



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
LETECKÝ ÚSTAV

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AEROSPACE ENGINEERING

ZKOUŠENÍ HYDRAULICKÝCH SOUSTAV LETADEL

TESTING OF AIRCRAFT HYDRAULIC SYSTEMS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

FILIP SUK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. KAREL TŘETINA, CSc.

BRNO 2011

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Letecký ústav

Akademický rok: 2010/2011

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Filip Suk,

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:

Zkoušení hydraulických soustav letadel

v anglickém jazyce:

Testing of aircraft hydraulic systems

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Při vývoji, výrobě i provozu letounu je věnována velká pozornost zkoušení a prověřování činnosti všech palubních soustav. V letounech pro sběrnou dopravu je hydraulická soustava pro ovládání podvozku životně důležitá. Její spolehlivá a správná funkce zajišťuje požadovanou bezpečnost při provozu letounu. Zkoušení a vyhodnocování činnosti hydraulické soustavy letounu je proto věnována značná pozornost jak při vývoji, tak při údržbě letounu v průběhu provozu.

Cíle bakalářské práce:

Cílem bakalářské práce je vypracování přehledu požadavků předpisu na zkušební postupy a metodiky zkoušení hydraulických prvků a soustav letadel. Dále pak, vypracování návrhu zkoušení hydraulické soustavy podvozku letounu pro sběrnou dopravu, včetně návrhu na přístrojové vybavení zkoušek.

Seznam odborné literatury:

- [1] Jane's: All the World's Aircraft 2008-09
 - [2] MOIR, I., SEABRIDGE, A.: Aircraft Systems, John Wiley Sons, Ltd Chippenham 2008, ISBN 978-0-470-05996-8
 - [3] TŘETINA, K.: Letadlové instalace I. Nakl. VAAZ Brno 1986, 139 s
 - [4] Předpisy CS-23, CS-25
 - [5] KOPÁČEK, J.: Technická diagnostika hydraulických mechanismů. SNTL, Praha 1990, 160 s, ISNB 80-03-00308-3
- Další literatura dle doporučení vedoucího bakalářské práce.

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

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2010/2011.

V Brně, dne 26.11.2010

L.S.

prof. Ing. Antonín Píšťek, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

Abstrakt

Závěrečná práce s názvem „Zkoušení hydraulických systémů letadel“ pojednává o problematice spojené se zkoušením jednotlivých komponent a také celých hydraulických systémů. V první části práce jsou uvedeny požadavky předpisů, které musí hydraulické soustavy splňovat, a zkušební podmínky, které se musí dodržovat při zkoušení palubních systémů. V dalších částech je popsán způsob zkoušení jednotlivých hydraulických prvků a diagnostika hydraulické kapaliny. V poslední části je uveden princip zkoušení hydraulické soustavy podvozku včetně návrhu na přístrojové vybavení.

Klíčová slova:

Zkoušení hydraulických soustav, CS-23, hydrogenerátor, hydromotor, hydraulický akumulátor, hydraulická kapalina, zkoušení podvozku, L-39

Abstract

My bachelor thesis “Testing of aircraft hydraulic systems“ discusses the problems of testing particular components and complete hydraulic systems. In the first part of my work, there are specified all regulation requirements that are to be fulfilled by hydraulic systems and test conditions for testing of flight control systems. The next parts deal with the way of testing particular hydraulic elements and hydraulic liquids. The last part of my bachelor thesis is dedicated to the testing's principle of hydraulic system of landing gear including a concept for instrumentation.

Keywords:

Testing of hydraulic systems, CS-23, hydrogenerator, hydraulic motor, hydraulic accumulator, hydraulic liquid, testing of landing gear, L-39

Bibliografická citace

SUK, F. *Zkoušení hydraulických soustav letadel*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 40 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Karel Třetina, CSc..

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma „Zkoušení hydraulických soustav letadel“ vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu použitých zdrojů na konci práce.

Poděkování

Rád bych poděkoval svému vedoucímu doc. Ing. Karlu Třetinovi, CSc. za vedení bakalářské práce, za cenné rady a za čas strávený při konzultacích mé práce.

Obsah:

1. ÚVOD	- 10 -
2. PŘEHLED POŽADAVKŮ KLADEŇÝCH NA HYDRAULICKÉ SYSTÉMY	- 10 -
2.1 PŘEDPIS CS 23	- 10 -
2.2 PŘEDPIS RTCA/DO-160 D [7]	- 11 -
3. ZÁKLADNÍ HYDRAULICKÉ OKRUHY	- 12 -
3.1 TLAKOVÉ OKRUHY	- 12 -
3.1.1 <i>Tlakový okruh s odlehčovacím ventilem</i>	- 12 -
3.1.2 <i>Tlakový okruh s otevřeným středem</i>	- 13 -
3.2 PRACOVNÍ OKRUHY	- 15 -
3.2.1 <i>Pracovní okruh podvozku</i>	- 15 -
4. FUNKČNÍ ZKOUŠKY HYDRAULICKÝCH PRVKŮ	- 15 -
4.1 HYDROGENERÁTORY	- 16 -
4.2 HYDRAULICKÉ AKUMULÁTORY	- 19 -
4.3 HYDROMOTORY	- 22 -
4.4 VENTILY PRO ŘÍZENÍ TLAKU	- 25 -
4.5 VENTILY PRO ŘÍZENÍ PRŮTOKU	- 28 -
4.6 ROZVADĚČE	- 28 -
4.7 DALŠÍ PRVKY HYDRAULICKÉHO SYSTÉMU	- 29 -
5. ZKOUŠENÍ HYDRAULICKÉ KAPALINY – TRIBODIAGNOSTIKA	- 31 -
5.1 HYDRAULICKÁ KAPALINA	- 31 -
5.2 TRIBODIAGNOSTIKA	- 31 -
5.3 PŘÍSTROJE PRO MONITOROVÁNÍ STAVU HYDRAULICKÉ KAPALINY FIRMY PARKER [10]	- 32 -
6. VIBROAKUSTICKÁ DIAGNOSTIKA.....	- 33 -
7. ZKOUŠENÍ HYDRAULICKÉ SOUSTAVY PODVOZKU [11].....	- 34 -
7.1 HLAVNÍ OKRUH	- 34 -
7.2 NOUZOVÝ OKRUH	- 34 -
7.3 OKRUH PODVOZKU	- 34 -
7.4 ZKOUŠENÍ HYDRAULICKÉHO SYSTÉMU PODVOZKU.....	- 35 -
8. ZÁVĚR.....	- 37 -
8.1 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY A JINÝCH ZDROJŮ.....	- 38 -
9. PŘÍLOHY:.....	- 39 -
9.1 SCHÉMA HYDRAULICKÝCH SYSTÉMŮ	- 39 -
<i>Schematické značky hydraulických obvodů dle normy ČSN 013722</i>	- 39 -

Zkoušení hydraulických soustav letadel

1. Úvod

Hydraulické soustavy letadel jsou takové soustavy, u kterých se k přenosu energie využívá tlaková energie hydraulické kapaliny. Hydraulické soustavy letadel se používají zvláště pro svou bezpečnost a spolehlivost při provozu. Těmito systémy se ovládají přistávací zařízení, kormidla, brzdy, prostředky pro zvýšení vztlaku a odporu, některé části pohonných jednotek. Síly, které působí na ovládané části letadla, jsou velké, proto je hydraulická soustava zařazena do soustav silových. V leteckém průmyslu a provozu je kladen vysoký požadavek na bezpečnost a spolehlivost, proto je zkoušení hydraulických systémů velice důležité. V praxi je rozšířena preventivní údržba, kdy se periodicky provádí prohlídky hydraulických systémů a jejich výměny nebo opravy. Monitorováním některých parametrů hydraulické soustavy, jako jsou teplota, tlak, kontrola vibrací, zjišťování počtu nečistot v hydraulické kapalině, lze odhadnout opotřebení prvků nebo přímo vadný prvek. Tyto metody preventivní údržby výrazně snižují provozní náklady. Hydraulické soustavy letounů kategorie normální, užitkové, pro sběrnou dopravu osob musí splňovat požadavky, stanovené předpisy letové způsobilosti CS 23.

2. Přehled požadavků kladených na hydraulické systémy

2.1 Předpis CS 23

Podle předpisu CS 23 musí být konstrukce každé hydraulické soustavy navržena tak, aby splňovala následující požadavky:

- Každá hydraulická soustava a její prvky musí vydržet bez deformací zatížení konstrukce, přitom se předpokládá i hydraulické zatížení.
- Letová posádka musí mít k dispozici zařízení, udávající tlak v každé hydraulické soustavě, která zabezpečuje dvě nebo více základních funkcí.
- Musí existovat prostředky, zajišťující, že tlak (včetně přechodového tlaku či hydraulického rázu) v kterékoliv části soustavy nepřekročí bezpečnou mez nad návrhovým provozním tlakem. Tyto prostředky dále zabrání nadměrnému tlaku vznikajícímu z objemových změn kapalin ve všech vedeních, která pravděpodobně zůstanou uzavřena dosti dlouho za podmínek, aby takové změny mohly vzniknout.
- Minimální návrhový výpočtový tlak, při kterém by mohlo dojít k prasknutí nebo k poškození prvků soustavy, musí být 2,5 násobkem provozního tlaku.

Způsobilost každé soustavy musí být prokázána zkouškami zkušebním tlakem. Při tlakové zkoušce nesmí žádná část hydraulické soustavy selhat, nesprávně fungovat nebo vykazovat trvalé deformace. Zkušební zatížení každé soustavy musí být nejméně 1,5 násobek maximálního provozního tlaku této soustavy.

Nádrže a akumulátory hydraulické soustavy mohou být umístěny na motorové straně protipožární stěny, jestliže jsou integrální částí motorové nebo vrtulové soustavy a jestliže

nádrž není tlaková a celkový objem všech nádrží bez tlaku je podle FAR 23 – quat (1,14 dm³), podle CS 23 - 0,946 dm³ nebo méně.

U dvoumotorových letounů musí být příslušenství, které je poháněno motorem, rozděleno mezi dva motory tak, aby porucha některého motoru neohrozila bezpečný provoz vlivem nesprávné funkce takového příslušenství.

2.2 Předpis RTCA/DO-160 D [7]

Dokument *RTCA/DO-160 D* určuje zkušební podmínky, při kterých se provádí zkoušení palubních systémů. Laboratorní podmínky napodobují podmínky skutečné, které se mohou vyskytovat za letového provozu.

Okolní podmínky pro provádění zkoušky

- Teplota: +15 až +35 °C
- Relativní vlhkost vzduchu: nižší než 85%
- Tlak okolního vzduchu: 84 až 107 kPa

Teplota a výška

Zkouška posuzuje, zda je daný prvek schopen dodržovat výkonnostní a funkční charakteristiky při zvolených teplotách a výškách, které se simulují v laboratoři.

Teplotní zkoušky

Obvykle se provádí čtyři druhy zkoušek:

- Zkouška odolnosti vůči nízkým mezním teplotám na zemi a zkouška odolnosti vůči nízkým teplotám za provozu.
- Zkouška odolnosti vůči vysokým mezním teplotám na zemi a zkouška odolnosti vůči vysokým teplotám krátkodobě za provozu.
- Zkouška odolnosti vůči vysokým teplotám za provozu.
- Zkouška výpadku chlazení za letu.

Výškové porušení těsnosti a přetlaková zkouška

Výšková zkouška se provádí při okolní teplotě, zařízení se provozuje v maximálním provozním cyklu. Tlak ve zkušební komoře se snižuje na hodnotu odpovídající maximální provozní výšce.

Dekompresní zkouška je určena pro zařízení instalované na letadle v prostorách s regulací tlaku, u něhož je požadováno, aby bylo dosaženo daného tlaku v prostorách během sestupu a po nouzovém sestupu.

Teplotní změny

Zkouška určuje výkonnost zařízení, které podstupuje teplotním výkyvům mezi extrémně vysokými a extrémně nízkými provozními teplotami.

Vlhkost

Zkouška vlhkosti testuje zařízení, zda může odolávat působení přirozené nebo vyvolané vlhké atmosféry. Vlhkost vyvolává korozi a absorbuje se do hydraulické kapaliny.

Vibrace

Vibrační zkoušky posuzují, zda je dané zařízení schopno plnit výkonnostní normy, když je vystaveno specifickým hladinám vibrací.

Nevýbušnost

Tato zkouška udává požadavky pro letecké palubní prvky, které mohou přijít do styku s hořlavými kapalinami. Zkouška určuje podmínky v prostorách, v kterých se hořlavá kapalina nachází.

Odolnost proti působení kapalin

Zkoušky určují, zda jsou materiály použité v konstrukci zařízení odolné vůči působení kapalin. Provádí se pouze u palubních prvků, kde se daná kapalina nachází.

Písek a prach

Zkouší se zařízení proti působení foukaného písku a prachu unášeného vzduchem malou rychlostí. U hydraulických prvků mohou nečistoty poškozovat ložiska a kapalinu.

3. Základní hydraulické okruhy

Hydraulická instalace v letadle se skládá z hydraulických okruhů. Základní hydraulické okruhy lze dělit na:

- Tlakové okruhy
- Nouzové okruhy
- Pracovní okruhy

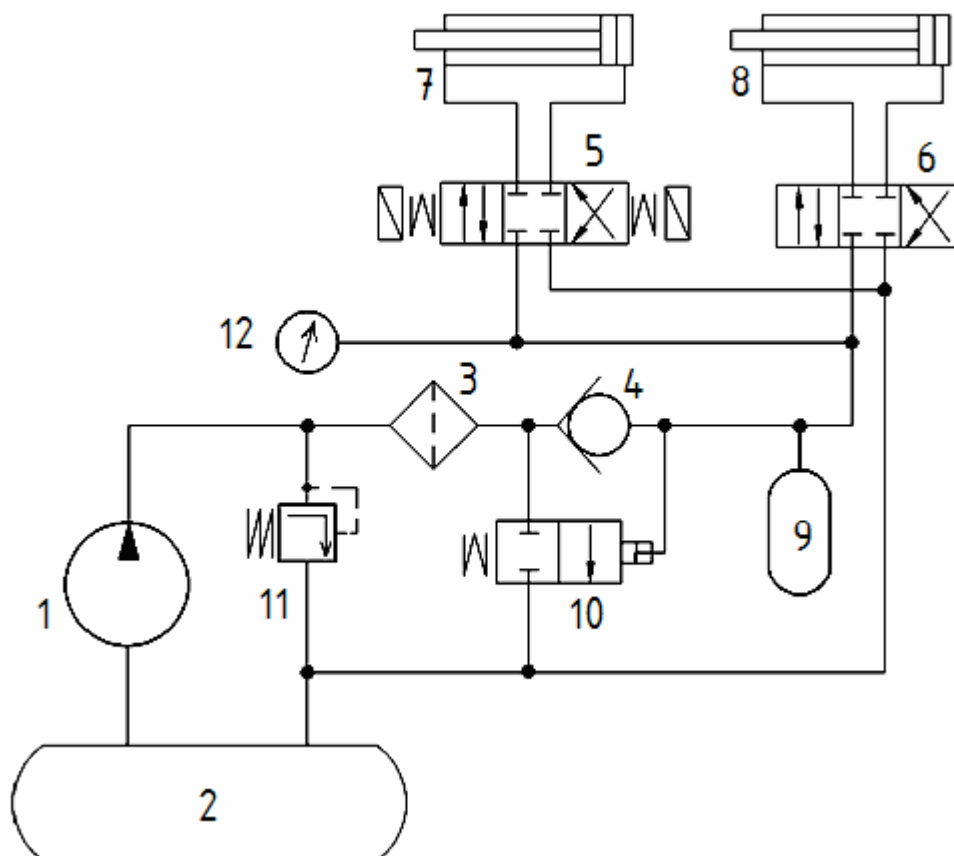
3.1 Tlakové okruhy

Tlakové okruhy zajišťují, aby účinnost přeměny mechanické energie na tlakovou byla konstantní při různé spotřebě tlakové energie hydromotory. Výkon se reguluje pomocí tlaku, průtoku nebo obou veličin.

3.1.1 Tlakový okruh s odlehčovacím ventilem

Podle *obr. 3.1* hydrogenerátor 1 nasává kapalinu z přetlakované nádrže 2 a dodává jí přes čistič 3, jednosměrný ventil 4 a rozvaděč 5 a 6 do přímočarých hydromotorů 7 a 8. Pokud přímočaré hydromotory neodebírají žádnou energii, doplňuje se hydraulický akumulátor 9 tlakovou kapalinou. Po dosažení maximálního tlaku se přepne odlehčovací ventil 10 a spojí

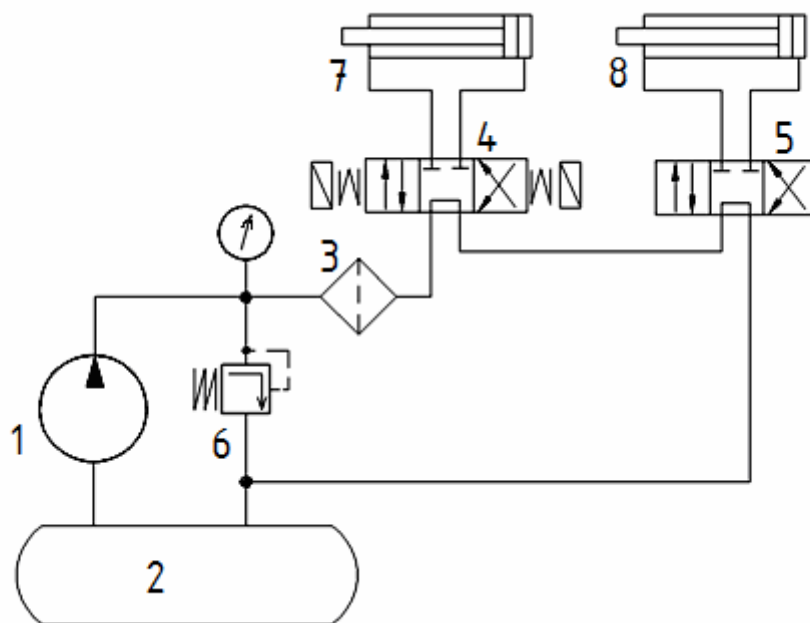
výtlačnou větev se zpětnou větví a dojde k poklesu tlaku za hydrogenerátorem, který dále pracuje s velmi malým příkonem. Pojišťovací ventil 11 ochraňuje okruh před nechtěným zvýšením tlaku. Tlak je měřen manometrem 12.



Obr. 3.1

3.1.2 Tlakový okruh s otevřeným středem

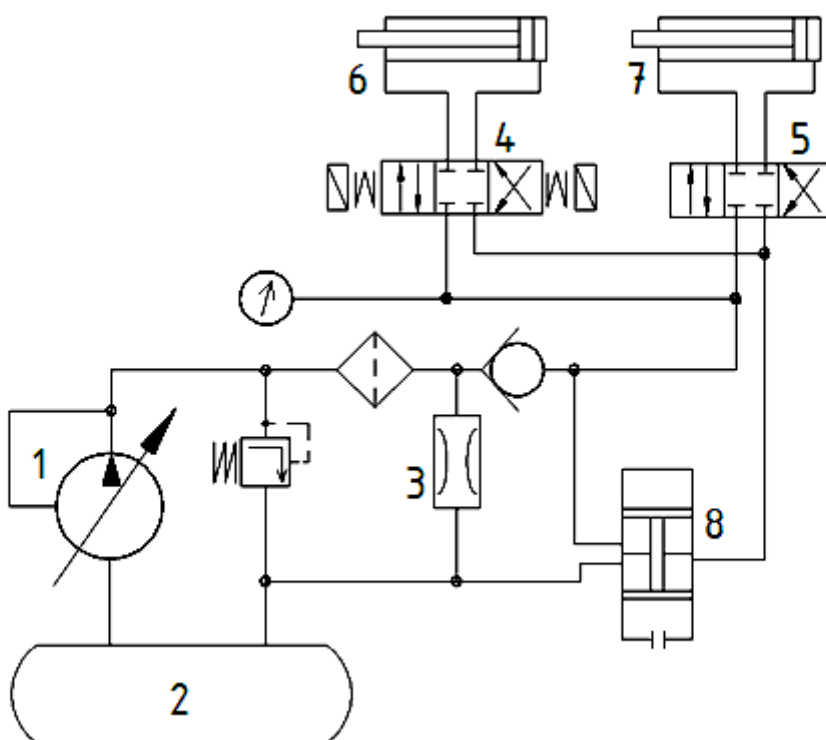
Rozvaděče 4 a 5 mají v neutrální poloze propojenou výtlačnou a zpětnou větev. Hydrogenerátor je odlehčen tím, že průtok vede zpět do nádrže 2. Při přepnutí rozvaděče 4 a 5 je dodávána kapalina do přímočarých hydromotorů 7 nebo 8. Účinnost tohoto okruhu je vysoká, nevýhoda je v tom, že by hydromotory neměly pracovat současně.



Obr. 3.2

3.1.3 Tlakový okruh s regulačním hydrogenerátorem

Tento okruh využívá hydrogenerátor s regulací průtoku 1. Při dosažení tlaku snižuje hydrogenerátor průtok. Pokud pracovní válce 6 a 7 nepracují, je zajištěno dobré mazání a chlazení hydrogenerátoru. Dvoukomorový akumulátor 8 vyrovnává rozdíl mezi průtokem hydrogenerátoru a průtokem do nádrže 2.

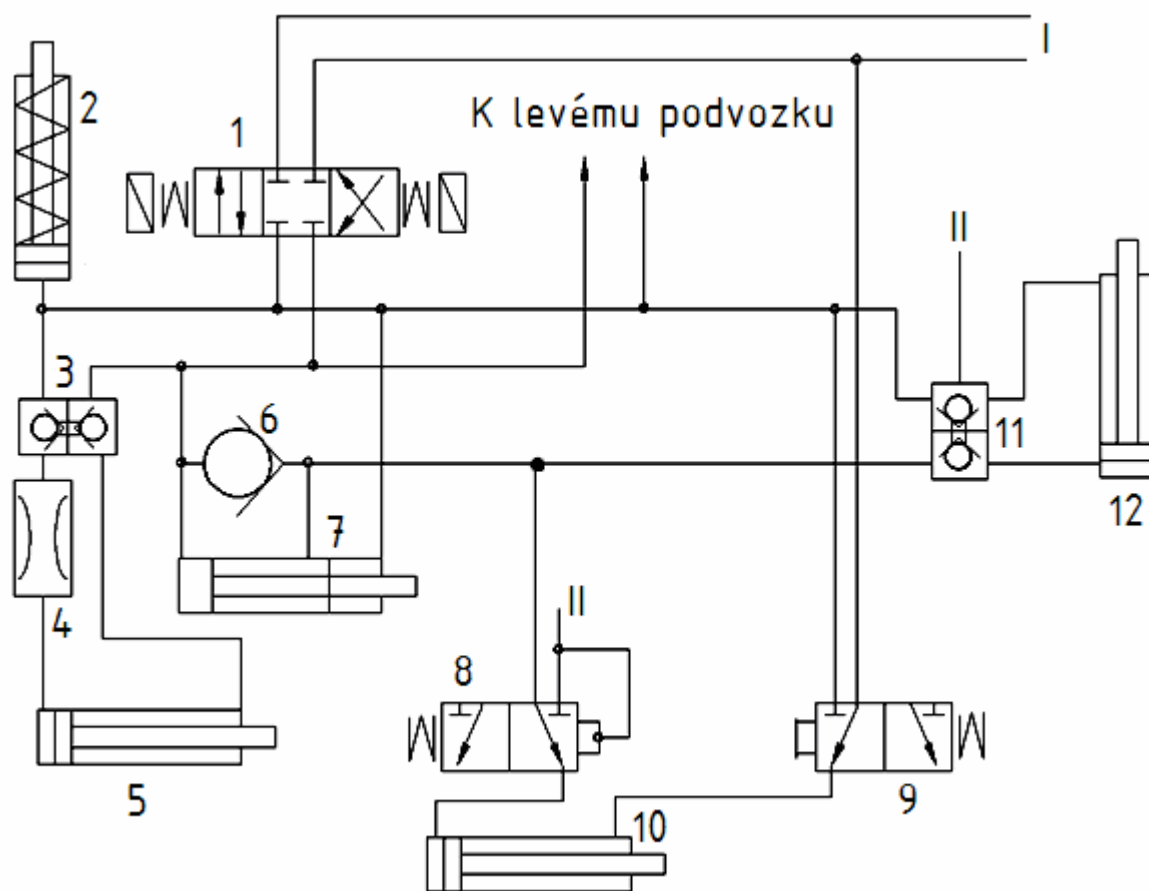


Obr. 3.3

3.2 Pracovní okruhy

3.2.1 Pracovní okruh podvozku

Pracovní okruh podvozku zajišťuje následnost pohybů pístnic pracovních válců, otevření krytů podvozků a jejich uzamčení. Rozvaděč 1 připojuje tlakový okruh I na pracovní válec předové nohy 5, na válec krytu 10, na válec hlavní pravé nohy podvozku 12. Válec 2 brzdí kola v zatažené poloze. Krajní polohy zajišťují hydraulické a mechanické zámky 3 a 11. Válec 7 odemyká mechanický zámek zadržující kolo v zatažené poloze. Následnost pohybů zajišťuje blokovací ventil 9. Přepínač 8 otevírá kryt podvozku nouzovým okruhem II a vysunuje i hlavní a předový podvozek.



Obr. 3.4

4. Funkční zkoušky hydraulických prvků

Hydraulické soustavy se skládají z jednotlivých prvků, propojených mezi sebou potrubím nebo hadicemi. V této kapitole bude věnována pozornost hlavním prvkům z hlediska jejich funkce v soustavě a parametrům, které musí splňovat pro zajištění dobré funkce.

4.1 Hydrogenerátory

Hydrogenerátory jsou zařízení, která přeměňují energii mechanickou na tlakovou energii hydraulické kapaliny. Slouží k vytváření průtoku kapaliny o určitém tlaku.

Základní parametry hydrogenerátoru

Výstupní tlak hydrogenerátoru p_2 – je dán silovým zatížením hydromotorů a odporem hydraulické větve.

Průtok hydrogenerátorem Q – velikost závisí na otáčkách n a na geometrickém objemu V_G

Účinnost hydrogenerátoru η_G – definovaná jako poměr výstupního a vstupního výkonu.

Požadavky, které by měl hydrogenerátor splňovat

- Průtok by měl mít vysokou rovnoměrnost
- Vnitřní odpor R_v by měl být co nejmenší
- Svodový odpor R_s by měl být co největší
- Hydrogenerátor by měl být vysokootáčkový a měl by pracovat s vysokými tlaky na výstupu, měl by být kompaktní a mít nízkou hmotnost
- Hydrogenerátor by měl dosahovat vysoké životnosti, měl by mít klidný a tichý chod

R_v ... Odpor proti pohybu kapaliny v hydrogenerátoru

R_s ... Odpor způsoben netěsnostmi pracovních prostor hydrogenerátoru

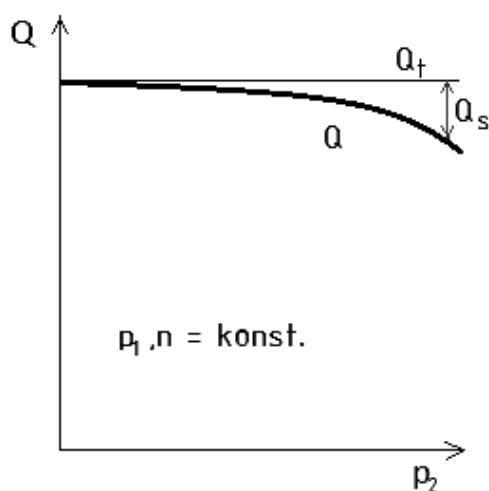
Závislosti určující technický stav hydrogenerátoru

$$Q_G = Q_G(p_G) \text{ při } n_G = \text{konst.} \quad (1)$$

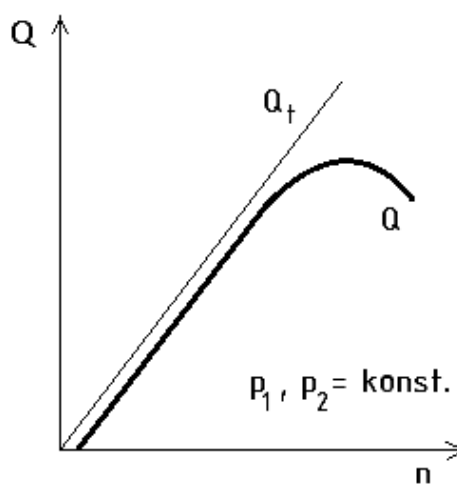
$$Q_G = Q_G(n_G) \text{ při } p_G = \text{konst.} \quad (2)$$

$$\eta_{QG} = \eta_{QG}(p_G) \text{ při } n_G = \text{konst.} \quad (3)$$

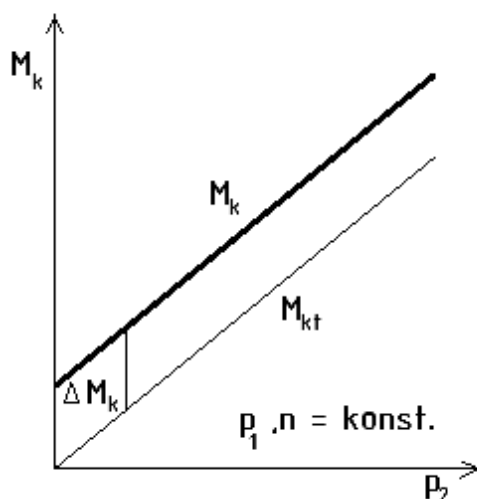
Charakteristiky hydrogenerátoru



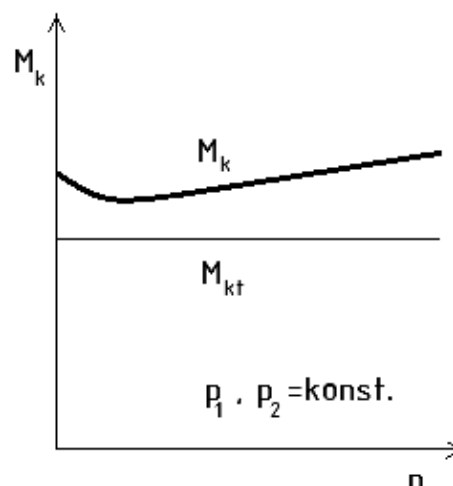
Obr. 4.1



Obr. 4.2



Obr. 4.3



Obr. 4.4

Krouticí moment na hřídeli je větší než teoretický krouticí moment o velikost, která je nutná pro překonání třecích odporů.

Q ... Skutečný průtok hydrogenerátorem zvolený pro určitý tlak

Q_t ... Teoretický průtok hydrogenerátorem; pro jeho výpočet je třeba znát geometrický objem hydrogenerátoru V_G

Q_s ... Svodový průtok

M_k ... Skutečný krouticí moment

M_{kt} ... Teoretický krouticí moment

V_G ... Geometrický objem hydrogenerátoru. Pro dobré zaplňování prostoru V_G kapalinou musí být zajištěno, že se při malých otáčkách musí blížít výtláčný tlak tlaku sacímu. U Pístového hydrogenerátoru, lze geometrický objem spočítat jako součin obsahu plochy pístu, zdvihu a počtu pístů. Lze ho určit i ze dvou měření průtoku při různých otáčkách a vypočítat ze vztahu:

$$V_G = \frac{\Delta Q}{\Delta n} = \frac{Q_{G2} - Q_{G1}}{n_{G2} - n_{G1}} \quad (4)$$

Celková účinnost hydrogenerátoru

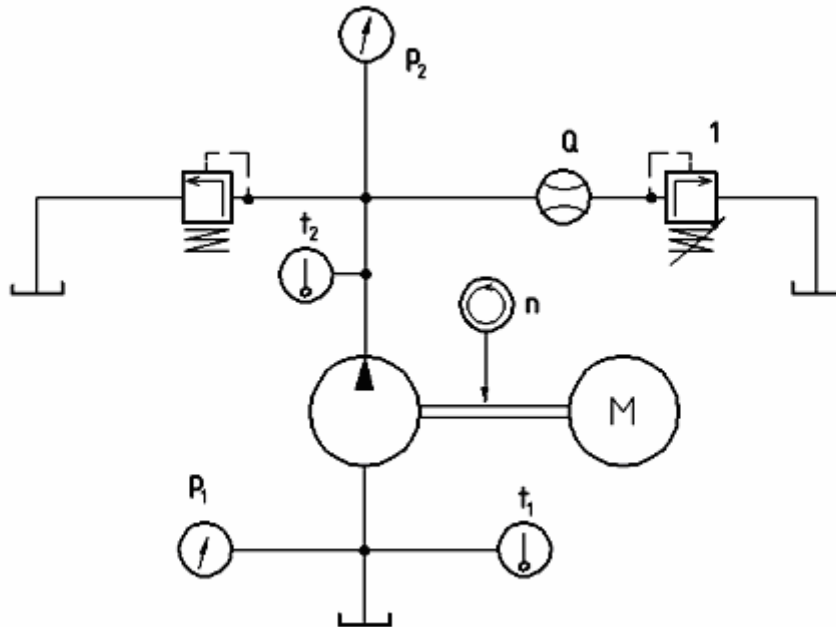
$$\eta = \frac{p_2}{p_1} = \frac{Q(p_2 - p_1)}{M_k \omega} = \frac{Q(p_2 - p_1)}{2M_k \pi n} \cdot \frac{V_G}{V_G} \quad (5)$$

$$\eta = \frac{Q}{V_G n} \cdot \frac{(p_2 - p_1)V_G}{2\pi M_k} = \eta_Q \cdot \eta_p \quad (6)$$

$$\eta_Q = \frac{Q}{V_G n} \quad \dots \text{průtoková účinnost hydrogenerátoru}$$

$$\eta_p = \frac{(p_2 - p_1)V_G}{2\pi M_k} \dots \text{tlaková účinnost hydrogenerátoru}$$

Zkoušení parametrů hydrogenerátoru



Obr. 4.5

Měření charakteristik hydrogenerátoru se provádí podle výše uvedeného schématu (Obr. 4.5). Tlak a teplota se měří na vstupu i výstupu z hydrogenerátoru. Průtok se měří průtokoměrem. Otáčky se měří na vstupní hřídeli hydrogenerátoru. Není-li mezi hnacím motorem a vstupní hřídelí hydrogenerátoru žádný mechanický převod, měří se otáčky přímo na hřídeli motoru. Tlaková zátěž se získá pomocí regulovatelného přepouštěcího ventilu 1. Toto měření se dá využít u regulačních i neregulačních hydrogenerátorů.

Zubové hydrogenerátory

V hydraulických systémech jsou zubové hydrogenerátory rozšířeny především u jednoduchých hydraulických systémů. Pracují na principu záběru dvou ozubených kol. Hydraulická kapalina je nasávána do zubových mezer a je tlačena ze sacího prostoru do prostoru výtlačného. Velkými výhodami zubových hydrogenerátorů jsou nízká hmotnost, malé rozměry a vysoká výkonnost. Zubové hydrogenerátory jsou konstrukčně velice jednoduché a vysoce spolehlivé. Oprava vadných zubových hydrogenerátorů bývá dosti jednoduchá. Nevýhoda zubových hydrogenerátorů je taková, že regulace průtoku je možná v podstatě pouze změnou otáček.

Měření účinnosti nouzového hydrogenerátoru [6]

Při poruše hydrogenerátorů, když klesne tlak v hydraulickém obvodu, musí zůstat letadlo ovladatelné a musí být zachována funkce nejdůležitějších ovládacích systémů. V tuto chvíli se spouštějí nouzové hydrogenerátory, které jsou poháněny například vzduchovou turbínou nebo stejnosměrným elektromotorem, napájeným z palubního akumulátoru letadla.

Tyto hydrogenerátory zaručí ovladatelnost po dobu od začátku poruchy po dobu nouzového přistání.

Pro změření účinnosti nouzového hydrogenerátoru je potřeba stanovit hydraulický výkon dodávaný nouzovým hydrogenerátorem do hydraulické instalace P_2 a příkon stejnosměrného elektromotoru pohánějící hydrogenerátor P_1 .

Účinnost nouzového hydrogenerátoru

Výstupní výkon hydraulické kapaliny:

$$P_2 = Q(p_2 - p_1) \quad (7)$$

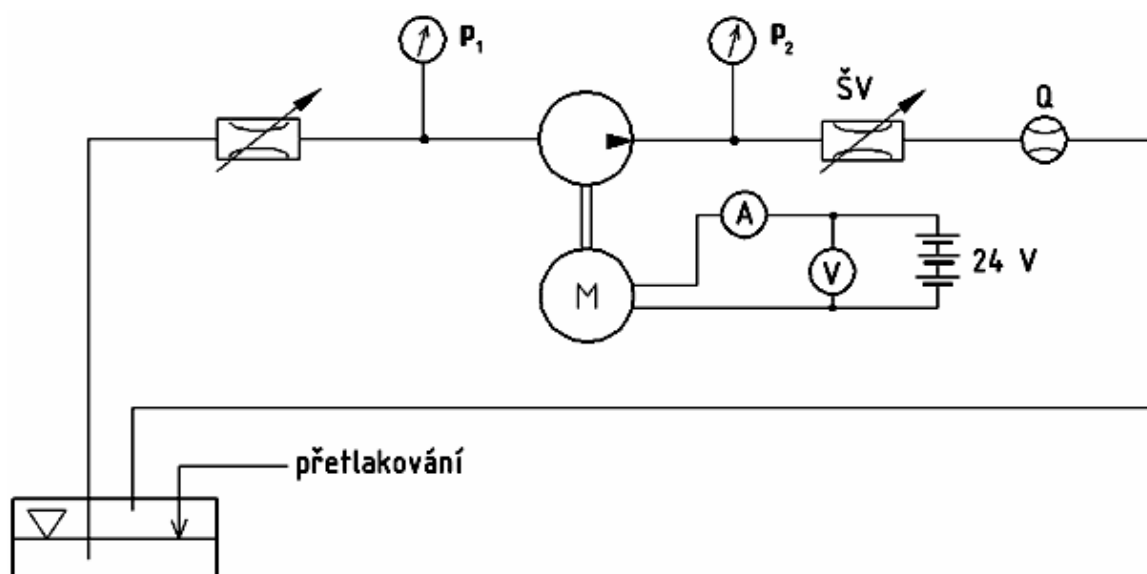
Příkon elektromotoru:

$$P_1 = UI \quad (8)$$

Celková účinnost nouzového hydrogenerátoru:

$$\eta_c = \frac{P_2}{P_1} = \frac{Q(p_2 - p_1)}{UI} \quad (9)$$

Zkoušení hydraulického nouzového hydrogenerátorů



Obr. 4.6

Manometry p_1 a p_2 měří tlakový spád na hydrogenerátoru. Výstupní tlak je regulován škrticím ventilem ŠV. Průtok Q je měřen průtokoměrem. Příkon elektromotoru je spočten a jednotlivé veličiny: napětí a proud jsou měřeny voltmetrem a ampérmetrem v elektrickém obvodu.

4.2 Hydraulické akumulátory

Hydraulické akumulátory jsou zařízení měnící tlakovou energii hydraulické kapaliny na deformační energii. K akumulování tlakové energie se používá dusík nebo vzduch, který je uzavřen v prostoru odděleném pístem nebo pryžovou manžetou (vakem). Akumulátory slouží jako zdroj tlakové energie v případě výpadku hydrogenerátoru nebo při velké spotřebě tlakové energie. V případě vzniku tlakových pulsací a hydraulických rázů je akumulátor tlumí. Hydraulický akumulátor se připojuje paralelně k vysokotlaké větvi hydraulické soustavy.

Základní parametry hydraulického akumulátoru

Celkový objem V_0 – krajní poloha pístu nebo vaku, v této poloze ustává proud hydraulické kapaliny z akumulátoru.

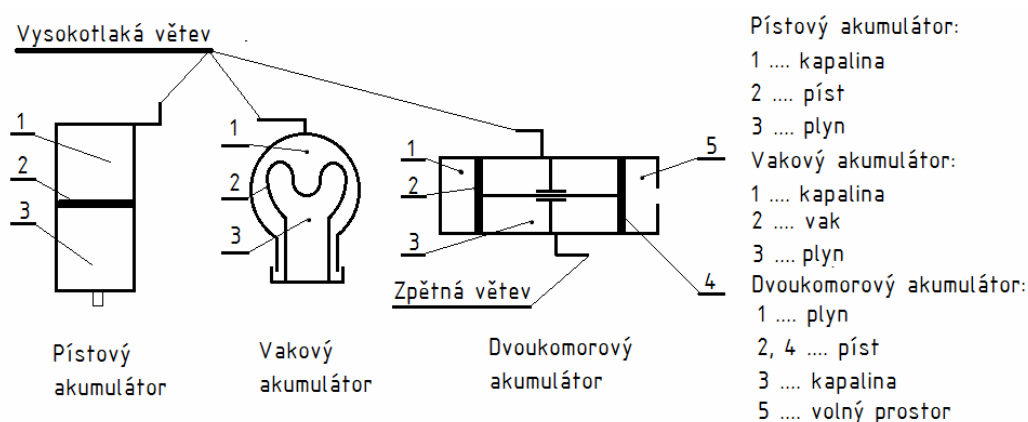
Plnicí tlak p_0 v objemu V_0 – akumulátor je naplněn plynem při přetlaku kapaliny rovnému nule.

Teplota T_0 – odpovídá teplotě plynu při naplnění nulovým tlakem p_0

Velikost polytropického exponentu n – je závislá na rychlosti plnění nebo vyprazdňování akumulátoru kapalinou.

Typy hydraulických akumulátorů z hlediska konstrukce a tvaru

- Pístové
- Vakové
- Dvoukomorové



Obr. 4.7

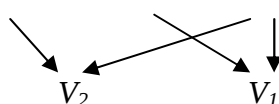
Pracovní kapacita akumulátoru

Pracovní kapacita akumulátoru je objem kapaliny, který se dá využít pro práci v hydraulické soustavě. Značí se W_A . Pro dobrou práci hydraulického systému jsou definovány (určeny) dva tlaky:

Maximální tlak p_{max} – maximální tlak v soustavě, při kterém ještě bezpečně a spolehlivě pracují všechny komponenty.

Minimální tlak p_{min} – minimální tlak v soustavě, při kterém už začaly spolehlivě pracovat všechny komponenty. Při poklesu tlaku pod tuto hodnotu se zapínají nouzové okruhy.

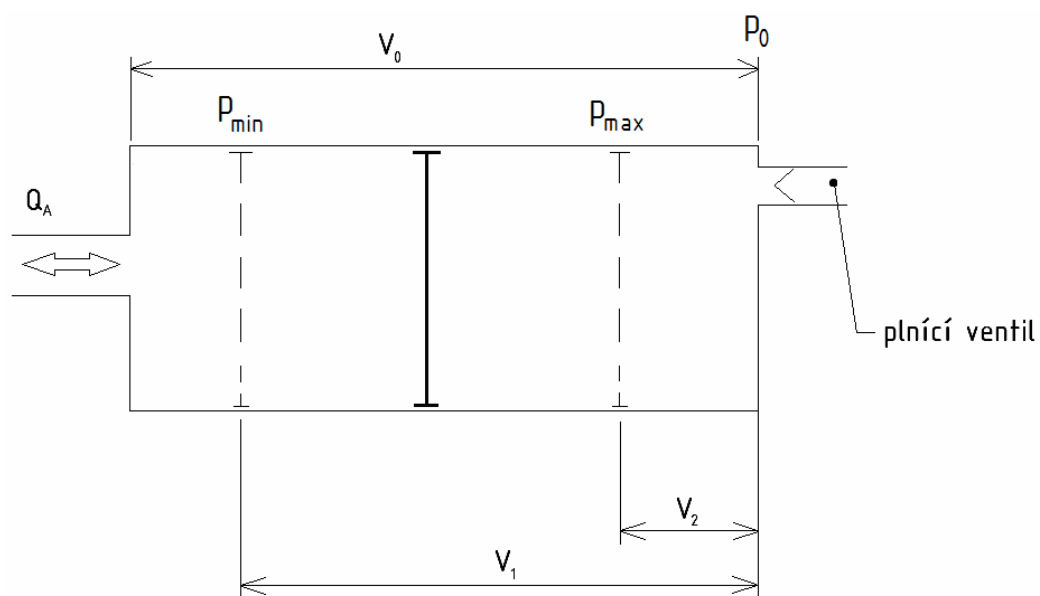
$$p_{max} \cdot V_2^n = p_{min} \cdot V_1^n = p_0 \cdot V_0^n \quad (10)$$



$$\Rightarrow W_A = V_1 - V_2 \quad (11)$$

$$W_A = V_0 \left[\left(\frac{p_0}{p_{min}} \right)^{\frac{1}{n}} - \left(\frac{p_0}{p_{max}} \right)^{\frac{1}{n}} \right] \quad (12)$$

p_{min} ... Minimální tlak
 p_{max} ... Maximální tlak
 V_0 ... Celkový objem plynové části
 p_0 ... Plnicí tlak
 n ... Polytropický exponent



Obr. 4.8

Hydraulické akumulátory se podrobují podobným zkouškám jako ostatní tlakové nádoby. Provádí se tlakové zkoušky a zkoušky těsnosti, stanovuje se experimentálně pracovní kapacita akumulátoru W_A a její závislost na plnicím tlaku p_0 a rychlosti průtoku Q_A – rychlosti odběru i doplňování.



Obr. 4.9 [8]- Poruchy hydraulických akumulátorů

4.3 Hydromotory

Hydromotory jsou hydrostatické převodníky, které mění tlakovou energii hydraulické kapaliny na energii mechanickou. Jsou dva základní typy hydromotorů.

Typy hydromotorů:

- Přímočaré (pracovní válce)
- Rotační

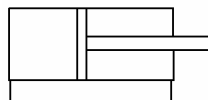
Rotační hydromotory se v leteckém průmyslu používají velice zřídka.

Přímočaré hydromotory

Mezi výhody hydromotorů patří malé rozměry a nízká hmotnost vzhledem k přenášenému výkonu, klidný chod, vysoká spolehlivost a jednoduché nastavení síly. Princip přímočarého hydromotoru je takový, že kapalina s tlakem p působí na píst o obsahu S . Píst vyvolává sílu F a pohybuje se rychlostí v .

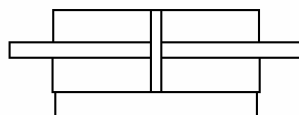
Typy přímočarých hydromotorů

Hydromotor s jednostrannou pístnicí:



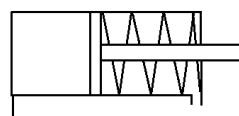
Obr. 4.10

Hydromotor s oboustrannou pístnicí:



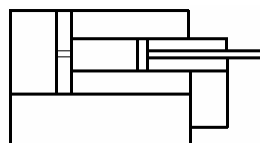
Obr. 4.11

Hydromotor s pružinou (jednostrannou pístnicí):



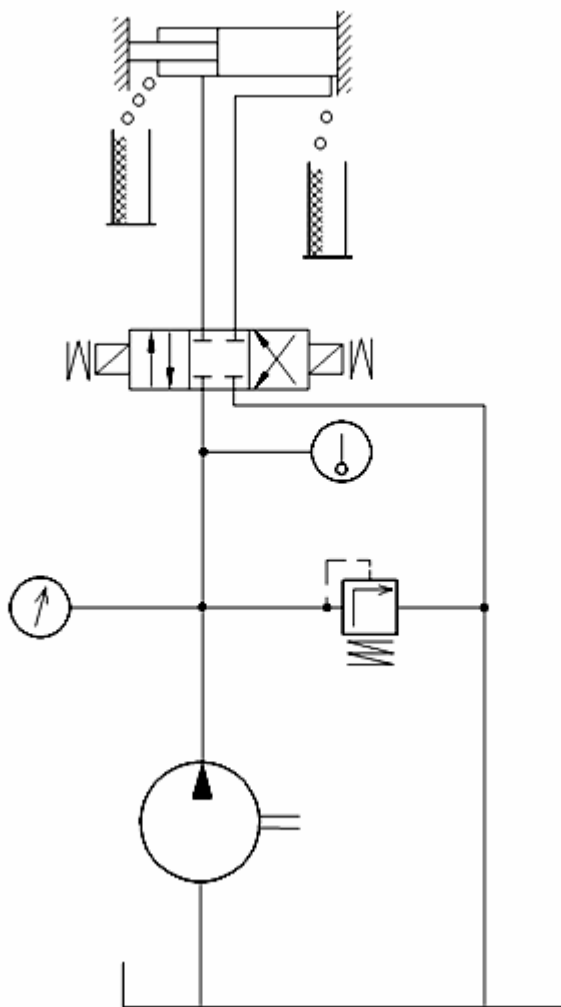
Obr. 4.12

Teleskopický hydromotor:



Obr. 4.13

Měření průsaku přímočarého hydromotoru

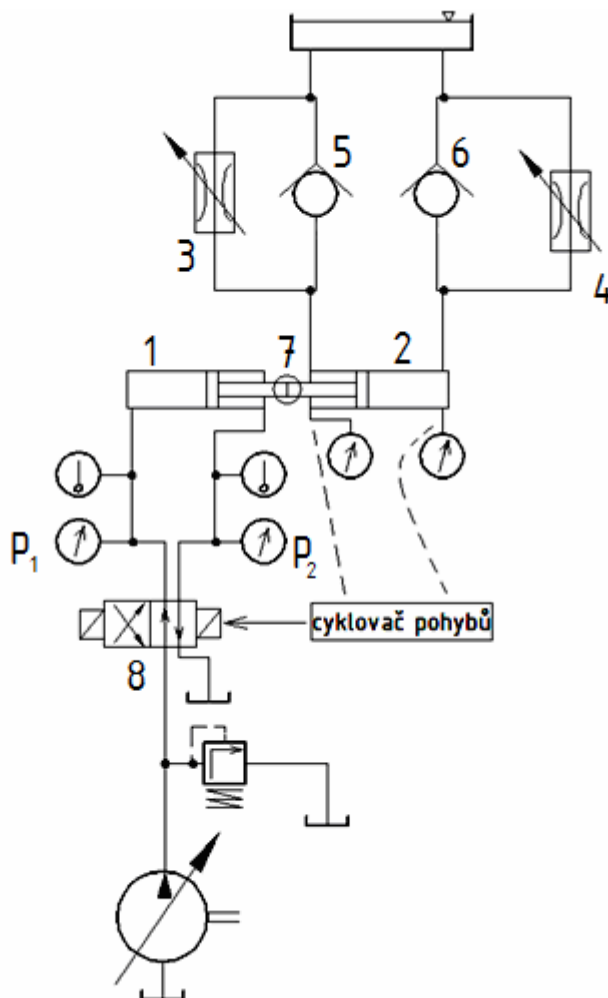


Obr. 4.14

Důležitá je kontrola těsnosti přímočarého hydromotoru. Je-li u letounu zjištěna vnější netěsnost kteréhokoliv hydraulického prvku, je letoun neprovozuschopný. Těsnost může být ovlivněna především kvalitou montáže. Měření průsaku se provádí po výrobě a kompletaci válce.

Zjišťování parametrů přímočarého hydromotoru

Pro výpočet účinnosti a při zkoušce životnosti je důležité měřit sílu na pístnici, rychlost pohybu pístnice a průtok a tlakový spád na hydromotoru.



Obr. 4.15

Měřený hydromotor 1 je zatížen hydromotorem 2, který je zásobován kapalinou z nádrže přes škrticí ventily 3 a 4. Přes zpětné ventily 5 a 6 se kapalinou z nádrže plní protilehlý poloprostor hydromotoru. Mezi hydromotory 1 a 2 je vložen dynamometr 7, který měří skutečnou sílu F_s . Teoretická síla F_p se vypočítá z činné plochy S a tlakového spádu p_1 a p_2 .

$$F_p = S(p_1 - p_2) \quad (13)$$

Tlaková účinnost přímočarého hydromotoru

$$\eta_p = \frac{F_s}{F_p} = \frac{F_s}{S(p_1 - p_2)} \quad (14)$$

Rychlost pohybu přímočarého motoru lze měřit s pomocí tachodynamu s převodem přímočarého pohybu na rotační. Zkouška životnosti se provádí při nepřetržité zátěži hydromotoru, které se dosahuje přepínáním rozvaděče 8 koncovými vypínači s narážkami na pístnici.

Tachodynamo - rotační elektrický stroj používaný pro měření otáček, který generuje stejnosměrné napětí. Výstupní hodnota napětí se lineárně mění s otáčkami rotoru tachodynamu.

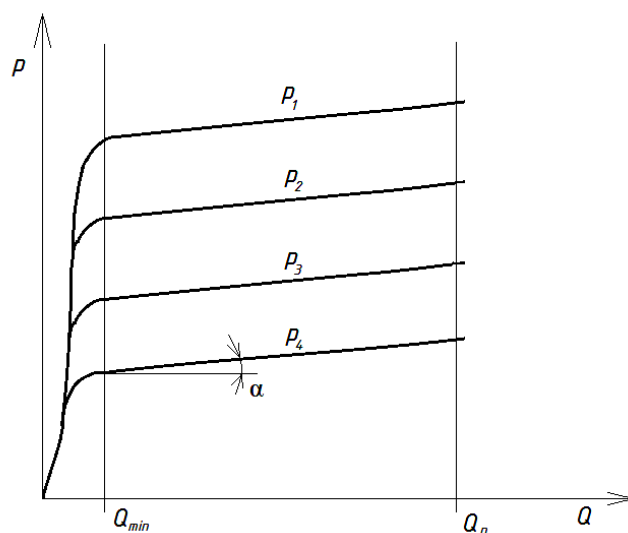
4.4 Ventily pro řízení tlaku

Mezi ventily pro řízení tlaku patří redukční, pojistné a přepouštěcí ventily. Konstrukčně jsou tyto ventily velice podobné. K ověřování správnosti jejich funkce se používá měření statické charakteristiky, která je vyjádřena $p - Q$ charakteristikou. Všechny zmíněné ventily se používají pro řízení tlaku, každý z nich má však odlišnou funkci v hydraulické soustavě.

Zkoušení přepouštěcího ventilu

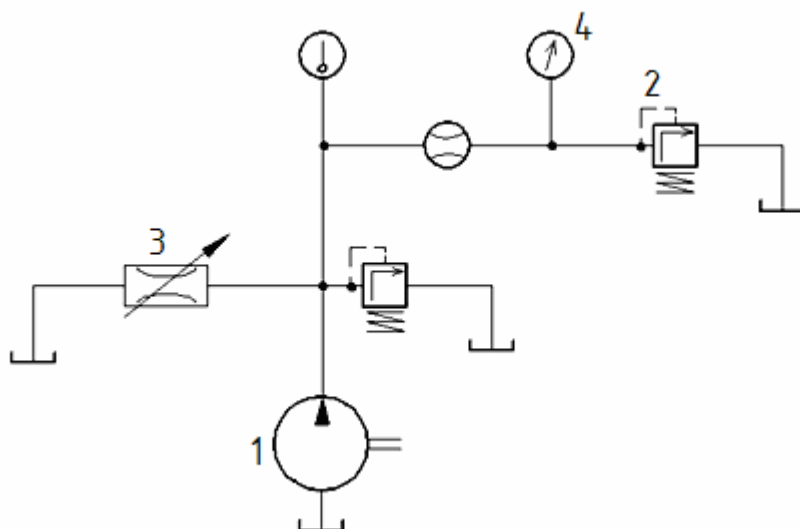
Funkcí přepouštěcího ventilu je udržovat konstantní tlak v hydraulickém systému, když se průtok neustále mění. U statické charakteristiky přepouštěcího ventilu je důležitá oblast minimálního průtoku Q_{min} a úhel sklonu charakteristiky v oblasti Q_{min} až Q_n (v rozsahu $Q_{min} - Q_n$).

Charakteristika přepouštěcího ventilu



Obr. 4.16

Měření charakteristik přepouštěcího ventilu



Obr. 4.17

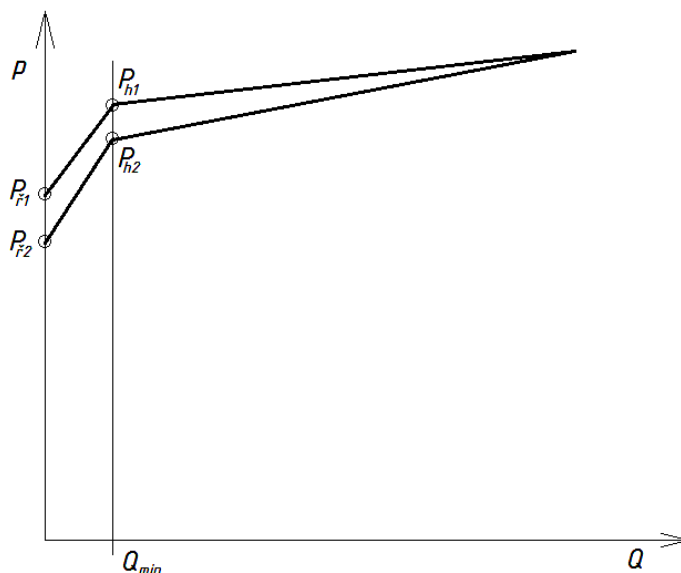
Jako zdroj tlaku slouží hydrogenerátor 1 s konstantním průtokem, k němuž je zapojen škrťací ventil 3, který slouží k řízení průtoku pro měření ventilu 2. Měření probíhá tak, že při plném průtoku, když je ventil 3 uzavřený, se nastaví ventilem 2 požadovaná hodnota tlaku. Potom se otevře ventil 3 na plný průtok a postupně se uzavírá. K určitým hodnotám průtoku na průtokoměru se odečítají hodnoty tlaku na manometru 4.

Zkoušení pojistného ventilu

Pojistný ventil chrání hydraulický systém před nedovoleným zvyšováním tlaku. Pracuje na principu porovnávání síly od tlaků kapaliny a předepnuté pružiny.

Při měření pojistného ventilu je důležité sledovat omezený rozsah průtoku od 0 do Q_{min} , to je oblast otevírání a zavírání ventilu. Měřit lze na stejném obvodu jako přepouštěcí ventil. Uzavíráním škrťacího ventilu 3 se zjišťuje hodnota tlaku, při které se začne nejdříve otevírat řídicí (p_{r1}) a potom hlavní (p_{h1}) ventil. Po úplném uzavření ventilu 3 se opět otevírá a zjišťují se tlaky uzavření hlavního (p_{h2}) a potom řídicího (p_{r2}) ventilu.

Charakteristika nepřímého řízení pojistného ventilu



Obr. 4.18

Zkoušení redukčního ventilu

Redukční ventil snižuje tlak kapaliny na požadovanou hodnotu. Používá se tam, kde je pro správnou funkci některých okruhů potřeba zajistit nižší tlak, s kterým daný okruh pracuje.

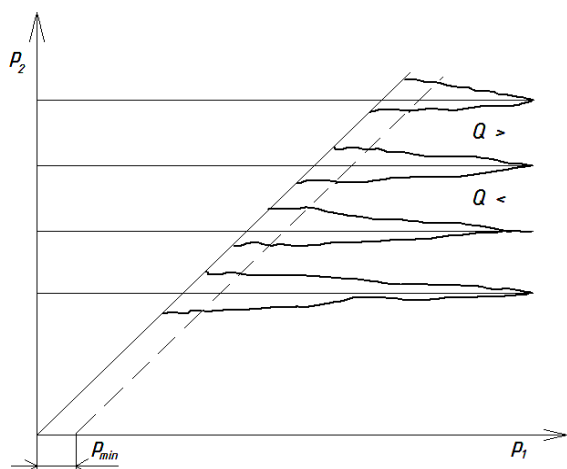
Při měření redukčního ventilu jsou důležité dvě základní vlastnosti. Jedna je udržet konstantní tlak na výstupu p_2 , když se mění průtok Q . Druhá je udržet konstantní tlak na výstupu p_2 , když se mění tlak na vstupu p_1 při konstantním průtoku Q .

Závislosti určující stav redukčního ventilu

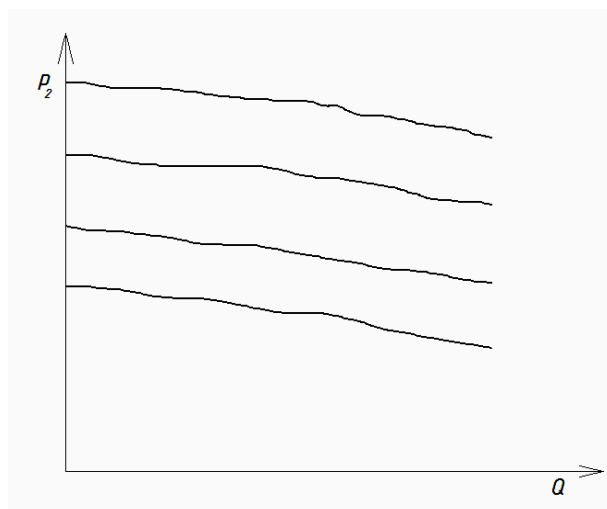
$$p_2 = p_2(Q)_{p_1} \quad (15)$$

$$p_2 = p_2(p_1)_Q \quad (16)$$

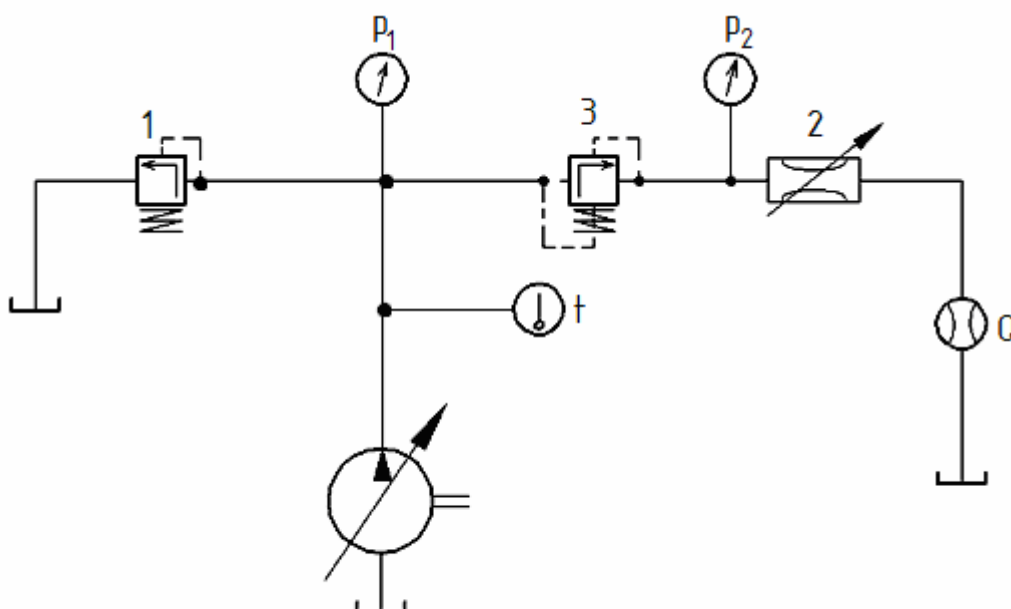
Statické charakteristiky redukčního ventilu



Obr. 4.19



Obr. 4.20



Obr. 4.21

Při měření charakteristiky $p_2 = p_2(Q)_{p_1}$ je konstantní tlak udržován přepouštěcím ventilem 1. Průtok je řízen škrticím ventilem 2. Vstupní tlak p_1 a redukovaný tlak p_2 se měří manometrem, průtok na výstupu průtokoměrem. Změnami vstupního tlaku p_1 z hodnoty nastavené na redukčním ventilu do maximální hodnoty a zase zpět na původní hodnotu se měří závislost redukovaného tlaku p_2 při různých průtocích Q . Maximální možný tlak p_{min} je v grafu vyznačen čárkovanou čarou. Odklon charakteristik od ideálního nastaveného tlaku p_2 je způsoben rozdílným nastavením průtoku.

4.5 Ventily pro řízení průtoku

Mezi ventily pro řízení průtoku patří škrťací ventily. Průtok škrťacím ventilem se mění změnou průřezu. Tyto prvky jsou spolehlivé a téměř bezporuchové. Zkoušení takovýchto prvků se v průběhu provozu prakticky neprovádí.

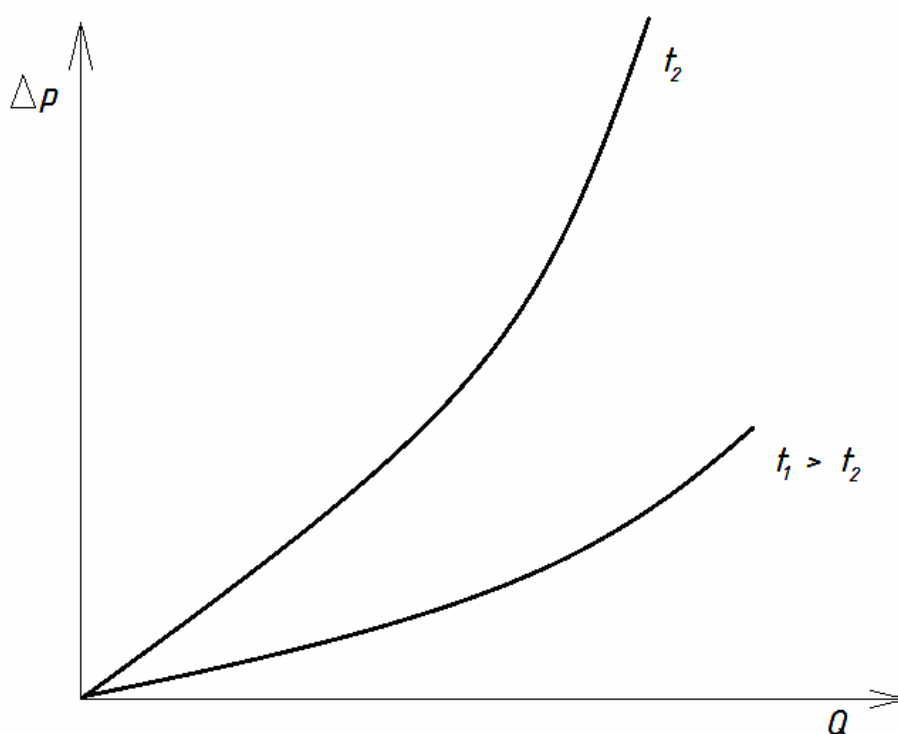
4.6 Rozvaděče

Rozvaděče slouží k řízení směru kapaliny do hydromotoru. U hydraulických soustav letadel jsou obvykle dvupolohové nebo třípolohové. Dvupolohový zastavuje nebo otáčí tok kapaliny do hydromotoru. Třípolohový má neutrální polohu, která umožňuje blokování hydromotoru v libovolné poloze.

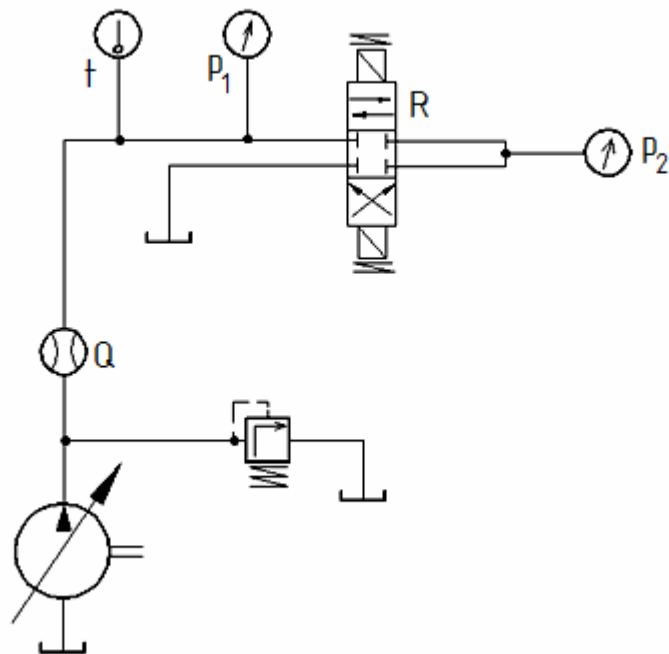
Měří se tlakové ztráty v závislosti na viskozitě hydraulické kapaliny. Viskozita kapaliny se mění s teplotou, proto měření probíhá v rozmezí -40 až 120°C.

$$\text{Tlaková ztráta: } \Delta p = QR \quad (17)$$

Měření rozvaděče



Obr. 4.22



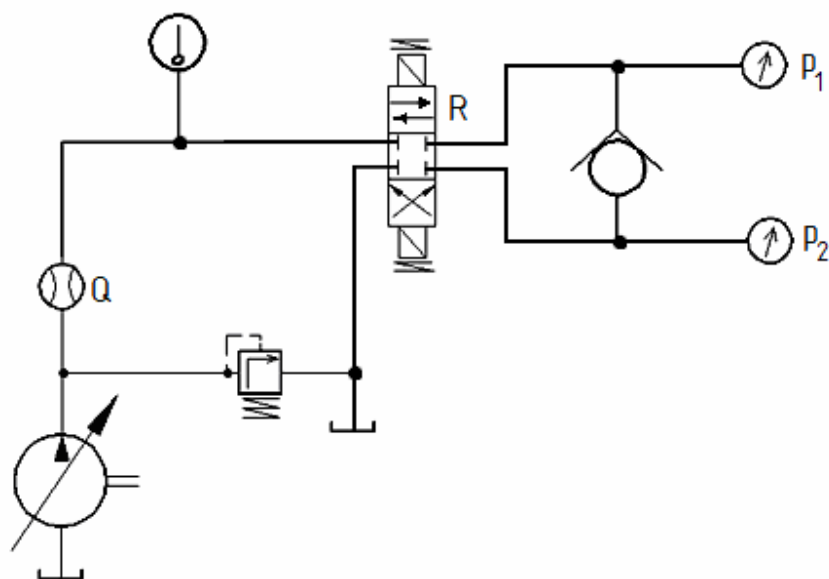
Obr. 4.23

Regulačním hydrogenerátorem se reguluje průtok měřený rozvaděčem R . Tlaková ztráta $\Delta p = p_1 - p_2$ se měří jako rozdíl tlaku na manometrech. Ze změřených hodnot průtoků a rozdílů tlaku se sestaví $p - Q$ charakteristika, teplota je parametrem.

4.7 Další prvky hydraulického systému

Mezi další prvky hydraulické soustavy patří jednosměrné ventily, filtry a vedení hydraulické kapaliny. Zkouší se obdobně jako rozvaděče. Měří se tlaková ztráta na prvku z rozdílu tlaku před prvkem a za prvkem.

Zkoušení jednosměrného ventilu

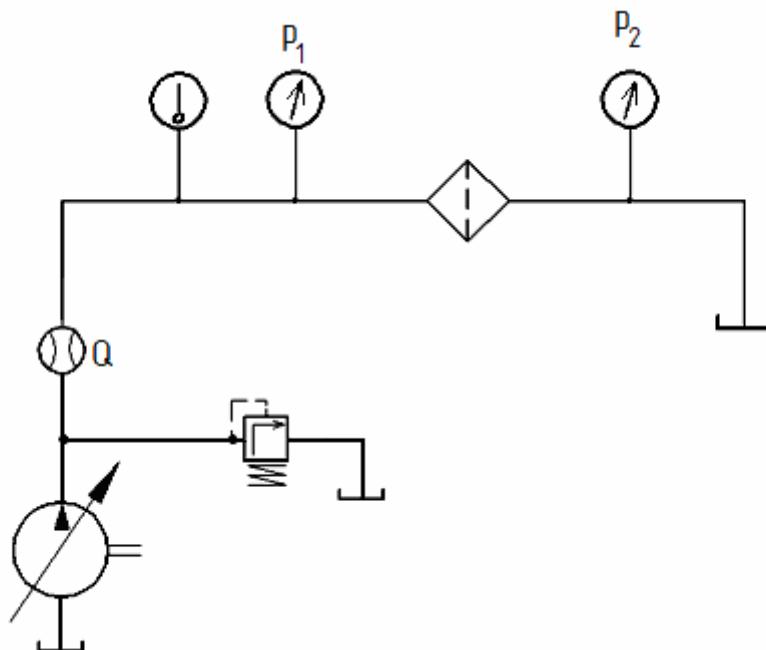


Obr. 4.24

Jednosměrný ventil by se měl zkoušet na tlakovou ztrátu nejen v propustném, ale i v nepropustném směru (Obr. 4.23).

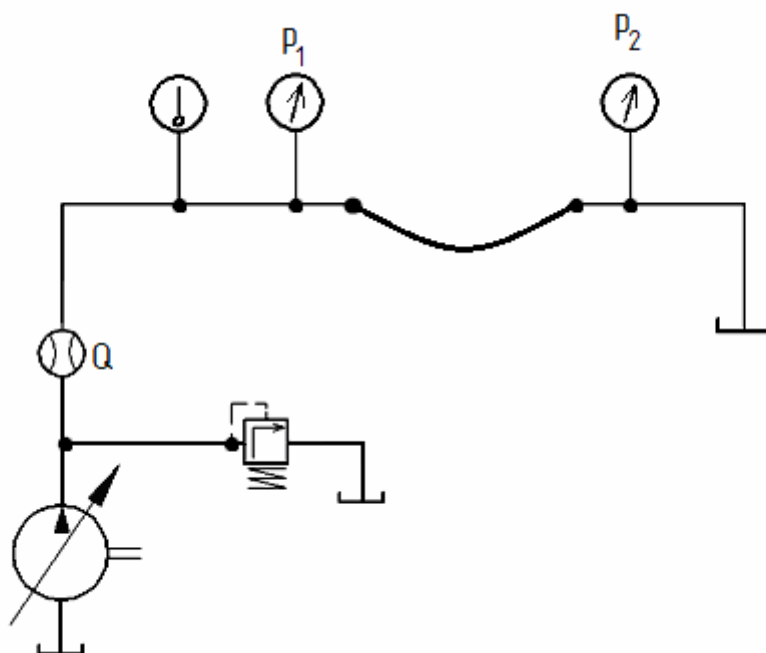
Zkoušení filtru

Filtr je důležitý prvek hydraulického systému, který čistí hydraulickou kapalinu od mechanických nečistot. U filtru se sleduje především tlaková ztráta. Letecké filtry obvykle obsahují dvě čistící vložky (jemnou a hrubou) a pojistný ventil. V případě ucpání jemné čistící vložky se pojistný ventil otevře a kapalina prochází pouze hrubou vložkou.



Obr. 4.25

Zkoušení vedení



Obr. 4.26

5. Zkoušení hydraulické kapaliny – tribodiagnostika

5.1 Hydraulická kapalina

Hydraulická kapalina je medium, s pomocí kterého se v hydraulických systémech přenáší výkon. Hydraulické kapaliny jsou obvykle minerální nebo syntetické. Jsou charakterizovány velmi nízkou stlačitelností. Hlavní požadavky, které jsou na kapalinu kladeny:

- Malá závislost viskozity na teplotě
- Dobrá tepelná kapacita a vodivost
- Schopnost mazat
- Antikorozní funkce
- Velké povrchové napětí, které pomáhá utěšňovat
- Malá pěnivost

Viskozita je míra tekutosti kapaliny. Vlivem vnitřního tření klade kapalina odpor proti vzájemnému pohybu dvou sousedních vrstev kapaliny. Závisí na tlaku, teplotě a chemickém složení kapaliny.

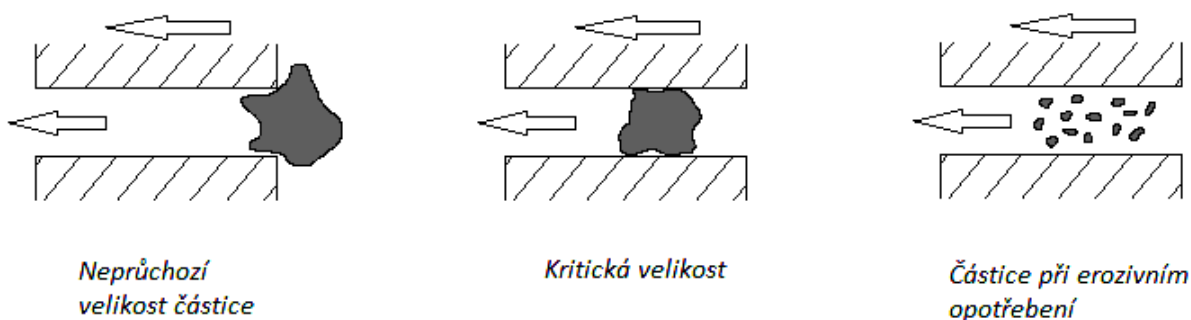
5.2 Tribodiagnostika

Tribodiagnostika zkoumá stav hydraulické kapaliny a posuzuje celkový stav hydraulické soustavy. Měření hydraulické kapaliny je velmi důležité, protože kolem 80% všech poruch hydraulických systémů je způsobeno nadměrným znečištěním hydraulické kapaliny. Analýzou jsou zjištěny parametry kinematické viskozity při 40 °C, kyselost kapaliny, obsah vody a jiných nečistot.

Kapalné nečistoty, především vlhkost, působí korozivně v podobě kapének i ve formě emulze s olejem. Vlhkost hrozí tam, kde kolísá teplota. Do hydraulického systému se dostává například přes vadné nebo opotřebované těsnění pístnic válce. Kontaminace vlhkostí výrazně snižuje životnost hydraulického systému a hrozí i defekt jednotlivých komponent. Snahou je zamezit styku hydraulické kapaliny se vzduchem, proto se používá k přetlakování nádrží místo vzduchu dusík (inertní plyn) nebo se využívá pístová nádrž.

Vzduch v hydraulických soustavách způsobuje kavitační opotřebení. Kavitace vzniká při poklesu tlaku v kapalině, dochází k uvolňování vzduchu ve formě bublinek. Bublínky se dostávají do míst s vysokým tlakem. Bublínky vzduchu se stlačí, ohřejí a dochází k hoření společně s hydraulickou kapalinou. Tímto je kapalina degradována. Ke vzniku bublinek dochází nejčastěji v sání. Aby k němu nedocházelo, mělo by být sací potrubí pokud možno vždy přímé, co nejkratší a s co největším vnitřním průměrem.

Opotřebení prvků hydraulických soustav se zjišťuje podle množství otěrových kovů v kapalině. Obvykle se stanoví množství oceli, hliníku a mědi. Množství kovů se určí pomocí membránového filtru s póry 0,8 μm. Kovový otěr se nerozpustí v hydraulické kapalině (minerální, syntetické); množství a velikost částic se zjišťuje pod mikroskopem nebo speciálními čítači. Tyto částice jsou nejnebezpečnější, neboť způsobují abrazivní opotřebení částí hydraulických prvků. Abrazivní opotřebení závisí na relativní velikosti částic. Kritická velikost částic je taková, při které je průměr částice shodný s velikostí kritické vůle mezi pohybujícími se částmi hydraulického prvku.



Obr. 5.1

Erozivní opotřebení vzniká u částic, jejichž velikost je mnohem menší, než je velikost kritická, obvykle jsou nečistoty menší než $1\ \mu\text{m}$. Opotřebení vzniká především na styčných plochách.

Množství pevných částic v hydraulické kapalině je dána kódovým označením podle normy ČSN ISO 4406. Kód je vyjádřen třemi čísly oddělenými lomítky. V normě je uvedena tabulka přiřazení kódu podle velikosti a počtu částic.

Vysoká teplota hydraulické kapaliny způsobuje její degradaci (stárnutí). Degradace je způsobena tím, že teplota působí jako katalyzátor a urychluje chemické reakce, probíhající v kapalině. Teplota kapaliny by měla být udržována v rozmezí stanoveném výrobcem. U minerálních olejů je normální teplota kolem 80°C . Krátkodobě snesou 125°C (minerální olej Aero Shell 41). U syntetických olejů lze dosahovat maximální teploty až 250°C .

5.3 Přístroje pro monitorování stavu hydraulické kapaliny firmy Parker [10]

Firma Parker je jedním z největších světových výrobců vyrábějících hydraulické komponenty.



Obr. 5.2 [10] LaserCM – Laserový čítač pevných částic



Obr. 5.3 [10] MS200, MS150 – senzor vlhkosti



Obr. 5.4 [10] GT4E – Guardian – Přečerpání hydraulické kapaliny s kontrolovanou úrovní čistoty

6. Vibroakustická diagnostika

Činnost hydraulické soustavy se projevuje nejen vyzařováním vln ve zvukovém pásmu, které se využívá pro měření hluku, ale také vln v pásmu ultrazvukovém. Diagnostický přístroj je obvykle připojen k osciloskopu, který zaznamenává střední hodnotu ultrazvukového signálu. Tento systém lze využít pro zkoušení hydrogenerátoru. Snímač je umístěn v zadním víku hydrogenerátoru. Zaznamenané hodnoty se porovnávají s hodnotami naměřenými na bezvadném hydrogenerátoru. Různé poruchy mají svůj charakteristický tvar signálu. Tuto metodu lze použít pro zjišťování poruch na ložiskách, regulačních elementech apod. Vibroakustická diagnostika se používá i pro zkoušení dalších prvků hydraulické soustavy, používá se pro zkoušení zubových hydrogenerátorů, odlehčovacích, pojišťovacích a redukčních ventilů, hydromotorů a rozvaděčů.

7. Zkoušení hydraulické soustavy podvozku [11]

Funkce vysouvání a zasouvání podvozku je pro letoun životně důležitá činnost. Zasouvání a vysouvání podvozku je obvykle provedeno pomocí hydraulických válců, u malých letounů i elektrickou soustavou. Obvod je sestaven z hlavního okruhu a nouzového okruhu, který se přepíná v případě poruchy hlavního okruhu. Dále je okruh vybaven hydraulickým akumulátorem, který tlumí hydraulické rázy a pulzace, také zásobuje hydraulický obvod tlakovou energií i v případě, že hydrogenerátor dodává méně tlakové energie, než je odebíráno.

Způsoby nouzového vysunutí podvozku:

- Vysunutí pomocí nouzového hydraulického okruhu
- Mechanické vysunutí – ruční vysunutí
- Elektrické vysunutí

7.1 Hlavní okruh

Jako zdroj tlakové energie slouží hydrogenerátor, který je tvořen z motoru 2 a z hydrogenerátoru 1 a tvoří jeden celek. Pro lepší chlazení je motor celý ponořen do hydraulické kapaliny v nádrži 3, a to i když je v nádrži minimální hladina kapaliny. Hydrogenerátor je doplněn filtry 4 a 6, přepouštěcím ventilem 5 a zpětným ventilem 7, který brání roztočení hydrogenerátoru tlakovou energií z hlavního akumulátoru 10. Filtr 8 je hlavní filtr hydraulického okruhu. Rozvaděč 9 slouží k plnění hlavního či nouzového akumulátoru. Akumulátory jsou plněny pomocí dusíkových rozvodů. Naplnění akumulátoru signalizuje manometr 12. Před přeplněním chrání akumulátor pojistný ventil 13.

7.2 Nouzový okruh

Přes rozvaděč 9 je plněn nouzový akumulátor tlakovou kapalinou. K měření tlaku v nouzovém akumulátoru slouží manometr 19. Pojistný ventil 18 slouží především jako ochrana před zvýšením tlaku nad tlak maximální, který vzniká vlivem teplotní roztažnosti, protože během letu může dojít ke značným změnám teploty. Zpětný ventil 17 je do nouzového okruhu zařazen z důvodu těsnosti.

7.3 Okruh podvozku

Rozvaděč 20 ovládá válec pravého podvozku 22, levého podvozku 33 a příďového podvozku 26, pokud je využíváno hlavního okruhu. V nouzovém režimu je podvozek ovládán třícestným ventilem 21. Následující popis se zaměřuje pouze na pravý podvozek, platí však pro všechny tři podvozkové nohy. Ovládání hydromotoru je zprostředkováno šoupátkem 23, zpětným ventilem 22 a šoupátkem 24, které reaguje na koncovou polohu pístu. V nouzovém režimu šoupátko 23 propojí oba prostory válce pomocí zpětného ventilu 22 a díky rozdílu ploch, dané plochou pístnice, dojde k vysunutí pístu. Po dokončení zdvihu se uzavře zpětný ventil 22 a přes šoupátka 23, 24 se odpustí kapalina do pomocného ventilu 21, čímž dojde k uzamčení válce.

7.4 Zkoušení hydraulického systému podvozku

Pro zkoušení hydraulického systému je důležité kontrolovat tlak hlavního okruhu a tlak nouzového okruhu. Dále se měří průtok za hydrogenerátorem průtokoměrem Q a teplota hydraulické kapaliny v nádrži teploměrem T . K hydromotorům se zavádí zatěžující síla F , která je závislá na charakteru zátěže od podvozku. Charakter zátěže je dán například rychlostí letu, která je známá, a aerodynamickým odporem podvozku. Dále se měří časový interval t , po který se vysouvá či zasouvá hydromotor. Důležité je měřit napětí palubního elektrického systému, neboť rozvaděče jsou ovládány elektronicky.

Z těchto změřených hodnot lze sestavit celkovou účinnost hydraulické soustavy:

$$\eta = \frac{P_{25} + P_{29} + P_{32}}{P_M} \quad (18)$$

P_{25}, P_{29}, P_{32} – Výkon jednotlivých hydromotorů

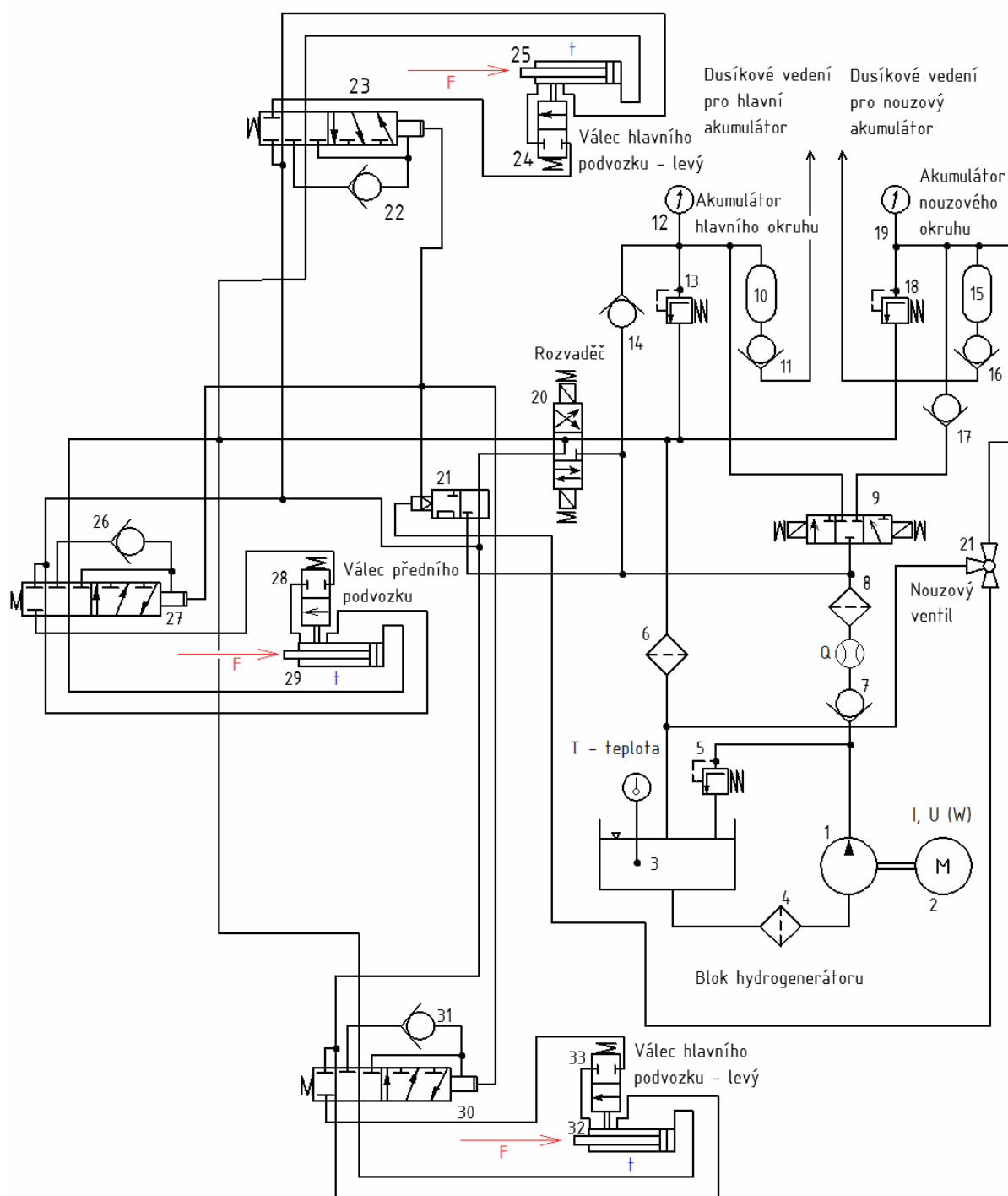
P_M – Příkon elektromotoru

Hydraulický systém lze rozšířit o hydraulické vysouvání klapek a rušičů vztlaku, případně o servořízení příďového kola. U takového systému by však bylo důležité nejen provádět zkoušky měření tlaku, průtoku a teploty, ale bylo by třeba provádět i spolehlivostní zkoušky.

Pro spolehlivostní zkoušky je dán mód letu, podle kterého se sestaví zkouška. Nasimuluje se síla, která působí na pístnici hydromotoru a měří se rychlost a čas vysunutí. Pomocí speciálního zařízení, které je doplněno o koncové spínače, je dosaženo cyklické vysouvání a zasouvání. Po určitých časových intervalech se automaticky zapisují hodnoty, odebírá se hydraulická kapalina k analýze atd. Ze získaných dat lze odhadnout spolehlivost dané hydraulické soustavy.

Pro zkoušení hydraulických systémů letadel je nutné používat mnoho zkušebních a měřících přístrojů.

- Manometr (měřič tlaku)
- Průtokoměr
- Teploměr
- Otáčkoměr
- Voltmetr
- Ampérmetr
- Wattmetr
- Dynamometr
- Stopky (měřič časového intervalu)
- Viskozimetr



Obr. 7.1

8. Závěr

Hydraulické systémy letadel se začaly používat před druhou světovou válkou, protože začala vznikat letadla se zatahovacím podvozkem. Hydraulický systém má mnoho výhod, je velice výkonný, dokáže vyvinout velkou sílu a přitom je poměr jeho hmotnosti a výkonu daleko lepší než u jiných systémů. Později se systém rozšířil o ovládání systémů zvyšující vztlak a odpor letounu, o ovládání brzd podvozkových kol a ostatních ovládacích systémů. Hydraulické systémy bývají velice spolehlivé, avšak je zapotřebí kontrolovat stav jednotlivých prvků během letu, ale především je třeba kontrolovat a zkoušet jednotlivé prvky při vývoji a výrobě.

Současné letouny jsou vybaveny soustavami, které v průběhu letu zapisují důležité parametry charakterizující průběh letu, ale i práci jednotlivých soustav. Po přistání letounu se záznam analyzuje a v případě, že nevykazuje žádné větší odchylky, než jsou dovolené, může být po doplnění provozních hmot letoun použit pro další let. Rozšiřování technické diagnostiky během letu se týká i hydraulických soustav. Je-li letoun způsobilý pro další let, je právě dáno porovnáním parametrů naměřených za letu s parametry, které byly získány měřením charakteristik jednotlivých prvků i celých soustav v průběhu zkoušek, při vývoji a po výrobě prvků na zemi. Kontroly a zkoušky jsou přesně dány příslušnými předpisy.

Přes vysokou spolehlivost však může vzniknout neočekávaná porucha během letu, proto jsou hydraulické systémy navrženy tak, aby byl letoun ovladatelný i nadále. Obvykle mívají letadla kromě hlavních hydraulických okruhů také okruhy nouzové, které se přepojí v případech, kdy hlavní okruh nepracuje správně. Dále bývají letouny vybaveny náporovými turbínami, které pohánějí nouzové hydrogenerátory a jinými pomocnými prvky.

Velice důležité je i médium, s kterým hydraulická soustava pracuje. Hydraulická kapalina bývá obvykle na bázi minerálních, polosyntetických a syntetických olejů, na které jsou kladeny vysoké požadavky. Její rozbor a kontrola její kvality také dodá mnoho informací o stavu hydraulického systému.

Současné i budoucí letouny jsou a budou vybaveny moderními hydraulickými soustavami. Životnost letounu je obvykle třicet let, během této doby dochází k modernizaci a inovaci hydraulických komponent. Rozvoj hydraulických systémů prodělal za 80 let používání značný pokrok, i zkoušení prochází značným vývojem, díky kterému jsou systémy stále dokonalejší a spolehlivější.

8.1 Seznam použité literatury a jiných zdrojů

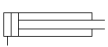
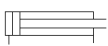
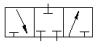
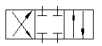
- [1] Jane's: All the World's Aircraft 2008-09
- [2] MOIR, I., SEABRIDGE, A.: Aircraft Systems, John Wiley Sons, Ltd Chippenham 2008, ISBN 978-0-470-05996-8
- [3] TŘETINA, K.: Letadlové instalace I. Nakl. VAAZ Brno 1986, 139 s
- [4] Předpisy CS-23, CS-25
- [5] KOPÁČEK, J.: Technická diagnostika hydraulických mechanismu. SNTL, Praha 1990, 160s, ISNB 80-03-00308-3
- [6] TŘETINA, K.: Letadlové instalace III. Nakl. VAAZ Brno 1988, 106 s
- [7] Dokument RTCA/DO-160 D
- [8] <http://www.hydraulicke-akumulatory.cz> [online]. 2011 [cit. 2011-2-15]. Hydraulické akumulátory. Dostupné z WWW: < http://www.hydraulicke-akumulatory.cz/hydraulicke_akumulatory.pdf >
- [9] <http://www.mmspektrum.com> [online]. 2011 [cit. 2011-2-19]. Čistota hydraulické kapaliny rozhoduje. Dostupné z WWW: < <http://www.mmspektrum.com/clanek/cistota-hydraulickych-kapalin-rozhoduje> >
- [10] <http://www.parker.com> [online]. 2011 [cit. 2011-3-15]. Přístroje pro diagnostiku hydraulické kapaliny. Dostupné z WWW: <<http://www.parker.com> >
- [11] Dokumentace k hydraulickému systému EV 55, verze 15
- [12] <http://l-39.cz> [online]. 2011 [cit. 2011-4-1]. Hydraulický systém letounu L-39. Dostupné z WWW: < http://l-39.cz/L-39_popis.html#hydraulika >

9. Přílohy:

9.1 Schéma hydraulických systémů

Při testování hydraulických systémů se pro zjednodušení využívají schémata, která se skládají z normalizovaných značek.

Schematické značky hydraulických obvodů dle normy ČSN 013722

jednosměrný neregulační hydrogenerátor	
jednosměrný regulační hydrogenerátor	
rotační jednosměrný neregulační hydromotor	
rotační jednosměrný regulační hydromotor	
jednočinný přímočarý hydromotor	
dvojčinný přímočarý hydromotor s jednostranou pístnicí	
dvoucestný dvoupolohový rozvaděč	
třícestný dvoupolohový rozvaděč	
čtyřcestný dvoupolohový rozvaděč	
pěticestý dvoupolohový rozvaděč	
třícestný třípolohový rozvaděč	
čtyřcestný třípolohový rozvaděč	

jednosměrný ventil	
pojistný ventil	
uzavírací ventil	
škrťací ventil s konstantním odporem	
škrťací ventil s proměnným odporem	
nádrž	
hydraulický akumulátor	
tlakové vedení	
nespojené vedení	
spojené vedení	
čistič	
elektromotor	
manometr	
průtokoměr	
teploměr	
otáčkoměr	