně fungujících palivových trysek by nikdy nemohla být zajištěna dostatečná účinnost motoru a tak jsou požadavky kladené na palivové trysky velmi vysoké. Tyto trysky slouží ke správnému rozprášení paliva ve spalovací komoře. Podle jejich konstrukce rozlišujeme palivové trysky jednootvorové a dvouotvorové. U obou typů trysek dochází nejprve k rozvíření paliva v tangenciálním směru, jak je znázorněno na obrázku Obr.3.3. Tohoto rozšíření se dosahuje vhodnou konstrukcí kanálků trysky. Rozprášení paliva musí být za každého režimu chodu motoru dostatečně jemné, aby se zabránilo kouření komory dohořívání paliva až v turbíně. Správné rozprášení má velký vliv na kvalitu spalování paliva a tím přímý vliv na účinnost motoru. Literatura udává, že správně navržená tryska musí pracovat již při tlaku 6 MPa. Aby nedocházelo k místnímu přehřátí komory, je třeba konstrukčně zajistit, aby rozprašování paliva bylo rovnoměrné a příliš nekolísalo.

Důležitým parametrem, kterým trysky hodnotíme, je úhel rozprášení. Tento úhel je znázorněn a zakótován na obrázku Obr.3.3. V závislosti na režimu motoru se velikost tohoto úhlu mění. Při spouštění bývá tento úhel od 60° . U vyšších režimů tento úhel roste a při maximálním režimu dosahuje hodnoty až 90° .

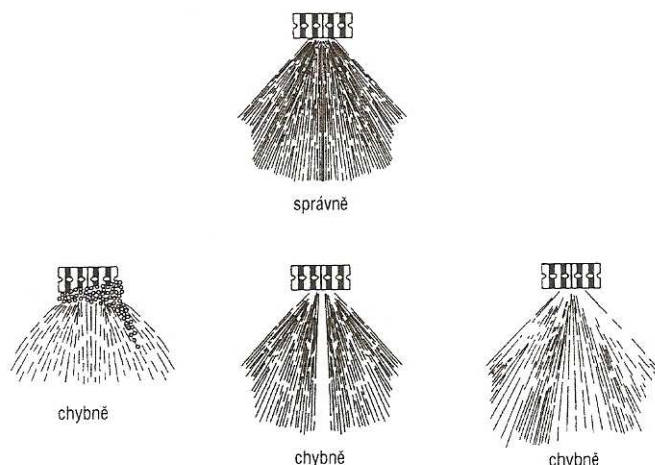


Obr. 3.3. Úhel rozprášení jednootvorové trysky

U dvouotvorových trysek (oba otvory jsou souosé) pracuje při nízkém režimu motoru pouze vnitřní tryska, což odpovídá primárnímu okruhu. Při zvýšeném režimu pracuje druhý okruh a zvýšení dodávky paliva se realizuje pomocí vnějšího otvoru trysky.

Aby trysky dosahovaly rozumných životností, je potřeba je dostatečně chladit. Trysky bývají chlazeny vzduchem. V jejich plášti bývají pro tyto důvody vytvořeny otvory, jimiž je veden chladicí vzduch až k ústí trysek. U některých typů trysek je přívod vzduchu uskutečňován vnitřkem vlastní trysky. Chladicí vzduch pak slouží k lepšímu promísení s palivem.

Mezi nejpodstatnější závady palivových trysek patří nesprávné rozstřikování paliva. Jedná se většinou o takzvané proužkování, kdy se vytváří nerovnoměrné rozdělení paliva v kuželu, bublinky a nebo dochází k rozstřikování paliva do tvaru cibulky. Na obrázku Obr. 3.4. je porovnání správné a nesprávné funkce palivové trysky.



Obr. 3.4 Příklad správné a chybné funkce trysky

Palivové potrubí vnitřní palivové soustavy

Ve vnitřních palivových soustavách používáme potrubí vyrobených převážně z korozi-vzdorných trubek, které bývají spojeny šroubením.

Základním požadavkem z hlediska minimalizace tlakových ztrát je minimální délka potrubí. Dále musí potrubí odolávat tlakům až 15 MPa a vysokým teplotám.

Kde dochází ke vzájemnému pohybu agregátů, je nutné použít vysokotlakých hadic se vyztužující vložkou, nebo hadic s ocelovou kostrou.

3. Palivové soustavy a jejich parametry

V předchozí kapitole jsme se seznámili s palivovými soustavami a jejich principy v obecném měřítku. Z hlediska provozu lze vyhodnotit vhodnost určitých konstrukčních řešení pro konkrétní případy. Ať už se jedná o návrh systému, proces jeho výroby a montáže a zejména důležitý je návrh způsobu údržby a obsluhy, vždy je třeba zvážit poměrně velké množství aspektů s návrhem souvisejících. Samotný návrh se pak odvíjí především z konstrukce a účelu letadla, pro který je systém navrhován. Tím je dáno dostačující množství parametrů, které mají přímý vliv na způsoby řešení. Zde hraje velkou roli typ letadla (vrtulník, letoun) a jeho velikost, tak hlavně jeho účel (bojový, akrobatický, dopravní), který je jedním z určujících parametrů v oblasti návrhu.

3.1. Přehled parametrů palivových soustav

Od prvního období vývoje letectví, kdy byla veškerá snaha zaměřena na to, aby letadla vůbec létala, zaznamenalo lidstvo obrovský pokrok ve vývoji letectví. Do doby, než se let jakéhokoli letadla považoval za samozřejmý, nehrála ekonomika provozu příliš významnou roli. S nástupem proudových a turbovrtulových motorů, kdy již bylo možné dosahovat v té době požadovaných letových výkonů, začala převaha požadavků bezpečnostních, předpisových a hlavně taky ekonomických z hlediska provozu. Tyto požadavky pak měly velký vliv zejména na použití pohonných jednotek a způsob pohonu letadel. S tím je spojeno i řešení vyvození tahu. V současnosti pracují pohonné jednotky, na principu přeměny energie obsažené v palivu na tah. Ať už se jedná o pohon vrtulový či proudový (případně raketový), vždy je potřeba do letadla umístit jisté množství paliva. Přestože je ekonomické stránka provozu řešena prakticky neustále, kdy účinnosti pohonných jednotek jsou velmi vysoké, čímž klesá měrná spotřeba paliva, je množství paliva uloženého v letadle nezanedbatelné.

Rozmístění velkého množství paliva z hlediska řešení umístění a vlivu na polohu těžiště bylo zmíněno v předchozí kapitole. Systému přečerpávání je pak věnována podkapitola 2.2.4. Automatizace palivových soustav.

V této kapitole se budeme věnovat především hmotnosti paliva v nádržích dopravních letadel. V tabulce Tab.3.1. je zpracován přehled potřebných parametrů deseti vybraných dopravních letadel s různým zaměřením. Některá z nich jsou určena k přepravě pasažérů na velké vzdálenosti, další skupinou jsou letouny s malým doletem a obchodní letouny. Abychom si udělali představu o podílu vzletové hmotnosti letounu ku hmotnosti paliva obsaženého v nádržích při startu, zavedeme si některé pomocné veličiny.

3.1.1. Porovnání parametrů vybraných dopravních letadel

Pro získání představy o podílu vzletové hmotnosti letounu ku hmotnosti paliva při startu budeme vycházet z maximální vzletové hmotnosti a maximální hmotnosti paliva při startu a tyto hmotnosti dosadíme do poměru podle následujícího vztahu 3.1.

Poměr maximální vzletové hmotnosti ku hmotnosti paliva při startu :

$$M = \frac{m_{MTO}}{m_p} \quad [-]$$

Vztah 3.1. – kde :

m_{MTO} [kg] – maximální vzletová hmotnost letounu

m_p [kg] – maximální hmotnost paliva při startu

Aby bylo na první pohled zřejmé, jaký podíl na vzletové hmotnosti palivo opravdu má, můžeme uvést hmotnostní podíl v procentuelní hodnotě. Dosadíme tedy hodnoty do následujícího vztahu 3.2.

Procentní hmotnostní podíl:

$$\mu = \frac{100 \cdot m_p}{m_{MTO}} \quad [\%]$$

Vztah 3.2. – kde :

m_{MTO} [kg] – maximální vzletová hmotnost letounu

m_p [kg] – maximální hmotnost paliva při startu

Pro zajímavost můžeme ještě uvést podíl paliva připadající na jednoho pasažéra. Z tohoto podílu lze potom velmi zjednodušeně určovat náklady na jednu osobu. Nejedná se o přesný výpočet, protože neuvažujeme žádné okolní podmínky a neuvažujeme ani hmotnost nevyčerpatelného množství paliva a rovněž zanedbáváme další vlivy, jakož i údržbu, letištní a bezpečnostní taxy a jiné.

Vycházíme z předpokladu plného obsazení letounu a dále, že každý pasažér cestuje se stejným zavazadlem, let se uskutečňuje s maximálním množstvím paliva a jeho délka odpovídá maximálnímu doletu. Tento podíl tedy slouží výhradně pro získání velmi hrubé představy o nákladech na palivo a ukazuje právě pouze podíl paliva připadající na jednoho člena v plně obsazeném letounu. Výpočet se provede podle vztahu 3.3.

Hmotnost paliva na jednoho pasažéra

$$m_n = \frac{m_p}{n} \quad [\text{kg}]$$

Vztah 3.3. – kde :

m_p [kg] – maximální hmotnost paliva při startu

n [-] – maximální počet pasažérů

	Letoun	Sledované parametry					
		Max. T-O-W	Počet pasažerů	Množství paliva	Poměr hmotností		Palivo na pasažera
	Výrobce letounu				M	μ	
	Typové označení	[kg]	[-]	[kg]	[-]	[%]	[kg]
1.	Embrearer	22 500	13	8 528	2,64	37,90	656
	Legacy 600						
	Dvouproudový						
2.	Airbus	560 000	853	280 000	2,00	50,00	328
	A380-800						
	Dvouproudový						
3.	Tupolev	103 000	210	32 800	3,14	31,84	156
	Tu-204						
	Dvouproudový						
4.	Iljušin	23 500	64	6 500	3,62	27,66	102
	Il-114						
	Turbovrtulový						
5.	Boeing	396 900	524	204 117	1,94	51,43	390
	747-400						
	Dvouproudový						
6.	Antonov	19 150	52	4 440	4,31	23,19	85
	An-140						
	Turbovrtulový						
7.	LET (Aircraft industries)	14 500	40	2 700	5,37	18,62	68
	L-610						
	Turbovrtulový						
8.	Bombardier	44 500	17	20 400	2,18	45,84	1200
	BD 700 Global Express						
	Dvouproudový						
9.	Cessna	16 511	12	5 897	2,80	35,72	491
	750 Citation X						
	Dvouproudový						
10.	Aerospatiale-BAC	181 435	152	95 680	1,90	52,74	629
	Concorde						
	Dvouproudový						

Tab. 3.1. Statistický přehled parametrů vybraných dopravních letounů. [1]

Z tabulky Tab.3.1. můžeme vyčíst, že v žádném z uvedených případů nelze říct, že by oproti vzletové hmotnosti byla hmotnost paliva zanedbatelná, nýbrž právě naopak. Přestože rozsah statistického souboru není nijak veliký, je možné vypořizovat, že hmotnost paliva je závislá především na velikosti letounu a na jeho určení.

Velká dopravní letadla o vysoké hmotnosti a s velkým počtem cestujících se používají především pro dlouhé lety. U největších letounů, jako jsou Airbus A380 a Boeing 747 si můžeme všimnout, že přibližně polovinu maximální vzletové hmotnosti tvoří právě palivo.

S velmi podobným poměrem vychází ze statistiky rovněž nadzvukový dopravní letoun Concorde. Vzhledem k tomu, že tento letoun měl původní určení v komerční

přepravě pasažérů přes oceán, kdy dosahoval přibližně polovičních časů, oproti jeho předchůdcům, je patrné, že jde o letoun s téměř nejvyšším podílem paliva na pasažéra. Vyšší podíl už vykazují pouze letouny soukromě-obchodního využití. Vysoký podíl paliva připadající na jednoho pasažéra je dán hlavně způsobem, kterým letoun dosahuje tak vysokých rychlostí. Aby Concorde dosáhl nadzvukových rychlostí je vybaven systémem přídavného spalování, při jehož použití lze předpokládat řádové zvýšení spotřeby paliva až na dvojnásobek běžné hodnoty.

Velmi vysoký podíl paliva připadající na osobu mají letouny pro obchodní a soukromé využití. Patří mezi ně Embrearer Legacy, Bombardier Global Express a Cessna Citation. Tyto letouny nejsou určeny ke komerční přepravě cestujících a náklady na let by byly pro jednotlivce značně vysoké a využití těchto letounů je právě pro účely převážně soukromé. Vysokým nákladům ovšem odpovídá komfort cestování.

Naopak nízký podíl paliva na jednoho pasažéra vykazují malé letouny s krátkým a středním doletem, vybavené turbovrtulovým motorem, mezi něž patří L-610, Il-114 a An-140. Jsou to letouny se středně vysokým a nižším počtem cestujících a obvykle se používají na vnitrostátní dopravu. Nízký podíl paliva je mimo jejich krátký dolet dán i nižší spotřebou paliva, která však odpovídá rychlosti letu.

Letouny určené na velké vzdálenosti a k přepravě velkého počtu osob, respektive velkého nákladu obsahují při vzletu obrovské množství paliva. Toto množství mnohdy odpovídá i více než polovině vzletové hmotnosti. Pro uvezení takového množství paliva je nutné použít spolu s robustní konstrukcí motory o velmi vysokém výkonu, které se vyznačují značnou spotřebou. Celý návrh je tedy zpětně provázán a velká část paliva je tedy spotřebována právě na to, aby bylo letadlo schopné toto obrovské množství paliva uvést.

3.2. Plnění letounu palivem – porovnání způsobů

Plnění letounu palivem patří do pozemní přípravy spojené s nejběžnější údržbou. Návrh způsobu plnění letadla vychází z několika podmínek. Teoreticky je plnění letadel palivem popsáno v podkapitolách 2.2.3. *Konstrukční provedení hlavních částí* a letadlových celků a 2.2.5. *Palivové soustavy v provozu*.

Plnění letounu palivem je možné uskutečňovat dvěma odlišnými způsoby, a to plněním shora a plněním zdola pod tlakem.

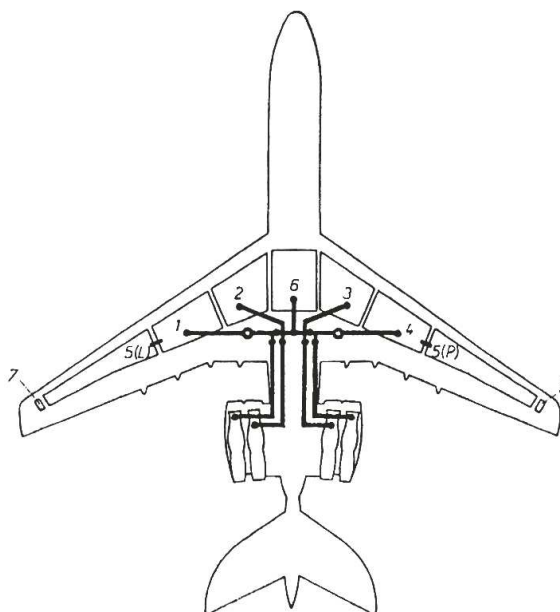
Jedním ze základních požadavků na palivové soustavy je minimální čas na obsluhu a údržbu. Jak již bylo zmíněno, je tento čas dán zejména snadným přístupem, který je pro plnění zásadní. Dále rychlost obsluhy při plnění a vypouštění paliva závisí právě na způsobu, kterým je letadlo plněno palivem a na způsobu, jakým je z něj palivo vypouštěno. Zkušenost z provozu v praxi ukazuje, že plnění paliva shora se jeví jako zdlouhavé a mimo to při uvážení vysoko umístěných plnicích hrdel u větších dopravních letadel i značně nebezpečné pro obsluhu. V těchto případech se dává přednost volbě plnění zdola pod tlakem. Je-li to možné, umísťují se plnicí hrdla tak, aby byla přístupná rovnou ze země. Lze tím velmi urychlit dobu plnění a celý proces se tak podstatně zjednodušuje. Plnění zdola pod tlakem si ale žádá palivovou soustavu, která je v konstrukčním řešení více složitá.

Je možné konstatovat, že každý ze způsobů plnění má své uplatnění. Pro malá letadla se jeví jako výhodný způsob plnění shora, který vyžaduje pouze přivedení paliva k plnicímu hrdlu a dále je palivo plněno pouze spádem. U malých dopravních letadel, jako je například i L-410 se provádí rovněž plnění shora. I v případě takto malého dopravního letadla je nutné použít přistavování schody a pohyb po částech křídla a centroplánu se jeví jako nebezpečný. Celý proces je již v takovéto podobě dosti zdlouhavý.

Pro velká dopravní letadla je plnění shora nevhodné. Když uvážíme potřebu naplnit nádrže o celkovém objemu několika desítek až stovek tisíc litrů v rozumných časech, je nezbytné použít systém tankování, který zaručí vysoký průtok. Při plnění shora je v takovýchto případech dosti obtížné zajistit dostatečnou bezpečnost. Manipulace s plnicím potrubím o větších průměrech a rovněž velkých délkách není v takových podmínkách dosti dobře možná musí se využít pomocných přídržných zařízení, což doplňování paliva značně komplikuje. Konstruktor ve fázi řešení rozhoduje mimo jiné právě i o způsobu plnění. Pro kvůli zmíněným argumentům se velká dopravní letadla obvykle navrhuje se systémem umožňujícím plnění paliva zdola pod tlakem.

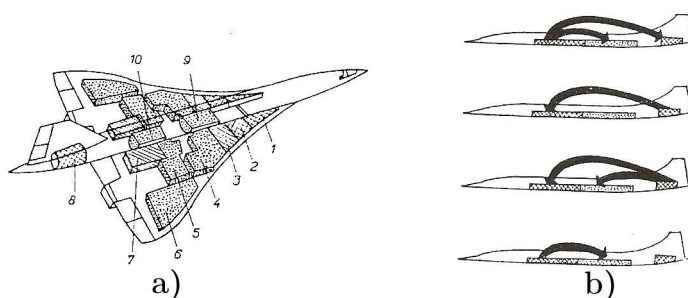
3.3. Přecherpávání paliva za letu

Motivace k přecherpávání paliva mezi jednotlivými nádržemi plyne z požadavku uvedeného v kapitole 2.2.2. *Požadavky kladené na palivové soustavy*. Tento požadavek zmiňuje v bodě g) zmíněné podkapitoly nutnost minimálního vlivu na vyvážení letadla způsobeného postupným odběrem. Přecherpávání paliva mezi jednotlivými nádržemi za letu je pak úlohou, která musí být řízena automaticky. Pro případ nečekané situace či nehody však musí systém umožňovat ruční ovládání. Na následujícím obrázku Obr.3.1. je znázorněn způsob propojení palivových nádrží.



Obr. 3.1. Palivová soustava dopravního letadla s více nádržemi
1,2,3,4 – hlavní palivové nádrže; 5(L),5(P) – doplňkové křídlové nádrže (L – levá, P – pravá); 6 – palivová nádrž v centroplánu; 7 – drenážní nádrže

Případ přecherpávání paliva pro účel vyvážení za letu a rozmístění nádrží v letounu ukazuje obrázek Obr. 3.2.



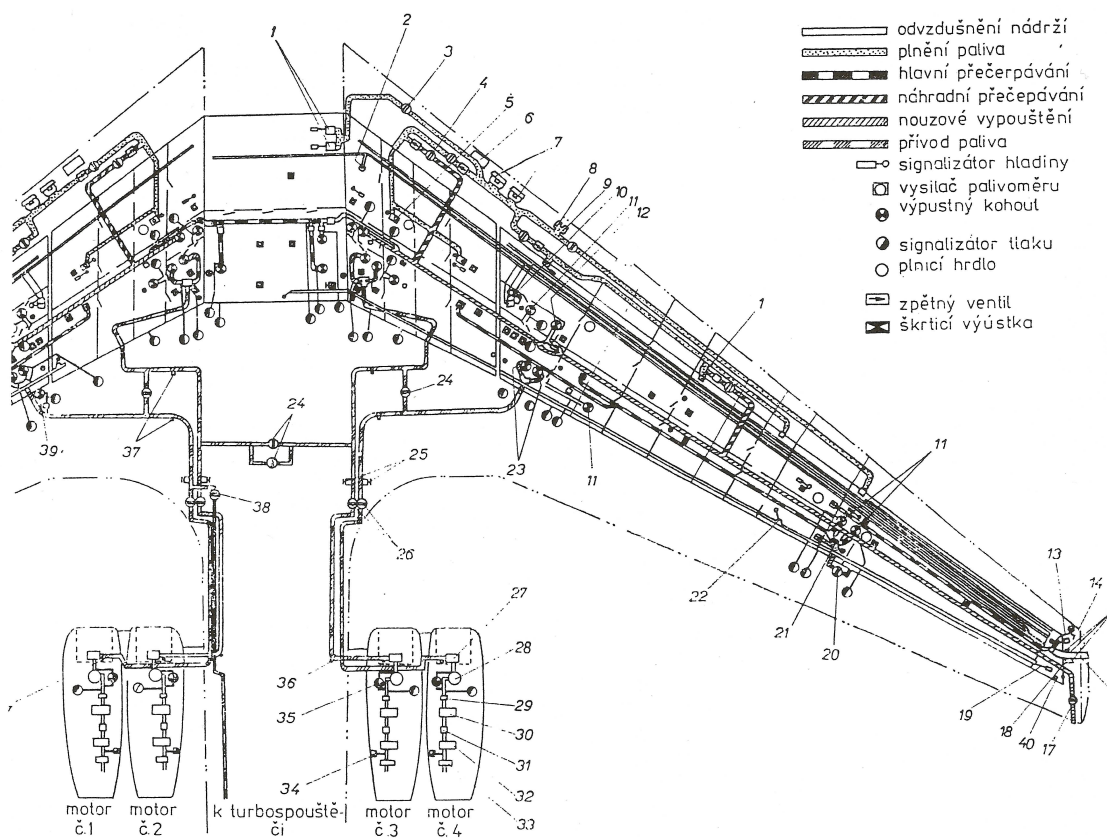
Obr. 3.2. Palivová soustava nadzvukového dopravního letadla
a) rozmístění palivových nádrží
b) schéma přecherpávání paliva pro účely vyvážení letadla

3.4. Popis skutečné palivové soustavy letounu Il-62

Palivová soustava dopravního letounu Iljušin Il-62 sestává z palivových nádrží a instalací, které se starají o bezchybný a nepřetržitý přívod paliva do čtyřech proudových motorů. Do letounu je možné uložit palivo o celkovém množství přes sto tisíc litrů. Všechno palivo je uloženo v integrálních nádržích, které se nachází v obou křídlech a v centroplánu.

Palivová soustava tohoto letounu se má sedm nádrží celkem. Po dvou ve snímatelné části křídla a tři v centroplánu. Rozmístění palivových nádrží je zobrazeno na obrázku Obr.3.1. předchozí podkapitoly. Všechny nádrže jsou integrální, utěsněny syntetickou těsnící hmotou. Potah a žebra tvoří stěny nádrží. Mezižebra mají funkci přepážek a zabráňují přelévání paliva.

Na koncích obou křídel jsou drenážní odvzdušňovací nádrže, do nichž přetéká palivo, které se dostává do odvzdušňovací instalace při obratech letadla. Při naplnění drenážní nádrže se v ní obsažené palivo automaticky přečerpává do krajních nádrží. Odvzdušňovací instalace spojuje nádrže s atmosférou, a tím brání působení přetlaku na stěny nádrží (zevnitř i zvenku) při libovolných obratech.



Palivová soustava dopravního letadla Il-62
 1 — plovákový ventil plnění; 2 — sběrná jímka kondenzátu z odvzdušňovacího potrubí; 3 — uzavírací kohout systému plnění paliva; 4 — uzavírací kohout systému náhradního přečerpávání; 5 — plovákový ventil plnění; 6 — ovládací panel plnění; 7 — palubní plnicí hrdlo; 8 — podtlakový ventil; 9 — pojistný ventil; 10 — sběrná jímka kondenzátu z odvzdušňovacího potrubí; 11 — přečerpávací čerpadlo; 12 — čerpadlo nouzového vypouštění; 13 — čistič; 14 — přečerpávací čerpadlo odvzdušňovacího systému; 15 — podtlakový ventil; 16 — sběrač vzduchu (lapač); 17 — hlavní kohout nouzového vypouštění; 18 — pojistný ventil; 19 — plovákový ventil odvzdušňovací; 20 — kohout nouzového vypouštění z nádrže č. 5; 21 — vypustný kohout (pro vypouštění na zemi); 22 — plovákový odvzdušňovací ventil; 23 — dodávací čerpadlo; 24 — propojovací kohout; 25 — vypustný kohout (pro vypouštění na zemi); 26 — uzavírací (požární) kohout; 27 — dodávací čerpadlo; 28 — čistič; 29 — průtokoměr; 30 — vysokotlaké čerpadlo; 31 — dávkovací palivový automat; 32 — palivo-olejový chladič; 33 — rozdělovač paliva; 34 — vysílač tlaku paliva; 35 — diferenciální signálizátor tlaku; 36 — zátky pro vypouštění vzduchu; 37 — vypustný ventil; 38 — uzavírací kohout; 39 — dodávací čerpadlo; 40 — signálizátor hladiny přečerpávaného paliva

Obr.3.3. Podrobné schéma palivové soustavy dopravního letadla Il-62

Z hlavních nádrží palivo postupuje do motorů. Z nádrže označené na obrázku Obr.3.1. číslem 1 jde do motoru číslo 2 – viz obrázek Obr.3.3. Propojovací instalace hlavního převodního potrubí paliva k motorům zajišťuje rovnoměrnou spotřebu paliva ze všech nádrží při závadách motorů nebo palivové soustavy. Obsahuje i možnost nouzového vypouštění paliva.

Plnění paliva do nádrží tohoto letounu se provádí pod tlakem dvěma standardními plnicími hrdly na každé polovině křídla. Plnicí hrdla jsou umístěna v náběžné hraně centroplánu. Ovládací panel pro plnění je ve skřínce vedle plnicích hrdel. Tento letoun umožňuje rovněž plnění paliva shora vyjma nádrže v centroplánu. Vypouštění paliva z nádrží je možné na zemi i za letu. Na zemi se vypouštění z hlavních nádrží provádí čtyřmi výpustními kohouty, jež jsou v přechodových krytech křídla, z doplňkových nádrží – třemi výpustními kohouty na spodních panelech křídla nebo přečerpáním do hlavních palivových nádrží.

Za letu je možno vypouštět palivo z hlavních nádrží i všechno palivo z doplňkových nádrží. Potrubí pro nouzové vypouštění paliva je vedeno do okrajového oblouku křídla. Elektronická podsoustava indikace umožňuje určit celkové množství paliva i množství paliva v každé nádrži zvlášť, a to podle ukazatelů umístěných v pilotní kabině i na panelu pro plnění.

Hodinová spotřeba paliva i zůstatek paliva (v kg) v nádržích se určuje podle spotřeboměrů, jež jsou v pilotní kabině.

Činnost palivové soustavy řídí palubní inženýr. Vypínače i ukazatele přívodu paliva, přečerpávání, nouzového vypouštění, měřicí přístroje spotřeby i množství paliva, ukazatele tlaku i ostatní části pro ovládání a kontrolu palivové soustavy jsou umístěny na pracovním místě palubního inženýra. [2]

Závěr:

První část práce, počínající kapitolou 2. Palivové soustavy obecně jsme se postupně seznámili s funkcí palivových soustav letadel obecně. Přitom šlo o vytvoření představy o způsobu konstrukčního návrhu a vývoje palivové soustavy, která je velmi podstatným prvkem letadlových soustav motorových letadel.

Představa by měla být ucelená a mělo by být patrné, jak fungují jednotlivé hlavní části soustavy a jak probíhá údržba.

Palivové soustavy můžeme shrnout jako systém, který jednak slouží k uložení paliva v letadle a k jeho přesné dodávce do motoru ale taky pojednává o způsobech plnění paliva včetně jeho čištění, jeho vypouštění a jeho skladování.

Ve druhé části jsme se na palivové části zaměřili praktičtěji. Z uvedeného vyplývá, že hmotnost paliva v nádržích má obrovský podíl na maximální vzletové hmotnosti letadla a mnohdy, zejména u velkých dopravních letadel, tvoří více než polovinu této hmotnosti.

Dalším bodem práce je srovnání způsobů plnění. Lze říci, že každý způsob plnění je vhodný pro určitou skupinu letadel.

Na závěr práce je popsána činnost skutečné palivové soustavy dopravního letadla. Zde bych se chtěl věnovat právě konstrukčnímu řešení, které umožňuje oba způsoby plnění letadla, a to jak vrchní plnění, tak i spodní plnění pod tlakem.

Každý letadlový celek je velmi složitým a důmyslně propracovaným systémem. Mezi tyto systémy patří právě palivové soustavy letadel a požadavky kladené na tyto systémy jsou velmi vysoké. Jakékoliv selhání některého z primárních systémů letadel by mohlo znamenat ztráty na lidských životech a je tedy nezbytné věnovat patřičnou pozornost všem rizikům a uvážit je jak při výrobě a údržbě letadel, tak při tvoření předpisů pro jejich výrobu, údržbu a obsluhu.

Seznam literatury:

- [1] Jane's: All the World's Aircraft 2007-2008: Cambridge University Press, 2007.
- [2] TŮMA, Jiří. *Letadla*. Praha : SNTL, 1981. 178 s.
- [3] KOCÁB, Jindřich; ADAMEC, Josef. *Letadlové motory*. Vyd. 1. Praha : KANT, 2000. 176 s. ISBN 80-902914-0-6.
- [4] Soubor:Usaf.kc135.750pix.jpg. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, [cit. 2010-05-30]. Dostupné z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:Usaf.kc135.750pix.jpg>>.