



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ENERGETICKÝ ÚSTAV

ENERGY INSTITUTE

TESTOVÁNÍ CHARAKTERISTIKY PROPORCIONÁLNÍ HYDRAULICKÉ KOSTKY

TESTING OF PROPORTIONAL HYDRAULIC BLOCK CHARACTERISTICS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Ondřej Vácha

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Vladimír Habán, Ph.D.

BRNO 2019

Zadání diplomové práce

Ústav: Energetický ústav
Student: **Bc. Ondřej Vácha**
Studijní program: Strojní inženýrství
Studijní obor: Fluidní inženýrství
Vedoucí práce: **doc. Ing. Vladimír Habán, Ph.D.**
Akademický rok: 2018/19

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 diplomové práce:

Testování charakteristiky proporcionální hydraulické kostky

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Hydraulický blok, který je určený pro proporcionální řízení hydraulického válce, bude testován v hydraulické laboratoři pro určení základních charakteristik a ověření funkčnosti a těsnosti bloku, také bude provedena tlaková zkouška. Dle těchto měření bude zpracován protokol z měření a postup měření jako návod pro průběh testování bloku po montáži.

Cíle diplomové práce:

Provedení tlakové zkoušky na ověření těsnosti sestavy komponent.

Provedení funkčního testu bloku.

Naměření závislosti přiváděného proudu na solenoid na průtoku oleje proporcionálním ventilem za konstantního vstupního tlaku a závislosti tlakových ztrát na průtoku ventilem také za konstantního vstupního tlaku. Zpracování testovacího postupu a protokolu.

Seznam doporučené literatury:

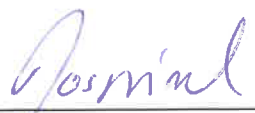
BAROŠKA, Ján: Hydrostatické mechanizmy. Žilina: Hydropneutech, 2012. ISBN 978-80-970.

PACIGA, Alexander a Jaroslav IVANTYŠYN: Tekutinové mechanizmy. Bratislava: Alfa, 1985.


THOMA, Jean: Hydrostatische Getriebe. Carl Hanser Verlag, München, 1964.

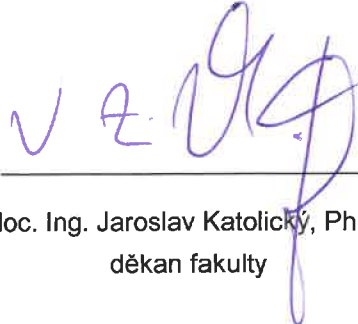
Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19.

V Brně, dne 26. 10. 2018



doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.
ředitel ústavu





doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Cílem této práce je ověřit funkce nových hydraulických bloků, naměřit charakteristiky tlakové ztráty v závislosti na průtoku pro účely dimenzování hydraulických okruhů, a pro proporcionální kostky také naměřit závislost průtoku na přiváděném proudu při konstantním vstupním tlaku. Tato práce se zabývá hydraulickými bloky proporcionálními a bloky typu on/off s různými poruchovými stavy.

KLÍČOVÁ SLOVA

Hydraulická kostka, tlaková ztráta, průtoková charakteristika, tlaková zkouška, funkční testování, proporcionální

ABSTRACT

Goal of this thesis is to verify functions of hydraulic manifolds from new supplier, measure characteristics of pressure loss relative to flow rate and for proportional blocks also characteristics of flow rate relative to control voltage at constant inlet pressure. Verification will be carried out with proportional manifolds and on/off manifolds with different failure functions.

KEYWORDS

Hydraulic manifold, pressure loss, flow characteristic, pressure test, functional testing, proportional

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

VÁCHA, Ondřej. *Testování charakteristiky proporcionální hydraulické kostky*. Brno, 2019. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/113207>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Energetický ústav. Vedoucí práce Vladimír Habán.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci na téma „Testování charakteristik proporcionální hydraulické kostky“ vypracoval samostatně s použitím literatury a pramenů, uvedených v seznamu literatury v závěru této práce.

V Brně dne 20. května 2019

.....

Ondřej Vácha

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto doc. Ing. Vladimíru Habánovi Ph.D. za cenné připomínky a rady při vypracování této diplomové práce. Dále děkuji Ing. Michalovi Trojákovi za konzultace v oblasti hydraulických systémů.

OBSAH

Úvod.....	15
1 Aplikace	16
1.1 Zjednodušené schéma parního okruhu.....	16
1.2 Rozdělení pohonů pro ovládání ventilů	17
1.2.1 Hydraulické pohony.....	17
1.2.2 Pneumatické pohony	18
1.2.3 Elektrické pohony	18
1.3 Hydraulický okruh.....	19
2 Návrh hydraulického okruhu	20
2.1 Přestavná síla.....	20
2.2 Návrh potrubí	20
2.3 Délková ztráta	20
3 Popis měřicího vybavení.....	22
3.1 Hydraulická testovací stolice	22
3.1.1 Tlakový výstup PHD.....	23
3.1.2 Tlakový výstup PND.....	24
3.1.3 Hydraulický olej.....	25
3.2 Měření průtoku	25
3.2.1 Průtokoměr pro THD	26
3.2.2 Průtokoměr pro TND	26
3.3 Měření tlaku	27
3.3.1 Parametry tlakových snímačů	28
3.4 Zdroj napětí pro solenoidové ventily	28
3.4.1 Variac	28
3.4.2 Laboratorní zdroj	29
3.5 Multimetr.....	30
3.6 Převodník HMG3000	30
4 Měření	31
4.1 Připojení hydraulických kostek.....	31
4.1.1 Připojení k testovací stolici	31
4.1.2 Připojení k tlakové a zpětné větvi	32
4.1.3 Připojení tlakových snímačů.....	33
4.2 Tlaková zkouška, zkouška externí těsnosti	34
4.2.1 Postup zkoušky	34

4.3	Zkouška interní těsnosti	34
4.3.1	Postup zkoušky těsnosti zpětných ventilů.....	34
4.3.2	Postup zkoušky těsnosti blokačních ventilů	35
4.4	PV Proporcionální ventil.....	36
4.4.1	Popis funkce.....	36
4.4.2	Poruchový stav.....	37
4.4.3	Postup zkoušky	37
4.5	PV-FC Proporcionální ventil s fail close funkcí	42
4.5.1	Popis funkce.....	42
4.5.2	Poruchový stav.....	43
4.5.3	Postup zkoušky	43
4.6	APL on/off ventil	46
4.6.1	Popis funkce.....	46
4.6.2	Poruchový stav.....	47
4.6.3	Postup zkoušky	47
4.7	4/2WE on/off ventil.....	50
4.7.1	Popis funkce.....	50
4.7.2	Poruchový stav.....	51
4.7.3	Postup zkoušky	51
4.8	SSB ventil.....	53
4.8.1	Popis funkce.....	53
4.8.2	Poruchový stav.....	54
4.8.3	Postup zkoušky	54
5	Přehled výsledných tlakových ztrát	57
	Závěr	58
	Seznam použitých zkratk a symbolů.....	63
	Seznam tabulek	64
	Seznam použitých obrázků	65

ÚVOD

Tato práce byla vypracována ve spolupráci s firmou CCI Czech Republic s.r.o., uvedené údaje o hydraulických systémech a aplikacích se vztahují k systémům používaných touto firmou. Hydraulické kostky, na kterých bude prováděno měření, jsou výrobky od nového dodavatele, u kterých je potřeba ověřit funkčnost a zajistit údaje potřebné pro návrh nových systémů, ve kterých tyto bloky budou použity.

Při statickém stavu hydraulického systému, nevznikají hydraulické ztráty místní, ani délkové. Ovšem jakmile se začne systém pohybovat, začnou se projevovat tyto tlakové ztráty, které jsou závislé na rychlosti proudění pracovního média. V obvodech s velkým převýšením je třeba také brát v úvahu hydrostatický tlak. [5]

Pro přesný návrh hydraulického okruhu je důležité znát všechny tlakové ztráty vstupující do systému mezi zdrojem tlaku a hydraulickým motorem. V případě, že při návrhu nejsou tyto údaje známy, může docházet ke dvěma typům chyby. Buď může dojít k předimenzování systému, tedy zbytečné volbě velkých komponentů, která může vést k výrazně větším nákladům, nebo naopak k poddimenzování, tedy z důvodu tlakových ztrát může dojít k zpomalení pohybů hydromotorů oproti požadovaným rychlostem nebo nemožnosti s hydraulickým pohonem vůbec pohybovat.

Zmiňované hydraulické bloky jsou jedinou neznámou ve smyslu tlakových ztrát v systémech, ve kterých se používají. Z tohoto důvodu je potřeba tlakovou ztrátu znát, a to v závislosti na průtoku hydraulického oleje v plném pracovní rozsahu, tedy od nulového průtoku po maximální průtok definovaný výrobcem bloku.

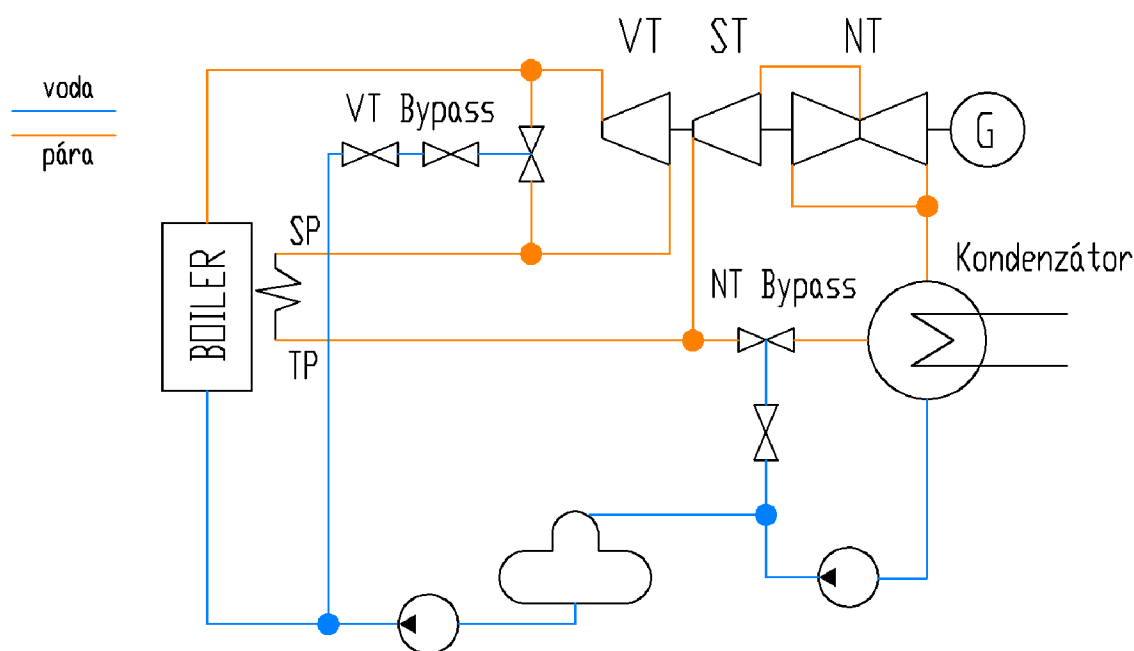
Tlaková ztráta je důležitá z důvodu návrhu celého okruhu, ale je také potřeba ověřit všechny funkce, které by dané hydraulické kostky měly plnit, proto bude pro všechny vyšetřované kostky proveden funkční test a tlaková zkouška. Výsledkem této práce také bude schválení jednotlivých designů. V případě nevyhovujících výsledků budou doporučeny následné kroky v úpravě designu.

Symbole použité pro hydraulická schémata v rámci této práce vycházejí z normy ISO1219-1/2. [1]

1 APLIKACE

Tyto hydraulické kostky jsou používány v kritických aplikacích, kde je důležitá spolehlivost a dlouhodobá životnost. Ve většině případů se jedná o ovládání parních a vodních ventilů pro vysokotlaký a nízkotlaký bypass turbíny a dalších pomocných ventilů v provozu spalovací elektrárny. Jedná se o jednoduché hydraulické prvky, které dokážou zabezpečit požadovanou funkci, ale zároveň nevnáší do systému příliš velké riziko poruchy.

1.1 ZJEDNODUŠENÉ SCHÉMA PARNÍHO OKRUHU



Obr. 1: Zjednodušené schéma parního cyklu, zdroj vlastní

Na tomto zjednodušeném schématu parního cyklu jsou uvedeny ventily, pro které bývá typicky použito hydraulické řízení. Je zde znázorněn vysokotlaký bypass VT, který umožňuje bypass páry vysokotlakého stupně turbíny. Parní ventil bývá typicky modulační, tedy režim bypassu není čistě otevřeno / zavřeno, ale je aktivně řízeno, jak moc je propustný. Tento parní ventil maří energii přehřáté páry, a to svojí konstrukcí, takže dochází k velké tlakové ztrátě. Zároveň dochází k vstříkování vody, která páru ochlazuje.

Podobným způsobem funguje i nízkotlaký bypass, který typicky obchází středotlaký a nízkotlaký stupeň turbíny ST, NT. Pára pak vstupuje rovnou do kondenzátoru.

Ventily pro regulaci tlaku vstupující a vystupující páry z přehřevu páry, studený a teplý přehřev SP a TP.

1.2 ROZDĚLENÍ POHONŮ PRO OVLÁDÁNÍ VENTILŮ

1.2.1 HYDRAULICKÉ POHONY

Hydraulické pohony se volí pro ventily s velkou požadovanou silou pro přestavení a vysokou rychlostí, které by bylo jinou metodou těžko dosažitelné. Tato síla souvisí s parametry média v potrubí. Na obrázku níže je uvedený vysokotlaký bypassový parní ventil s hydraulickým válcem. Na tento hydraulický válec se následně montují hydraulické kostky, jejichž měření je předmětem této práce.



Obr. 2: Vysokotlaký bypassový ventil ARS [2]

1.2.2 PNEUMATICKÉ POHONY

U ventilů s malou přestavnou silou často bývají použity pneumatické pohony, a to z důvodu ceny a jednoduchosti instalace. Většina provozů tohoto typu má rozvody tlakového vzduchu už zřízeny, připojení do rozvodu je cenově nenáročné a pneumatický aktuátor pracuje s tlakovým vzduchem, který je již k dispozici.

Oproti hydraulickému systému odpadá nutnost pořídit hydraulický agregát a problémy spojené s olejovým hospodářstvím.



Obr. 3: Pneumatický pohon STI [3]

1.2.3 ELEKTRICKÉ POHONY

Další varianta pro ventily, které mohou mít vysokou přestavnou sílu, ale nejsou požadovány vysoké přestavné rychlosti, jsou elektrické pohony s převodovkou. Tyto mají typicky pomalé rychlosti posunu, ale dokáží vyvolat vysoké síly. Zde také odpadají problémy spojené s olejovým hospodářstvím a jejich instalace je velice jednoduchá. Jediné potřebné připojení je elektrické.



Obr. 4: Elektrický pohon AUMA [4]

1.3 HYDRAULICKÝ OKRUH

Tyto bypassové systémy často bývají v systému vícekrát. Bývá časté, že se například nízkotlaký bypass skládá z 4x parního ventilu s jeho vstřikovacím a izolačním vodním ventilem, tedy jeden hydraulický agregát napájí hydraulické válce pro ovládání 12 ventilů.

Hydraulický agregát slouží jako konstantní zdroj tlaku v hydraulickém systému. Pro pokrytí maximální spotřeby, tedy všech pohybujících se hydraulických motorů ve stejné chvíli, bývá využita kapacita vysokotlakých vakových akumulátorů. Tyto akumulátory jsou instalovány na hydraulickém agregátu, popřípadě přímo u hydraulického válce pro zabezpečení bezpečnostní funkce.

2 NÁVRH HYDRAULICKÉHO OKRUHU

2.1 PŘESTAVNÁ SÍLA

Síla potřebná k pohybu, popřípadě k udržení těsnosti ventilu, je definována mechanickou konstrukcí ventilu a parametry proudícího média. Konstrukce ventilu může být provedena tak, že proudící médium se snaží sedlo ventilu uzavřít, otevřít, nebo může být i silově rovnovážný ventil, kde proudící médium výrazně neovlivňuje potřebnou sílu pro pohyb ventilu.

V koncových polohách ventilu, tedy pro udržení těsnosti, popřípadě pro otevření ze sedla ventilu jsou potřebné síly v statickém stavu, tedy olej v hydraulickém okruhu se nehýbe, tudíž nevznikají ani místní ani délkové ztráty. Tlak v hydraulickém válci tedy odpovídá tlaku na výstupu agregátu ponížený o hydrostatický tlak dle polohy vůči agregátu. (Agregát bývá nejnižším prvkem hydraulického okruhu.)

Při otevírání a zavírání ventilu, kdy hydraulický olej proudí systémem, je třeba uvažovat ztráty jak místní, tak délkové.

2.2 NÁVRH POTRUBÍ

Hydraulický okruh je dimenzován na maximální průtok oleje systémem, který v tomto případě znamená pohyb všech ventilů naráz. Tento případ není nijak neobvyklý. Pokud je například definovaný poruchový stav „v případě poruchy uzavřít všechny ventily“, což bývá častý případ nízkotlakého bypassu z důvodu ochrany kondenzátoru. V takovém případě se všechny ventily plnou rychlostí uzavřou. Na takové podmínky musí být systém dimenzovaný, aby dokázal splnit definované rychlosti. V úvahu jsou potřeba brát ztráty délkové a ztráty místní. Jedna z místních ztrát je tlaková ztráta v hydraulické kostce, která řídí pohyb ventilu.

2.3 DÉLKOVÁ ZTRÁTA

Pro každý návrh potrubí jsou počítané délkové ztráty. Určujícím parametrem je maximální průtok v každé větvi hydraulického potrubí. Tento průtok vychází z pracovního objemu spotřebiče a rychlosti přestavení. V našem případě se jedná o lineární hydraulický válec, kde pracovní objem je jeho vnitřní objem.

Velikost hydraulického válce je určena maximální přestavnou silou ventilu. U hydraulických válců s jednostranně vyvedenou pístnicí je objem pro uzavírání a otevírání rozdílný. Čas pro otevírání a uzavírání může být také rozdílný. Z objemu válce a času pracovního zdvihu vyplývá průtok jak pro otevírání, tak pro uzavírání. Pro výpočet délkových ztrát v potrubí je uvažován největší průtok z těchto uvedených.

Typicky v hydraulickém systému bývá víc než jeden spotřebič a potrubí se dělí do více větví. Tedy celkový průtok z hydraulického agregátu se dělí do daných větví. Délkové ztráty jsou počítané pro každou větev zvlášť. Rychlost proudění oleje je pak dána průtokem a vnitřním průřezem potrubí.

Na základě Reynoldsova čísla je volen ztrátový součinitel λ dle následujících empirických vztahů. V běžných režimech se v hydraulických systémech CCI, vždy jedná

o proudění laminární. Turbulentní proudění bývá využíváno jen pro proplach potrubí před uvedením systému do provozu.

Laminární proudění dle Hagen-Poiseuillova zákona [5], ($Re < 2320$)

$$\lambda = \frac{64}{Re}$$

Turbulentní proudění dle Blasiova vztahu [5], ($2320 < Re < 8 \cdot 10^4$)

$$\lambda = \frac{0,3164}{\sqrt[4]{Re}}$$

Tlaková ztráta délková vychází z Darcy-Weisbachova vztahu [6]:

$$Y_{ZT} = \sum_{j=1}^n \lambda_j \cdot \frac{L_j}{D_{hj}} \cdot \frac{v_j^2}{2}$$

Omočený obvod D_h je vždy v hydraulických systémech rovený vnitřnímu průměru potrubí d , jelikož olej vyplňuje celý průměr potrubí a toto potrubí má kruhový průřez.

Pro laminární proudění v jednotlivých větvích potrubí je tlaková ztráta počítána následovně:

$$\Delta p = \frac{64 \cdot v}{v \cdot d} \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{\rho \cdot v^2}{2}$$

$$\Delta p = \frac{32 \cdot v}{d} \cdot \frac{L}{d} \cdot \rho \cdot v$$

Viskozita a hustota oleje je závislá na teplotě. Teplota oleje v nádrži hydraulického agregátu je udržována na optimální teplotě dle rozsahu viskózní třídy oleje, pomocí topného tělesa a chladiče. Změna hustoty oleje v rámci rozsahu změny teploty nemá výrazný vliv na tlakovou ztrátu, ovšem změna viskozity má na tlakovou ztrátu vliv výrazný. Z tohoto důvodu je přistupováno k výpočtu konzervativně a uvažuje se nejnižší teplota v běžném provozu.

3 POPIS MĚŘICÍHO VYBAVENÍ

3.1 HYDRAULICKÁ TESTOVACÍ STOLICE

Pro testování hydraulických bloků byla použita hydraulická testovací jednotka. Tato jednotka se skládá z funkční části hydraulického agregátu Obr. 5 a testovací části Obr. 6, která je uzpůsobena a vybavena pro testování malých hydraulických prvků.



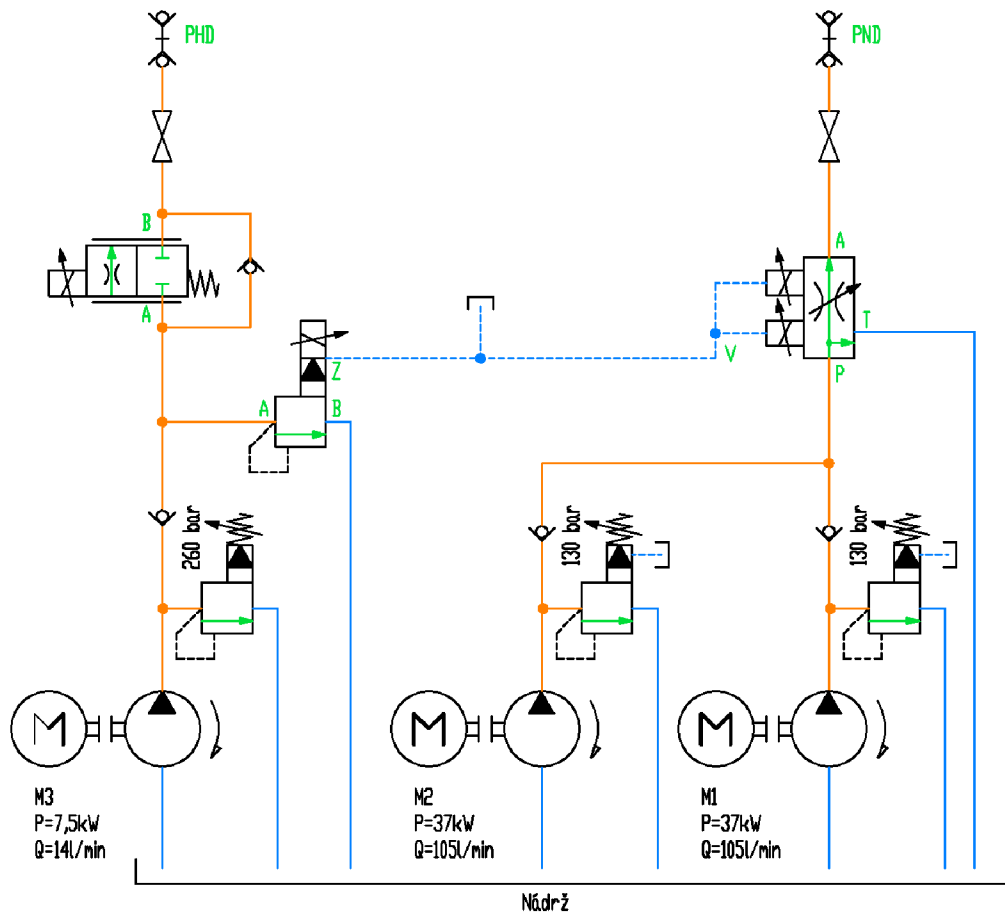
Obr. 5: Hydraulický agregát



Obr. 6: Testovací část hydraulické jednotky

Agregát má k dispozici dva tlakové výstupy. PHD a PND, které jsou určeny pro různé typy testování a mají své určité limitace. Výstup PHD je vysokotlaký pro nízké průtoky a jeho čerpadlo je poháněno 7,5 kW motorem. Výstup PND je nízkotlaký pro velký průtok, který je dodáván dvěma čerpadly s 37 kW motory.

Zjednodušené schéma. znázorňuje řízení průtoku a tlaku pro tlakové výstupy PND a PHD. Pro oba výstupy lze nastavit průtok a tlak v jejich definovaném rozsahu pomocí potenciometrů umístěných v ovládací části.

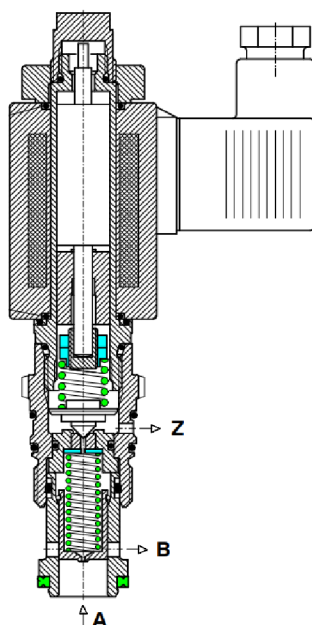


Obr. 7: Schéma řízení tlaku a průtoku PND a PHD

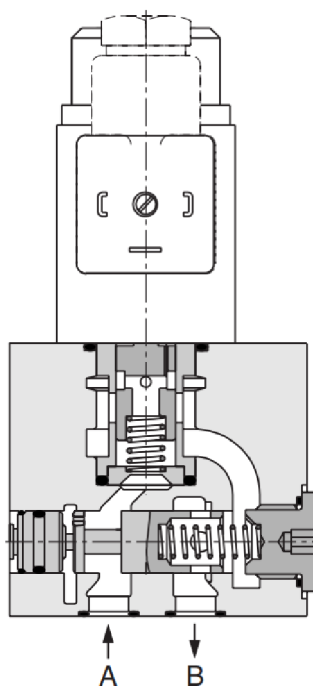
3.1.1 TLAKOVÝ VÝSTUP PHD

- Tlak do 240 bar
- Průtok do 14 l/min
- 7,5 kw elektromotor

Při nastavování tlaku a průtoku dochází ke změně přiváděného proudu na solenoid příslušných řídicích ventilů. Pro tlak se jedná o proporcionální solenoidový pojistný ventil Obr. 8 s rozsahem 0-240 bar. Proporcionální solenoidový ventil pro řízení průtoku Obr. 9. je použit pro nastavení průtoku v rozsahu 0-14 l/min.



Obr. 8: *Proporcionální solenoidový pojistný ventil [7]*

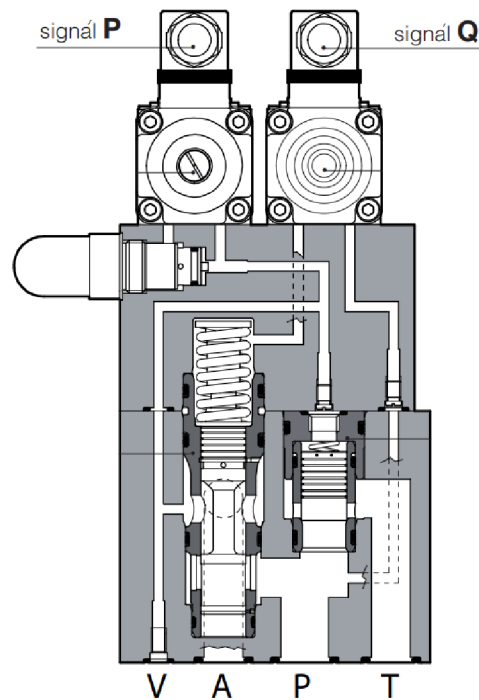


Obr. 9: *Proporcionální solenoidový ventil pro řízení průtoku [8][11]*

3.1.2 TLAKOVÝ VÝSTUP PND

- Pro tlak do 130 bar
- Průtok do 105 l/min – jeden motor
- Průtok do 210 l/min – oba motory
- 2x 37 kW elektromotory

Pro nastavení tlaku a průtoku je použit jeden komponent s dvěma cívkami, a to proporcionální solenoidový ventil pro řízení tlaku a průtoku znázorněný na Obr. 10. Proud přiváděný na solenoid P řídí nastavení tlaku, na solenoid Q pak nastavení průtoku.



Obr. 10: *Proporcionální solenoidový pojistný ventil [9]*

3.1.3 HYDRAULICKÝ OLEJ

Pro toto měření byl použitý minerální hydraulický olej HLP dle DIN 51525. Viskózní třídy ISO VG 46. [10]

- Hustota při 15 °C 856 kg/m³
- Kinematická viskozita při 40 °C 46 mm²/s
- Kinematická viskozita při 100 °C 6,9 mm²/s
- Viskózní index 105

3.2 MĚŘENÍ PRŮTOKU

Pro měření průtoku jsou k dispozici dva objemové průtokoměry různého měřicího rozsahu. Jedná se o průtokoměry zubové, tedy přesné uložení dvou ozubených kol do přesně obrobeného těla. Protékající olej uvádí do pohybu ozubení, objem oleje v jedné zubové mezeře se často nazývá jako impuls. Jeden impuls odpovídá jednomu zubu. Díky bezkontaktním magnetickým čidlům, které snímají průchod jednotlivých zubů je vyhodnocován průtok na základě počtu procházejících zubů a objemu jednoho prostoru mezi zuby. [12]

Díky této konstrukci dochází k velmi přesnému měření průtoku. Problém při použití zubových průtokoměrů může nastat, pokud je potřebné zachytit velice malý průtok, ale zároveň je nutné měřit průtoky velké, a to z důvodu vysoké tlakové ztráty. Typickou konstrukci zubového průtokoměru lze vidět na následujícím obrázku.



Obr. 11: Zubový průtokoměr [11]

3.2.1 PRŮTOKOMĚR PRO THD

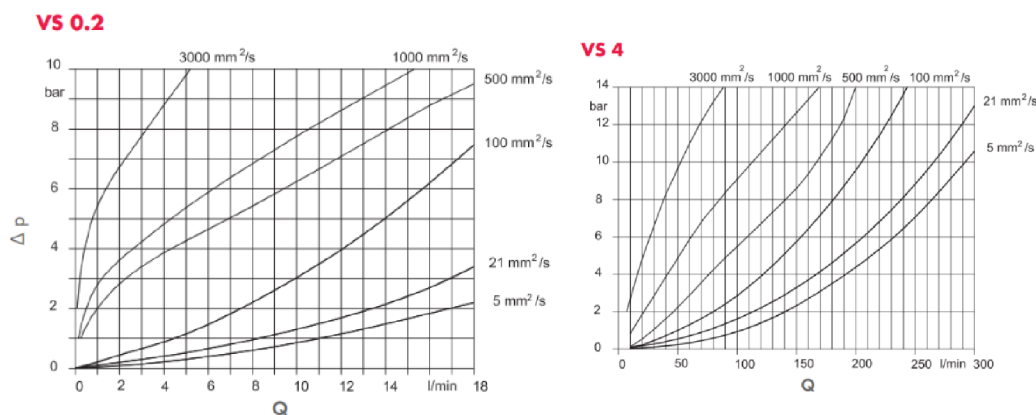
Na použitém hydraulickém agregátu jsou namontovány průtokoměry značky VSE flow measurement. Na zpětné větvi THD, která je použita při použití tlakového výstupu PHD s čerpadlem o maximálním průtoku 14 l/min je použit průtokoměr VS 0.2. Bývá používán pro detekci menších průtoků. [12]

- Měřicí rozsah **0,02 – 18 l/min**
- Přesnost **±0,3 %** měřené hodnoty, pro viskozitu >20 cSt
- Opakovatelnost **±0,05 %** pro viskozitu >20 cSt

3.2.2 PRŮTOKOMĚR PRO TND

Pro větší průtoky na zpětné větvi TND je použit průtokoměr VS4. TND je zpětná větev pro tlakový výstup agregátu PND, který je napájen dvěma čerpadly o maximálním průtoku 105 l/min každý. [12]

- Měřicí rozsah **1 – 250 l/min**
- Přesnost **±0,3 %** měřené hodnoty, pro viskozitu >20 cSt
- Opakovatelnost **±0,05 %** pro viskozitu >20 cSt



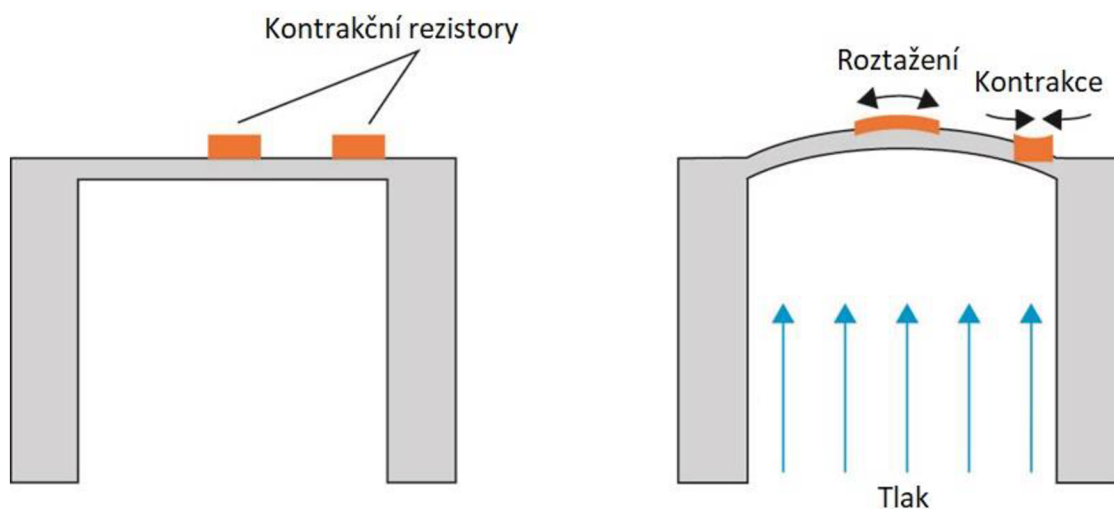
Obr. 12: Tlaková ztráta VS0.2 a VS4 [12]



Obr. 13: Průtokoměr VS4 a VS0.2

3.3 MĚŘENÍ TLAKU

Pro toto měření jsou použity relativní tlakové snímače typu DMS (diaphragm measuring system). V těle tohoto snímače je umístěna membrána, která odděluje uzavřenou komoru s atmosférickým tlakem od připojení ze strany měřeného média. Ve výchozím stavu je membrána bez průhybu. Při zvýšení tlaku média dochází k průhybu membrány. Membrána je vybavená senzory, které převádějí roztažení, popřípadě kontrakci rezistoru na proud. To je možné díky změně odporu při roztažení rezistoru. Odpor s roztažením roste, proud klesá. Změna odporu je přímo úměrná měřenému tlaku. [13]



Obr. 14: DMS tlakový snímač [13]

3.3.1 PARAMETRY TLAKOVÝCH SNÍMAČŮ

Pro měření tlaku jsou použity tlakové snímače od firmy Hydac. 4 tlakové snímače s rozsahem 0-250 (HDA4445-A250) bar a jeden snímač pro větší rozsah tlaků a to 0-400 bar (HDA4445-A400). Tento tlak je převáděny na proud 4-20 mA, rozsah proudu odpovídá maximálnímu rozsahu snímače. 4-20 mA je běžně používaný rozsah pro analogové signály. [14]

- Měřicí rozsah **0-250/400 bar**
- Přesnost $\pm 0,5$ % plného rozsahu
- Opakovatelnost $\pm 0,1$ % plného rozsahu



Obr. 15: *Tlakové snímače a jejich připojení Minimes*

3.4 ZDROJ NAPĚTÍ PRO SOLENOIDOVÉ VENTILY

Pro ovládání solenoidových ventilů bylo využito dvou způsobů. Pro funkci vyp/zap bylo použito zařízení integrované v hydraulické testovací jednotce Variac. Pro řízení přiváděného proudu na solenoid byl použit externí laboratorní zdroj. V obou případech byly solenoidy připojeny pomocí solenoidového DIN konektoru.

3.4.1 VARIAC

Na tomto integrovaném regulátoru napětí je možné nastavit výstupní napětí pro stejnosměrný a střídavý proud. Tento zdroj má dva výstupy, které se ovládají přepínačem mezi polohou vyp/zap. Ovládání těchto výstupů (SEV1 a SEV2) je k dispozici v testovacím prostředí spolu s ovládáním motorů. V zapnutém stavu je přiváděné napětí 24V, ve vypnutém 0V.



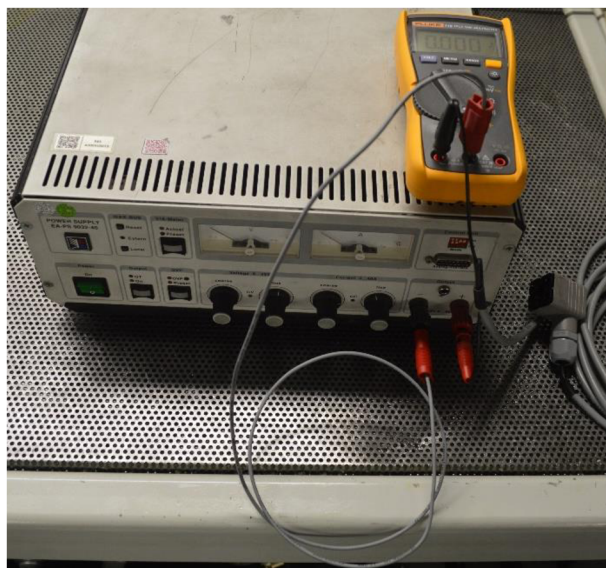
Obr. 16: Regulátor napětí Variac

Pod těmito parametry mohou být solenoidy v provozu nepřetržitě. Solenoid je možné krátkodobě zatížit více.

3.4.2 LABORATORNÍ ZDROJ

Tento zdroj byl použit pro měření závislosti průtoku oleje hydraulickou kostkou na ovládacím proudu solenoidu při konstantním tlaku. Zdroj pracuje v rozsahu 0-32V, 0-10A.

Hodnota proudu v mA byla odečítána z multimetru Fluke 115, který byl do obvodu zapojen dle následujícího obrázku.



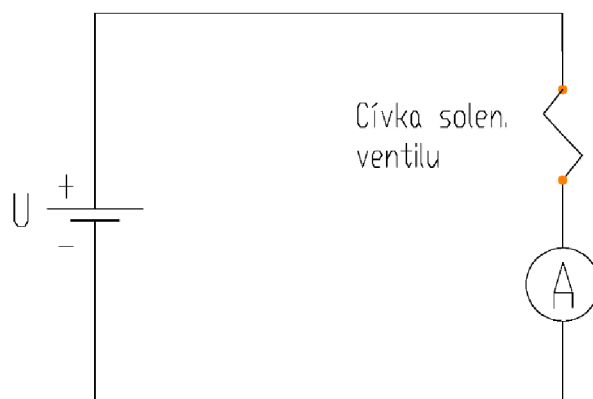
Obr. 17: Elektrické zapojení pro řízení přiváděného proudu na solenoid

3.5 MULTIMETR[15]

Multimetr Fluke 115 dokáže měřit stejnosměrný proud ve dvou rozsazích. Pro toto měření byl použit rozsah 0-6A, jelikož má tento rozsah větší přesnost a je dostatečný. [15]

- Měřicí rozsah **0-6A / 0-10A**
- Přesnost pro rozsah 0-6A $\pm (1 \% \text{ z měřené hodnoty} + 3\text{mA})$
- Přesnost pro rozsah 0-10A $\pm (1 \% \text{ z měřené hodnoty} + 30\text{mA})$

Pro regulaci přiváděného proudu na solenoid bylo využito omezení maximálního proudu laboratorního zdroje na hodnotu 1,7 A. Změnou napětí docházelo ke změně proudu, jehož hodnota byla odečítána z multimetru. Tímto způsobem byl solenoid chráněn před přetížením. Schéma tohoto zapojení lze vidět na Obr. 18.



Obr. 18: Fluke 115 elektrické schéma zapojení

3.6 PŘEVODNÍK HMG3000

Pro vyhodnocování charakteristik byl použitý přenosný měřicí přístroj od firmy Hydac – HMG 3000. Výstupy ze snímačů tlaku a průtoku jsou proudové, a to v rozsahu 4-20mA. Tento signál je pomocí HMG3000 převáděn na hodnotu tlaku a průtoku. V nastavení převodníku je potřeba nastavit rozsah snímače.



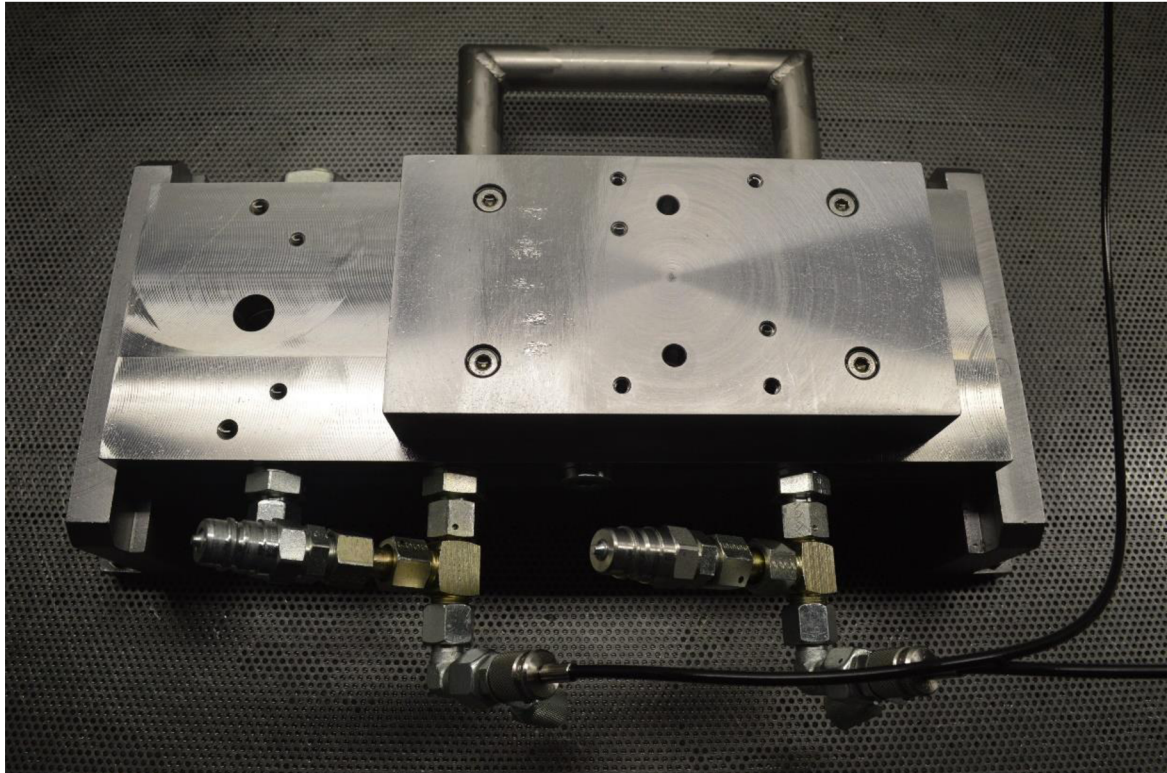
Obr. 19: HMG3000

4 MĚŘENÍ

4.1 PŘIPOJENÍ HYDRAULICKÝCH KOSTEK

4.1.1 PŘIPOJENÍ K TESTOVACÍ STOLICI

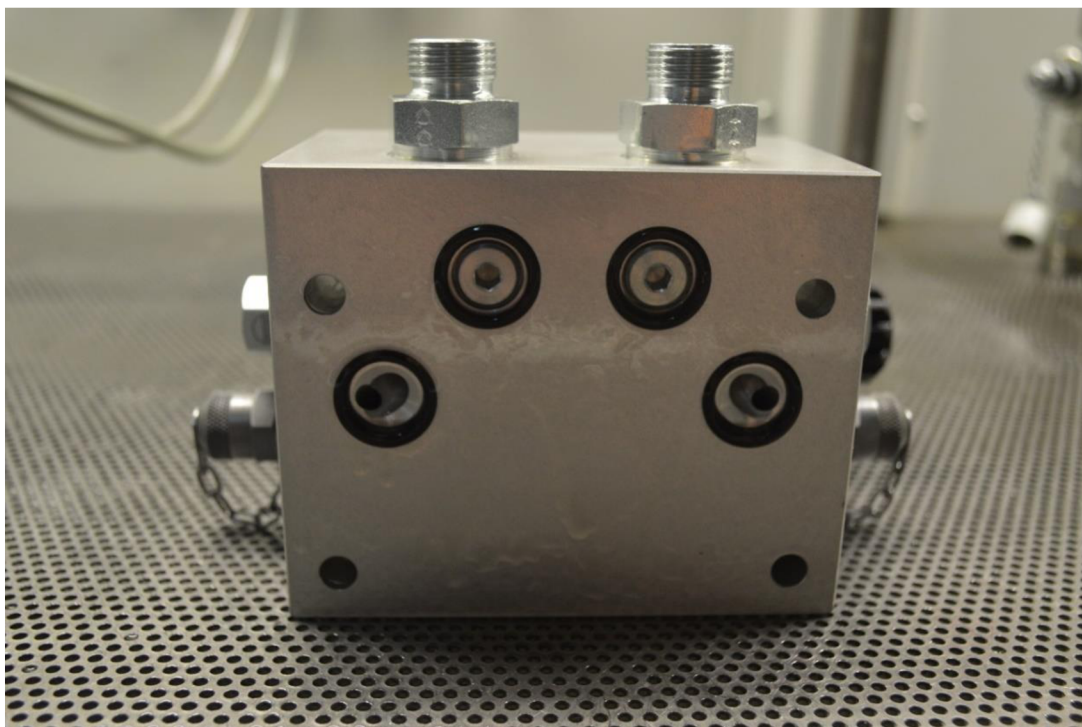
Hydraulické kostky, které jsou součástí tohoto měření mají dva typy připojení „malé“ a „velké“. Pro oba typy připojení byly použity existující testovací připojovací desky. Pro „velké“ připojení byla použita deska, která je fixována k testovací stoličce, pro připojení „malé“ byl použit adaptér. Na Obr. 20 lze vidět přípojnou desku s tímto adaptérem.



Obr. 20: Přípojná deska pro menší/větší připojení

Testovací deska má propojené kanály A a B, které jsou v provozu připojené k spodní a horní komoře hydraulického válce. Propojením kanálu A a B na testovací desce je simulován průtok přes hydraulický válec.

Přípojná deska slouží mimo jiné také k upnutí hydraulické kostky. Těsnost připojení je zajištěna axiálním těsněním pomocí o-kroužků na straně hydraulické kostky viz Obr. 21.



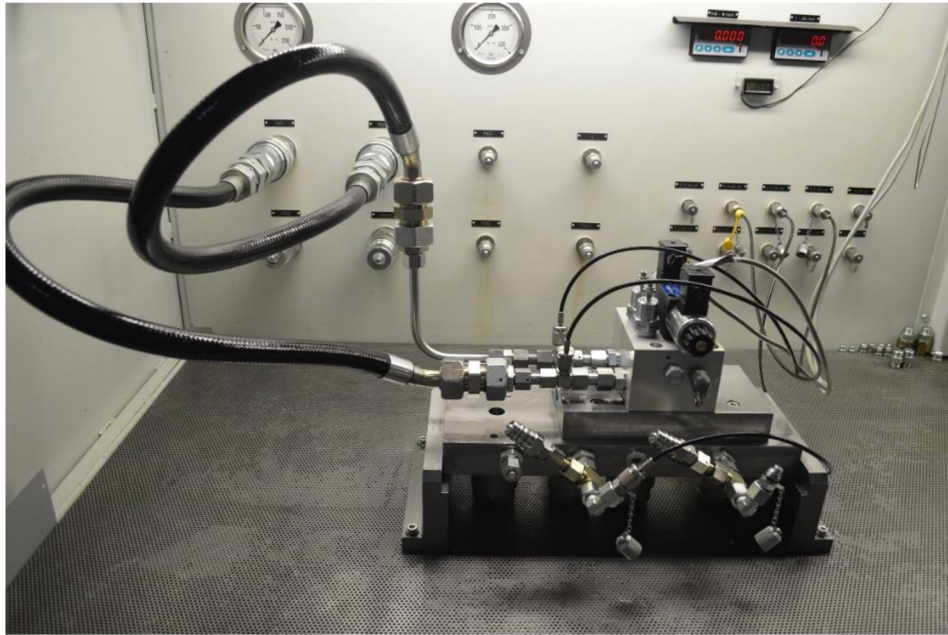
Obr. 21: *Hydraulická kostka „malé“ připojení, port A a B, zazátkovaný port P a T.*

4.1.2 PŘIPOJENÍ K TLAKOVÉ A ZPĚTNÉ VĚTVI

Pro připojení k tlakovým a zpětným větvím agregátu byly použity vysokotlaké hadice s rychlospojku. Na hydraulickou kostku byla připojena sestava šroubení, která umožňovala připojení hadice, připojení na blok a připojení tlakového snímače.

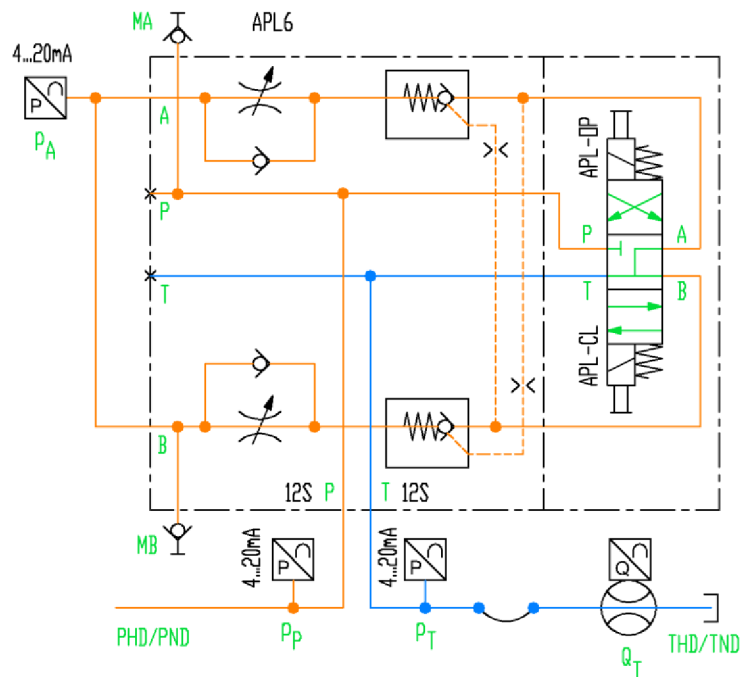
Bylo použito šroubení typu EO2 s 24° kuželem a těsníci o-kroužky. Pro různé velikosti bloků byla potřeba různé velikosti šroubení pro připojení na hydraulickou kostku. Připojení na kostkách bylo velikostí 12S, 16S, 20S a 25S. Také bylo třeba správně orientovat hydraulickou kostku, popřípadě šroubení, aby bylo možné připojit hydraulické hadice vzhledem k fixnímu umístění jejich připojení na agregát.

Na následujícím obrázku lze vidět zapojení hydraulické kostky pro měření. Zapojení pro testování charakteristik a tlakovou zkoušku bylo pro všechny kostky stejné, co se týče funkce. Ovšem byly použity různé velikosti šroubení.



Obr. 22: Zapojení hydraulické kostky pro měření (APL6)

Schéma zapojení ukazuje hydraulickou kostku APL, ovšem pro všechny bloky bylo toto zapojení shodné, na schématu je ovšem zobrazen jen jeden typ bloku, a to APL6.



Obr. 23: Schéma zapojení hydraulické kostky (APL6)

4.1.3 PŘIPOJENÍ TLAKOVÝCH SNÍMAČŮ

Tlakové snímače byly připojeny pomocí měřicích Minimesh hadic, na přípojné body montované na P, T a A. Připojení těchto měřicích hadic lze vidět na Obr. 22.

4.2 TLAKOVÁ ZKOUŠKA, ZKOUŠKA EXTERNÍ TĚSNOSTI

Všechny testované kostky mají maximální provozní tlak 160 bar. Tlaková zkouška byla provedena s 1,5x maximálního provozního tlaku, tedy 240 bar po dobu 10 min.

4.2.1 POSTUP ZKOUŠKY

Pro všechny kostky byl použit tlakový výstup PHD z důvodu požadovaného tlaku. Pro ověření těsnosti bylo třeba, aby byla pod zkušebním tlakem celá hydraulická kostka. Tedy u všech kostek byly při tlakové zkoušce solenoidové ventily v takové pozici, aby byly propojené kanály $P \rightarrow A \rightarrow B \rightarrow T$.

Hydraulické kostky byly před tlakovou zkouškou důkladně očištěny, aby bylo možné sledovat případný únik kapaliny.

Před samotnou tlakovou zkouškou byla každá kostka několikrát otevřena a uzavřena při průtoku okolo 10 l/min, aby došlo k odvzdušnění ventilu. Izolační ventil na zpětné větvi THD byl uzavřen a tlak v celé kostce postupně přiveden na hodnotu 240 bar pomocí potenciometru v testovacím prostředí. Takto natlakovaná kostka byla po dobu 10 min držena na konstantním tlaku.

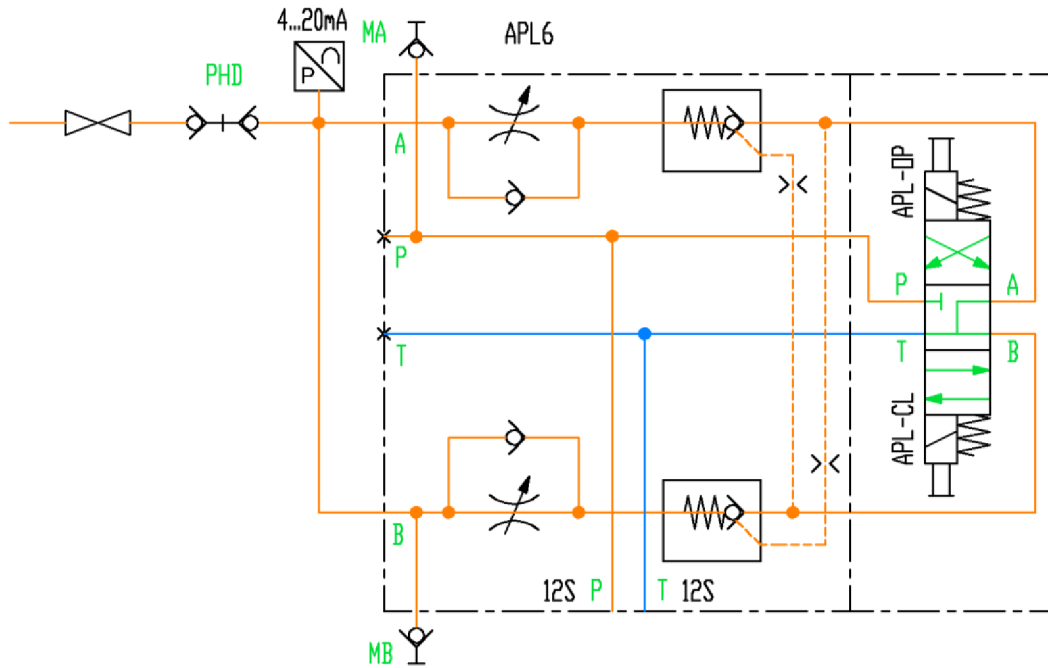
Po ukončení tlakové zkoušky bylo vizuálně a suchým papírovým ubrouskem ověřeno, jestli nedošlo k úniku hydraulického oleje. Jako kritérium pro tuto zkoušku byl nulový externí únik.

4.3 ZKOUŠKA INTERNÍ TĚSNOSTI

Testování interních netěsností bylo provedeno u všech kostek při maximálním provozním tlaku, tedy 160 bar. Testovány byly především hydraulické zámky, které zamezují volnému pohybu hydraulického válce, pokud není ovládaný hydraulickou kostkou. Tento test byl proveden u všech kostek vyjma hydraulické kostky 4/2, která jako jediná hydraulické zámky nemá. U kostek s blokačními ventily byla testována i těsnost těchto ventilů.

4.3.1 POSTUP ZKOUŠKY TĚSNOSTI ZPĚTNÝCH VENTILŮ

Pro všechny kostky byl použit tlakový výstup PHD z důvodu požadovaného tlaku. Hadice z výstupu PHD byla připojena rychlospojkou na kanál A, kde byl také snímán tlak. Toto připojení lze vidět na Obr. 20. Porty P a T byly nepřipojeny.



Obr. 24: Schéma zkouška interní těsnosti (APL6)

Tlak byl postupně přiveden na hodnotu 160 bar. Při nastaveném pracovním tlaku byl uzavřen izolační ventil na přívodu PHD a následně byla tlaková větev na agregátu před tímto izolačním ventilem odtlakována. Po dobu 2 min byl pozorovaný úbytek tlaku. V případě těsných jednosměrných ventilů tento úbytek tlaku není způsoben netěsností izolačního ventilu nebo zpětného ventilu, ale chladnutím oleje mezi izolačním a jednosměrným ventilem (teplota oleje 40-50 °C, teplota okolí cca 22 °C), čímž dochází k poklesu tlaku. Všechny hydraulické kostky měly tento úbytek tlaku téměř stejný, a to v rozmezí 3-4 bar.

Zkoušky těsnosti zpětných ventilů se v CCI testovaly i na předchozím designu hydraulických kostek a tlakový úbytek odpovídá těmto měřením. Izolační ventil je instalován v rámci rozvodů hydraulického agregátu, tudíž potrubí, hadice a připojení na hydraulickou kostku je fixní, a tedy při všech zkouškách stejné. Z tohoto důvodu je plocha pro ochlazování oleje vždy stejná. Jediná proměnná je v tomto případě teplota oleje a teplota okolí, která se může mírně lišit.

Tlakový úbytek je tedy dán testovací hydraulickou jednotkou a bylo stanoveno kritérium na základě zkušeností. Toto kritérium je max. 6 bar. Při netěsném zpětném ventilu dochází k výrazně většímu tlakovému úbytku.

Tedy, na žádné kostce nebyl pozorovaný tlakový úbytek vyšší než toto kritérium

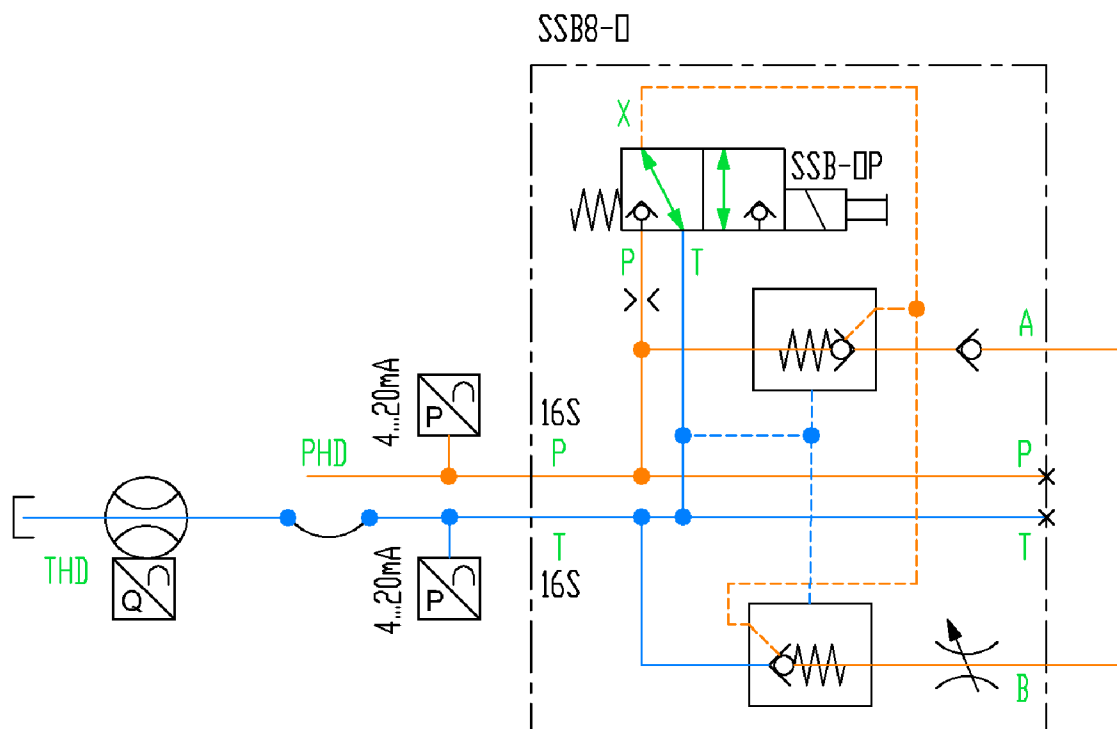
4.3.2 POSTUP ZKOUŠKY TĚSNOSTI BLOKAČNÍCH VENTILŮ

U hydraulických kostek, které obsahují dvoupolohové sedlové ventily, byla ověřena těsnost ventilů přivedením maximálního pracovního tlaku 160 bar na port P. Testovaný solenoidový ventil byl uveden do polohy, ve které by měl být těsný. Po dobu 10 min byl

pozorován průtok na zpětné větvi THD. Pokud by tento testovaný ventil nebyl těsný, došlo by k otevření hydraulických zámek a průtoku v zpětné větvi.

U proporcionálních kostek PV bylo při této zkoušce přivedeno napětí na jeden ze solenoidů proporcionálního ventilu, aby se případný průtok projevil.

U žádné kostky nebyl pozorován průtok ve zpětné větvi.



Obr. 25: Schéma zkouška interní těsnosti (SSB8-O)

4.4 PV PROPORCIONÁLNÍ VENTIL

4.4.1 POPIS FUNKCE

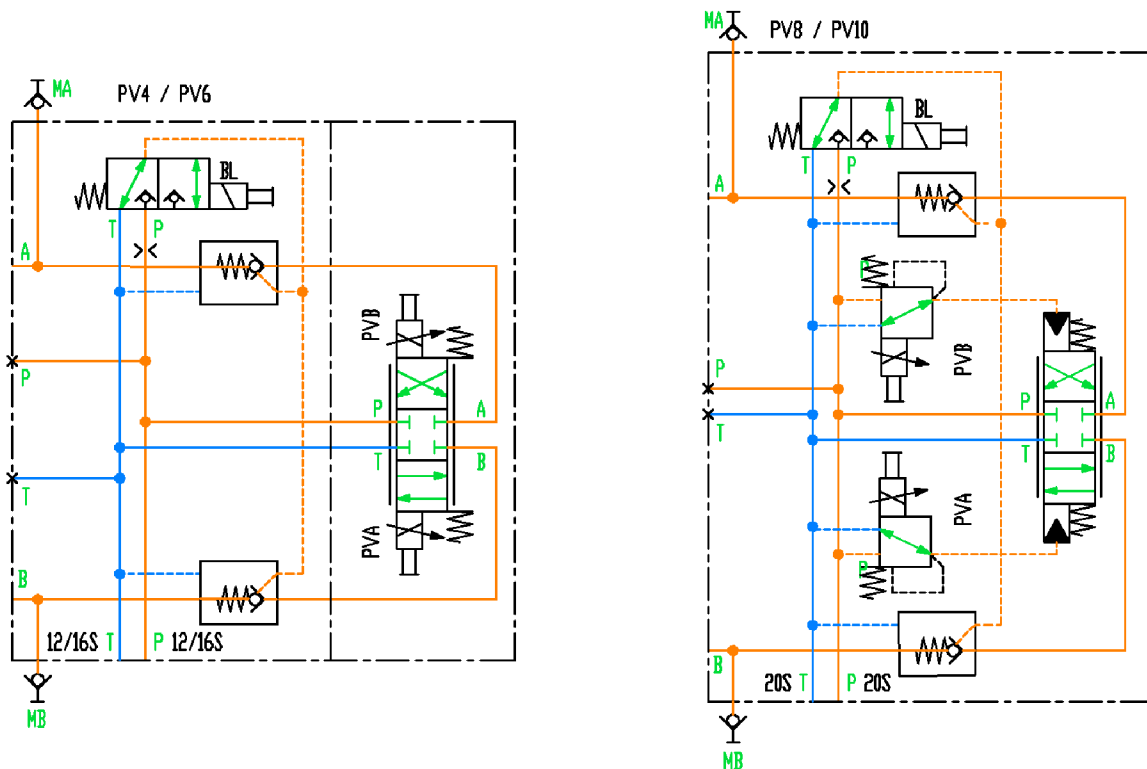
Hydraulické kostky s označením PV slouží k řízení polohy hydraulického válce. Existují 4 velikosti PV kostek dle maximálních průtoků. Pro menší průtoky jsou použity přímo řízené proporcionální solenoidové 4/3 ventily, pro větší průtoky pak hydraulicky ovládané proporcionální 4/3 ventily řízené proporcionálními redukčními ventily.

Tab 1: Rozdělení PV kostek dle velikosti

	Q _{max}	Velikost připojení	Řízení	Připojení P a T	Teplota při měření Q/dp	Teplota při měření I/Q
	[l/min]	[-]	[-]	[-]	[°C]	[°C]
PV4	8	malé / 12S	přímo	PHD, THD	43,5-44.2	44-44.3
PV6	30	malé / 16S	přímo	PND, TND	45.7-45.8	45.6-46.6
PV8	60	velké / 20S	hydraulicky	PND, TND	43.6-44.1	42.5-45.1
PV10	120	velké / 20S	hydraulicky	PND, TND	44.3-46.5	46.2-46.8

Pozicionér, který řídí tento blok dostává dva signály. Požadovanou polohu hydraulického válce a aktuální polohu ze snímače polohy instalovaném na hydraulickém válci (oba signály 4-20 mA).

Tyto signály porovnává a na základě určitého nastavení ovládá PV blok přiváděným proudem na jednotlivé solenoidy proporcionálního 4/3 ventilu nebo proporcionálního redukčního ventilu u větších bloků, PVA pro uzavření a PVB pro otevření válce. Tento proud se pohybuje v rozmezí 0-1 A.



Obr. 26: Hydraulické schéma PV kostek

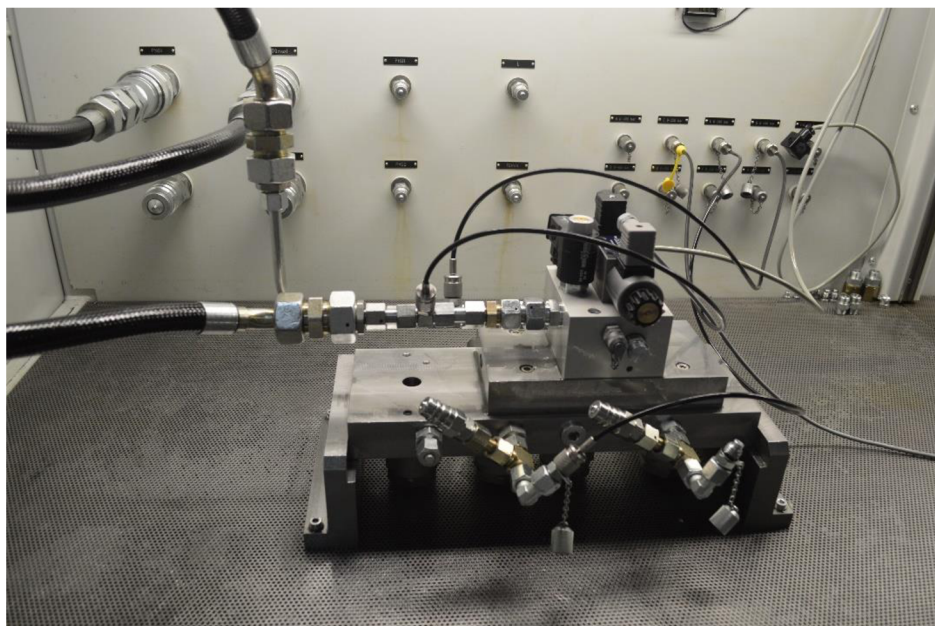
4.4.2 PORUCHOVÝ STAV

Jako porucha u všech měřených hydraulických kostek je uvažována ztráta řídicího signálu, chyba pozicionéru, ztráta el. napájení pozicionéru, popřípadě přerušení / odpojení kabelů k solenoidům.

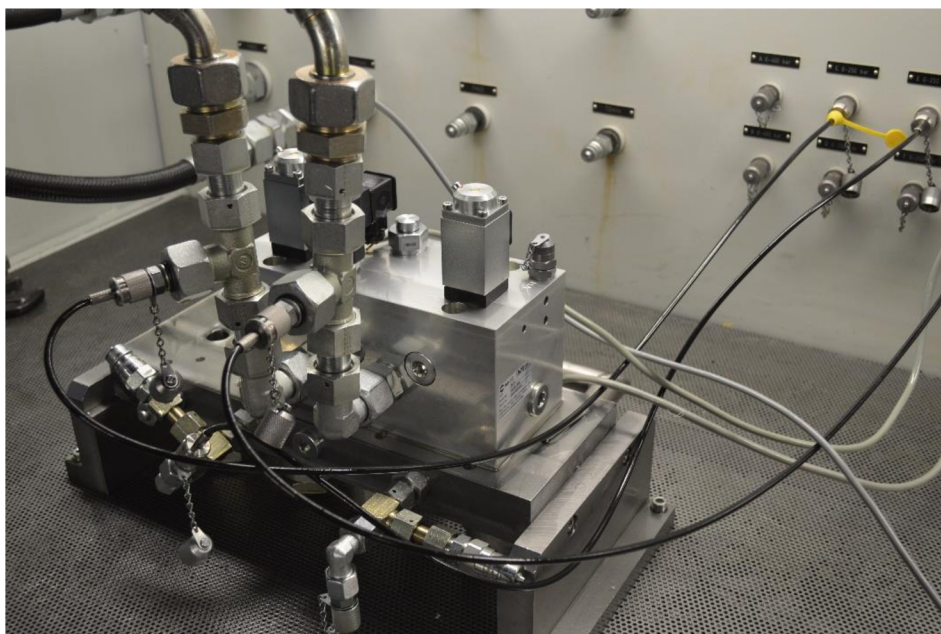
U těchto kostek se v případě poruchy zablokuje pohyb válce pomocí hydraulických zámek. Při modulaci drží řízené jednosměrné ventily otevřené blokační ventil přivedenými 24 V na solenoid BL. Pokud zde napětí není, blokační ventil se uzavře a je zamezeno jak volnému pohybu válce vlivem externí síly, tak modulaci jako takové, jelikož olej z hydraulického válce nemůže odtékat z důvodu uzavřeného jednosměrného ventilu.

4.4.3 POSTUP ZKOUŠKY

Hydraulické kostky byly zapojeny do zkušební okruhu dle schématu na Obr. 23. Pouze pro velikost PV4 byl použit tlakový výstup PHD, a to z důvodu malých průtoků. Ostatní bloky byly připojeny na výstup PND.



Obr. 27: Zapojení pro testování PV6



Obr. 28: Zapojení pro testování PV10

Po tlakové zkoušce a zkoušce těsnosti byly provedeny následující měření.

FUNKČNÍ TEST

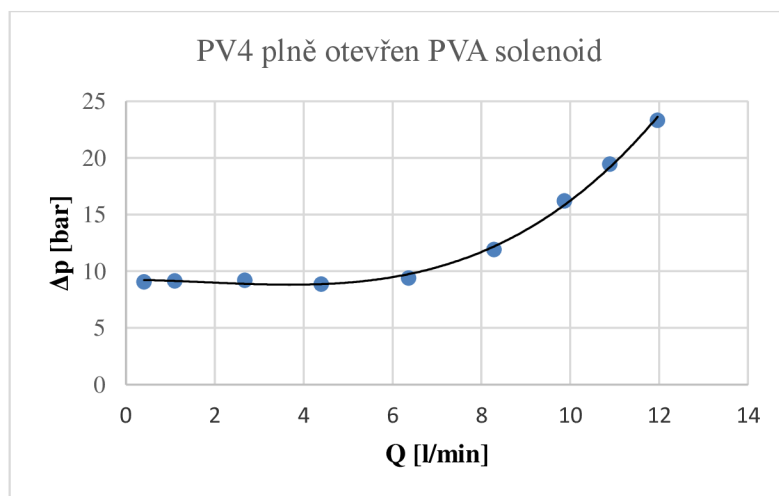
Modulace byla testována v rámci měření průtokové charakteristiky. Toto měření bylo prováděno pouze pro jednu stranu ventilu (solenoid PVA), ovšem u všech měřených PV (i PV-FC) bloků byla ověřena odchylka průtoku mezi plně otevřeným solenoidem PVA a PVB při 50 % a 100 % maximálního průtoku. Tato odchylka nebyla na žádné kostce větší než 1 %. Z tohoto důvodu byly charakteristiky vyhodnocovány pouze pro solenoid PVA. Funkce blokačního elementu byla ověřena v rámci zkoušky interní těsnosti.

ZÁVISLOST TLAKOVÉ ZTRÁTY NA PRŮTOKU

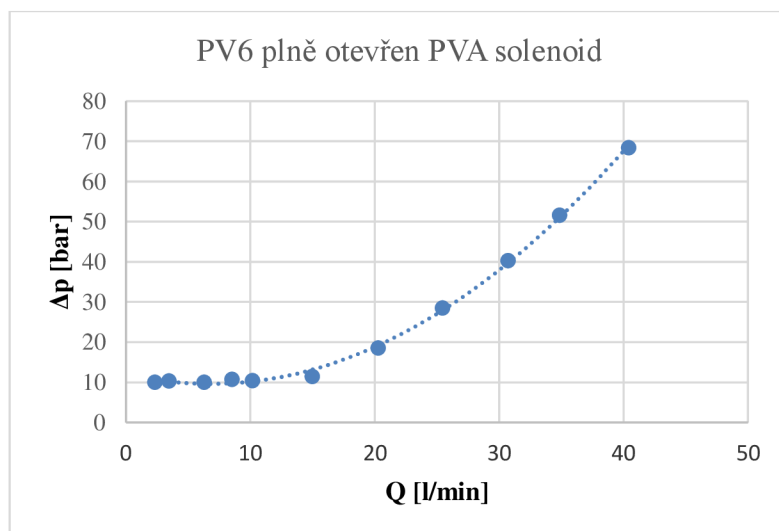
Pro toto měření byly využity integrované výstupy napětí SEV1 a SEV2, které byly připojeny na blokační element BL a solenoid PVA. V průběhu celého měření bylo na tyto solenoidy přiváděno 24 V. Tímto bylo zajištěno úplné otevření kanálů P→A→B→T.

Na hydraulické jednotce byl následně zvyšován výstupní tlak. Z rozdílu tlaků na vstupu p_P a výstupu p_T byla stanovena tlaková ztráta Δp . Tyto hodnoty spolu s průtokem Q_T byly odečítány z převodníku HMG3000. Hodnoty byly zaznamenávány při ustáleném průtoku. Pro jednotlivá měření byla zaznamenána teplota oleje měřená v nádrži hydraulického agregátu.

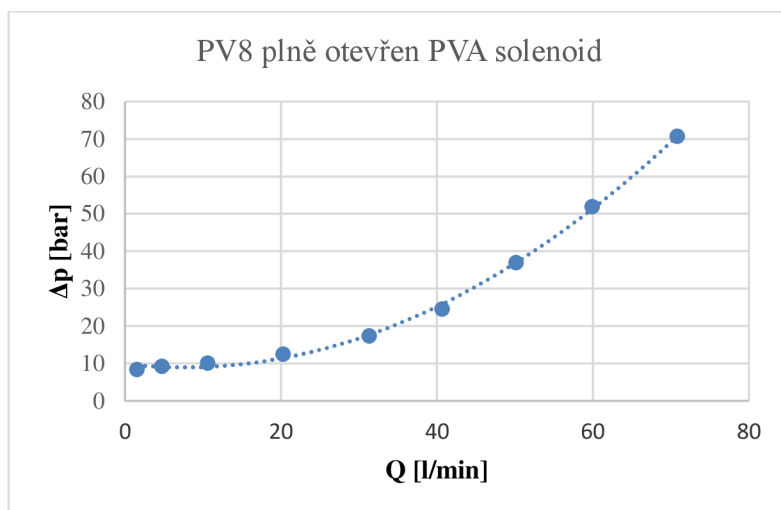
$$\Delta p = p_P - p_T \text{ [bar]}$$



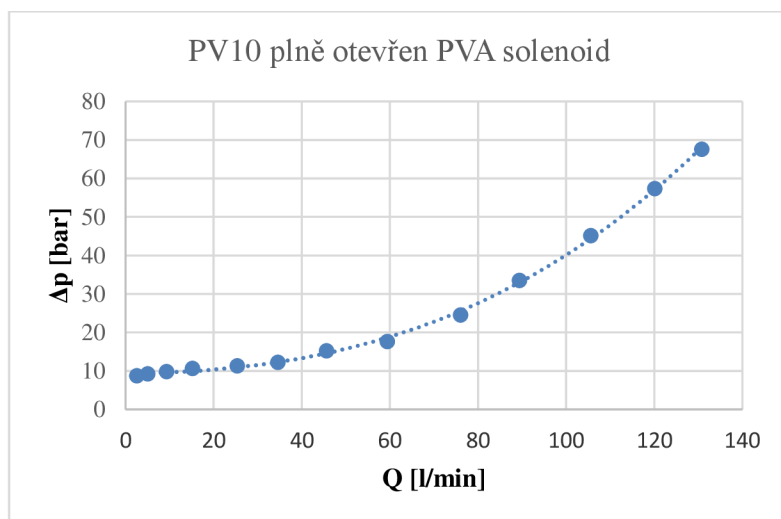
Obr. 29: Závislost tlakové ztráty na průtoku PV4



Obr. 30: Závislost tlakové ztráty na průtoku PV6



Obr. 31: Závislost tlakové ztráty na průtoku PV8

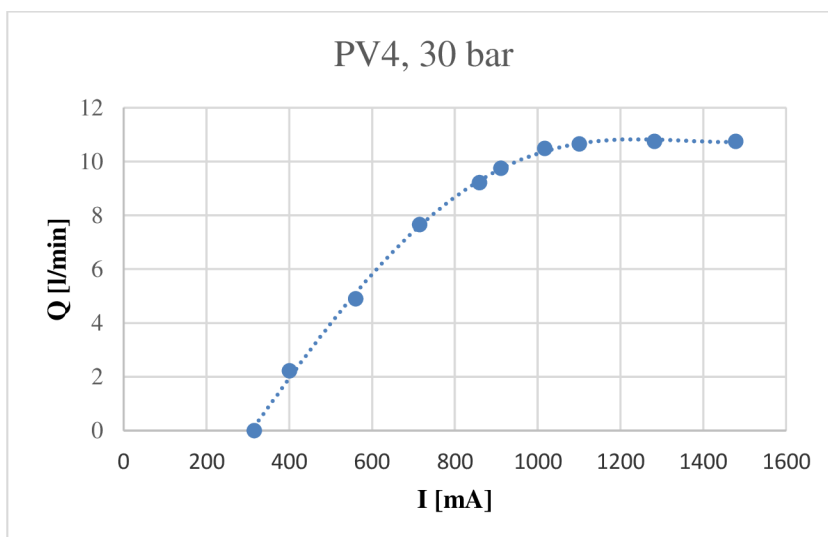


Obr. 32: Závislost tlakové ztráty na průtoku PV10

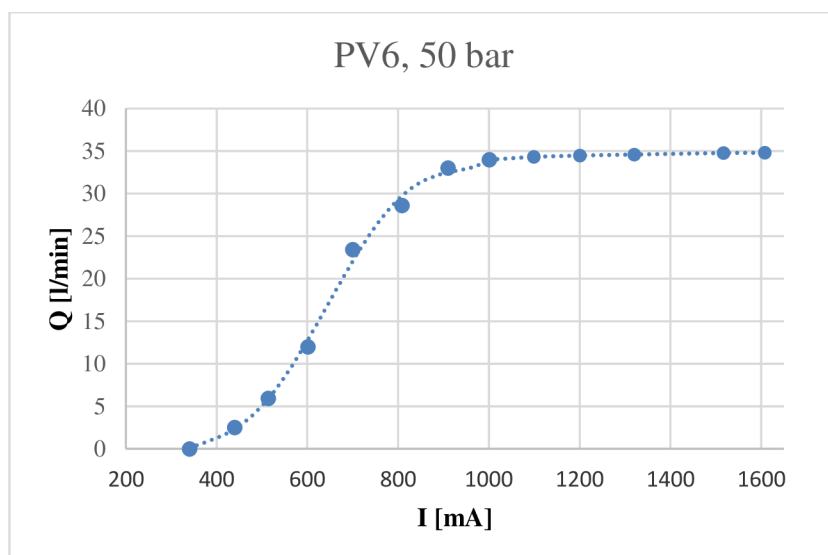
ZÁVISLOST PRŮTOKU NA PROUDU PŘIVÁDĚNÉM NA SOLENOID

Pro všechny PV kostky byla také stanovena závislost průtoku na přiváděném proudu při konstantním vstupním tlaku. Pro všechny bloky bylo měření provedeno při vstupním tlaku 50 bar s výjimkou PV4, kde byl vstupní tlak snížen na 30 bar, z důvodu příliš velkých průtoků při vyšším tlaku.

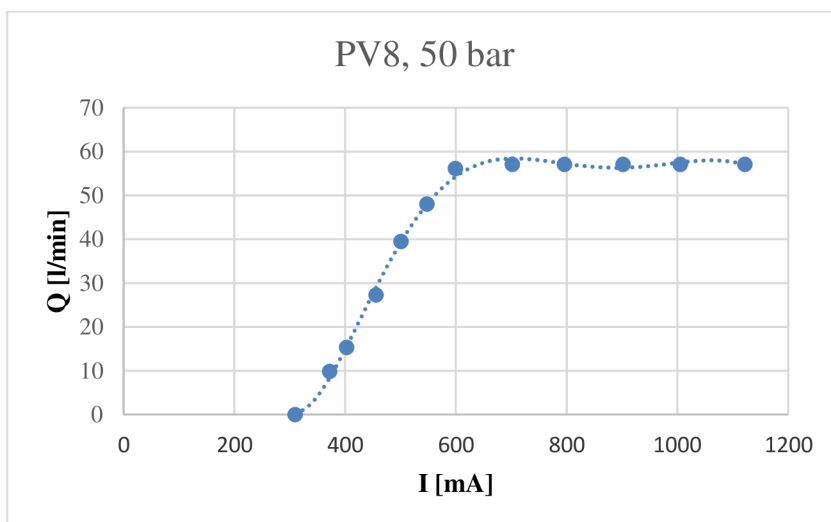
Pro toto měření bylo využito externího laboratorního zdroje v kombinaci s multimetrem Fluke 115 pro odečítání aktuálních hodnot vstupního proudu. Pro otevření solenoidového ventilu je vždy třeba určitý minimální ovládací proud, který se pohyboval u měřených vzorků mezi 310-350 mA.



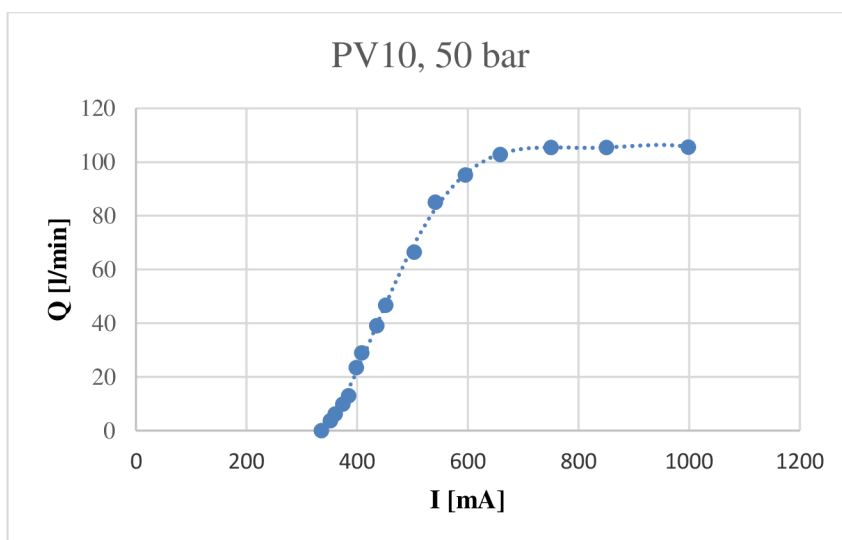
Obr. 33: Závislost průtoku na přiváděném proudu PV4



Obr. 34: Závislost průtoku na přiváděném proudu PV6



Obr. 35: Závislost průtoku na přiváděném proudu PV8



Obr. 36: Závislost průtoku na přiváděném proudu PV10

4.5 PV-FC PROPORCIONÁLNÍ VENTIL S FAIL CLOSE FUNKCÍ

4.5.1 POPIS FUNKCE

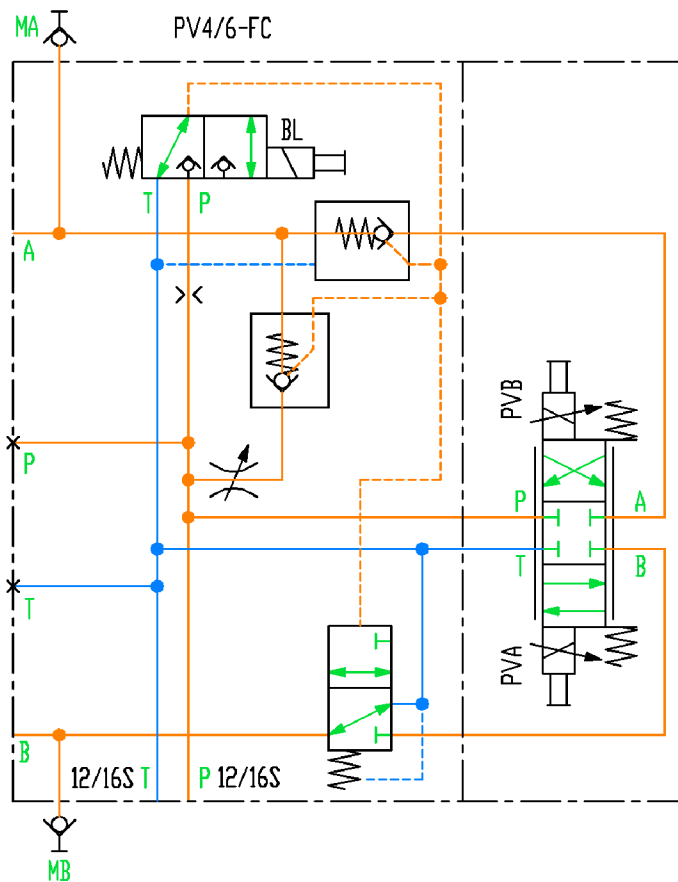
Hydraulické kostky PV-FC mají stejnou funkci jako PV bloky s rozdílem v poruchovém stavu. Oproti PV blokům, které v případě poruchy uzamknou pohyb hydraulického válce, PV-FC se pokusí válec uzavřít, pokud je k dispozici tlak v systému.

Mimo tuto bezpečnostní funkci je hydraulická kostka identická s PV.

Tab 2: Rozdělení PV-FC kostek dle velikosti

	Qmax	Velikost připojení	Řízení	Připojení P a T	Teplota při měření Q/dp	Teplota při měření I/Q
	[l/min]	[-]	[-]	[-]	[°C]	[°C]
PV4-FC	8	malé / 12S	přímo	PHD, THD	43.7-43.9	43.8-43.9
PV6-FC	30	malé / 16S	přímo	PND, TND	44.2-46.1	44-45.5

Modulace probíhá stejným způsobem jako u PV bloku.



Obr. 37: Hydraulické schéma PV-FC kostek

4.5.2 PORUCHOVÝ STAV

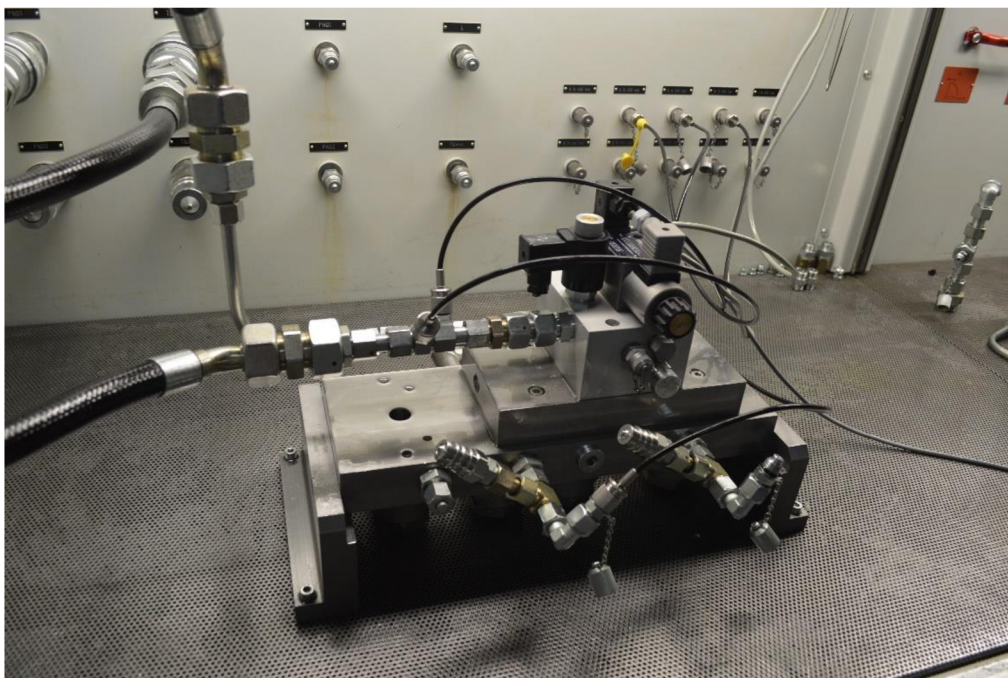
PV-FC v případě poruchy uzavírá válec, pokud je k dispozici dostatečný tlak. Tato funkce je zabezpečena řízeným jednosměrným ventilem, který je držen v uzavřené pozici blokačním elementem BL. V případě ztráty 24 V na solenoidu BL dojde k otevření jednosměrného ventilu mezi kanálem P a A.

Tento kanál mezi P a A je doplněn o škrťací ventil, kterým se škrťí průtok pro nastavení rychlosti pohybu hydraulického válce.

Při uzavření BL také dojde k odtlačování dvoupolohového ventilu v kanále B, který zabezpečí bypass modulačního ventilu, a tím umožní volný průtok oleje přímo do zpětné větve T.

4.5.3 POSTUP ZKOUŠKY

Hydraulické kostky byly zapojeny do zkušebního okruhu dle schématu na Obr. 23. Pro velikost PV4-FC byl použit tlakový výstup PHD, z důvodu malých průtoků. PV6-FC bylo připojeno na výstup PND.



Obr. 38: Zapojení pro testování PV6-FC

Po tlakové zkoušce a zkoušce těsnosti byla provedena následující měření.

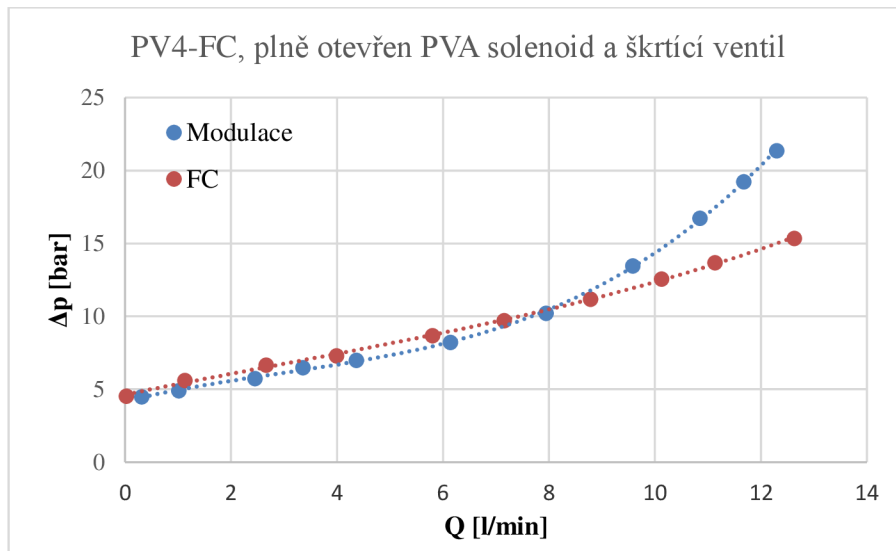
FUNKČNÍ TEST

Modulace byla testována stejným způsobem jako u PV bloků, tedy pouze pro PVA. Funkce blokačního elementu byla ověřena v rámci měření průtoku při poruchovém stavu.

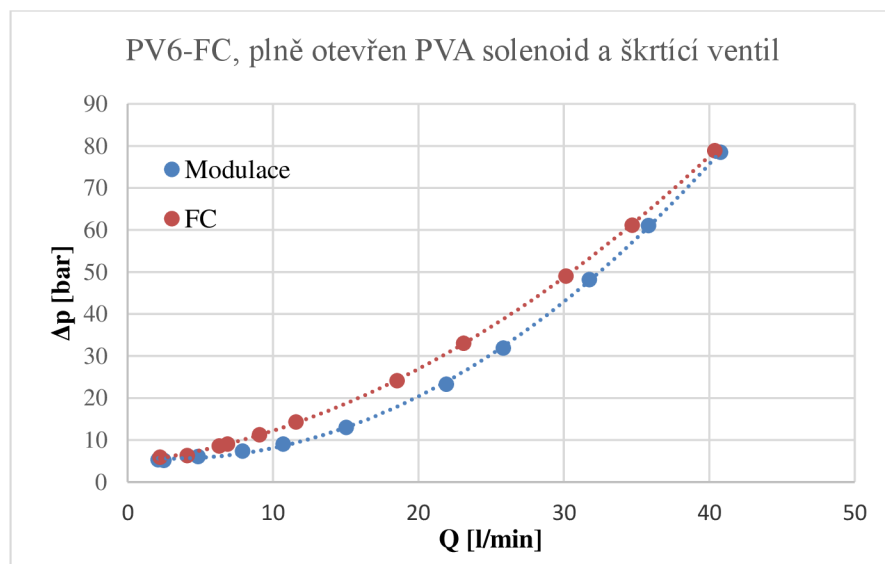
ZÁVISLOST TLAKOVÉ ZTRÁTY NA PRŮTOKU

Měření závislosti tlakové ztráty na průtoku probíhalo stejným způsobem jako u PV bloků, tedy pro plně otevřený PVA solenoid. Charakteristika byla doplněna o měření této závislosti při poruchovém stavu, tedy při průtoku přes škrťací ventil. Při měření byl škrťací ventil plně otevřen.

Poruchový stav byl simulován vypnutím SEV1, který byl připojen na blokační element BL.



Obr. 39: Závislost tlakové ztráty na průtoku PV4-FC

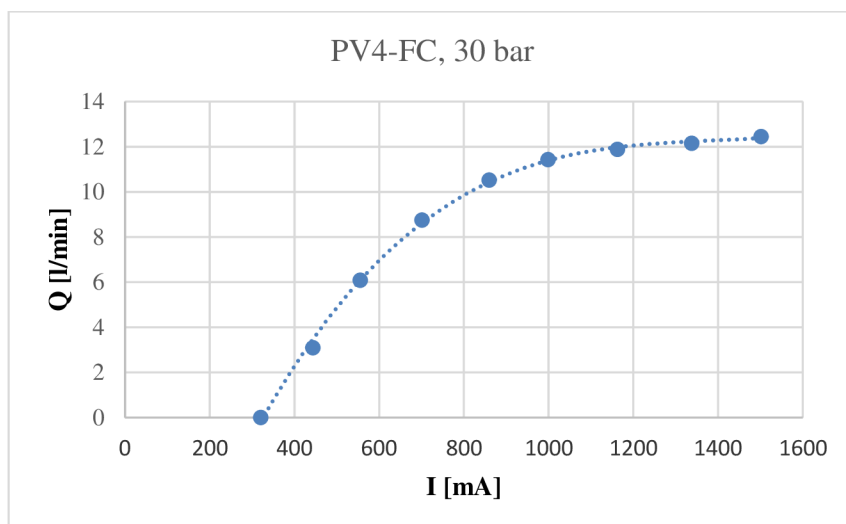


Obr. 40: Závislost tlakové ztráty na průtoku PV6-FC

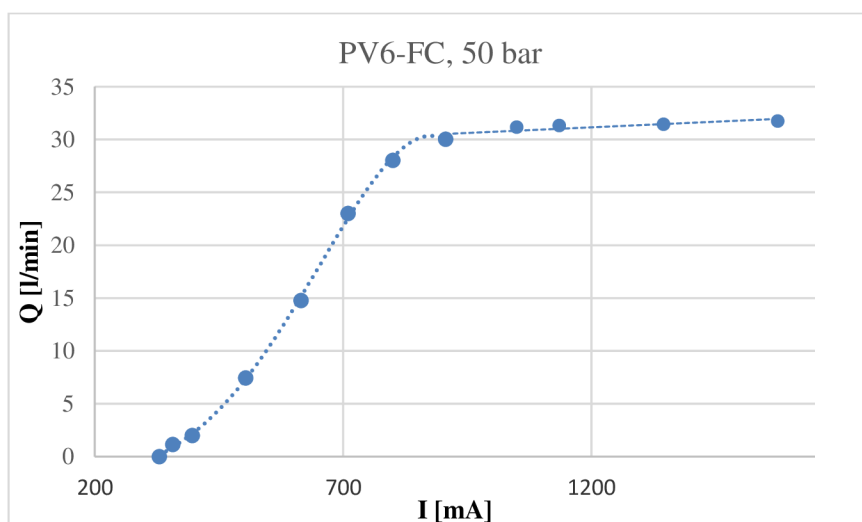
ZÁVISLOST PRŮTOKU NA PROUDU PŘIVÁDĚNÉM NA SOLENOID

Pro PV4-FC a PV6-FC byla stanovena závislost průtoku na přiváděném proudu při konstantním vstupním tlaku. Pro PV6-FC bylo měření provedeno při vstupním tlaku 50 bar, pro PV4-FC byl vstupní tlak snížen na 30 bar obdobně jako u PV4.

Měření bylo provedeno stejným způsobem jako u PV bloků.



Obr. 41: Závislost průtoku na přiváděném proudu PV4-FC



Obr. 42: Závislost průtoku na přiváděném proudu PV6-FC

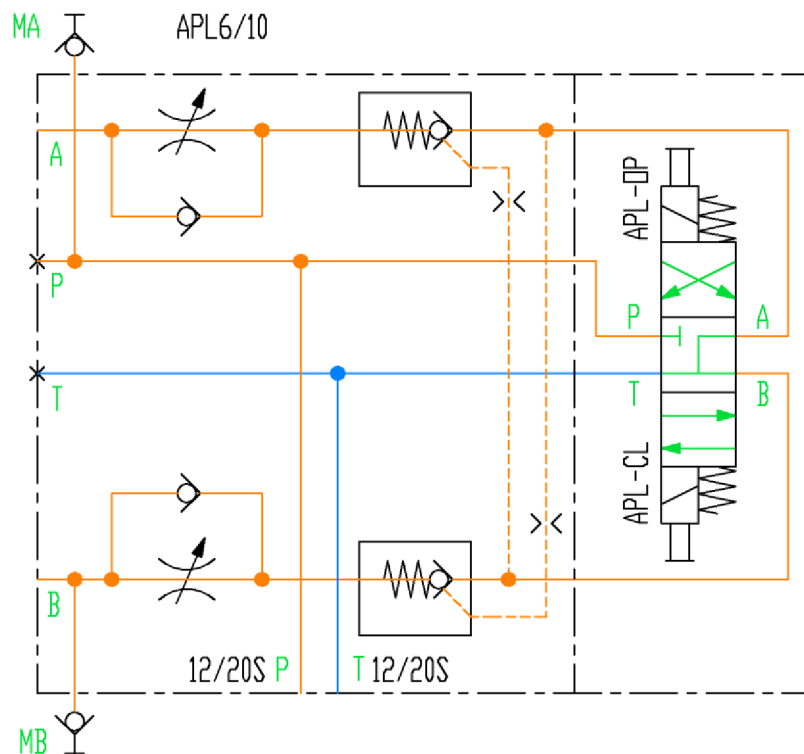
4.6 APL ON/OFF VENTIL

4.6.1 POPIS FUNKCE

APL hydraulické kostky slouží k řízení on/off ventilů za pomoci 4/3 ventilu, který je ovládaný solenoidy APL-OP a APL-CL. Hydraulický válec se uzavře při přivedení 24V na solenoid APL-CL a otevře při 24V na solenoidu APL-OP. Hydraulická kostka je osazena škrticími ventily s bypasssem, které zabezpečují nastavení rychlosti jak pro otevírání, tak pro zavírání. Rychlosti mohou být různé pro otevírání a uzavírání.

Tab 3: Rozdělení APL kostek dle velikosti

	Q_{max}	Velikost připojení	Řízení	Připojení P a T	Teplota při měření Q/dp	Teplota při měření I/Q
	[l/min]	[-]	[-]	[-]	[°C]	[°C]
APL6	30	malé / 12S	přímo	PND, TND		
APL10	60	velké / 20S	přímo	PND, TND		



Obr. 43: Hydraulické schéma *APL* kostek

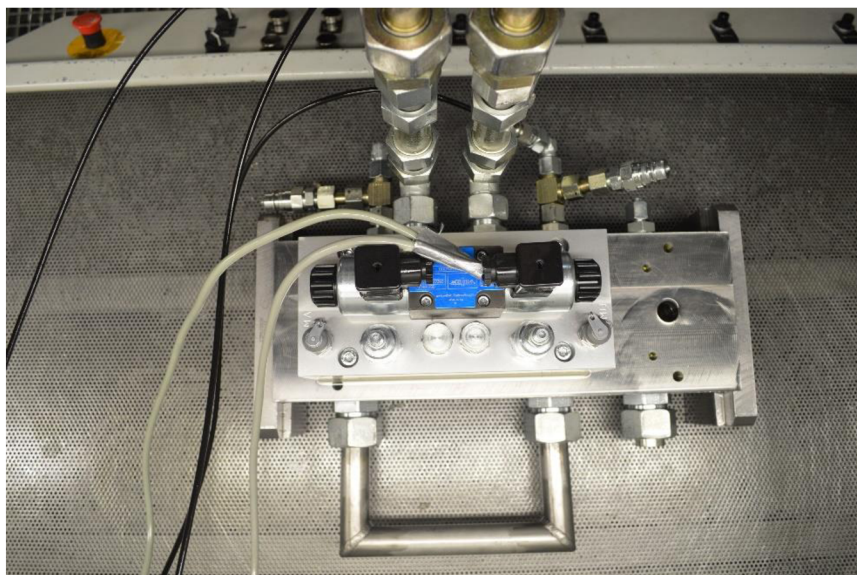
4.6.2 PORUCHOVÝ STAV

U *APL* bloků dojde v případě poruchy k přestavení 4/3 ventilu do výchozí polohy. V této poloze se odtlakují kanály mezi 4/3 ventilem a řízenými jednosměrnými ventily, čímž se tyto zpětné ventily uzavřou a hydraulický válec zůstane v poslední poloze.

4.6.3 POSTUP ZKOUŠKY

Hydraulické kostky byly zapojeny do zkušebního okruhu dle schématu na Obr. 23. Obě velikosti *APL* bloku byly připojeny na výstup PND. Zapojení *APL6* lze vidět na Obr. 22, zapojení *APL10* pak na následujícím obrázku.

Pro všechna měření byly oba škrticí ventily na *APL* kostce plně otevřeny, aby nedocházelo ke škrcení průtoku.



Obr. 44: Zapojení pro testování APL10

Po tlakové zkoušce a zkoušce těsnosti byla provedena následující měření.

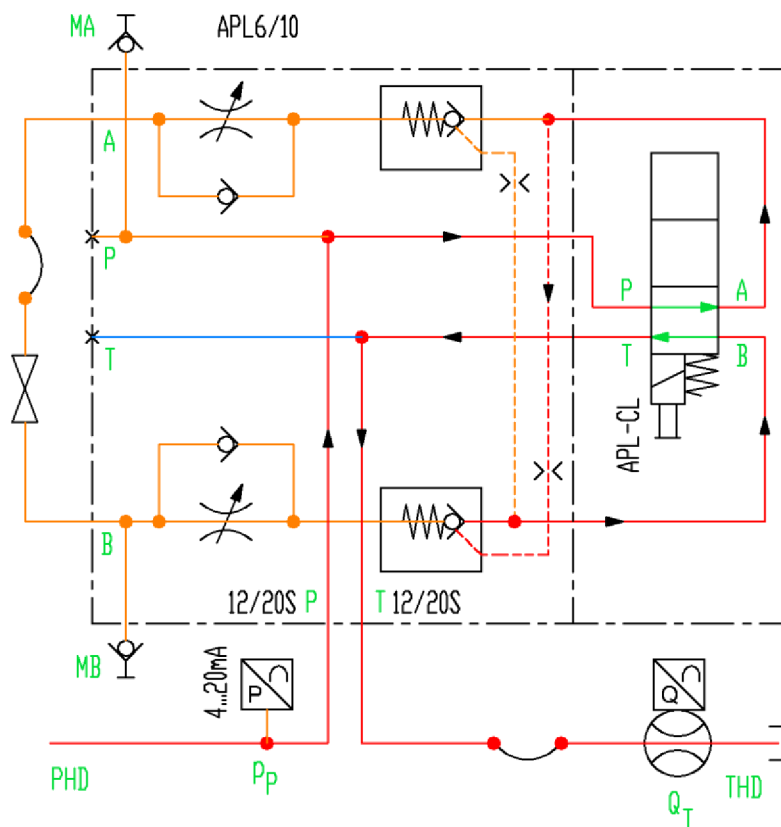
FUNKČNÍ TEST

U obou velikostí APL bloků byla ověřena odchylka průtoku mezi plně otevřeným solenoidem APL-OP a APL-CL při 50 % a 100 % maximálního průtoku hydraulické kostky. Tato odchylka nebyla na žádné kostce větší než 1 %. Charakteristiky byly vyhodnocovány pouze pro solenoid APL-CL.

APL kostky mají jediné vyvedeny řídicí tlak pro ovládání jednosměrných ventilů z kanálů A a B. Byla ověřena těsnost řídicího tlaku pro tyto jednosměrné ventily, dle následného schématu Obr. 45. Mezi kanálem A a B byla namontována hadice s kulovým ventilem, který izoloval tyto dva kanály. APL kostka byla natlakována na 160 bar a solenoid APL-CL byl aktivován. Následně byl měřen průtok ve zpětné větvi Q_T . Stejně měření bylo provedeno pro solenoid APL-OP.

V obou případech byl naměřený průtok mezi 2,3-2,4 l/min, tedy cca 40 ml/sec. Ve výchozím stavu 4/3 ventilu nebyl naměřen žádný průtok, tedy průtok byl nižší než minimální rozlišovací průtok průtokoměru THD tedy 20 ml/min.

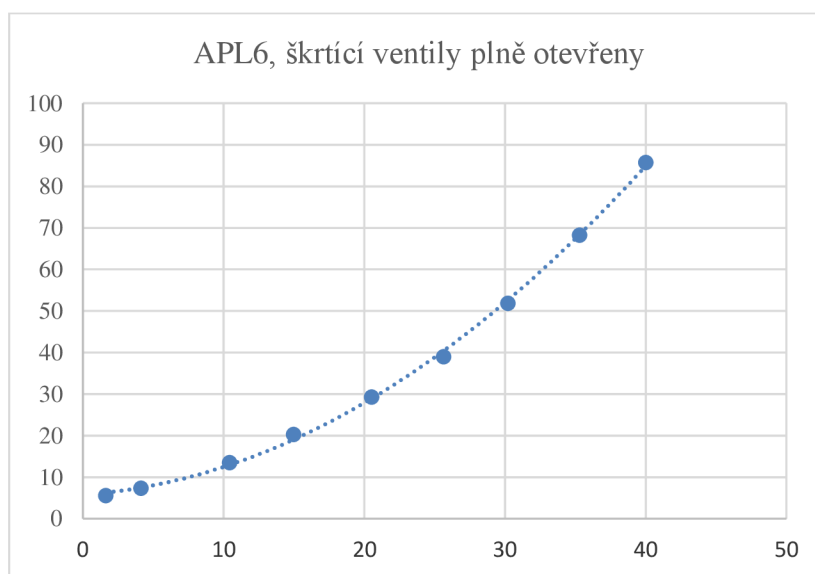
V případě aktivovaného solenoidu APL-CL, docházelo k natlakování kanálu A. Olej v kanále řídicího tlaku, který ovládá řízený zpětný ventil pro kanál B kontinuálně unikal zpět do nádrže T kanálem B. Tento únik je znázorněn na schématu Obr. 45 červenou barvou.



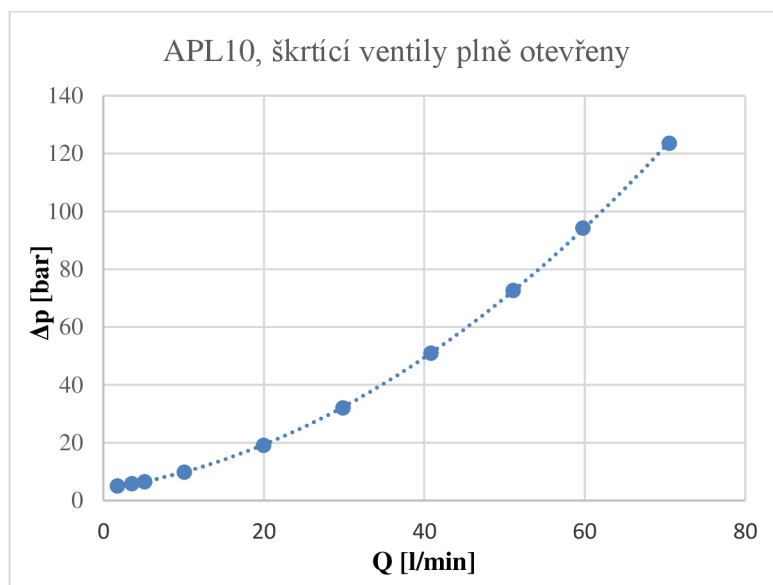
Obr. 45: Zapojení pro testování těsnosti řídicího tlaku zpětných ventilů APL

ZÁVISLOST TLAKOVÉ ZTRÁTY NA PRŮTOKU

Pro toto měření byl využit integrovaný výstup napětí SEV1, který byl připojen na solenoid APL-CL. V průběhu celého měření byl tento výstup SEV1 aktivován. Tímto bylo zajištěno úplné otevření kanálů P→A→B→T.



Obr. 46: Závislost tlakové ztráty na průtoku APL6



Obr. 47: Závislost tlakové ztráty na průtoku APL10

4.7 4/2WE ON/OFF VENTIL

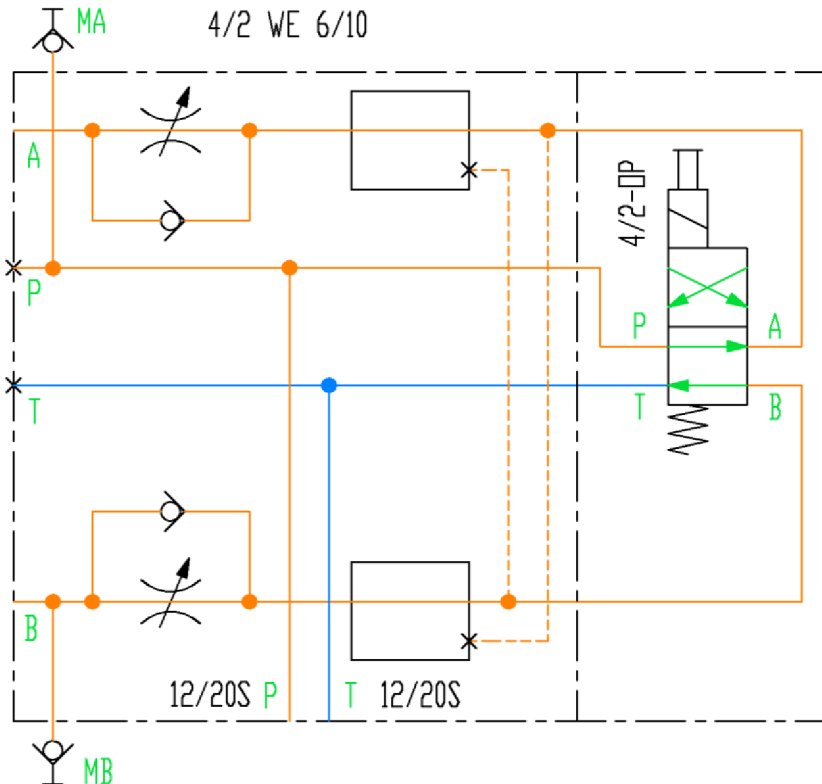
4.7.1 POPIS FUNKCE

4/2WE hydraulická kostka slouží k řízení on/off ventilů, za pomoci 4/2 ventilu, který je ovládán solenoidem 4/2-OP. Hydraulický válec se otevře při přivedení 24 V na sol 4/2-OP a uzavře se, pokud je solenoid bez napětí. Tento blok je tedy ovládán jedním binárním signálem.

Hydraulická kostka je osazena škrticími ventily s bypassem, které zabezpečují nastavení rychlosti jak pro otevírání, tak pro uzavírání, stejně jako APL blok.

Tab 4: Rozdělení 4/2WE ventilů dle velikostí

	Q_{max} [l/min]	Velikost připojení [-]	Řízení [-]	Připojení P a T [-]	Teplota při měření Q/dp [°C]
4/2WE6	30	malé / 12S	přímo	PND, TND	42 – 44,8
4/2WE10	60	velké / 20S	přímo	Zatím nevyrobeno	-



Obr. 48: Hydraulické schéma 4/2WE kostek

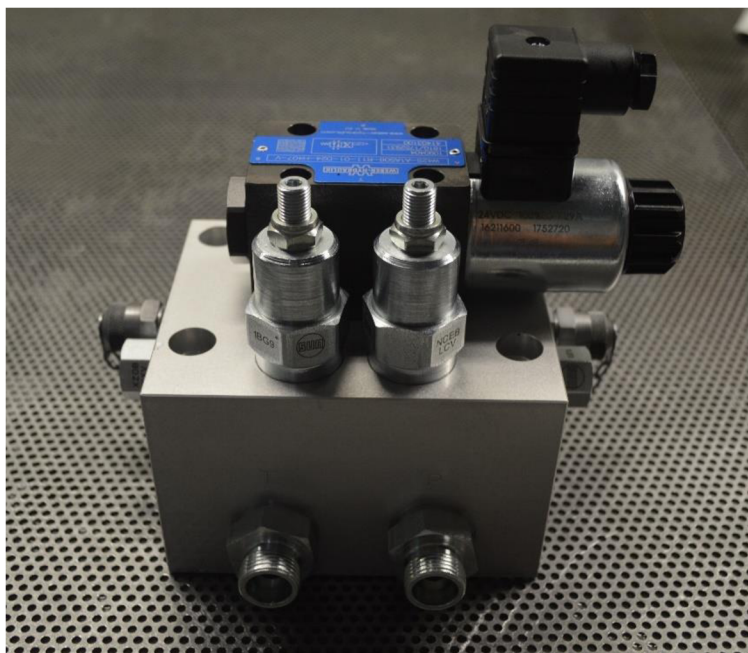
4.7.2 PORUCHOVÝ STAV

4/2WE blok v případě poruchy přestaví 4/2 ventil do výchozí polohy, čímž dojde k uzavření hydraulického válce, pokud je dostatečný tlak v systému. Tento blok nemá hydraulické zámky, a tudíž při ztrátě hydraulického tlaku může dojít k otevření hydraulického válce vlivem tlaku média v ovládaném ventilu.

4.7.3 POSTUP ZKOUŠKY

4/2WE kostka byla zapojena do zkušebního okruhu dle schématu na Obr. 23. Měření probíhalo s připojeným tlakovým výstup PND.

V průběhu měření byly oba škrťací ventily plně otevřeny, aby nedocházelo ke škrcení průtoku.



Obr. 49: 4/2WE6 kostka, nepřipojena

Po tlakové zkoušce a zkoušce těsnosti byla provedena následující měření.

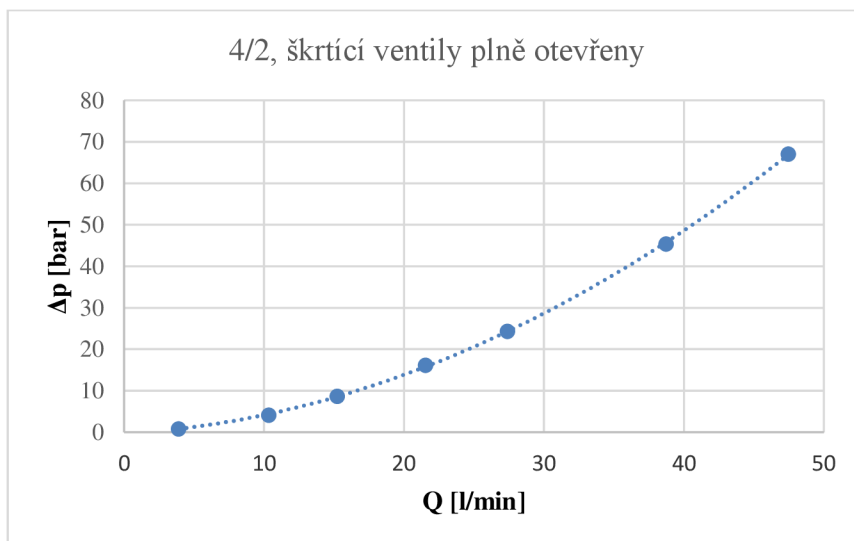
FUNKČNÍ TEST

Odchylka průtoku mezi aktivovaným a deaktivovaným solenoidem 4/2-OP byla při 50 % a 100 % maximálního průtoku hydraulické kostky menší než 1 %. Charakteristiky byly vyhodnocovány pouze pro solenoid 4/2-OP bez napětí.

Funkce tohoto bloku byla ověřena při měření průtokové charakteristiky.

ZÁVISLOST TLAKOVÉ ZTRÁTY NA PRŮTOKU

V průběhu tohoto měření nebyl přiváděn proud na solenoid hydraulické kostky. V tomto stavu jsou plně otevřeny kanály $P \rightarrow A \rightarrow B \rightarrow T$.



Obr. 50: Závislost tlakové ztráty na průtoku 4/2WE6

4.8 SSB VENTIL

4.8.1 POPIS FUNKCE

SSB bloky slouží k rychlému otevření nebo zavření, dle montáže.

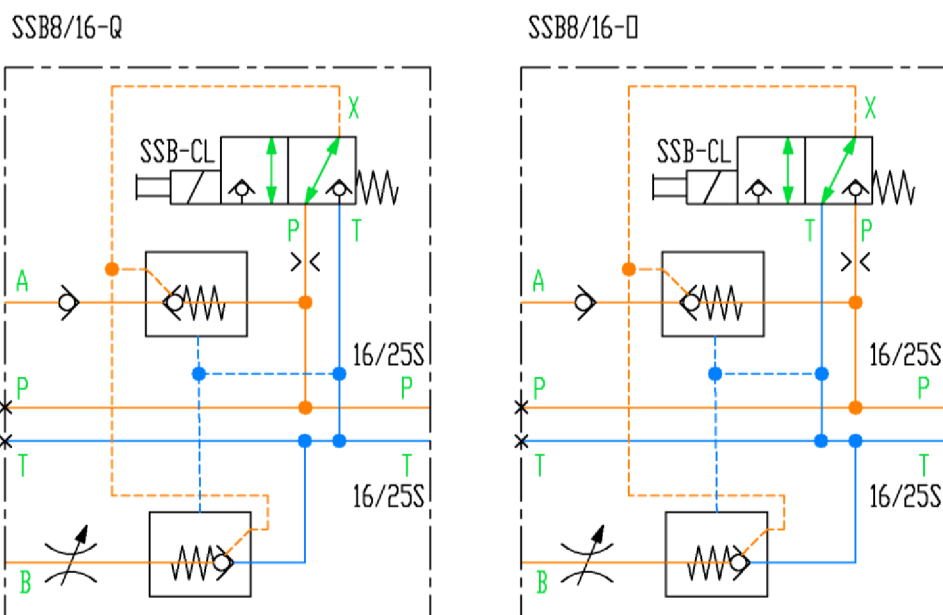
Existuje provedení SSB-Q, které ve výchozím stavu blokačního ventilu umožňuje průtok touto kostkou. Zpravidla se používá tak, že na solenoid SSB-CL je v běžném provozu přivedeno 24 V, v případě poruchy dojde k přestavení blokačního ventilu do výchozí polohy, otevření jednosměrných ventilů a hydraulický válec udělá pracovní zdvih.

V případě varianty SSB-O je funkce velice podobná. Ve výchozím stavu jsou jednosměrné ventily uzavřeny. V případě přivedení 24 V na solenoid SSB-CL dojde k odblokování a hydraulický válec udělá pracovní zdvih.

Dle orientace kostky se může jednat o rychlé zavření nebo rychlé otevření. Podle požadovaného poruchového stavu je použita varianta O nebo Q. Rychlost zdvihu válce je nastavená pomocí škrťacího ventilu v kanále B.

Tab 5: Rozdělení SSB ventilů dle velikosti

	Q_{max}	Velikost připojení	Řízení	Připojení P a T	Teplota při měření Q/dp
	[l/min]	[-]	[-]	[-]	[°C]
SSB8-O	80	malé / 16S	přímo	PND, TND	43.4-45.2
SSB8-Q	200	malé / 16S	přímo	PND, TND	43.1-45.3
SSB16-O	80	velké / 25S	přímo	PND, TND	42.6-46.8
SB16-Q	200	velké / 25S	přímo	PND, TND	42.7-47.2



Obr. 51: Hydraulické schéma SSB kostek

4.8.2 PORUCHOVÝ STAV

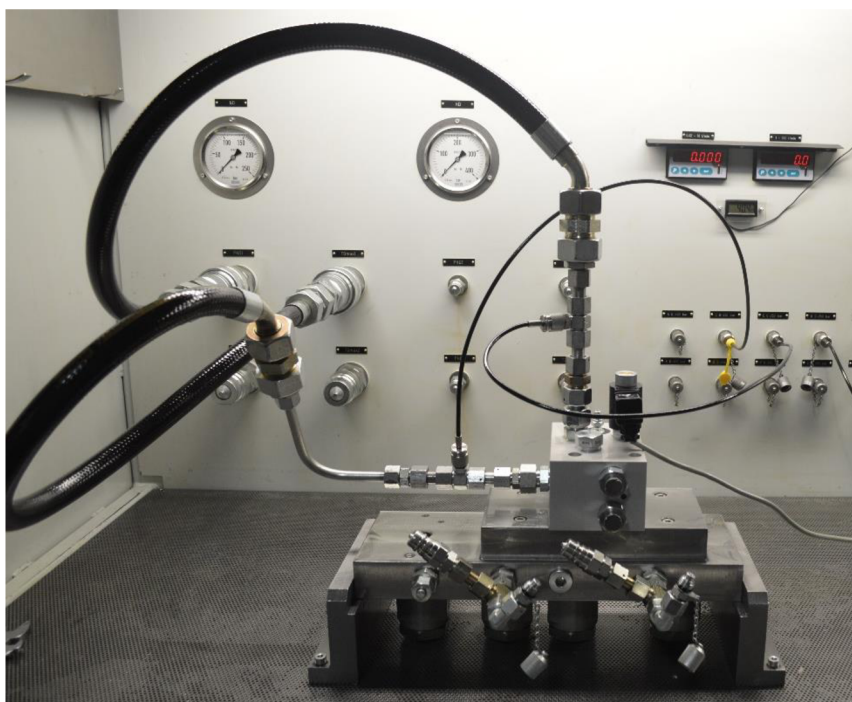
Poruchový stav je různý pro variantu O a Q. Pro SSB-O se v případě poruchy, jak byla definovaná dříve, nestane nic, jelikož zpětné ventily jsou uzavřené a aby došlo k nějaké změně, je potřeba na solenoid přivést napětí.

U varianty SSB-Q však v případě poruchy dojde k provedení pracovního zdvihu válce.

4.8.3 POSTUP ZKOUŠKY

Všechny SSB kostky byly zapojeny do zkušebního okruhu dle schématu na Obr. 23. Měření probíhalo s připojeným tlakovým výstup PND.

V průběhu měření byl škrticí ventil plně otevřen.



Obr. 52: Zapojení SSB8-O pro testování

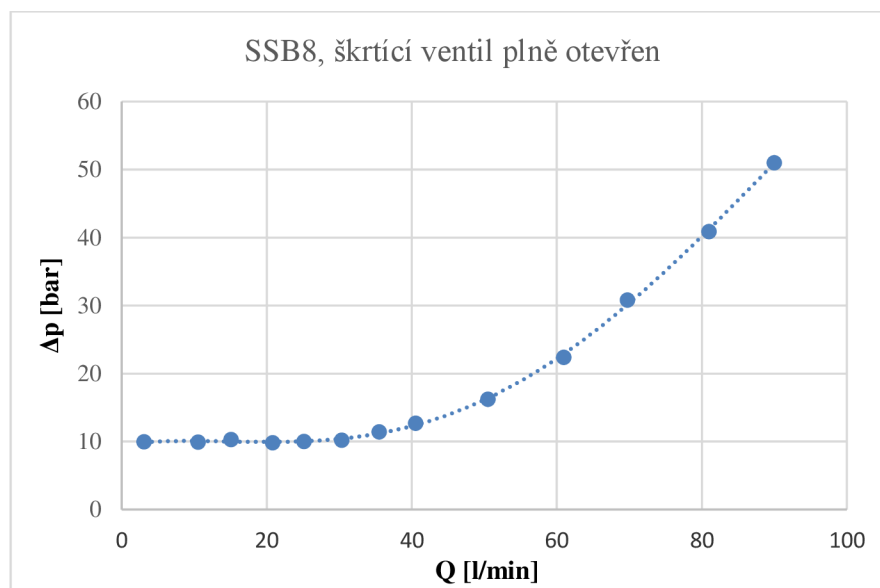
Po tlakové zkoušce a zkoušce těsnosti byla provedena následující měření.

FUNKČNÍ TEST

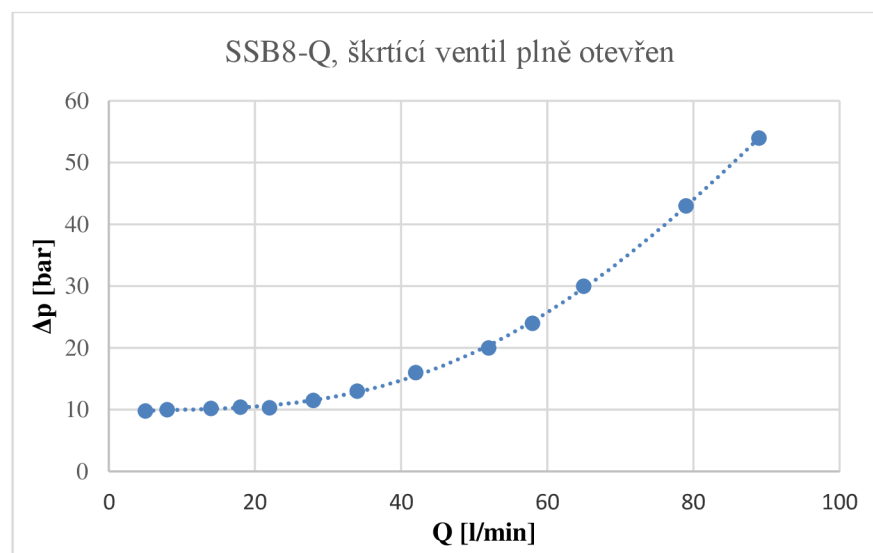
Funkce tohoto bloku byla ověřena při měření průtokové charakteristiky.

ZÁVISLOST TLAKOVÉ ZTRÁTY NA PRŮTOKU

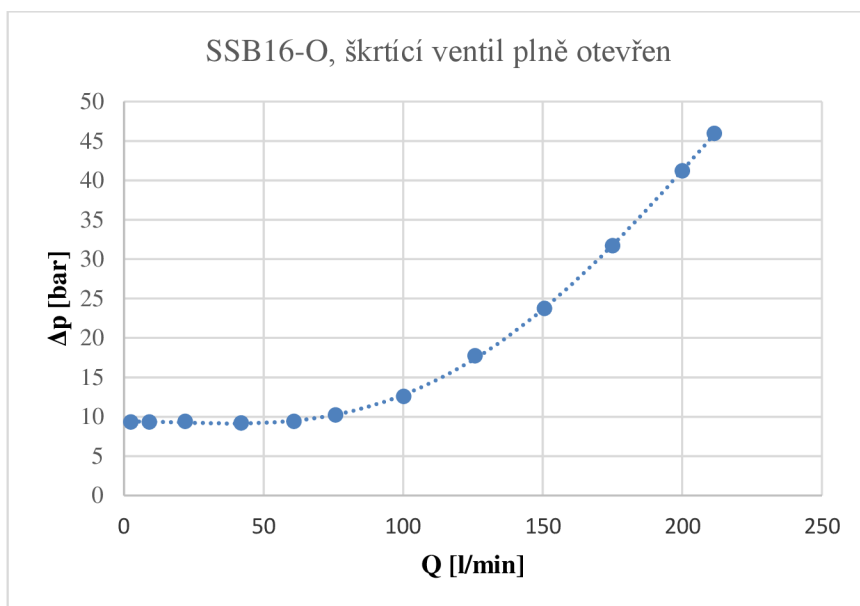
V průběhu tohoto měření nebyl přiváděn proud na solenoid SSB-CL v případě hydraulických kostek SSB-Q. Pro kostky SSB-O byl použit integrovaný výstup napětí SEV1, který byl po dobu měření aktivován. V tomto stavu byly plně otevřeny kanály $P \rightarrow A \rightarrow B \rightarrow T$.



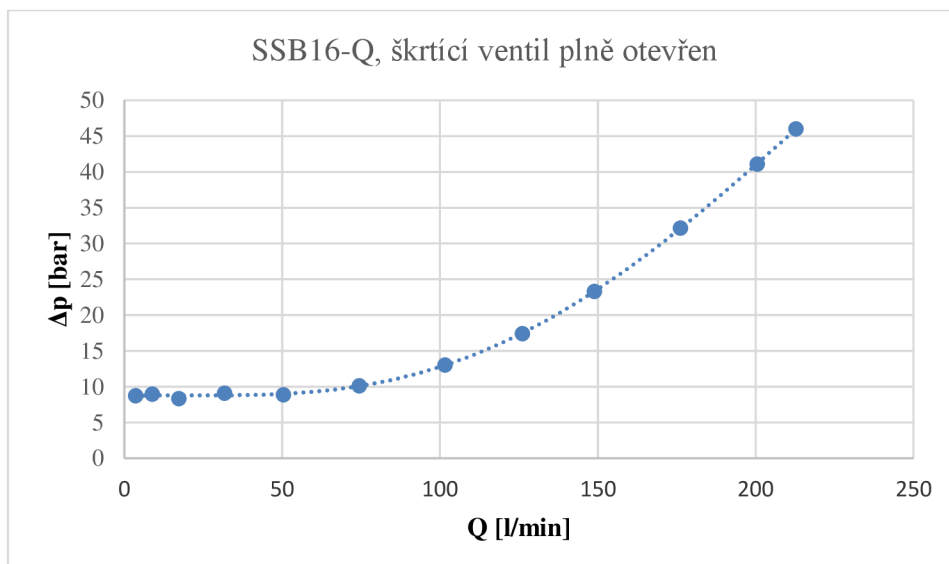
Obr. 53: Závislost tlakové ztráty na průtoku SSB8-O



Obr. 54: Závislost tlakové ztráty na průtoku SSB8-Q



Obr. 55: Závislost tlakové ztráty na průtoku SSB16-O



Obr. 56: Závislost tlakové ztráty na průtoku SSB16-Q

5 PŘEHLED VÝSLEDNÝCH TLAKOVÝCH ZTRÁT

V následující tabulce jsou uvedeny zaokrouhlené hodnoty tlakové ztráty pro maximální průtoky daných hydraulických kostek udávané výrobcem. Tlaková ztráta je také uvedena pro 70 % maximálního průtoku a u FC bloků také pro proudění při poruchovém stavu.

Tab 6: Rozdělení SSB ventilů dle velikostí

	Q_{\max}	Δp při Q_{\max}	Δp při 70% Q_{\max}	Δp při Q_{\max} (FC)
	[l/min]	[bar]	[bar]	[bar]
PV4	8	12	10	-
PV4-FC	8	10	7,5	10,5
PV6	30	37	20	-
PV6-FC	30	42	22	50
PV8	60	51	27	-
PV10	120	56	30	-
APL6	30	52	30	-
APL10	60	96	51	-
4/2WE6	30	28	15	-
4/2WE10	60	-	-	-
SSB8-O	80	40,5	21,5	-
SSB8-Q	200	43,5	23	-
SSB16-O	80	42	20	-
SSB16-Q	200	41,5	20	-

ZÁVĚR

TLAKOVÁ ZKOUŠKA, ZKOUŠKA EXTERNÍ TĚSNOSTI

Tlaková zkouška byla provedena pro všechny vyšetřované bloky, a to po dobu 10 min při 1,5násobku maximálního pracovního tlaku, tedy 240 bar. Účelem této zkoušky byl zátěžový test komponentů hydraulické kostky a jejího těla, a také zkouška externí těsnosti. Externí únik byl pozorován na jedné z testovaných kostek. Důvod tohoto úniku byl poškozený o-kroužek na kanále A. Po výměně o-kroužku nebyl pozorován další únik oleje. Zahloubení pro o-kroužek nemělo ostrou hranu, tudíž tato závada byla posouzena jako ojedinělá chyba, a ne jako chyba designu.

ZKOUŠKA INTERNÍ TĚSNOSTI

Dále byla provedena zkouška interní těsnosti jednosměrných ventilů na výstupech A a B. Tato zkouška simuluje uzamčení pohybu válce, v případě, kdy není ovládaný. Tuto funkci mají všechny hydraulické kostky vyjma 4/2 ventilu, který tyto zámky nemá. Tento test probíhal po dobu 2 min při maximálním pracovním tlaku, tedy 160 bar.

V rámci testování interní těsnosti byla také testována těsnost sedlových blokačních ventilů po dobu 10 min při 160 bar. Všechny testované kostky vyhověly zkoušce interní těsnosti.

FUNKČNÍ TEST

Funkční test probíhal různým způsobem dle konkrétní funkce hydraulické kostky. U všech bloků, které slouží pro pohyb válce v obou směrech byla ověřena odchylka průtoků, při 50 % a 100 % maximálního průtoku pro oba směry. Ve všech případech nebyla tato odchylka větší než 1 %. Na základě této informace byla prováděna všechna měření pouze pro jeden směr pohybu.

V rámci funkčního testu hydraulické kostky APL, byl zjištěn průtok oleje kanálem pro řídicí tlak zpětného ventilu. K tomuto průtoku dochází vždy když je aktivován solenoid APL-OP nebo APL-CL. V běžném provozu tato kostka není nikdy používána ve výchozím stavu, ale je vždy aktivován buď APL-OP nebo APL-CL, jinak by docházelo v hydraulickém okruhu ke kontinuální ztrátě cca 2,4 l/min. Tato ztráta by vedla k velice častému dobíjení akumulátorů na hydraulickém agregátu.

V rámci vyšetřování tohoto průtoku bylo zjištěno použití zpětného ventilu bez těsnění mezi řídicím tlakem a hlavním kanálem. Konkrétní zpětný ventil je vyráběn i ve variantě s těsněním mezi těmito dvěma kanály. Vrtání pro tyto dva komponenty je identické. Zpětné ventily budou nahrazeny variantou s těsněním mezi těmito kanály.

Q/I CHARAKTERISTIKA

Pro všechny modulační kostky, tedy bloky PV a PV-FC byla naměřena závislost průtoku na přiváděném proudu při konstantním vstupním tlaku. Tento tlak byl volen vzhledem k dosahovanému průtoku a rozsahu průtokoměru. Hodnota vstupního tlaku byla zvolena 50 bar. U PV4 bloku, byl tento tlak snížen na 30 bar, z důvodu příliš velkého průtoku blokem. PV4 byl také jediný připojen na průtokoměr s rozsahem pro menší průtoky.

Všechny proporcionální ventily v tomto měření měly otevírací proud mezi 310-350 mA. Pro menší ventily (PV4/6) byl proud pro maximální otevření okolo 1 A, pro bloky větší (PV8/10) pak okolo 600 mA.

TLAKOVÁ ZTRÁTA

U všech měřených kostek byla naměřena tlaková ztráta v závislosti na průtoku při plně otevřených kanálech $P \rightarrow A \rightarrow B \rightarrow T$ (plně otevřené škrťací ventily, plně otevřené solenoidové ventily). Pro blok PV4, který slouží pro průtoky do 8 l/min, byla tlaková ztráta při maximálním průtoku okolo 10 bar. U ostatních kostek pak tlaková ztráta při maximálním průtoku byla naměřena mezi 37-56 bary. Ojediněle pro blok APL10 byla naměřena tlaková ztráta 96 bar při maximálním průtoku. Kostka s takovou tlakovou ztrátou v systému, který pracuje s 160 bary, není použitelná.

Bylo doporučeno použít větší komponenty pro snížení tlakové ztráty. Upravený design musí splnit podmínku maximální tlakové ztráty 50 bar při 60 l/min.

ZHODNOCENÍ DESIGNU

Na základě výsledků těchto měření byl schválen design všech bloků vyjma bloku APL6 a APL10 z důvodu chyby designu spojené s kontinuálním průtokem hydraulickou kostkou způsobeným volbou špatného komponentu, pro APL10 pak také z důvodu přílišné tlakové ztráty. Doporučení na nápravné kroky bylo uděleno.

CÍLE

Zpracování testovacího postupu a protokolu pro testování hydraulických kostek po montáži v rámci CCI nebylo zpracováno z důvodu rozhodnutí o testování těchto kostek dodavatelem v rámci výstupní kvality. Z tohoto důvodu nebyl tento cíl naplněn, naproti tomu bylo měření proporcionální kostky rozšířeno o další typy hydraulických kostek, které tuto práci doplnilo nad rámec zadání.

JEDNOTKY

Některé použité jednotky nebyly ze soustavy SI, ale byly voleny jednotky, které se běžně používají v tomto odvětví a datové listy hydraulických komponentů právě tyto jednotky uvádějí. Konkrétně se jedná o tlak a průtok, respektive [bar] a [l/min].

POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] Fluid power systems and components - Graphical symbols and circuit diagrams. 3rd ed. BSI Standards, 2012. ISBN 978 0 580 76225 0.
- [2] ARS. In: *IMI-CRITICAL* [online]. [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: <http://www.imi-critical.com/products/Pages/Product-ARS-.aspx>
- [3] IMI STI SCV Series 1. In: *IMI-CRITICAL* [online]. [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: http://www.imi-critical.com/products/PublishingImages/IMI_STI_SCV_Series_1.jpg
- [4] SA 10.2 LE 25.1. In: *AUMA* [online]. [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: https://www.auma.com/fileadmin/user_upload/images_com/products/sa_10_2_le_25_1.jpg
- [5] ŠOB, František. Hydromechanika. Vyd. 2. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2008. ISBN 978-80-214-3578-0
- [6] VARCHOLA, M., KNÍŽAT, B., TÓTH, P.: Hydraulické riešenie potrubných systémov. Viena. Košice. 2004. 265 s. ISBN 80-8073-126-8.
- [7] DVPS-3-10_400-P-581401-en. In: *BUCHERHYDRAULICS* [online]. [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: <https://www.bucherhydraulics.com/47107/Products/Mobile-and-Industrial-Hydraulics/Products/Valves/Pressure-Functions/Pressure-Relief-Valves/Cartridge-Valves/index.aspx>
- [8] DUR UK. In: *PH.PARKER* [online]. [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: <https://www.parker.com/Literature/Industrial-Systems-Division-Europe/Catalogues/Industrial%20Valves%20UK/05/DUR%20UK.pdf>
- [9] F500obs/E: QVMZO. In: *ATOS* [online]. [cit. 2019-03-22]. Dostupné z: <http://www.atos.com/online/catalogue-online/proportional-pressure-flow-controls.html>
- [10] Tellus S2 MX 46 (2016), v4.1. In: *SHELL* [online]. [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: https://www.shell.co.th/th_th/business-customers/lubricants-for-business/lubricants-product-range/shell-tellus-hydraulic-fluids/jcr_content/par/expandablelist_ba3f/expandablesection_be.stream/1492503765477/8707ee870ad8207950b7c7d7daa28e1b30acd01f/shell-tellus-s2-mx-46.pdf
- [11] Positive Displacement Flow Meters. In: *FLOWMETRICS* [online]. [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: <http://flowmetrics.com/wp-content/uploads/2016/11/Positive-Displacement-Flow-Meters.png>
- [12] VS gear flow meter. In: *VSE-FLOW* [online]. [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: https://www.e-group.de/assets/epaper/vse/katalog_vse_serie_vs_en/
- [13] Resistive pressure transmitter. In: *WIKA* [online]. [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: <https://blog.wika.com/products/pressure-products/functional-principle-resistive-pressure-transmitter/>

- [14] EN 18.634.0/02.18: HDA 4400. In: *HYDAC* [online]. [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: <https://www.hydac.com/de-en/products/sensors/pressure-sensors/pressure-transmitters/hda-4400/show/Download/index.html>
- [15] 2634043_6116_ENG_C_W: Fluke 115. In: *FLUKE* [online]. [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: https://dam-assets.fluke.com/s3fs-public/2634043_6116_ENG_C_W.PDF

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

d	[m]	vnitřní průměr potrubí
D_h	[m]	hydraulický průměr potrubí
L	[m]	délka potrubí
P_P	[barg]	relativní tlak ve tlakové větvi P
P_T	[barg]	relativní tlak ve zpětné větvi T
P_A	[barg]	relativní tlak ve větvi A
Δp	[bar]	tlaková ztráta
Q, Q_T	[l/min]	průtok hydraulickou kostkou, průtok ve zpětné větvi T
Q_{max}	[l/min]	maximální průtok kostkou definovaný dodavatelem
Re	[1]	reynoldsovo číslo
v	[m/s]	střední rychlost oleje v potrubí
Y_{ZT}	[J·kg ⁻¹]	měrná ztrátová energie po délce
λ	[1]	koeficient tření
ρ	[kg·m ⁻³]	hustota oleje
DN	[mm]	diameter nominal – jmenovitý průměr
g	[m ² ·s ⁻¹]	tíhové zrychlení
HD	[-]	high density – vysoká hustota
H_D	[m]	dopravní výška čerpadla
H_{D1min}	[m]	minimální potřebná dopravní výška
H_{D2min}	[m]	minimální potřebná dopravní výška
I_v	[A]	spouštěcí proud ventilu
L	[m]	vzdálenost řídicí jednotky a ventilu
LD	[-]	low density – nízká hustota

SEZNAM TABULEK

<i>Tab 1: Rozdělení PV kostek dle velikostí</i>	<i>36</i>
<i>Tab 2: Rozdělení PV-FC kostek dle velikostí.....</i>	<i>42</i>
<i>Tab 3: Rozdělení APL kostek dle velikostí</i>	<i>46</i>
<i>Tab 4: Rozdělení 4/2WE ventilů dle velikostí</i>	<i>50</i>
<i>Tab 5: Rozdělení SSB ventilů dle velikostí.....</i>	<i>53</i>
<i>Tab 6: Rozdělení SSB ventilů dle velikostí.....</i>	<i>57</i>

SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ

Obr. 1: Zjednodušené schéma parního cyklu, zdroj vlastní.....	16
Obr. 2: Vysokotlaký bypassový ventil ARS [2]	17
Obr. 3: Pneumatický pohon STI [3].....	18
Obr. 4: Elektrický pohon AUMA [4].....	18
Obr. 5: Hydraulický agregát	22
Obr. 6: Testovací část hydraulické jednotky.....	22
Obr. 7: Schéma řízení tlaku a průtoku PND a PHD	23
Obr. 8: <i>Proporcionální solenoidový pojistný ventil [7]</i>	24
Obr. 9: <i>Proporcionální solenoidový ventil pro řízení průtoku [8][11]</i>	24
Obr. 10: <i>Proporcionální solenoidový pojistný ventil [9]</i>	25
Obr. 11: <i>Zubový průtokoměr [11]</i>	26
Obr. 12: <i>Tlaková ztráta VS0.2 a VS4 [12]</i>	26
Obr. 13: <i>Průtokoměr VS4 a VS0.2</i>	27
Obr. 14: <i>DMS tlakový snímač [13]</i>	27
Obr. 15: <i>Tlakové snímače a jejich připojení Minimes</i>	28
Obr. 16: <i>Regulátor napětí Variac</i>	29
Obr. 17: <i>Elektrické zapojení pro řízení přiváděného proudu na solenoid</i>	29
Obr. 18: <i>Fluke 115 elektrické schéma zapojení</i>	30
Obr. 19: <i>HMG3000</i>	30
Obr. 20: <i>Přípojná deska pro menší/větší připojení</i>	31
Obr. 21: <i>Hydraulická kostka „malé“ připojení, port A a B, zazátkovaný port P a T</i>	32
Obr. 22: <i>Zapojení hydraulické kostky pro měření (APL6)</i>	33
Obr. 23: <i>Schéma zapojení hydraulické kostky (APL6)</i>	33
Obr. 24: <i>Schéma zkouška interní těsnosti (APL6)</i>	35
Obr. 25: <i>Schéma zkouška interní těsnosti (SSB8-O)</i>	36
Obr. 26: <i>Hydraulické schéma PV kostek</i>	37
Obr. 27: <i>Zapojení pro testování PV6</i>	38
Obr. 28: <i>Zapojení pro testování PV10</i>	38
Obr. 29: <i>Závislost tlakové ztráty na průtoku PV4</i>	39
Obr. 30: <i>Závislost tlakové ztráty na průtoku PV6</i>	39
Obr. 31: <i>Závislost tlakové ztráty na průtoku PV8</i>	40
Obr. 32: <i>Závislost tlakové ztráty na průtoku PV10</i>	40
Obr. 33: <i>Závislost průtoku na přiváděném proudu PV4</i>	41
Obr. 34: <i>Závislost průtoku na přiváděném proudu PV6</i>	41
Obr. 35: <i>Závislost průtoku na přiváděném proudu PV8</i>	42
Obr. 36: <i>Závislost průtoku na přiváděném proudu PV10</i>	42
Obr. 37: <i>Hydraulické schéma PV-FC kostek</i>	43
Obr. 38: <i>Zapojení pro testování PV6-FC</i>	44
Obr. 39: <i>Závislost tlakové ztráty na průtoku PV4-FC</i>	45
Obr. 40: <i>Závislost tlakové ztráty na průtoku PV6-FC</i>	45
Obr. 41: <i>Závislost průtoku na přiváděném proudu PV4-FC</i>	46
Obr. 42: <i>Závislost průtoku na přiváděném proudu PV6-FC</i>	46
Obr. 43: <i>Hydraulické schéma APL kostek</i>	47
Obr. 44: <i>Zapojení pro testování APL10</i>	48
Obr. 45: <i>Zapojení pro testování těsnosti řídicího tlaku zpětných ventilů APL</i>	49
Obr. 46: <i>Závislost tlakové ztráty na průtoku APL6</i>	49
Obr. 47: <i>Závislost tlakové ztráty na průtoku APL10</i>	50
Obr. 48: <i>Hydraulické schéma 4/2WE kostek</i>	51



Obr. 49: 4/2WE6 kostka, nepřipojena.....	52
Obr. 50: <i>Závislost tlakové ztráty na průtoku 4/2WE6</i>	53
Obr. 51: <i>Hydraulické schéma SSB kostek</i>	53
Obr. 52: <i>Zapojení SSB8-O pro testování</i>	54
Obr. 53: <i>Závislost tlakové ztráty na průtoku SSB8-O</i>	55
Obr. 54: <i>Závislost tlakové ztráty na průtoku SSB8-Q</i>	55
Obr. 55: <i>Závislost tlakové ztráty na průtoku SSB16-O</i>	56
Obr. 56: <i>Závislost tlakové ztráty na průtoku SSB16-Q</i>	56