

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: B 2301 Strojní inženýrství
Studijní zaměření: Stavba výrobních strojů a zařízení

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Návrh nouzového akumulátorového pohonu rovnacího lisu.

Autor: **Miloš Badal**

Vedoucí práce: **Ing. Miroslav Duník**

Akademický rok 2011/2012

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta strojní

Akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Miloš BADAL**
Osobní číslo: **S11B0003K**
Studijní program: **B2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Stavba výrobních strojů a zařízení**
Název tématu: **Návrh nouzového akumulátorového pohonu rovnacího lisu**
Zadávající katedra: **Katedra konstruování strojů**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Základní požadavky:

Navrhnout sestavu nouzového akumulátorového, hydraulického obvodu pro rovnací lis. Popsat základní rozdělení a funkci hydraulických akumulátorů. Popsat funkce jednotlivých komponent použitých v navrhovaném obvodu. Navrhnou vhodný typ hydraulického akumulátoru pro konkrétní případ.

Základní technické údaje:

Technické parametry jsou uvedeny v příloze zadání.

Osnova bakalářské práce:

1. Popis a rozdělení akumulátorů.
2. Základní schéma akumulátorových obvodů.
3. Obecný výpočet hydraulického akumulátorového obvodu.
4. Aplikace teoretických výpočtů na konkrétní hydraulický obvod lisu.

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Rozsah pracovní zprávy: **30-40 stran A4**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:

ŠLECHTA, A. *Plynové hydraulické akumulátory.* Praha: SNTL, 1978

ČERNOCH, S. *Strojně technická příručka.* Praha: SNTL, 1977

ŠKODA A.S. *Hydraulika ŠKODA, informační zpravodaj č. 2, č. 3.* Plzeň: ŠKODA, 1978

KUCHARČÍK, L. *Praktické metody výpočtu hydraulického obvodu přímočarého motoru.* Plzeň: ŠKODA, 1978


Podkladový materiál, výkresy, katalogy, apod. poskytnuté zadavatelem úkolu.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Miroslav Duník**
Katedra konstruování strojů
Konzultant bakalářské práce: **Ing. Miroslav Duník**
Katedra konstruování strojů

Datum zadání bakalářské práce: **19. září 2011**
Termín odevzdání bakalářské práce: **25. května 2012**


Doc. Ing. Jiří Staněk, CSc.
děkan




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

V Plzni dne 19. září 2011

Poděkování

Při této příležitosti bych chtěl poděkovat Ing. Miroslavu Duníkovi, vedoucímu mé bakalářské práce, za trpělivost, cenné připomínky a rady, které mi v průběhu práce ochotně poskytl. Dále bych chtěl poděkovat všem, kteří mi radou a cennými zkušenostmi umožnili dokončit tuto práci.

Prohlášení o autorství

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

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

V Plzni dne:

.....

Miloš Badal

ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Badal	Jméno Miloš	
STUDIJNÍ OBOR	„Stavba výrobních strojů a zařízení.“		
VEDOUcí PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Ing. Duník	Jméno Miroslav	
PRACOVISŤE	ZČU - FST - KKS		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Návrh nouzového akumulátorového pohonu rovnacího lisu		

FAKULTA	Strojní	KATEDRA	KKS	ROK ODEVZD.	2012
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	60	TEXTOVÁ ČÁST	54	GRAFICKÁ ČÁST	6
---------------	----	---------------------	----	----------------------	---

<p style="text-align: center;">STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</p> <p>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</p>	<p>V této bakalářské práci bylo popsáno několik druhů základních hydraulických akumulátorů jako zdroj tlaku. V další části byl vybrán vakový hydraulický akumulátor pro použití jako nouzový zdroj tlaku pro dílenský rovnací lis. Také byl popsán konkrétní návrh obvodu pro nouzové zvedání beranu rovnacího lisu s popisem jednotlivých komponent použitých v navrhovaném hydraulickém obvodu.</p>
<p style="text-align: center;">KLÍČOVÁ SLOVA</p> <p style="text-align: center;">ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</p>	<p>Zdroj tlaku, vakový akumulátor, hydraulický obvod.</p>

SUMMARY OF BACHELOR SHEET

AUTHOR	Surname Badal	Name Miloš
FIELD OF STUDY	“Design of Manufacturing Machines and Equipment “	
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Ing. Duník	Name Miroslav
INSTITUTION	ZČU - FST - KKS	
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Engineering design of emergency accumulator drive of a straightening hydraulic press.	

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	Department of Machine Design	SUBMITTED IN	2012
----------------	------------------------	-------------------	------------------------------	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	60	TEXT PART	54	GRAPHICAL PART	6
----------------	----	------------------	----	-----------------------	---

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	Several basic types of accumulators meant as sources of hydraulic pressure were described in this bachelor thesis. In the next part of the thesis a hydraulic bladder accumulator was selected to be used as an emergency source of pressure for a workshop straightening press. There was also described particular design of a circuit for emergency uplift of a hammer of a straightening press with a description of individual components used in the proposed hydraulic circuit.
KEY WORDS	Power source, bladder accumulator, hydraulic circuit.

Obsah

Obsah	1
Seznam obrázků	2
Seznam tabulek	3
Seznam grafů	3
Přehled použitých jednotek	3
1 Úvod a cíle řešení.	4
2 Základní použití hydraulických akumulátorů.	5
2.1 Rozdělení hydraulických akumulátorů.	5
2.1.1 Závažové (gravitační akumulátory).	6
2.1.2 Pružinové akumulátory.	7
2.1.3 Plynové hydraulické akumulátory.	8
2.1.3.1 S přímým stykem kapaliny a plynu.	8
2.1.3.2 S dělicí přepážkou mezi plynem a kapalinou.	9
3 Funkce navrhovaného obvodu.	13
4 Základní schéma akumulátorových obvodů.	13
4.1 Akumulátor jako špičkový zdroj. (Obr. 4.1-1)	14
4.2 Krytí různé spotřeby v jednom pracovním cyklu. (Obr. 4.2-1)	15
4.3 Udržení konstantního tlaku. (Obr. 4.3-1)	16
4.4 Nouzový zdroj tlaku. (Obr. 4.4-1, Obr. 4.4-2)	17
4.5 Tlumení pulzací v obvodě. (Obr. 4.5-1)	18
4.6 hlavní komponenty použité v obvodě s akumulátorem.	19
5 Obecný výpočet hydraulického obvodu s akumulátorem	34
5.1.1 Výpočet tlakového spádu hydromotoru.	35
5.1.2 Průtok hydromotoru.	36
5.1.3 Rychlost hydromotoru.	36
5.1.4 Výkon hydromotoru.	36
5.1.5 Celková účinnost hydromotoru.	37
5.1.6 Ztrátový výkon a ztrátová práce.	37
5.2 Výpočty ztrát ve vedení (odpor proti pohybu).	38
5.2.1 Stanovení odporu pohybu u prvků v obvodě.	38
5.2.2 Stanovení odporu pohybu v přímém vedení (kruhový průřez).	41
5.2.3 Výpočet kapacity vakového akumulátoru [1].	42
6 Aplikace na konkrétní obvod nouzového zdvihu.	42
6.1 Hydraulický lis (YVA 41-250kN) - Hodnoty odečtené ze štítků, nebo zjištěné měřením na lisu.	43
6.2 Předpokládané umístění pomocného obvodu.	44
6.3 Hydraulické schéma.	44
6.4 Výpočty.	48
7 Závěr.	51
8 přílohy.	52
8.1 ARGO-HYTOS, Katalogové listy [7].	52
8.2 Hydraulický lis.	55
9 Knižní publikace	58
10 Podnikové publikace	58
11 Publikace na internetu	58

Seznam obrázků

Obr. 2.1-1	Rozdělení akumulátorů.....	5
Obr. 2.1-2	Zátěžový akumulátor.....	6
Obr. 2.1-3	Pružinový akumulátor [11].....	7
Obr. 2.1-4	Pístový akumulátor (Bolenz & Schäfer) [9],	9
Obr. 2.1-5	Membránový akumulátor (Olear-OSP300) [14].....	10
Obr. 2.1-6	Kapalinový ventil se sítím [1].....	11
Obr. 2.1-7	Kapalinový ventil s talířkem [1].....	12
Obr. 2.1-8	Kapalinový ventil samostatný [1].....	12
Obr. 4.1-1	Špičkový zdroj média.....	14
Obr. 4.2-1	Spotřebiče s různou spotřebou média v jednom taktu linky.....	15
Obr. 4.3-1	Obvod konstantních tlaků.....	16
Obr. 4.4-1	Obvod s nouzovým zdrojem A.....	17
Obr. 4.4-2	Obvod s nouzovým zdrojem B.....	18
Obr. 4.5-1	Tlumení pulzu akumulátorem tlaku.....	19
Obr. 4.6-1	Návrh pomocného obvodu lisu.....	20
Obr. 4.6-2	Polohy vaku v nádobě [14].....	21
Obr. 4.6-3	Vakový akumulátor.....	21
Obr. 4.6-4	Nomogram volby akumulátoru JIHLAVAN.....	22
Obr. 4.6-5	Redukční ventil přímořízený SP2A-A3.....	25
Obr. 4.6-6	Těleso vestavného ventilu.....	26
Obr. 4.6-7	Hydraulický rozvaděč RPH3-06.....	29
Obr. 4.6-8	Označení a schematická značka s polohami rozvaděče.....	29
Obr. 4.6-9	Jednosměrný ventil SC1F-B2 / OO5.....	31
Obr. 4.6-10	Škrťící ventil 2VS3-06.....	32
Obr. 4.6-11	Varianty zapojení řadových připojovacích desek.....	33
Obr. 5-1	Základní výpočtové schéma.....	34
Obr. 5.2-1	Sériové řazení hydraulických prvků.....	39
Obr. 5.2-2	Paralelní řazení hydraulických prvků.....	40
Obr. 6.3-1	Schéma nouzového akumulátorového obvodu.....	45
Obr. 6.3-2	Schéma pro simulaci plnění akumulátoru.....	46
Obr. 6.3-3	Schéma nouzového zdvihu beranu.....	47
Obr. 6.4-1	Označení stavu akumulátoru [17].....	49
Obr. 6.4-2	Bezpečnostní blok.....	50
Obr. 8.1-1	Katalogový list přímo řízeného redukčního ventilu SP2A-A3.....	52
Obr. 8.1-2	Katalogový list - hydraulicky ovládaný rozvaděč RPH3-06.....	53
Obr. 8.1-3	Katalogový list - škrťící ventil V2S3-06-AS.....	54
Obr. 8.2-1	Hydraulické schéma lisu YVA 41-250kN.....	55
Obr. 8.2-2	Ovládací prvky a jejich umístění.....	56
Obr. 8.2-3	Rozměry akumulátorů.....	57

Seznam tabulek

Tab. 1	Značení ve vzorcích.	34
--------	---------------------------	----

Seznam grafů

Graf 2.1-1	Zatěžovací charakteristika [1].....	8
Graf 4.6-1	Izotermická stavová změna pro $p_0 = 1$ až 90 bar.	23
Graf 4.6-2	Adiabatická změna pro $p_0 = 1$ až 90 bar.	23
Graf 4.6-3	Návod k použití nomogramů (Graf 4.6-1, Graf 4.6-2).	24
Graf 4.6-4	Tlaková ztráta redukčního ventilu.	26
Graf 4.6-5	Minimální tlak při různém průtočném množství.	27
Graf 4.6-6	Změny tlaku v redukovaném a pojistném okruhu RV.	28
Graf 4.6-7	Hydraulický výkon rozvaděče RPH3-062 A51 /2 30	30
Graf 4.6-8	Tlakové ztráty rozvaděče RPH3-62 A51 /2 30	30
Graf 4.6-9	Tlakové ztráty jednosměrného ventilu. 32	32
Graf 6.4-1	Volba jmenovité velikosti akumulátoru (35 l.)..... 49	49
Graf 6.4-2	Průběh zdvihu beranu. 50	50

Přehled použitých jednotek

p_0	[bar]	.....	Plnicí tlak plynu
p_1	[bar]	.....	Pracovní tlak minimální
p_2	[bar]	.....	Pracovní tlak maximální
t	[s]	.....	Čas plnění a vyprazdňování
T_1	[°C]	.....	Pracovní doba minimální
T_2	[°C]	.....	Pracovní doba maximální
V_0	[l, dm ³]	.....	Efektivní objem plynu
V_1	[l, dm ³]	.....	Objem plynu při tlaku p_1
V_2	[l, dm ³]	.....	Objem plynu při tlaku p_2
V_v	[l, dm ³]	.....	Objem plynu užitečný
n		.....	Polytropický exponent
χ		.....	Adiabatický exponent ($N_2 = 1,4$)

1 Úvod a cíle řešení.

Současná doba preferuje plnou automatizaci celého procesu výroby. Vlastní automatizované výrobní celky můžeme rozdělit do několika okruhů. Řídící, kontrolní a výkonné funkce strojů jsou založené na elektronice, silové elektrice a hydraulice. Pro řízení strojních operací s velkým rozsahem výkonu a s velkou přesností se uplatňují ve stále větší míře hydraulické obvody. Rozvoj hydrauliky ve strojírenství umožnil také vývoj nových hydraulických komponent a médií použitých v hydraulice. Zejména vývoj a použití proporcionálních hydraulických mechanismů, které slučují silový hydraulický přenos energie s velkou přesností.

Pro všechny druhy hydraulických obvodů můžeme najít určitá specifická zařízení. Zejména hydraulické akumulátory jsou zařízení, sloužící v obvodech k akumulaci energie, popřípadě jako zásobník hydraulického média, nebo jako tlumič rázů v hydraulickém systému.

Cílem této bakalářské práce je porovnat některé druhy akumulátorů z hlediska vhodnosti jejich použití. Dále budou popsány základní hydraulické vztahy a zákonitosti pro použití akumulátorů v hydraulických obvodech. Konkrétně se budu v této práci zabývat návrhem hydraulického obvodu s vakovým akumulátorem pro nouzové zvednutí pracovního beranu dílenského lisu pro rovnání pístnic lesnických strojů. V návrhu popíšu jednotlivé prvky obvodu a jejich základní funkci se základními výpočty.

2 Základní použití hydraulických akumulátorů.

V minulosti byly navrhovány kapalinové systémy pro přenos velkých sil s menší přesností dojezdů do základních poloh. Dá se říci, že nebyla nutnost přesného umístění pohybujícího se prvku – prvek dojížděl pouze do stanovených koncových poloh. V důsledku zvyšující se automatizace a začátku použití vícepolohových přesných mechanismů vzniká potřeba nových druhů řídicích prvků.

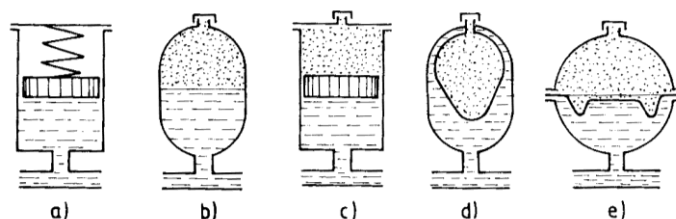
Právě při použití rychlých a přesných řídicích prvků v systému vznikl požadavek na shromažďování tlakové kapaliny pro její další využití. Takové hydrostatické prvky zařazené v systému, pro případ výpadku dodávky kapaliny, nebo pro tlumení rázů a ke krytí krátkodobých požadavků na zvýšený odběr, jsou hydraulické akumulátory.

Akumulátor použitý v hydraulickém obvodu má jednu nespornou výhodu, a to možnost úplného vypuštění velkou rychlostí.

2.1 Rozdělení hydraulických akumulátorů.

Základní rozdělení akumulátorů [1]:

- Závažové (gravitační)
- Pružinové (a)
- Plynové hydraulické
 - S přímým stykem kapaliny a plynu (b)
 - S dělicí přepážkou
 - Pevnou
 - Pístový (c)
 - Diferenciální pístový
 - Pružnou
 - Vakový
 - Vyztužený vak podélně (d)
 - Vyztužený vak příčně
 - Membránový
 - Kulový (e)
 - Válcový
 - Speciální



Obr. 2.1-1 Rozdělení akumulátorů.

V současnosti se používají nejčastěji plynové hydraulické akumulátory. Jejich výrobu zvládlo mnoho podniků. Velký sortiment v nabídce dovoluje dobrý výběr hydraulického akumulátoru pro jakoukoliv aplikaci.

2.1.1 Závažové (gravitační akumulátory).

Jsou to první typy vysokotlakých akumulátorů. Jejich základní nasazení v průmyslu bylo převážně u strojů tvářecích s velkými pracovními rychlostmi a se změnami množství odběru kapaliny.

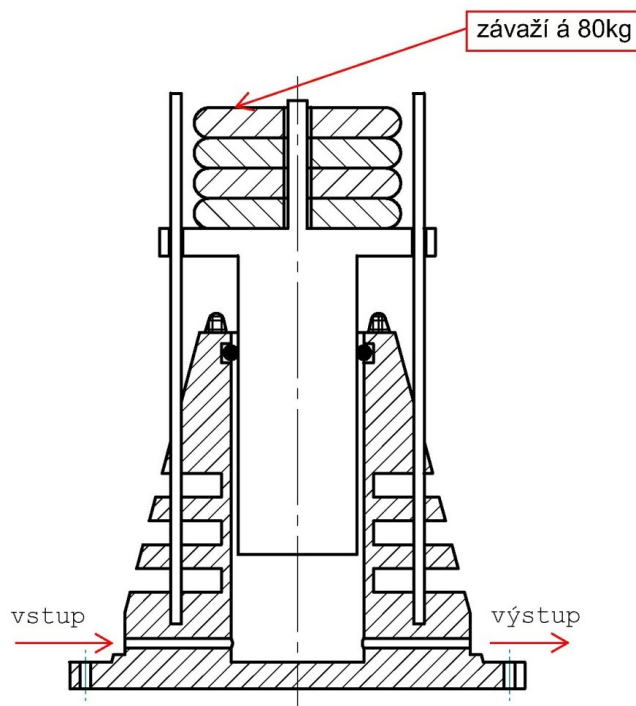
Výhodou byla také schopnost dodávat konstantní tlak bez ohledu na odebírané množství. (neměnná pracovní charakteristika).

Nevýhoda spočívala v rozměrnosti celé konstrukce akumulátoru a velké hmotnosti. Některé typy dosahovali výšky až 10 m. Protože se využívá, pro vyvození tlaku, závaží, tak i manipulace s objemným závažím byla problematická.

Výpočtové vztahy:

Odebíraný tlak: $p_a = \frac{mg - F_t}{S} [Pa]$ F_t – třecí síla těsnění

Max. průtok: $Q_{max} = S \cdot v [m^3 s^{-1}]$ v – rychlost pístu (max 0,3- m.s⁻¹)



Obr. 2.1-2 Zátěžový akumulátor.

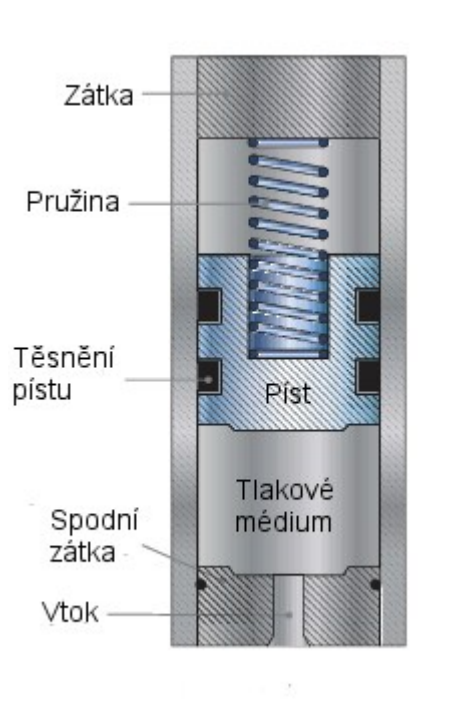
Zátěžový akumulátor na obr. 2.1-2 byl používán jako špičkový zdroj tlaku pro přidržovače postupových hlubokotažných lisů. Těleso je z litiny s chladícími žebry a se čtyřmi vodícími trny. Plunžr je zatěžován litěnými kotouči na požadovaný tlak.

2.1.2 Pružinové akumulátory.

Tyto akumulátory využívají deformační práce pružiny. Pružinové akumulátory se nejčastěji uplatňují jako tlumiče tlakových špiček v kapalinových systémech. Skládají se z válce s pístem a pružinou. Pružina je aktivní člen sestavy a na její tuhosti závisí tlak v hydraulickém systému.

Za výhodu pružinových akumulátorů lze počítat možnost vyrábět standardizované série a také jejich relativně nízkou cenu. Pro malé zástavbové rozměry (maximální užitý objem je do 5 až 10 litrů) jsou vhodné právě pro montáž co nejbližší k regulačním prvkům v systému.

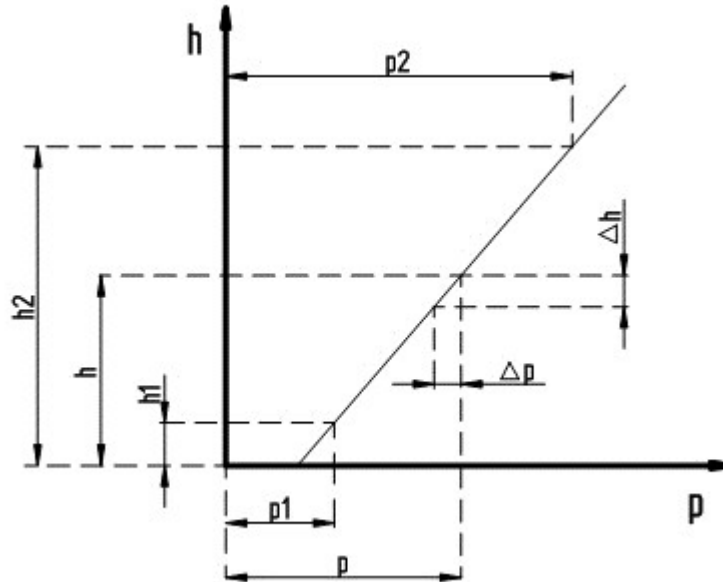
Za nevýhodu lze považovat změnu charakteristiky pružiny v delším časovém úseku a nemožnost jednoduchého nastavení tlaku.



Obr. 2.1-3 Pružinový akumulátor [11].

Výpočtové vztahy [1]:

Pro výpočty je užito základních vztahů pro výpočet pružin.



Graf 2.1-1 Zatěžovací charakteristika [1].

Užitečný objem: $V_a = S \cdot h_{max}$ $h_{max} = (p_2 - p_1) \cdot \frac{S}{k}$

po dosazení: $V_a = \frac{p_2 - p_1}{k} \cdot S^2 \quad [m^3]$

Odebíraný tlak: $p = \frac{F}{S} = \frac{kh}{S} = \frac{kV}{S^2} \quad [Pa]$ Tuhost pružiny: $k = \frac{\Delta p \cdot S^2}{V_a} = \frac{(0,1 \div 0,2) \cdot p_2 \cdot S}{h_2 - h_1}$

2.1.3 Plynové hydraulické akumulátory.

2.1.3.1 S přímým stykem kapaliny a plynu.

Tyto hydraulické akumulátory nemají pohyblivé díly. Jsou výrobně velmi jednoduché a laciné. Pro plnění se musí použít inertní plyn. Tyto plyny nesmí pronikat do kapalného média a nesmí znehodnocovat jeho základní vlastnosti. Převážně se používá technický dusík (u starších zařízení se také používal vzduch).

Nevýhodou přímého styku plynu a kapaliny je absorpce plynného média do kapaliny. V případě větších tlaků absorbuje kapalina až 8 objemových % plynu a v hydraulickém systému s nižším tlakem se plyn uvolní a zavzdušní systém [9].

Nejčastěji se používají ve spojení s baterií tlakových nádob s plynem a jsou řazeny do akumulátorových stanic.

2.1.3.2 S dělicí přepážkou mezi plynem a kapalinou.

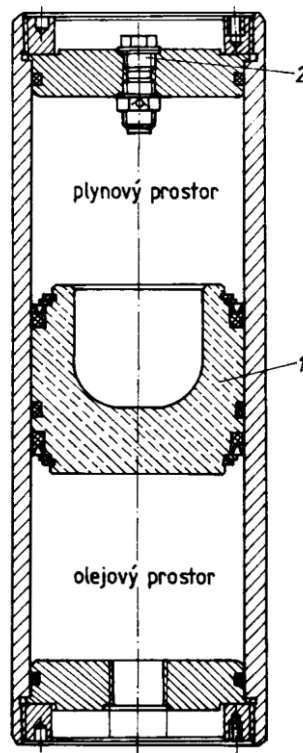
Jsou to nejčastěji se vyskytující hydraulické akumulátory v současném strojírenství. Dělicí přepážka odděluje stlačitelný plyn od pracovního média. Toto řešení nevznáší nevýhodu předešlého typu akumulátoru (absorpci plynu do kapaliny) do hydraulických systémů. Používají se pro minerální i syntetické oleje a kapaliny.

Akumulátory jsou rozděleny podle typu přepážky:

A. S pevnou přepážkou:

- a. **Pístové** – Jejich použití je v převážné míře pro oleje a jiné nekorodující kapaliny. Přepážka je pohyblivý píst s těsněním podle tlakových požadavků (nejčastěji manžety z akrylonitrilové pryže - Nitril, Buna-Nitril, NBR - tvrdosti 90 Sh). Píst se pohybuje ve válci a uzavírá prostor s pracovním médiem. Nad pístem je stlačitelný plyn, často se používá suchý vzduch, nebo dusík. Plnicí ventily jsou velmi jednoduché zpětné ventily. Jinak jsou prakticky bezúdržbové a mohou pracovat v extrémních teplotních podmínkách.

Nevýhoda pístových akumulátorů je právě v pístu. Setrvačnost hmoty pístu a tření mezi těsněním a válcem mohou dosahovat takových hodnot, že akumulátor není vhodný pro zachycení rázových vln a pulzací v systému.



Obr. 2.1-4 Pístový akumulátor (Bolenz & Schäfer) [9], 1-píst, 2-plnicí ventil.

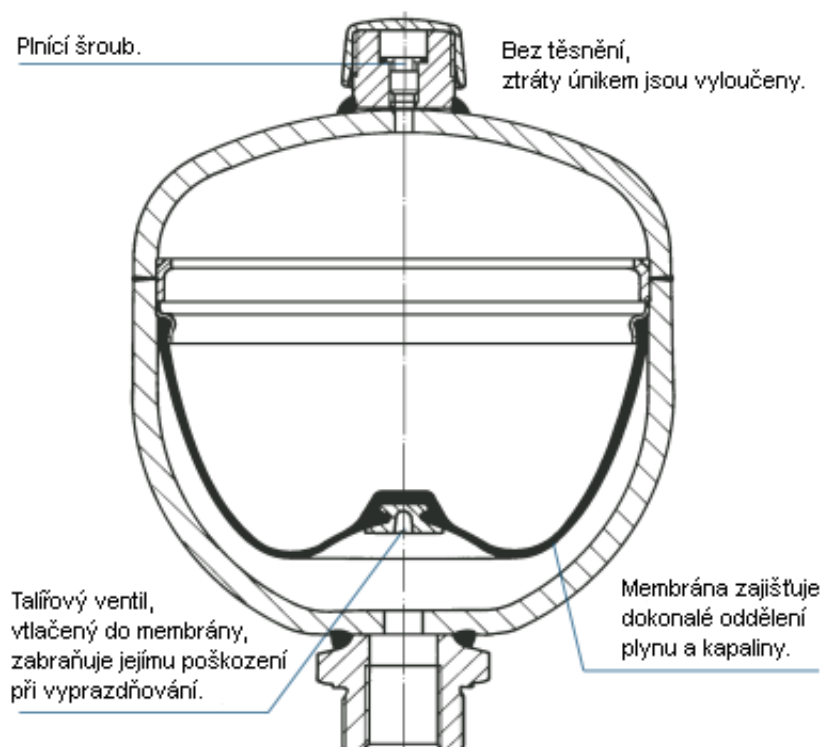
- b. Pístové diferenciální** – Tyto akumulátory využívají rozdílných průměrů v kapalně a plynné části. Velký průměr plynného válce a malý průměr kapalinového válce. U těchto typů je důležité odvzdušnění střední části akumulátoru (prostor ve styku rozdílných průměrů pístů). Tato část je trvale spojena s vnější atmosférou.

Výhody a nevýhody jsou podobné jako u pístových akumulátorů. Užití diferenciálního akumulátoru je převážně na takových pracovištích, kde se používají velmi vysoké pracovní tlaky a jsou malé objemy média.

B. S pružnou přepážkou:

- a. Membránové akumulátory** – Akumulátory tohoto typu jsou vytvořeny z dvou dílů nádoby (kulové, válcové) a pružné membrány. Membrána je uložena ve speciálním držáku v místě spoje nádoby s vyklenutím směrem k vstupu pracovního média. V místě možného doteku membrány a vstupního otvoru je zavulkanizován talířový ventil zabraňující poškození membrány o hrany vstupního otvoru.

Membránové akumulátory jsou prakticky bezúdržbové, kontroluje se u nich pouze plnicí tlak dusíku. Poměr plnicího tlaku a maximálního pracovního tlaku může být až 1:8 **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů..**



Obr. 2.1-5 Membránový akumulátor (Olear-OSP300)

Výpočetní vztahy jsou totožné jako pro výpočet vakových akumulátorů.

- b. Vakové akumulátory** – jsou to typy akumulátorů, které se objevují ve velké míře v současných hydraulických systémech. Jejich konstrukce vychází z tlakové nádoby (výtažek, výkovek) a z pryžového vaku. Deformace vaku není přesně definována a většina výrobců se snaží vaky vyztužit, nebo jinak upravit. Konstrukce vaků spočívá zejména v přesném vymezení deformačních zón a způsobu skládání vaku v tělese akumulátoru. Všechna tato konstrukční řešení mají zabránit poškození vaku.

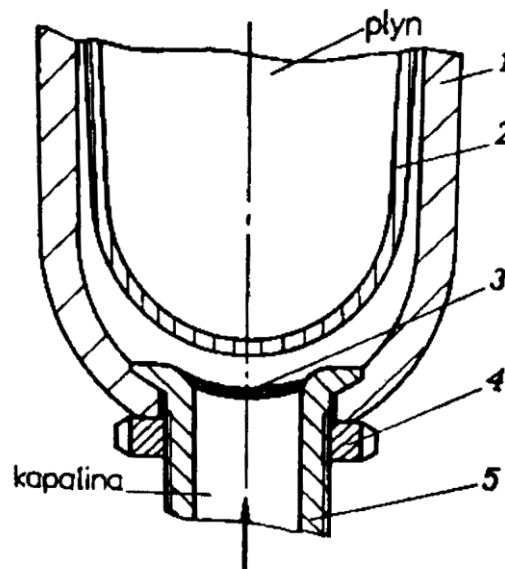
Tři běžné typy vaků [1] jsou:

- 1- Vak se spodním vedením (Škoda)
- 2- Vak s podélnými výztuhami (tzv. trojlístek)
- 3- Vak s příčnými výztuhami (měch)

Důležitým prvkem vakového akumulátoru je kapalinový ventil ve spodní části nádoby. Konstrukce ventilu musí zabránit vtažení vaku do výpusti při rychlém vyprázdnění akumulátoru.

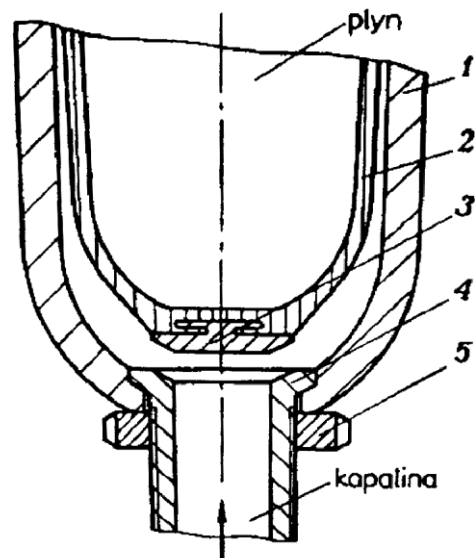
Běžné konstrukce [1]:

- 1- Zakrytí otvoru sítím
- 2- Talířovým ventilem spojeným s vakem
- 3- Odpruženým ventilem vedeným trnem ve výpusti



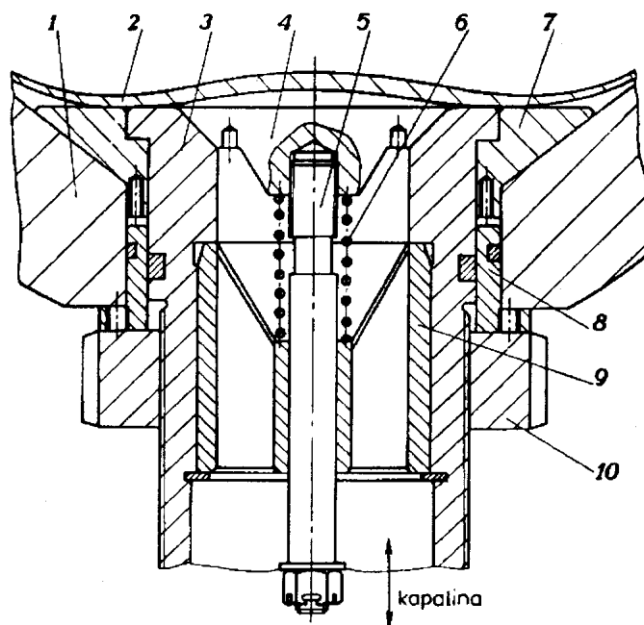
Obr. 2.1-6 Kapalinový ventil se sítím [1].

1-těleso aku., 2-vak, 3-perforovaný plech, 4-matice hrdla, 5-hrdlo.



Obr. 2.1-7 Kapalinový ventil s talířkem [1].

1-těleso aku., 2-vak, 3-talířový ventil, 4-hrdlo, 5-matice hrdla.



Obr. 2.1-8 Kapalinový ventil samostatný [1].

1-těleso aku., 2-vak, 3-těleso ventilu, 4-ventil, 5- vedení, 6-pružina, 7-kuželový kroužek, 8-kroužek, 9-vložka vedení, 10-matice.

Materiály vaků se mohou lišit podle typu kapaliny, ve které budou ponořeny a podle použitého plynného média. Základní typ pryže pro minerální oleje a plynné médium je akrylonitrilová pryž – Buna-Nitril pro teploty -28°C až 93°C [11]. Dále je možné použít fluorokarbonové pryže pro zvláštní účely.

Mnoho firem má vlastní technické řešení pro používání materiálů všech pryžových dílů akumulátorů. Na internetu lze najít například jednoduchou aplikaci pro určení typu a kompatibility pryže pro jednotlivá média od firmy „Accumulators, Inc.“ [15].

Výpočty a další údaje vakových akumulátorů jsou v samostatné kapitole.

3 Funkce navrhovaného obvodu.

Požadavky na mnou navrhovaný hydraulický obvod s akumulátorovým pohonem se dají shrnout do několika částí.

Základní návrh musí umožnit jednoduchou montáž do rozdílných typů hydraulických systémů. To znamená najít takové modulární řešení, které je možné modifikovat podle požadavku zákazníka a co nejvíce zjednodušit celý vložený obvod. Požadavkem návrhu je i nutnost přizpůsobení různým typům přípojních a regulačních prvků obvodu. Tento obvod musí také odstraňovat některé nedostatky hydraulických systémů, a to potřebu zabudování akumulátoru a jeho využití jako nouzového zdroje tlaku při výpadku zdroje proudu.

Důležitý požadavek je na použití běžně dostupných komponent a jejich snadná záměna za shodný typ od jiného výrobce. Proto navrhovaný obvod musí být co nejjednodušší s minimem použitých součástí – jak aktivních, tak pasivních.

Řešení obvodu s akumulátorem nesmí nepříznivě ovlivnit původní hydraulický systém a jeho funkci, popřípadě jeho seřizování a údržbu. Obvod musí pracovat s běžným druhem hydraulického oleje (DIN 51 524) a za normálních podmínek celého hydraulického systému (teplota atd.).

Návrh obvodu s hydraulickým akumulátorem, tlaková nádoba, musí také splnit veškerá bezpečnostní opatření.

4 Základní schéma akumulátorových obvodů.

Pro základní schéma jednoduchého hydraulického obvodu s akumulátorem tlaku platí, že akumulátor musí být připojen na bezpečnostní a uzavírací ventil umožňující zavření, odpuštění a kontrolu pracovního média.

Plnění plynem (dusíkem) musí být zajištěno přímo na tlakové nádobě akumulátoru.

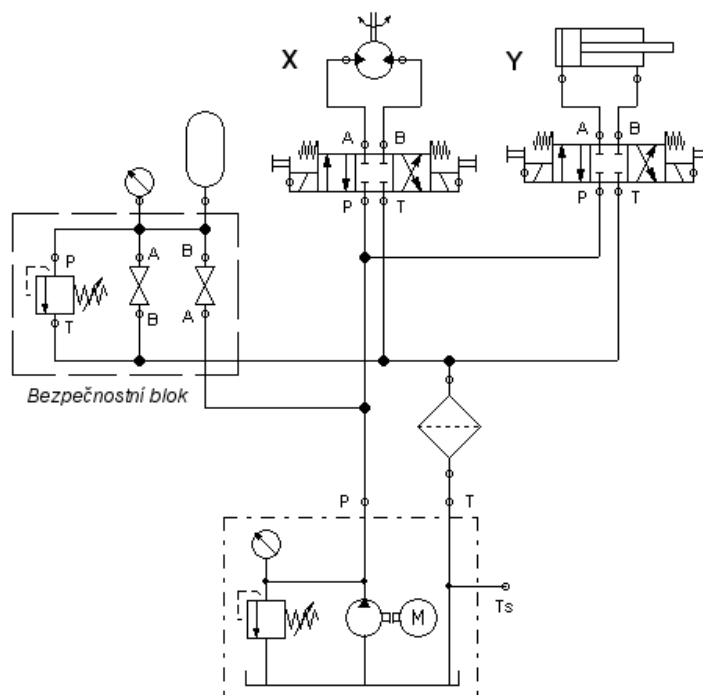
Schéma obvodu s akumulátorem je možné navrhnout podle požadavku na akumulaci energie, popřípadě tlumení pulzací. Zejména se jedná o krátkodobou dodávku oleje nekrytou čerpadlem, vyrovnání ztrát vzniklých netěsnostmi systému, nebo využití akumulované energie jako nouzového zdroje v případě výpadků řádné dodávky od čerpadel. Malé typy akumulátorů s jednoduchou montáží se dají použít pro tlumení tlakových rázů v blízkosti zdroje tlakové vlny.

Pro kreslení schémat, simulace funkce a kontrolu základního zapojení jsem použil demo program pro návrh hydraulických obvodů od firmy FESTO **Chyba! nalezen zdroj odkazů.** Tento program pomáhá interaktivně vytvořit návrhy různých hydraulických obvodů s možností odzkoušení všech funkcí obvodu.

Ve schématech obvodů je kreslen **spoj trubek s tečkou** ostatní nespojená křížení jsou bez tečky.

4.1 Akumulátor jako špičkový zdroj. (Obr. 4.1-1)

Při použití více spotřebičů v jednom hydraulickém systému je většinou zdroj tlakového (čerpadlo) média konstruován na střední objemovou spotřebu s malou rezervou (snížení nákladů na konstrukci čerpadla, příkon motoru). V případě krátkodobé potřeby většího objemu dodávky pracovního média může právě hydraulický akumulátor být tím špičkovým zdrojem, který zabezpečí správnou funkci všech komponent obvodu.



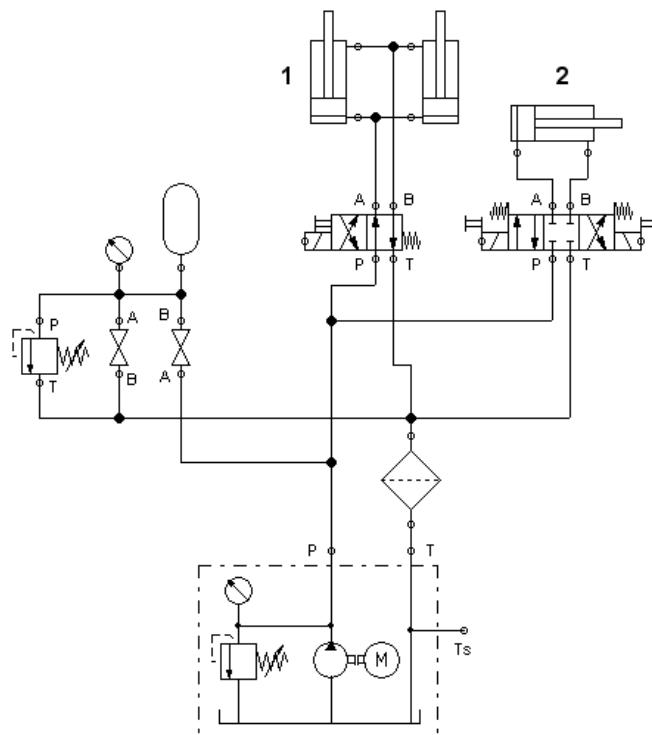
Obr. 4.1-1 Špičkový zdroj média.

Na obr. 4.1-1 je zjednodušený obvod pro přímočarý motor a rotační motor. Rotační motor (X) je například používán pouze k polohování obrobku k další výrobní operaci.

V případě správné funkce stačí čerpadlo dodávat potřebný tlak a objem do hlavního pracovního válce (Y). Při nutnosti změny polohy obrobku je potřeba krátkodobé zvýšení dodávky tlakového média pro pokrytí spotřeby rotačního motoru. O tuto dodávku se postará hydraulický akumulátor zapojený v obvodu. Označený bezpečnostní blok musí umožnit bezpečné odstavení okruhu akumulátoru od zbytku hydraulického obvodu.

4.2 Krytí různé spotřeby v jednom pracovním cyklu. (Obr. 4.2-1)

Obr. 4.2-1, tento obvod řeší podobnou situaci jako v kapitole 4.1, ale na rozdíl od předešlého případu je spotřeba oleje různá ve větším časovém intervalu. Čerpadlo dodává stabilní objemové a tlakové množství média po celý takt výrobní linky. Toto množství je nepatrně větší, než je spotřeba spotřebiče 1. Při současném využití všech spotřebičů v obvodu (1 a 2) je spotřeba naopak větší než je dodávka a rozdíl ve spotřebě dorovná hydraulický akumulátor.

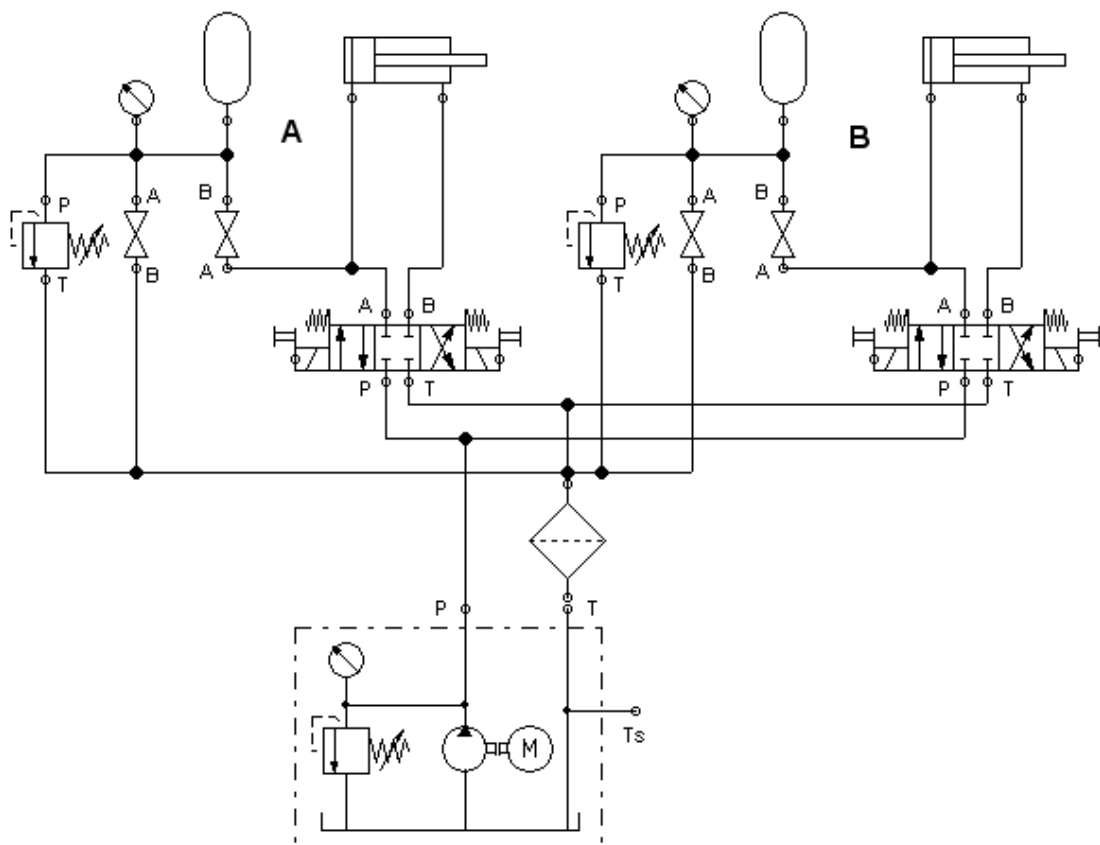


Obr. 4.2-1 Spotřebiče s různou spotřebou média v jednom taktu linky.

4.3 Udržení konstantního tlaku. (Obr. 4.3-1)

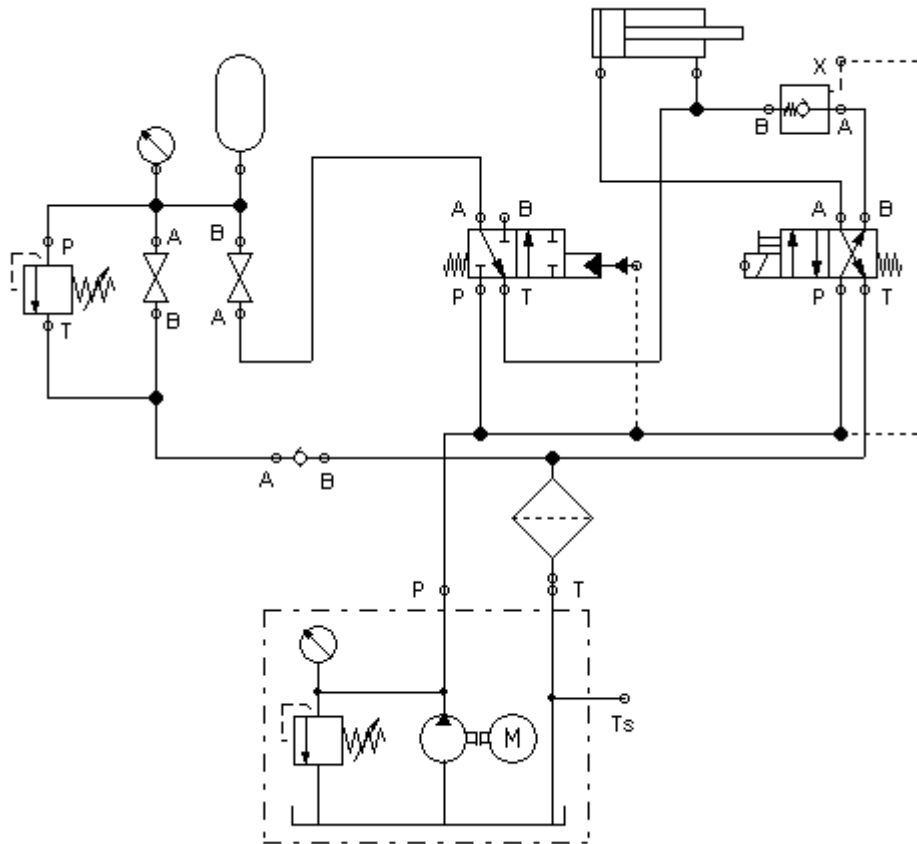
V tomto obvodu se plně využívá přednosti hydraulických akumulátorů – udržení tlaku v médiu po určitou dobu.

Na obr. 4.3-1 jsou dva oddělené okruhy s jedním zdrojem tlaku (čerpádem). Po zapnutí a dosažení potřebných tlaků v částech A a B můžeme tyto pod okruhy oddělit od zbytku systému pomocí elektroventilů. V takto rozděleném hydraulickém okruhu udržuje stálý tlak pouze akumulátor. Základní podmínka pro návrh akumulátorů do takto sestavených částečně samostatných okruhů je takové dimenzování akumulátoru, aby pokryl všechny požadavky, například úniky oleje. Obvody s konstantním tlakem můžeme používat pro upínání velkých obrobků s různě pevnými povrchy. V navrženém obvodu máme rozdílný tlak pro větev A, nebo B v závislosti na seřízení regulačních ventilů příslušného obvodu.



Obr. 4.3-1 Obvod konstantních tlaků.

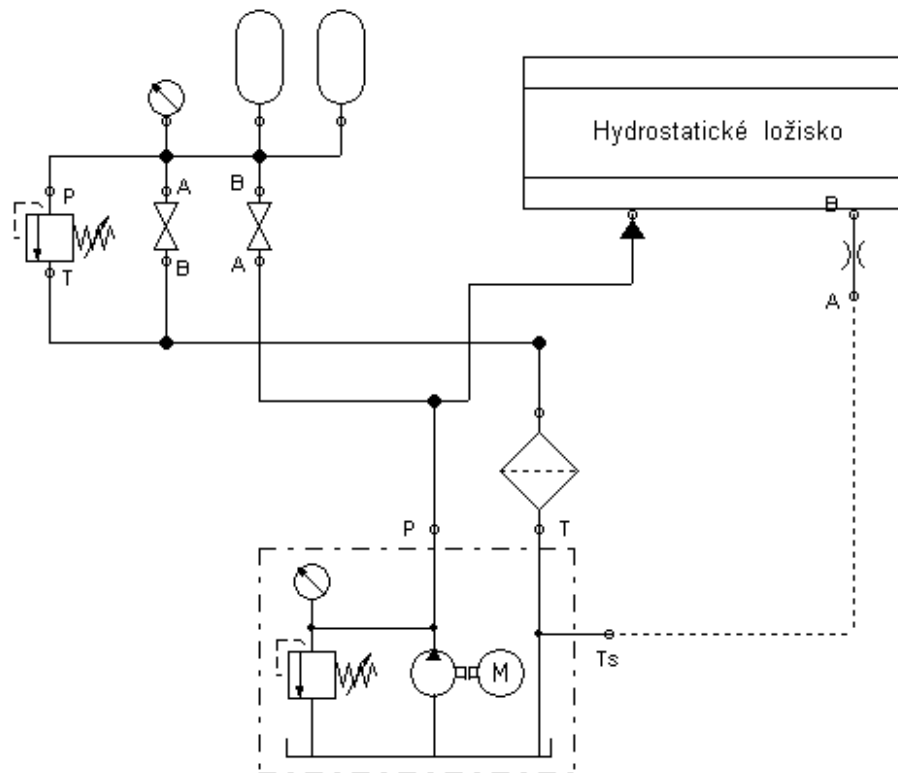
4.4 Nouzový zdroj tlaku. (Obr. 4.4-1, Obr. 4.4-2)



Obr. 4.4-1 Obvod s nouzovým zdrojem A.

Na obr. 4.4-1 je navržen nouzový akumulátorový zdroj tlaku. V případě použití akumulátorů pro nouzové situace, zde je předpokládáno posunutí přímočarého motoru do výchozí polohy, musí být splněno několik podmínek:

- Snímání tlaku pro řízení ventilů je vždy blízko čerpadla – snímáme maximální možný tlak v systému. Nemůžeme jej snímat na konci hydraulické cesty. Možné místní tlakové ztráty v komponentech obvodu mohou zapříčinit špatné rozpoznání nouzové situace, jak v tlaku, tak v čase.
- V případě použití rychlých časů spínání ventilů musíme dát pozor na vznik rázů v systému [1]. Tyto rázy mohou nepříznivě ovlivnit řízení bezpečnostního ventilu. Zde je vhodnější použití snímání tlaku senzorem a elektrickou cestou spínat bezpečnostní ventil.
- Doba nouzové situace (do naběhnutí jiného plnohodnotného zdroje) s určitou rezervou musí být plně zahrnuta do výpočtu akumulátoru. Zde je vhodné použití akumulátorových baterií v závislosti na požadované době, nebo objemu plnění.



Obr. 4.4-2 Obvod s nouzovým zdrojem B.

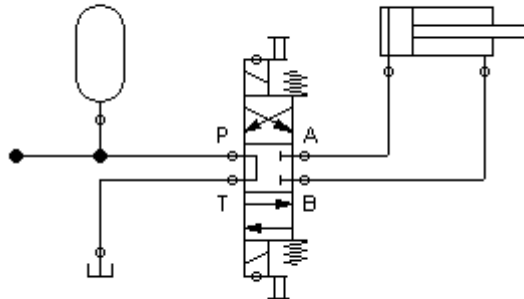
Jiný způsob použití je na obr. 4.4-2. Jak je naznačeno zde slouží akumulátor jako nouzový zdroj tlaku pro hydrostatická ložiska. Tato ložiska jsou v tlaku oleje po celou dobu provozu stroje. V případě výpadku dodávky oleje hrozí zadření ložisek a vznik velkých škod na stroji. Dimenzování velikosti a umístění akumulátorů je podřízeno požadavku konstruktéra na tlak a viskozitu kapaliny v komoře ložiska, na rozměrech a počtu hydrostatických ložisek a na čase nouzového zastavení rotačního stroje.

4.5 Tlumení pulzací v obvodě. (Obr. 4.5-1)

V moderních hydraulických systémech se stále častěji používají ventily s vysokou rychlostí spínání (elektro hydraulické ventily, sedlové ventily). Zvyšuje se výkon a rychlosti strojů a tím pádem dochází ke zrychlování pohybu kapaliny v okruzích. Takovéto systémy jsou náchylné k rozkmitání kapaliny vzniklými rázy a ke vzniku vysoké hlučnosti. Toto vše snižuje životnost všech prvků v hydraulickém obvodě.

Pro zabránění nežádoucích pulzací v okruhu můžeme zařadit k místu vzniku rázových vln tlumící akumulátory. návrh takových akumulátorů vychází ze znalosti místa vzniku a šíření rázové vlny [1].

Na obr. 4.5-1 je akumulátor tlaku použit jako tlumič rychle spínaného ventilu **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.** Zde je patrné umístění akumulátoru co nejbližše ke droji vzniku pulzu.



Obr. 4.5-1 Tlumení pulzu akumulátorem tlaku.

Zde uvedené jednoduché návrhy hydraulických obvodů s využitím akumulátorů dokládají všestranné možnosti použití těchto prvků v obvodech. Při rozmachu automatizace a požadavku na rychlost a přesnost je jednou z cest využívání všech předností moderních obvodů. Propojení klasické mechaniky, mechaniky kapalin, elektroniky a softwaru pro řízení, spojuje progresivní obor „mechatronika“.

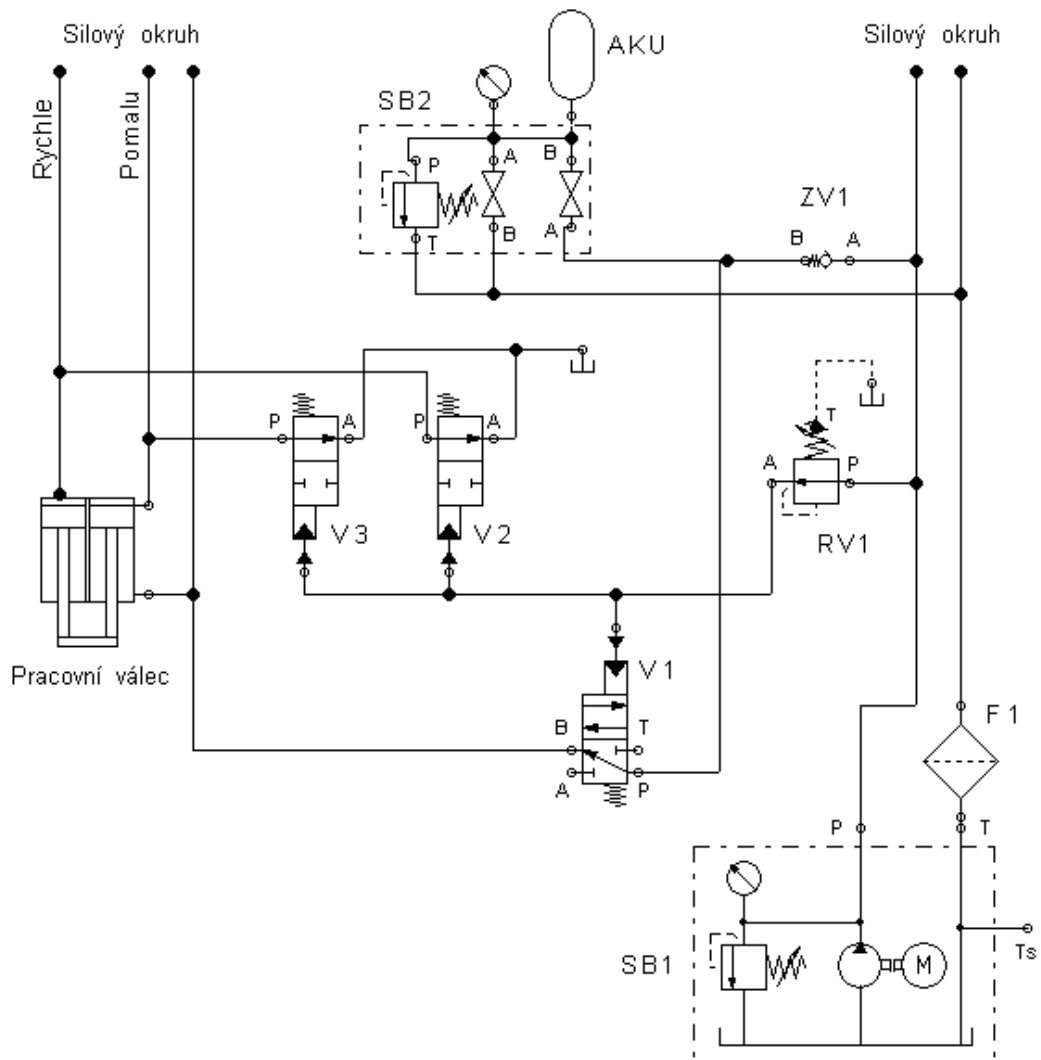
4.6 hlavní komponenty použité v obvodě s akumulátorem.

Vzhledem k návrhu hydraulického obvodu s akumulátorem tlaku, pro zabezpečení nouzového zdvihu pracovního beranu dílenského lisu, použiju základní obvod – hydraulický akumulátor jako dočasný nouzový zdroj kapaliny (kapitola 4.4.).

Na obr. 4.6-1 je hydraulické schéma použité jako návrhové pro základní obvod s hydraulickým akumulátorem. Obvod se skládá:

1. Blok zdroje kapaliny (SB1).
2. Venkovní filtr oleje (F1).
3. Vakový akumulátor (AKU).
4. Přímě řízený redukční ventil (RV1).
5. Ventil nouzového zdvihu (V1).
6. Odpouštěcí ventil (V2, V3).
7. Zpětný ventil (ZV1).
8. Škrťící ventil (nekresleno)
9. Základová deska ventilů (nekresleno).
10. Bezpečnostní a uzavírací blok (SB2).
11. Spojovací hydraulické trubky a ostatní armatury.

Všechny komponenty jsou z běžně dostupné na českém trhu. Pro základní popis je použito katalogu firmy „ARGO-HYTOS, s.r.o.“ a „OLAER CZ s.r.o.“. Popis funkce celého okruhu bude v kapitole - 6. úprava dílenského lisu.



Obr. 4.6-1 Návrh pomocného obvodu lisu.

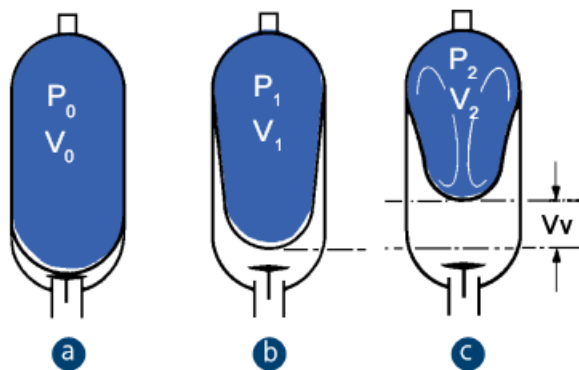
1. Blok zdroje kapaliny (SB1). Jedná se zákaznický blok se dvěma čerpadly s jedním pohonem a s oddělenými okruhy (na schématu je blok zdroje zjednodušen). Okruh „1“ je hlavní a dodává veškeré potřebné množství kapaliny celému systému. Okruh „2“ je pomocný – původně navržen pro dodatečná zařízení dílenského lisu. V tomto bloku jsou také vestaveny přepouštěcí ventily pro řízení hlavního a pomocných tlaků.

2. Vnější filtr oleje (F1). Protože lis pracuje v nepříznivém prostředí, je do odpadu zařazen zpětný filtr. Filtr je v samostatné nádobě částečně zapuštěné do hlavní nádrže a je osazen papírovou vložkou. V takto uspořádaném zdroji tlakové kapaliny

s filtrem v odpadu musíme dávat pozor na zvýšení odpadního tlaku. Příliš vysoký tlak v odpadu může spustit nechtěné a nekontrolované funkce systému. Pro zamezení nežádoucího zpěnění kapaliny musí být odpadní trubka z filtrů spolehlivě pod provozní hladinou kapaliny. Další podmínka je nevíření usazených částic ze dna nádrže. Proto je potřeba vzdálenost výstupu z filtru od dna nastavit na 2násobek až 3násobek průměru výstupní trubky [6]. Požadovaná čistota kapaliny je vždy dána citlivostí všech použitých komponent v kapalinovém okruhu na znečištění kapaliny. Pokud nejsou dostatečné informace od výrobce zdrojů tlakové kapaliny, tak se musíme řídit doporučeními výrobců filtrů.

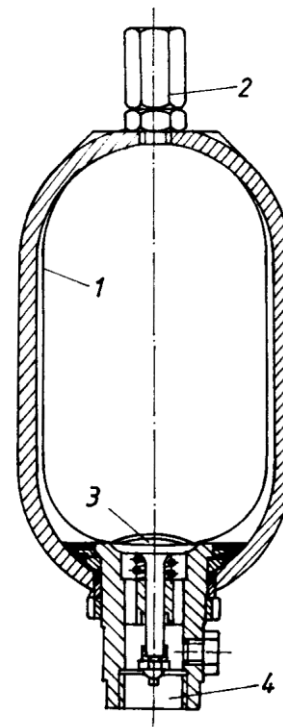
Pro měření a hodnocení čistoty kapaliny je používána norma ČSN ISO 4406;2006. V této normě je definován kód čistoty třemi čísly vzájemně oddělených lomítky – například 21/18/15. Čísla vyjadřují počet částic větších než 4 μm / 6 μm / 14 μm v 1 ml kapaliny [6].

3. Vakový akumulátor (AKU). Obr. 4.6-3. Tato součást nouzového obvodu se skládá z válcového, nebo kulového tlakového tělesa a pryžového vaku (1). Vak je uložen uvnitř nádoby, kde je v horním konci tělesa přichycen spolu s plynovým ventilem (2). Ve spodní části tělesa je přišroubován kapalinový ventil s odvzdušněním (4) a s montáží uzavíracího ventilu (3). Uzavírací ventil brání vtažení gumového vaku do kapalinového ventilu při vypouštění akumulátoru. Tři základní stavy naplnění hydraulického akumulátoru jsou na obr. 4.6-2.



Obr. 4.6-2 Polohy vaku v nádobě Chyba! enalezen zdroj odkazů..

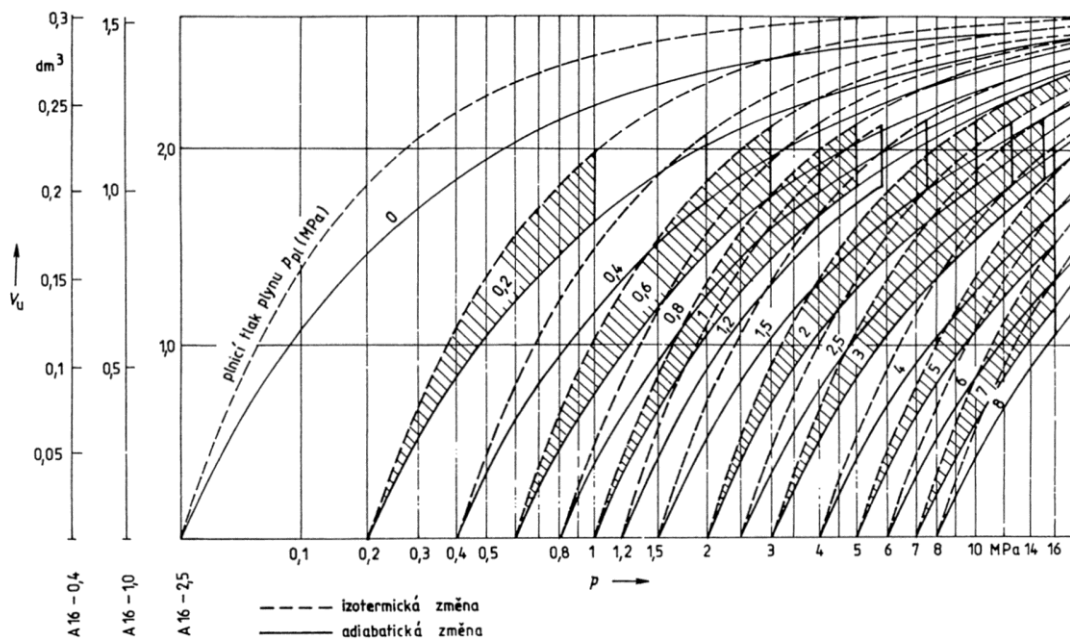
- P_0 – plnicí tlak dusíku.
- V_0 – celkový objem akumulátoru.
- P_1 – minimální pracovní tlak.
- V_1 – objem plynu při P_1 .
- P_2 – maximální pracovní tlak.
- V_2 – objem plynu při P_2 .
- V_v – objem využitelný při změně tlaku z P_1 na P_2 .



Obr. 4.6-3 Vakový akumulátor.

Vakový hydraulický akumulátor je hydrostatické zařízení k uchování energie v relativně nestlačitelném prostředí (kapalina). Má uvnitř vzájemně oddělené plynné a kapalně médium. Plyny jsou stlačitelné, tohoto je využito v akumulátoru k uchování energie. Při rostoucím tlaku kapaliny se také stlačuje plyn. Tlak v plynu a kapalině je stejný, v případě poklesu tlaku kapaliny plyn odevzdává tlakovou energii, až se tlaky znovu vyrovnají.

Pro základní výběr velikosti vakových akumulátorů nejčastěji slouží nomogramy sestavené výrobcem akumulátorů. Na obr. 4.6-4 je nomogram firmy JIHLAVAN, Jihlava [3].



Obr. 4.6-4 Nomogram volby akumulátoru JIHLAVAN.

Pro přesnější určení vakových akumulátorů slouží počítačové programy, které zahrnují všechny faktory z termomechaniky a mechaniky kapalin do výpočtu akumulátoru.

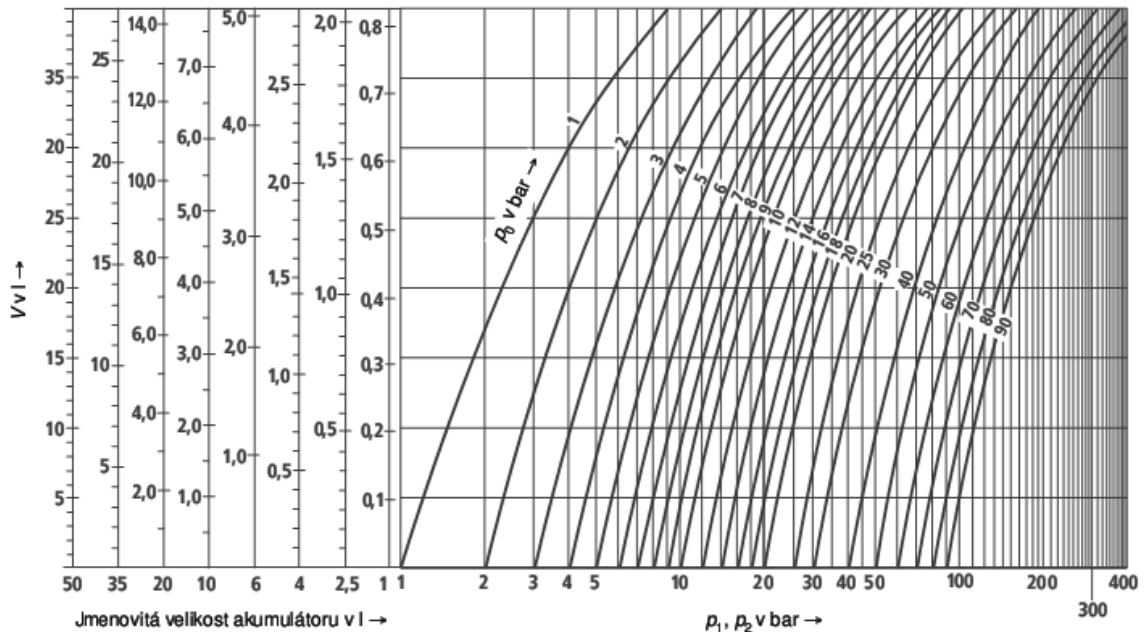
Protože se jedná o reálný plyn a v akumulátoru, musíme brát v úvahu čas plnění, nebo vyprazdňování nádoby. Při pomalém plnění (vyprazdňování) dochází k dokonalé výměně tepla s okolním prostředím a tak dochází také k výměně práce. Tato změna je izotermická. Naopak při velmi krátkých dobách plnění nedojde k výměně tepla s okolím – změna je adiabatická. Skutečná rychlost plnění je většinou mezi popsányými krajními stavy, tedy nedochází ani k izotermické nebo adiabatické stavové změně. Taková změna je polytropická.

$$\text{Musí platit: } p \cdot V^n = \text{konstanta}, \quad n = \text{polytropický exponent}$$

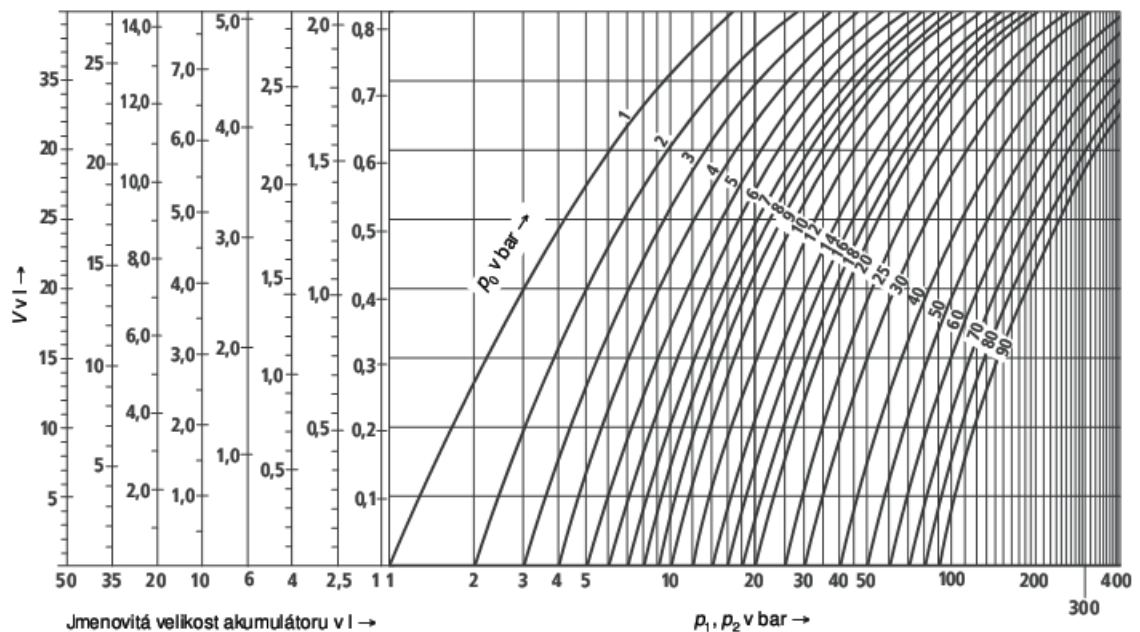
Polytropický exponent je v rozsahu $1 < n < \chi$ a je funkcí tlaku, teploty, objemu a tvaru akumulátoru.

Pro plnění akumulátoru se používá dusík, který má adiabatický exponent (χ) 1,4. Polytropický exponent může tedy nabývat hodnoty od 1 do 1,4. V praktických podmínkách probíhají stavové změny blíže k adiabatické změně (plnění probíhá izotermicky, vyprazdňování adiabaticky [8]).

Přesnější nomogramy pro volbu akumulátoru od firmy REXROTH [8] umožňují zohlednit izotermické plnění a adiabatické vyprazdňování.

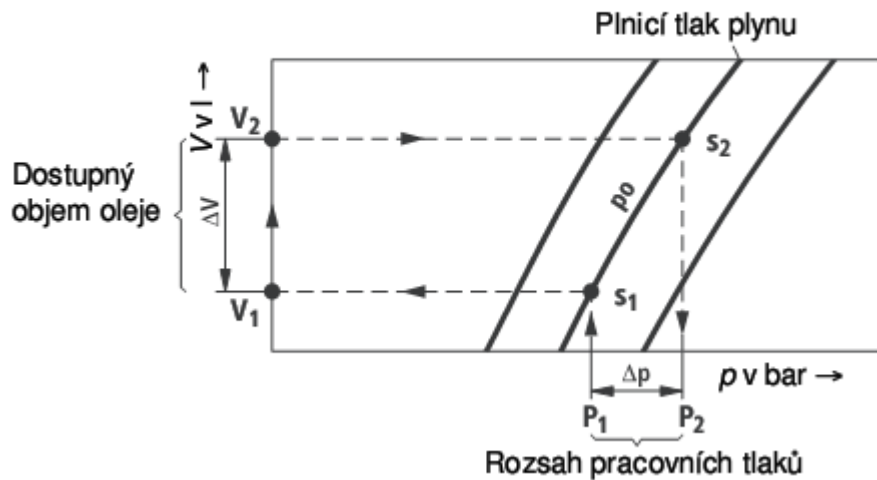


Graf 4.6-1 Izotermická stavová změna pro $p_0 = 1$ až 90 bar.



Graf 4.6-2 Adiabatická změna pro $p_0 = 1$ až 90 bar.

Použití výpočetních diagramů



Graf 4.6-3 Návod k použití nomogramů (Graf 4.6-1, Graf 4.6-2).

Klíč pro určení vakového akumulátoru je na graf 4.6-3. Potřebné tlaky p_1 a p_2 určíme podle potřeb a možností hydraulického okruhu. Dostupný objem potom odečteme z příslušného nomogramu. Pro zaručení dlouhé životnosti volíme co nejmenší rozdíl tlaků p_1 a p_2 (ale tímto snížíme maximální využití kapacity akumulátoru). Tedy pro maximální využití objemu akumulátoru a jeho dlouhé životnosti je doporučeno dodržet tyto hodnoty [8]: $p_0 \approx 0,9 \cdot p_1$; $p_2 \leq 4 \cdot p_0$

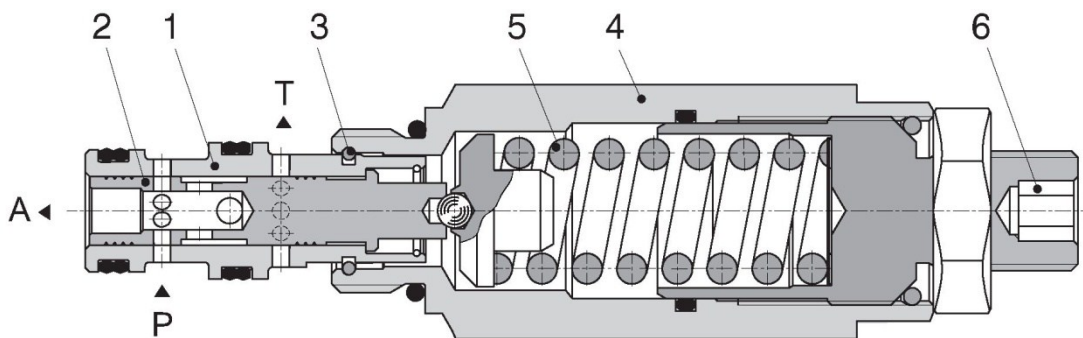
Nezbytným doplňkem hydraulického akumulátoru je „návod k používání tlakové nádoby“. Výrobce je povinen dodat s akumulátorem povinnou dokumentaci, která musí, mimo jiné, obsahovat pokyny k:

1. instalaci, včetně montáže jednotlivých částí tlakového zařízení,
2. uvádění do provozu,
3. použití,
4. údržby včetně kontrol a zkoušek prováděných uživatelem.

Vše v dokumentaci musí splnit zákonné podmínky. Jde o zákon č. 22/1997 Sb., o technických požadavcích na výrobky a o změně a doplnění některých zákonů, ve znění zákona č. 71/2000 Sb., zákona č. 102/2001 Sb., zákona č. 205/2002 Sb., zákona č. 226/2003 Sb., zákona č. 277/2003 Sb., zákona č. 481/2008 Sb., a zákona č. 34/2011 Sb. Doplněné o nařízení vlády č. 20/2003 Sb., kterým se stanoví technické požadavky na jednoduché tlakové nádoby.

4. Přímě řízený redukční ventil (RV1). V obvodě je k řízení ovládacího tlaku pro řídicí ventily akumulátoru navržen přímě řízený redukční ventil. Má za úkol udržovat konstantní tlak v ovládací části okruhu a také slouží k jistění redukovaného tlaku. Jako příklad je použit ventil firmy ARGO-HYTOS SP2A-A3 pro tlakový stupeň 06 [7].

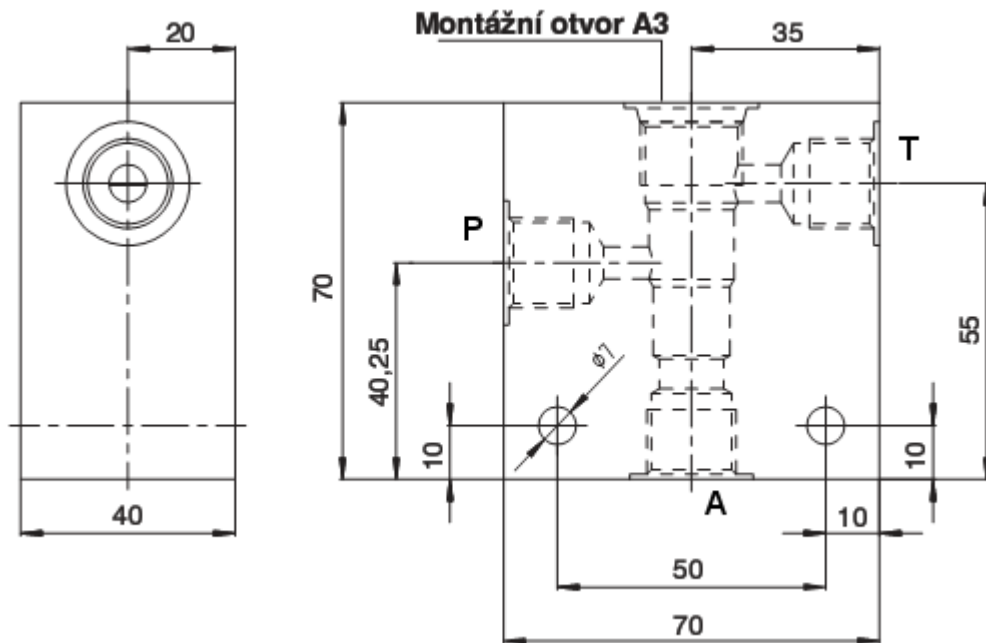
Základní popis funkce, konstrukce a ukázka katalogového listu (obr. 8.1-1) je z hlavního katalogu ARGO-HYTOS [7].



Obr. 4.6-5 Redukční ventil přímě řízený SP2A-A3.

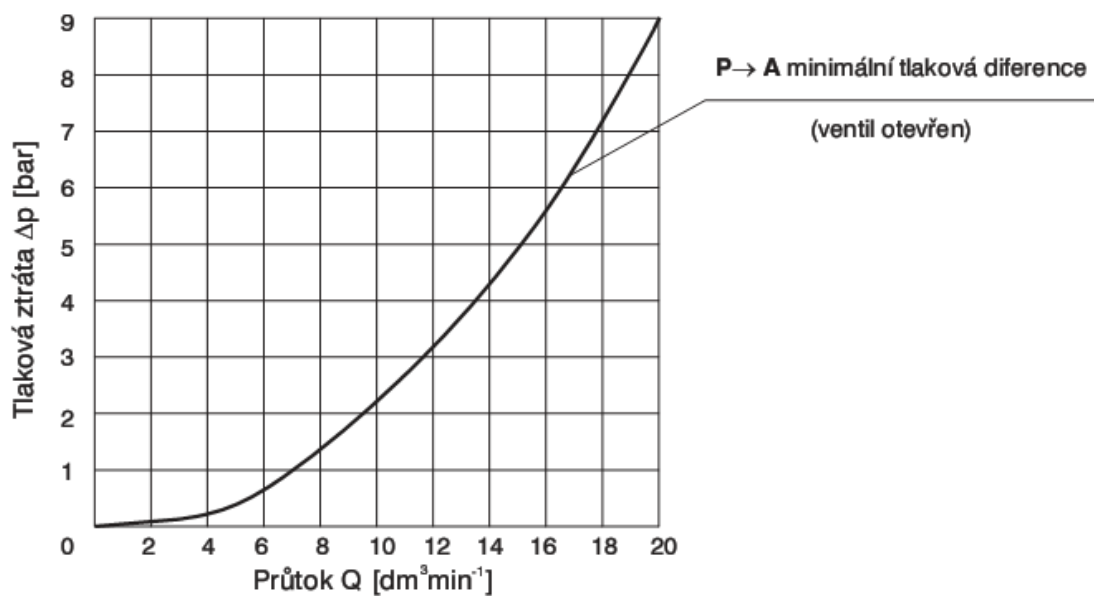
Přímě řízený redukční ventil v třicestném provedení se používá k redukování tlaku v systému a zároveň slouží k jistění redukovaného tlaku. Nastavení se provádí regulačním šroubem s vnitřním šestihranem (6). V základní poloze je ventil otevřen a kapalina může protékat volně z kanálu P do kanálu A. Tlak v kanálu A působí na plochu řídicího šoupátka (2) oproti pružině (5). Když tlak v kanálu A dosáhne hodnoty tlaku nastavené pružinou, přestaví se řídicí šoupátko do regulační polohy a přivře průtok z kanálu P do kanálu A. Jestliže tlak v kanálu A poklesne, pružina přesune řídicí šoupátko a opět otevře průtok z kanálu P do kanálu A, a udržuje tak nastavený tlak v kanálu A na konstantní hodnotě. Jestliže tlak v kanálu A stoupá dále vlivem působení vnějšího zatížení spotřebiče, přesune se řídicí šoupátko ještě dále oproti pružině, až řídicí šoupátko uvolní průtok z kanálu A do kanálu T, olej začne odtékat do nádrže a redukovaný tlak nemůže dále stoupat. Pouzdro ventilu (1) je upevněno v tělese (4) drátěným kroužkem (3). Tato konstrukce eliminuje vliv utahovacího momentu na deformaci pouzdra. V základní povrchové úpravě jsou těleso ventilu a seřizovací šroub zinkovány.

Tento ventil je vestavný, proto je ventil zabudován do samostatného tělesa. Rozměry a tvary upravuje příslušný oddíl katalogového listu – viz obr. 4.6-6. Toto těleso jde objednat zároveň s redukčním ventilem. Těleso není připraveno na montáž na základovou desku. Proto je nutné při návrhu použití této sestavy redukčního ventilu uvažovat o umístění se spojovacími trubkami.



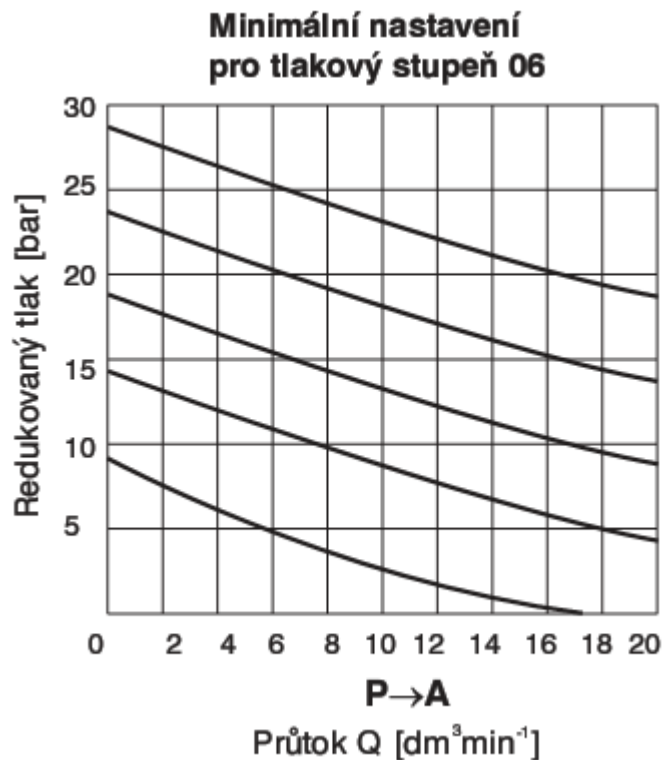
Obr. 4.6-6 Tělo vestavného ventilu.

Na každém prvku v obvodu vzniká určitá tlaková ztráta. Tato ztráta je v katalogovém listu vynesena do grafu pro příslušný obvod – graf 4.6-4



Graf 4.6-4 Tlaková ztráta redukčního ventilu.

Další důležité údaje jsou vyneseny do grafu minimální tlakové nastavení (graf 4.6-5) a graf charakteristiky tlakové ztráty pro různá průtočná množství v jednotlivých větvích ventilu (graf 4.6-6). Oba grafy jsou pro minerální oleje třídy HL, HLP dle DIN51524 a pro kinematickou viskozitu $\nu = 32 \text{ mm}^2 / \text{s}$.

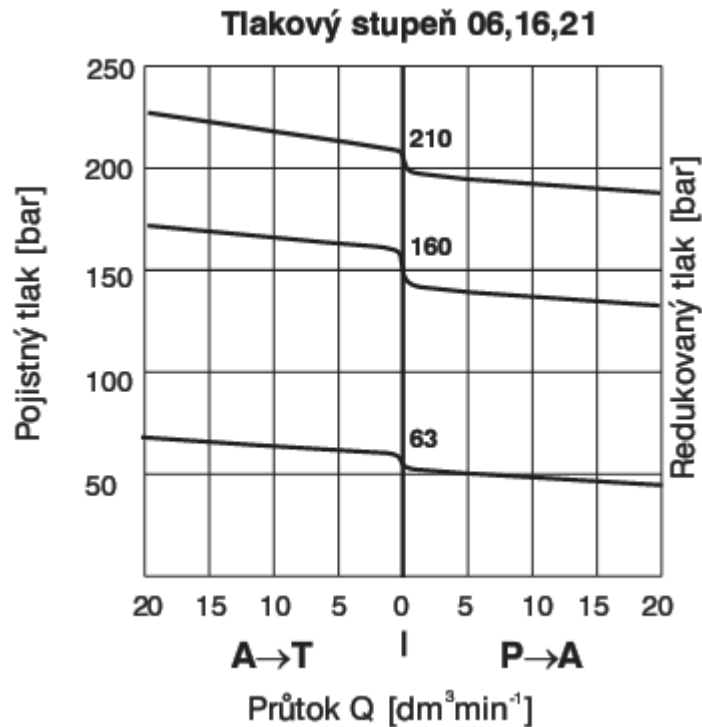


Graf 4.6-5 Minimální tlak při různém průtočném množství.

Tento graf jednoznačně ukazuje závislost nastavitelného tlaku na průtoku redukčním ventilem. Při vyšších průtočných rychlostech hraje velkou roli viskozita kapaliny. Energie ztracená průtokem ventilu je tím vyšší, čím vyšší je viskozita. Tato ztracená energie se projevuje tlakovým spádem na jednotlivých prvcích okruhu při vyšších rychlostech (vyšším průtočném množství).

Další p-Q charakteristikou je dvojice grafů sloučených do stejného počátku (graf 4.6-6). Levá strana grafu ukazuje nárůst tlaku v odpadní větvi redukčního ventilu při nárůstu průtočného množství větví a prvá strana naopak pokles tlaku. Graf je zjednodušen, protože průběh křivek není v reálných kapalinách lineární, jak ukazuje graf.

Ukázka katalogového listu (typový klíč) z nabídkového katalogu firmy ARGO-HYTOS [7] je v obrazové příloze ARGO-HYTOS, Katalogové listy [7].

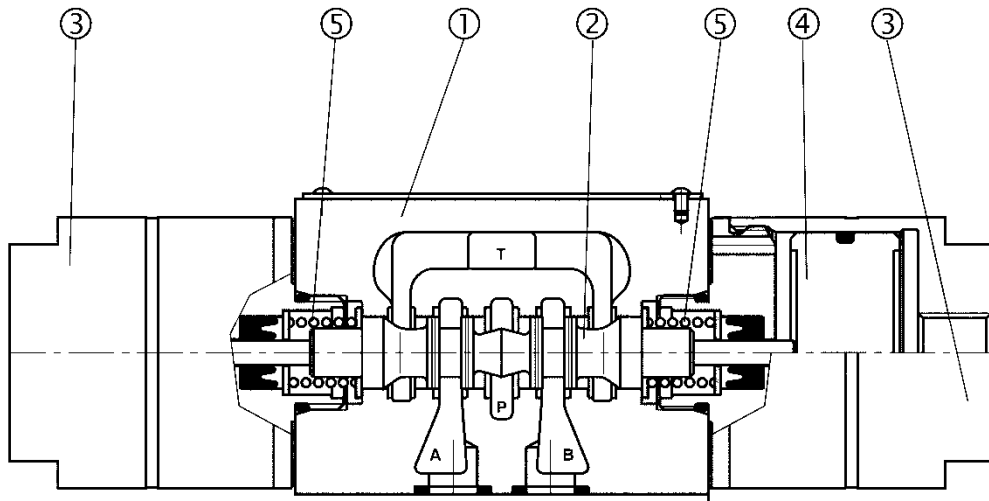


Graf 4.6-6 Změny tlaku v redukovaném a pojistném okruhu RV.

5.-6. Ventil nouzového zdvihu (V1), odpouštěcí ventil (V2, V3). Tyto ventily umožňují na základě řídicího tlaku přepouštět pracovní tlak pod píst a odvádět tlak z horní části pístu do nádrže. Protože je použito nejjednodušších ventilů, používají se ventily stejného druhu. Pro většinu řídicích obvodů tohoto typu vyhovují například rozváděče firmy ARGO-HYTOS RPH3-06 [7].

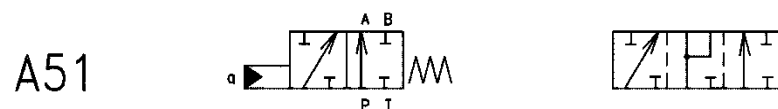
Základní popis funkce, konstrukce a ukázka katalogového listu (obr. 8.1-2) je z hlavního katalogu ARGO-HYTOS.

Rozváděč má stavebnicovou konstrukci. Skládá se z rozváděcí jednotky tvořené litinovým tělesem (1) s válcovým šoupátkem (2) a z jednoho nebo dvou ovladačů (3) s písty (4) a vratnými pružinami (5). Rozváděče třípolohové mají vždy dva ovladače a dvě středící pružiny. Dvoupolohové ozváděče mají vždy jeden ovladač a jednu vratnou pružinou nebo dva ovladače a aretaci polohy válcového šoupátka. Bez působení řídicího tlaku je šoupátko drženo pružinami ve střední nebo výchozí poloze. Působením řídicího tlaku přesunou ovládací písty šoupátko do požadované polohy. Rozváděč je v základní povrchové úpravě fosfátován.



Obr. 4.6-7 Hydraulický rozvaděč RPH3-06

Pro funkci otevření a zavření kanálu v rozvaděči postačí hydraulicky ovládaný rozvaděč RPH3-062 A51 / 2 – 1. Označení a polohy rozvaděče jsou na obr. 4.6-8. U některých rozvaděčů je důležité znát tzv. střední polohy rozvaděče. Jedná se o otevření kanálů při přesunu rozvaděče z jedné polohy do druhé. Při běžném provozu se střední poloha projevuje krátkým neurčitým stavem. Tento stav a propojení kanálů je zobrazen jako středová poloha rozvaděče (v našem případě jsou propojeny kanály P, A, B).

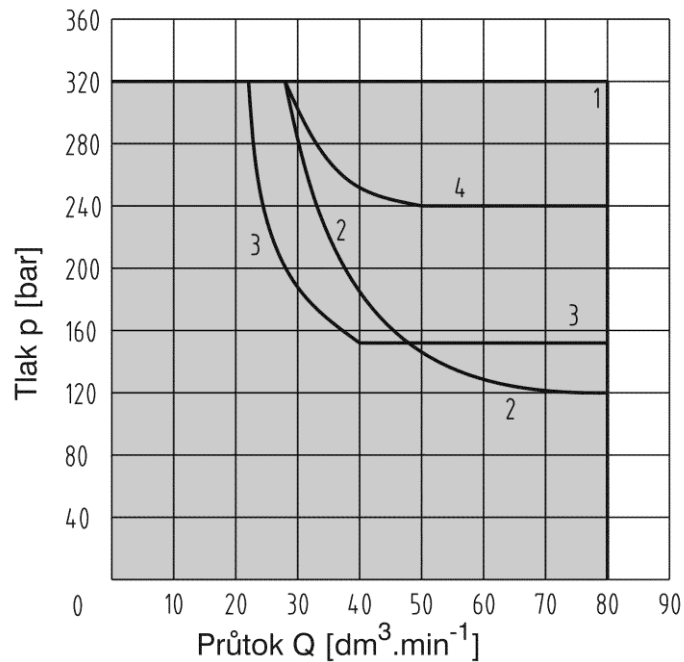


Obr. 4.6-8 Označení a schematická značka s polohami rozvaděče.

Jako na redukčním ventilu jsou na katalogovém listu důležité charakteristiky pro základní výpočet. Charakteristiky vyznačují oblast vhodnosti použití z hlediska hydraulického výkonu a hydraulických ztrát na rozvaděči.

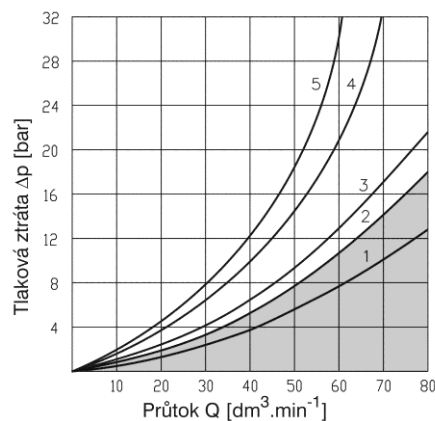
Pro posouzení vhodnosti nasazení v okruhu slouží graf 4.6-7. Tmavší oblast vymezuje max. tlak a max. průtok pro rozvaděč typu A51.

Tlakové ztráty jsou na graf 4.6-8. Pro typ rozvaděče A51 platí tmavší oblast vymezená křivkou 2 (podle tabulky pro směry průtoků).



Graf 4.6-7 **Hydraulický výkon rozvaděče RPH3-062 A51 /2**

Závislost tlakových ztrát Δp na průtoku.



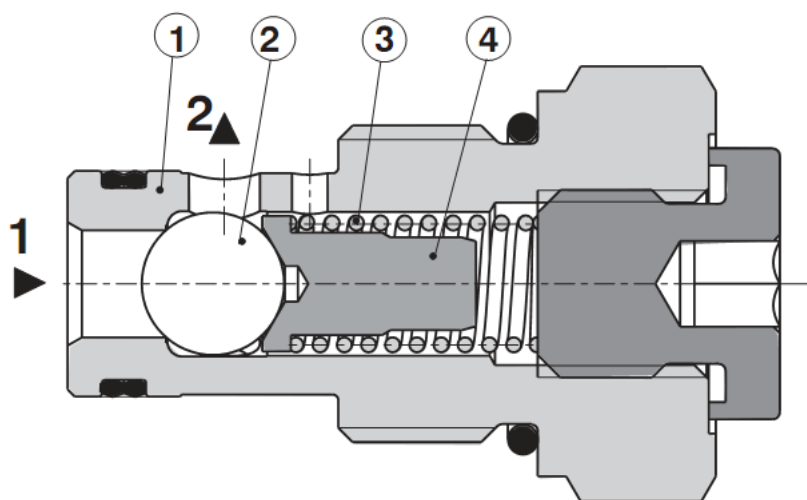
	P-A	P-B	A-T	B-T	P-T
Z11	2	2	3	3	
C11	4	4	4	5	3
H11	2	2	2	2	3
P11	1	1	3	3	
Y11	2	2	2	2	
L21	2	2	3	3	
B11	2	2	3	3	
R11	2	2	3	3	
A51	2	2			
P51		1	3		
Y51		2	2		
X11	2	2	3	3	
J15	2	2	3	3	
J75	2	2			

Graf 4.6-8 **Tlakové ztráty rozvaděče RPH3-62 A51 /2**

Na schematickém návrhu obvodu jsou použity hydraulicky ovládané rozvaděče. Další možností je použití elektricky ovládaných rozvaděčů. Rozhodnutí jaké bude ovládaní je vždy na konstrukci původního hydraulického okruhu a možnostech elektrického rozvodu stroje. Reakce elektricky ovládaných rozvaděčů je kratší než u hydraulicky ovládaných.

7. Jednosměrný ventil (ZV1). Jednosměrný (zpětný) ventil plní v hydraulickém obvodu jednoduchou funkci, jedním směrem medium propustí a druhým ne. Do okruhu s akumulátorem je zařazen do přívodní větve akumulátoru a v případě změny tlaku v hlavním rozvodu zabraňuje uniku média z akumulátoru zpět do původního hydraulického obvodu. Je použito sedlové, vestavné konstrukce. Tato varianta jednosměrného ventilu umožňuje ventil zabudovat přímo do základové kostky.

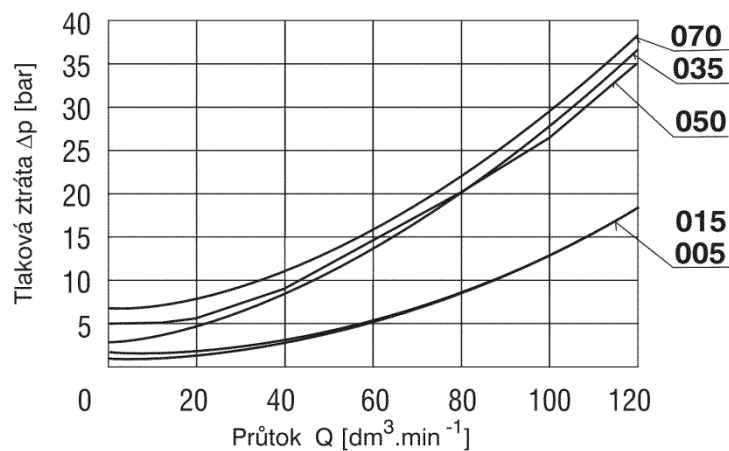
Popis konstrukce a funkce jednosměrného ventilu SC1F-B2 /H 005 je z hlavního katalogu ARGO-HYTOS [7].



Obr. 4.6-9 Jednosměrný ventil SC1F-B2 / 005.

Jednosměrné ventily slouží k uzavření průtoku v jednom směru a dovolují volný průtok ve směru opačném. Sedlová konstrukce zaručuje těsné uzavření. Sedlo ventilu je vytvořeno přímo v tělese ventilu (1) a kulička (2) je do něho přitlačována pružinou (3) přes opěrku (4). Otvírací tlak (směr 1) ventilu závisí na použité pružině, jejím předpětí a na ploše kuličky vystavené působení tlaku.

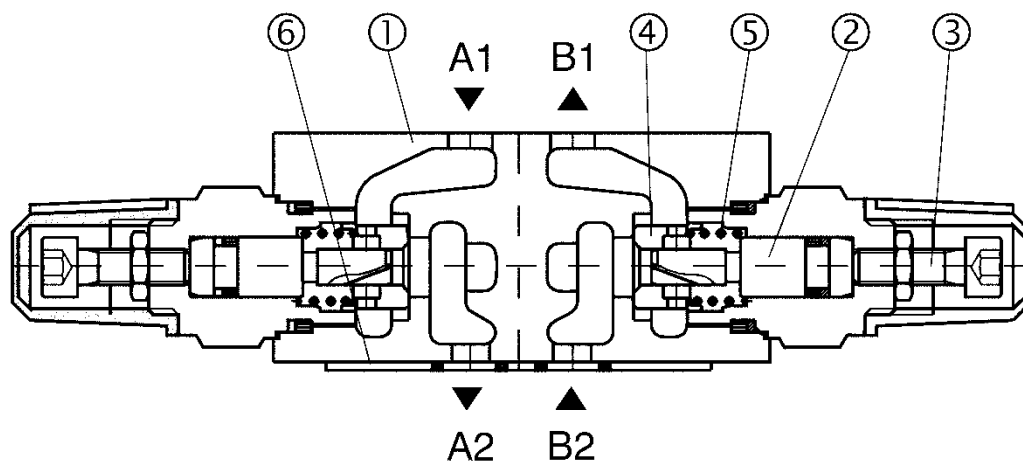
Tlakové ztráty jsou na graf 4.6-9. Pro jednotlivé tlakové stupně od 0,5 do 7 bar jsou ztráty rozlišeny spojnicemi s příslušným číslem. Pro použití správného tlakového stupně je rozhodující možný protitlak. V případě rovnosti tlaků v obvodu s jednosměrným ventilem je rozhodující síla přitlačné pružiny. Tlakový stupeň nám právě určuje potřebný otvírací tlak.



Graf 4.6-9 Tlakové ztráty jednosměrného ventilu.

8. Škrťící ventil. Tímto škrťícím ventilem zařazeným do odpadní větve pomocného obvodu můžeme regulovat průtok média a tím také potřebný čas zdvihu beranu.

Popis a funkce je z katalogu firmy ARGO HYTOS [7]. Ukázka katalogového listu je v příloze na obr. 8.1-3.

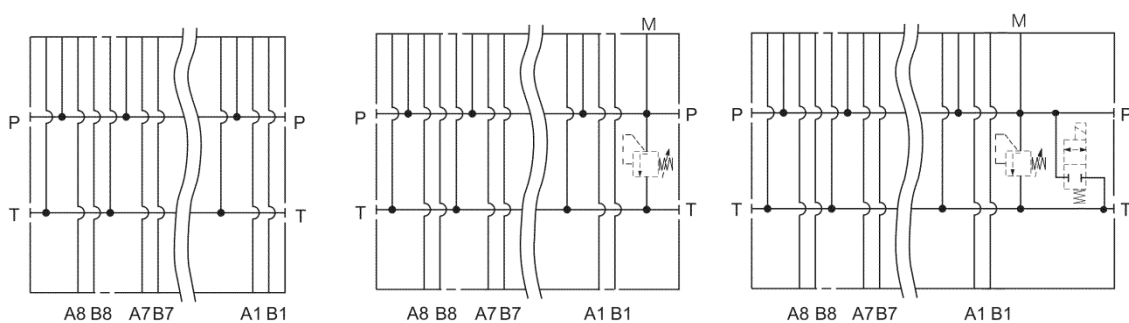


Obr. 4.6-10 Škrťící ventil 2VS3-06.

Dvojitě škrticí ventily slouží ke škrzení průtoku ve dvou oddělených větvích (A, B) hydraulického obvodu. Modulové uspořádání umožňuje šest různých zapojení. Škrticí ventily jsou vestavěny v kanálu A nebo B nebo v A i B. Omezují průtoky v jednom směru a dovolují volné průtoky ve směru opačném. Škrticí šoupátko (2) je přesouváno přestavným šroubem (3) a určité poloze šoupátka odpovídá určitý průtočný průřez. Tlaková kapalina přivedená kanálem A1 protéká škrticí drážkou a škrticím mezikružím a vystupuje kanálem A2. Kapalina vstupující kanálem B2 přesune sedlo (4) proti pružině (5) a vzniklý průtočný průřez umožňuje volný průtok do kanálu B1 (funkce jednosměrného ventilu). Modulové uspořádání ventilu umožňuje jeho výškové sdružování s dalšími prvky odpovídající světlosti. Těsnění ventilu ve stykové ploše zajišťuje mezideska (6) s vloženými O kroužky. Určité poloze ventilu odpovídá zapojení pro škrzení na vstupu nebo na výstupu spotřebiče. Změna zapojení ze škrzení na vstupu na škrzení na odpadu se provede otočením ventilu o 180° kolem vodorovné osy. Orientace škrticích ventilů a jednosměrných ventilů odpovídá orientaci schematické značky na štítku ventilu. Ovládání přestavného šroubu klíčem, rukojetí nebo rukojetí se zámkem. V základní povrchové úpravě je těleso ventilu fosfátováno, ostatní části jsou zinkovány.

9. Základová deska ventilů. Tento díl je hlavní montážní celek pro usazení řídicích ventilů a ostatního příslušenství pomocného akumulátorového zdroje tlaku. V případě použití normalizovaných hydraulických dílů je možné ji objednat jako polotovár. Pro základní rozmístění prvků je nutné znát hydraulické schéma a montážní rozměry všech osazovaných součástí. Toto vždy najdeme v příslušném katalogovém listu. Možných variant zapojení přípojovacích desek je velké množství. Rozhodující je proto velikost zástavbového prostoru pro hydrauliku na stroji. Vždy volíme jednoduché a bezpečné zapojení přípojovací desky.

Protože v návrhu zapojení používám hydraulické prvky firmy ARGO-HYTOS, tak i přípojovací deska je ze stejného zákaznického katalogu prvků. Při volbě desky je důležité znát vnitřní zapojení kanálů. Pro příklad je na obr. 4.6-11 zapojení řadové přípojovací desky.

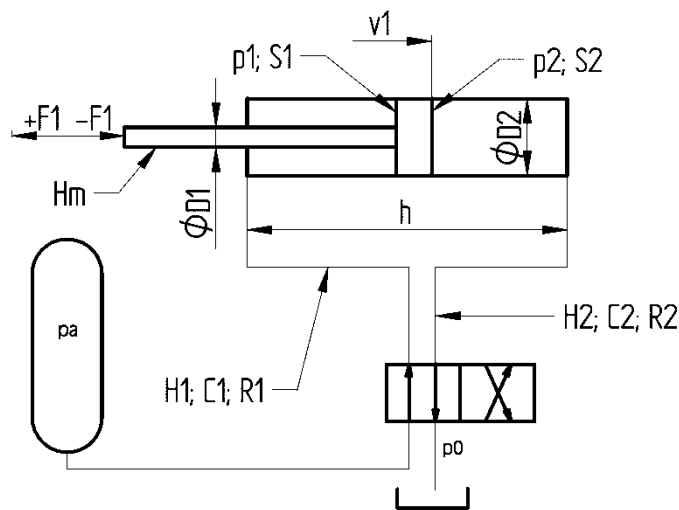


Obr. 4.6-11 Varianty zapojení řadových přípojovacích desek.

5 Obecný výpočet hydraulického obvodu s akumulátorem.

Pro obecný výpočet hydraulického obvodu je důležité znát tlak kapaliny, účinnost a ztrátový výkon přímočarého hydromotoru. Základním výchozím požadavkem je rychlost hydromotoru. Zde je návrh obecného výpočtu pro hydraulické zapojení hydromotoru s akumulátorem jako zdrojem tlaku.

Použité vzorce a schémata jsou z podnikové publikace firmy ŠKODA [4]. Pro výpočty je použito označení na obr. 5-1.



Obr. 5-1 Základní výpočtové schéma.

Tab. 1 Značení ve vzorcích.

p_a	- tlak v akumulátoru [Pa]	$Q_1; Q_2$	- průtok hydromotoru [m^3/s]
p_0	- tlak v odpadu [Pa]	Q_g	- průtok hydrogenerátoru [m^3/s]
$p_1; p_2$	- tlaky hydromotoru [Pa]	c	- poměr činných ploch hydromotoru [m^2]
$\Delta p_1; \Delta p_2$	- tlakový spád při max. výkonu hydromotoru [Pa]	$D_1; D_2$	- výpočtové průměry [m]
p_{max}	- max. tlak hydrogenerátoru [Pa]	H	- odpor proti zrychlení celého obvodu [kg/m^4]
$R_1; R_2$	- odpory proti pohybu kapaliny [kg/m^7]	$C_1; C_2$	- kapacita hydraulického obvodu [$1/N \cdot m^5$]
$F_1; F_2$	- zatěžující síly [N]	$v_1; v_2$	- rychlost hydromotoru [m/s]
h	- zdvih hydromotoru [m]	r_t	- měrný odpor turbulentního proudění v kruhové trubce [$kg/m^7 \cdot mm^5/m$]
λ	- součinitel tření kapaliny o stěnu trubky	r_l	- měrný odpor laminárního proudění v kruhové trubce [$kg/m^7 \cdot mm^4/m$]
ν	- kinematická viskozita [m^2/s]		
Re	- Reynoldsovo číslo		

Pro základní obecný výpočet je kladen důraz na rychlost hydromotoru. Tato rychlost ovlivňuje výkon hydromotoru.

Dále je nutno uvažovat o určitých předpokladech:

- svodový odpor je nekonečně velký, to znamená, že všechna těsnění dokonale těsní. Pro šoupátkové rozvaděče můžeme považovat odpor za nekonečně velký, jestliže je rozvaděč používán při jmenovitých průtocích, na které je konstruován.
- průtok hydrogenerátoru Q_g je konstantní.
- tlak na hydrogenerátoru (p_{1g}) je menší než maximální tlak hydrogenerátoru – $p_{1g} < p_{max}$.
- změna polohy rozvaděče je skoková – $t = 0$.
- obvod je řešen se soustředěnými parametry. Odporů (H, R) jsou soustředěny do jednoho místa

$$p_a = \text{konst.}; p_0 = \text{konst.}; F_1 = \text{konst.}; H = 0; C_1 = C_2 = 0; R_s = \infty$$

5.1.1 Výpočet tlakového spádu hydromotoru.

Na hydromotoru musí platit rovnováha sil.

$$p_1 \cdot S_1 - p_2 \cdot S_2 - (\pm F_1) = 0$$

$$\text{pro } p_1, p_2 \text{ platí: } p_1 = p_a - \Delta p_1 \quad p_2 = \Delta p_2 + p_0$$

$$\text{potom: } (p_a - \Delta p_1) \cdot S_1 - (\Delta p_2 + p_0) \cdot S_2 - (\pm F_1) = 0$$

$$\text{pro poměry – činných ploch } c \text{ a průtoků } Q \text{ platí: } c = \frac{S_2}{S_1}; Q_1 = \frac{Q_2}{c}; Q_1 = \sqrt{\frac{\Delta p_1}{R_1}}$$

$$\sqrt{\frac{\Delta p_1}{R_1}} = \frac{1}{c} \cdot \sqrt{\frac{\Delta p_2}{R_2}} \Rightarrow \Delta p_2 = \frac{R_2}{R_1} \cdot c^2 \cdot \Delta p_1$$

V rovnici silové rovnováhy:

$$(p_a - \Delta p_1) \cdot S_1 - \left(\frac{R_2}{R_1} \cdot c^2 \cdot \Delta p_1 + p_0 \right) \cdot S_2 - (\pm F_1) = 0 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \Delta p_1 = \frac{p_a - p_0 \cdot c - \left(\pm \frac{F_1}{S_1} \right)}{1 + \frac{R_2}{R_1} \cdot c^3}$$

Přitom musí platit : $0 < \Delta p_1 \leq p_a$

5.1.2 Průtok hydromotoru.

$$Q_1 = \sqrt{\frac{\Delta p_1}{R_1}} \quad Q_2 = Q_1 \cdot c \quad c = \frac{S_2}{S_1}$$

5.1.3 Rychlost hydromotoru.

$$v_1 = h \cdot f_1 \quad f_1 = \frac{Q_1}{V_1} = \frac{Q_1}{S_1 \cdot h}$$

$$v_1 = h \cdot f_1 = \frac{Q_1}{S_1} = \frac{1}{S_1} \cdot \sqrt{\frac{\Delta p_1}{R_1}} = \frac{1}{S_1} \cdot \sqrt{\frac{p_a - p_0 \cdot c - \left(\pm \frac{F_1}{S_1}\right)}{R_1 + R_2 \cdot c^3}}$$

Při působení síly F_1 ve stejném směru jako rychlost v_1 je nutné kontrolovat tlakový spád Δp_1 . Vlivem síly F_1 může dojít k situaci, že $\Delta p_1 > p_a$. Toto je fyzikálně nemožné. V praktickém zapojení obvodu by tento případ neměl nastat, protože některé části obvodu mohou být namáhány kavitací. Změnu rychlosti pohybu hydromotoru můžeme nejnadhěji docílit změnou výstupních hydraulických odporů (zaškrcením).

5.1.4 Výkon hydromotoru.

$$P_1 = \int F_1 \cdot dv_1 = F_1 \cdot v_1 \quad F_1 \geq 0; \frac{dF_1}{dh} = 0$$

Pro okrajové podmínky:

$$F_1 = 0 \Rightarrow v_1 = v_{max}; \quad F_1 = F_{1max} \Rightarrow v_1 = 0$$

je výkon P hydromotoru nulový (v obou případech).

Po dosazení:

$$\begin{aligned} P_1 = F_1 \cdot v_1 &= Q_1 \cdot \frac{F_1}{S_1} = Q_1 \cdot \left[p_a - p_0 \cdot c - \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \cdot c^3 \right) \cdot \Delta p_1 \right] \\ &= \frac{1}{\sqrt{R_1}} \left[(p_a - p_0 \cdot c) \sqrt{\Delta p_1} - \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \cdot c^3 \right) \cdot \sqrt{\Delta p_1^3} \right] \end{aligned}$$

Pro maximum této funkce:

$$\frac{dP_1}{d\Delta p_1} = \frac{1}{\sqrt{R_1}} \left[(p_a - p_0 \cdot c) \cdot \frac{1}{2} \Delta p_1^{-\frac{1}{2}} - \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \cdot c^3 \right) \cdot \frac{3}{2} \cdot \Delta p_1^{\frac{1}{2}} \right] = 0$$

Po úpravě:

$$\Delta p_{1P} = \frac{1}{3} \cdot \frac{p_a - p_0 \cdot c}{1 + \frac{R_2}{R_1} \cdot c^3}$$

Výkon hydromotoru (P_{\max}) je největší právě při tlakovém spádu Δp_{1P} .

Největší výkon hydromotoru při zatěžující síle (F_{1P}) je :

$$F_{1P} = \frac{2}{3} \cdot S_1 \cdot (p_a - p_0 \cdot c)$$

5.1.5 Celková účinnost hydromotoru.

Příkon: $P_1^{př} = Q_1 \cdot p_a = S_1 \cdot v_1 \cdot p_a$

Platí:

$$\eta_1 = \frac{P_1}{P_1^{př}} = \frac{F_1 \cdot v_1}{Q_1 \cdot p_a} = \frac{F_1 \cdot Q_1}{S_1 \cdot Q_1 \cdot p_a} = \frac{F_1}{S_1 \cdot p_a} = \frac{p_a - p_0 \cdot c - \Delta p_1 \cdot \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \cdot c^3\right)}{p_a}$$

Po dosazení $\Delta p_1 = \Delta p_{1P}$

$$\eta_{1P} = \frac{2}{3} \cdot \frac{p_a - p_0 \cdot c}{p_a}$$

Při této účinnosti η_{1P} (pro obvod s R_1 , R_2 , P_0 , c) je výkon hydromotoru největší ($P_1 = P_{\max}$).

5.1.6 Ztrátový výkon a ztrátová práce.

Ztrátový výkon:

$$\eta_1 = \frac{P_1}{P_1^{př}} = \frac{P_1^{př} - P_{1z}}{P_1^{př}} = 1 - \frac{P_{1z}}{P_1^{př}} \quad (F_1 \geq 0)$$

$$P_{1z} = (1 - \eta_1) \cdot P_1^{př}$$

Po dosazení za $P_1^{př}$: $P_1^{př} = Q_1 \cdot p_a = S_1 \cdot v_1 \cdot p_a$

$$P_{1z} = (1 - \eta_1) \cdot S_1 \cdot v_1 \cdot p_a$$

Po dosazení za η_1 : $\eta_1 = \frac{\pm F_1}{S_1 \cdot p_a}$

$$P_{1z} = v_1 \cdot [S_1 \cdot p_a - (\pm F_1)]$$

Ztrátová práce:

$$L_{1z} = P_{1z} \cdot t_1 = (1 - \eta_1) \cdot S_1 \cdot h \cdot p_a = h \cdot [S_1 \cdot p_a - (\pm F_1)]$$

Potřebné výpočtové vztahy lze odvodit pro opačný směr rychlosti hydromotoru.

Vztahy pro celkovou účinnost, ztrátový výkon a ztrátovou práci jsou odvozeny za předpokladu odlehčení hydromotoru při dosažení pracovního tlaku. Průtok hydrogenerátoru odchází se zanedbatelnou ztrátou do odpadu.

tlak v hydraulickém akumulátoru (p_a) je střední hodnota tlaku, a pro výpočty je uvažováno, že hodnota tohoto tlaku je konstantní.

5.2 Výpočty ztrát ve vedení (odpor proti pohybu).

Pro stanovení odporu proti pohybu budeme vycházet ze základní vlastnosti popisu hydraulických obvodů.

Při použití Kirchhoffových zákonů pro teorii obvodů – prostorově rozložené prvky v obvodě můžeme nahradit jedním sdruženým prvkem.

Bude platit: součet okamžitých průtoků do uzlu vstupujících a z uzlu vystupujících je roven 0.

$$\sum_{i=1}^n Q_i = 0$$

Součet okamžitých tlakových spádů ve všech větvích orientovaného (orientovaná uzavřená smyčka) obvodu je roven 0.

$$\sum_{i=1}^n \Delta p_i = 0$$

5.2.1 Stanovení odporu pohybu u prvků v obvodě.

Základní výpočtové vztahy jsou odvozeny z Bernouliho rovnice. Pak lze odvodit:

$$\Delta p_i = \frac{\rho}{2} \cdot \xi_i \cdot v_i^2$$

Z rovnice kontinuity platí:

$$v_i = \frac{Q}{S_i}$$

Tedy:

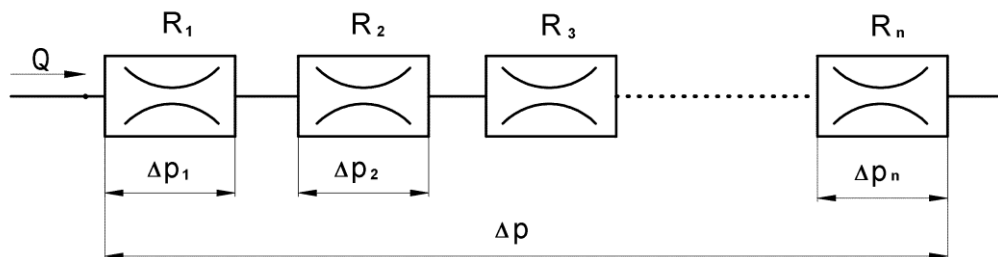
$$\Delta p_i = \frac{\rho}{2} \cdot \frac{\xi_i}{S_i^2} \cdot Q^2 = R_i \cdot Q^2$$

Pro odpor proti pohybu určitého prvku je dán vztahem:
(Ztrátový součinitel ξ_i vztažen na průřeznou plochu S_i)

$$R_i = \frac{\rho}{2} \cdot \frac{\xi_i}{S_i^2} \quad \left[\frac{kg}{m^7} \right] = \left[\frac{Ns^2}{m^8} \right]$$

Další možný postup je, stanovení tlakového spádu z nomogramů v katalogových listech pro příslušný hydraulický prvek vydaných výrobcem prvku. Například stanovení tlakového spádu hydraulického rozvaděče od firmy ARGO HYTOS na graf 4.6-8.

Sériově řazené prvky:



Obr. 5.2-1 Sériově řazení hydraulických prvků.

Sloučení hydraulických prvků pod jedním odporem můžeme udělat, jestliže uvažujeme o tzv. krátkém vedení. Krátké vedení je dlouhé přibližně 10% až 20% délky rázové vlny tlakových nebo průtokových změn. Pro běžné řešení uvažujeme o ustáleném stavu v hydraulickém obvodu, kde nedochází k tlakovým nebo průtokovým pulzacím a proto můžeme použít metodu soustředěných parametrů.

Výsledný odpor proti pohybu je roven součtu všech odporů v obvodě.

$$\Delta p = \Delta p_1 + \Delta p_2 + \dots + \Delta p_n$$

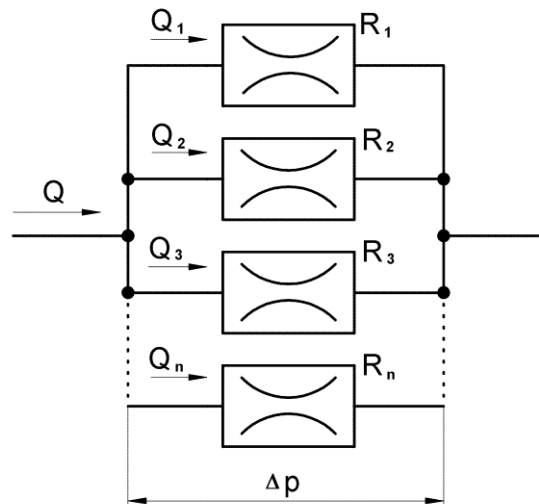
$$R \cdot Q^2 = R_1 \cdot Q^2 + R_2 \cdot Q^2 + \dots + R_n \cdot Q^2$$

$$R = R_1 + R_2 + \dots + R_n = \sum_{i=1}^n R_i$$

Paralelně řazené prvky:

Na všech prvcích obvodu je stejný tlakový spád. Průtoky se dělí na jednotlivé paralelní větve.

$$Q = Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n$$



Obr. 5.2-2 Paralelní řazení hydraulických prvků.

$$\sqrt{\frac{\Delta p}{R}} = \sqrt{\frac{\Delta p}{R_1}} + \sqrt{\frac{\Delta p}{R_2}} + \dots + \sqrt{\frac{\Delta p}{R_n}}$$

$$\frac{1}{\sqrt{R}} = \frac{1}{\sqrt{R_1}} + \frac{1}{\sqrt{R_2}} + \dots + \frac{1}{\sqrt{R_n}} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{\sqrt{R_i}}$$

Pro dva prvky paralelně řazené:

$$R = \frac{R_1 \cdot R_2}{(\sqrt{R_1} + \sqrt{R_2})^2}$$

Při rovnosti $R_1 = R_2$:

$$R = \frac{R_1^2}{(2 \cdot \sqrt{R_1})^2} = \frac{R_1}{4} \quad \text{obecně pro } R_1 = R_2 = \dots = R_n: R = \frac{R_1}{n^2}$$

Jestliže je známa závislost tlakového spádu jako funkce průtoku $\Delta p = f(Q)$, můžeme R vypočítat

$$R = \frac{\Delta p}{Q^2}$$

5.2.2 Stanovení odporu pohybu v přímém vedení (kruhový průřez).

Značení ve vzorcích je v tab. 1

Pro stanovení odporu proti pohybu v přímém vedení musíme v základu uvažovat o proudění kapaliny. Reálná kapalina se pohybuje v kruhové trubce s určitou drsností stěn, tato drsnost určuje chování proudu. Proudění může být laminární, přechodové a turbulentní. Hranici v jednorozměrném proudění hodnotíme experimentálně určeným Reynoldsovým číslem (Re). Toto číslo určuje vztah mezi střední rychlostí v potrubí (v_s), průměrem potrubí (d) a kinematickou viskozitou (ν). Tedy $Re = \frac{v_s \cdot d}{\nu}$. Pro rozhodnutí o proudění je kritická hodnota $Re = 2320$.

Turbulentní proudění: $Re > 2320$, Laminární proudění: $Re < 2320$.

Turbulentní proudění:

$$R = \frac{\rho}{2} \cdot \frac{\xi_p}{S_p^2} = \frac{\rho}{2} \cdot \frac{\lambda \cdot \frac{l}{d}}{\left(\frac{\pi \cdot d^2}{4}\right)^2} = \frac{8 \cdot \lambda \cdot \rho \cdot l}{\pi^2 \cdot d^5}$$

Pro určité zjednodušení můžeme uvažovat o $\lambda = \text{konstata}$ a o průměrné měrné hmotnosti běžně používaných hydraulických olejů 900 kg/m^3 . Potom dosadíme za $l = 1 \text{ m}$, za $d = 1 \cdot 10^{-3} \text{ m}$ a za $\rho = 900 \text{ kg/m}^3$.

Dostaneme tak skutečný odpor potrubí vztažený na **1m** a průměr **1mm** při turbulentním proudění (r_t).

$$r_t = \frac{8 \cdot \lambda \cdot \rho \cdot l}{\pi^2 \cdot d^5} = 7,3 \cdot \lambda \cdot 10^{17} \quad \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^7} \cdot \frac{\text{mm}^5}{\text{m}} \right]$$

Pro určení součinitele tření (λ) můžeme použít diagramy nebo ho vypočítat zjednodušeným výpočtem:

$$\lambda = \frac{d \cdot (p_1 - p_2)}{\frac{\rho \cdot v^2 \cdot l}{2}}$$

Nebo pro turbulentní proudění:

$$\lambda = \frac{0,3164}{\sqrt[4]{Re}} \quad Re = \frac{v_s \cdot d_t}{\nu}$$

Laminární proudění: $\lambda = \frac{75}{Re}$

$$R = \frac{8 \cdot \lambda \cdot \rho \cdot l}{\pi^2 \cdot d^5} = \frac{8 \cdot 75 \cdot \rho \cdot l \cdot \nu}{\pi^2 \cdot d^2 \cdot v} = \frac{8 \cdot 75 \cdot \rho \cdot l \cdot \nu \cdot \pi \cdot d^2}{\pi^2 \cdot d^2 \cdot 4 \cdot Q} = \frac{150 \cdot \rho \cdot l \cdot \nu}{\pi \cdot d^4 \cdot Q}$$

Dosadíme za $l = 1\text{m}$, za $d = 1 \cdot 10^{-3}\text{m}$ a za $\rho = 900\text{ kg/m}^3$. Dostaneme tak skutečný odpor potrubí vztažený na **1m** a průměr **1mm** při laminárním proudění (r_l).

$$r_l = \frac{150 \cdot \rho \cdot l \cdot \nu}{\pi \cdot d^4 \cdot Q} = 4,28 \cdot 10^{16} \cdot \frac{\nu}{Q} \quad \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^7} \cdot \frac{\text{mm}^4}{\text{m}} \right]$$

Celkový odpor v trubkách kruhového průřezu:

- laminární proudění:

$$R = r_l \cdot \frac{l}{d^4} \quad \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^7} = \frac{\text{kg} \cdot \text{mm}^4}{\text{m}^7 \cdot \text{m}} \cdot \frac{\text{m}}{\text{mm}^4} \right]$$

- turbulentní proudění:

$$R = r_t \cdot \frac{l}{d^5} \quad \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^7} = \frac{\text{kg} \cdot \text{mm}^5}{\text{m}^7 \cdot \text{m}} \cdot \frac{\text{m}}{\text{mm}^5} \right]$$

5.2.3 Výpočet kapacity vakového akumulátoru [1].

Můžeme vyjít ze stavové rovnice pro adiabatický stav:

$$P_0 \cdot V_0^n = P_1 \cdot V_1^n = P_2 \cdot V_2^n = \text{konstanta}$$

Vypočítáme objemy pro jednotlivé tlaky:

$$V_1 = \left(\frac{p_0}{p_1} \right)^{\frac{1}{n}} \cdot V_0 \quad V_2 = \left(\frac{p_0}{p_2} \right)^{\frac{1}{n}} \cdot V_0$$

A pro rozdíl objemů: $\Delta V = V_1 - V_2$

$$\Delta V = \left(\frac{p_0}{p_1} \right)^{\frac{1}{n}} \cdot V_0 - \left(\frac{p_0}{p_2} \right)^{\frac{1}{n}} \cdot V_0$$

Pro izotermickou změnu je $n = 1$.

6 Aplikace na konkrétní obvod nouzového zdvihu.

Pro konkrétní aplikaci využití hydraulického akumulátoru, jsem zvolil obvod nouzového odlehčení beranu dílenského lisu v případě výpadku hlavního zdroje tlakové kapaliny.

Základní zadání zní na přidání akumulátorového zdroje tlaku pro nouzový zdvih beranu lisu. Na tomto lisu se rovnají pístnice lesních strojů (harvestorů). Mnou naměřený maximální ohyb pístnice dosahoval 46 mm na délce pístnice 1200mm při

průměru pístnice 3“ (76,2 mm). Při náhlém výpadku dodávky tlakového média docházelo k problémům při uvolnění z lisovací polohy. Správně zůstával beran zabrzděn, v té poloze kdy došlo k výpadku, pomocí hydraulického zámku vytvořeného soustavou vestavných ventilů. Dělníci však při odebrání pístnicové tyče z napruženého stavu povolili šroubení na přívodní trubce a nechali odtéct tlakovou kapalinu z pracovního válce. Poté pomocí páky uvolnili pístnici a odebrali ji z lisu. Bezpečnostní technik zakázal tento postup pro přílišné riziko úrazu.

6.1 Hydraulický lis (YVA 41-250kN) - Hodnoty odečtené ze štítků, nebo zjištěné měřením na lisu.

Výrobce:

Závod technologického zařízení, Moskva, Rusko (технологического оборудования)

Rok výroby: 1987

Výrobní číslo: 1496

Hlavní technická data:

Rozměry:	š- 1,6 m v- 2,48 m h- 1,58 m
Hmotnost:	2650 kg
Příkon:	8,2 kW 3x 380 V 50 Hz
Max lisovací síla:	250 kN ($p_{\max} = 6,5 \text{ MPa}$)
Zdvih:	0,65 m
Max pracovní zdvih:	0,5 m
Pracovní rozměry stolu:	1,5 x 0,32 m

Naměřené údaje:

Změřený hlavní tlak	4,8 MPa
Čas pracovního zdvihu z 0 do 0,5m	42 s (49 s, 38 s)

Štítkové hydraulické schéma:

Schéma je v příloze na obr. 8.2-1.

Ovládací prvky:

Ovládací prvky jsou v příloze na obr. 8.2-2



6.2 Předpokládané umístění pomocného obvodu

Vzhledem k možnostem napojení pomocného obvodu na stávající rozvod v horní části lisu – pod přepouštěcí nádrží, volím umístění základové desky ventilů na horní stranu lisu dozadu za přepouštěcí nádrž.

Pracovní větev pomocného obvodu napojím na T kus přívodu do pracovního válce. Odvod média z části nad pístem bude vyveden z místa napojení kontrolního manometru pracovního tlaku a druhá větev z místa vývodu zrychlujícího pístu. Ovládací obvod napojím na vývod pro manometr hlavního čerpadla. Vlastní propojení bude realizováno trubkami 18 x 1,5 a 16 x 1,5 ocel ST 37.4.

Použité komponenty obvodu jsem volil od firmy ARGO HYTOS a hydraulický akumulátor od firmy BOSCH REXROTH.

6.3 Hydraulické schéma.

Návrhové schéma obvodu je zakomponováno do původního schématu a je na obr. 6.3-1

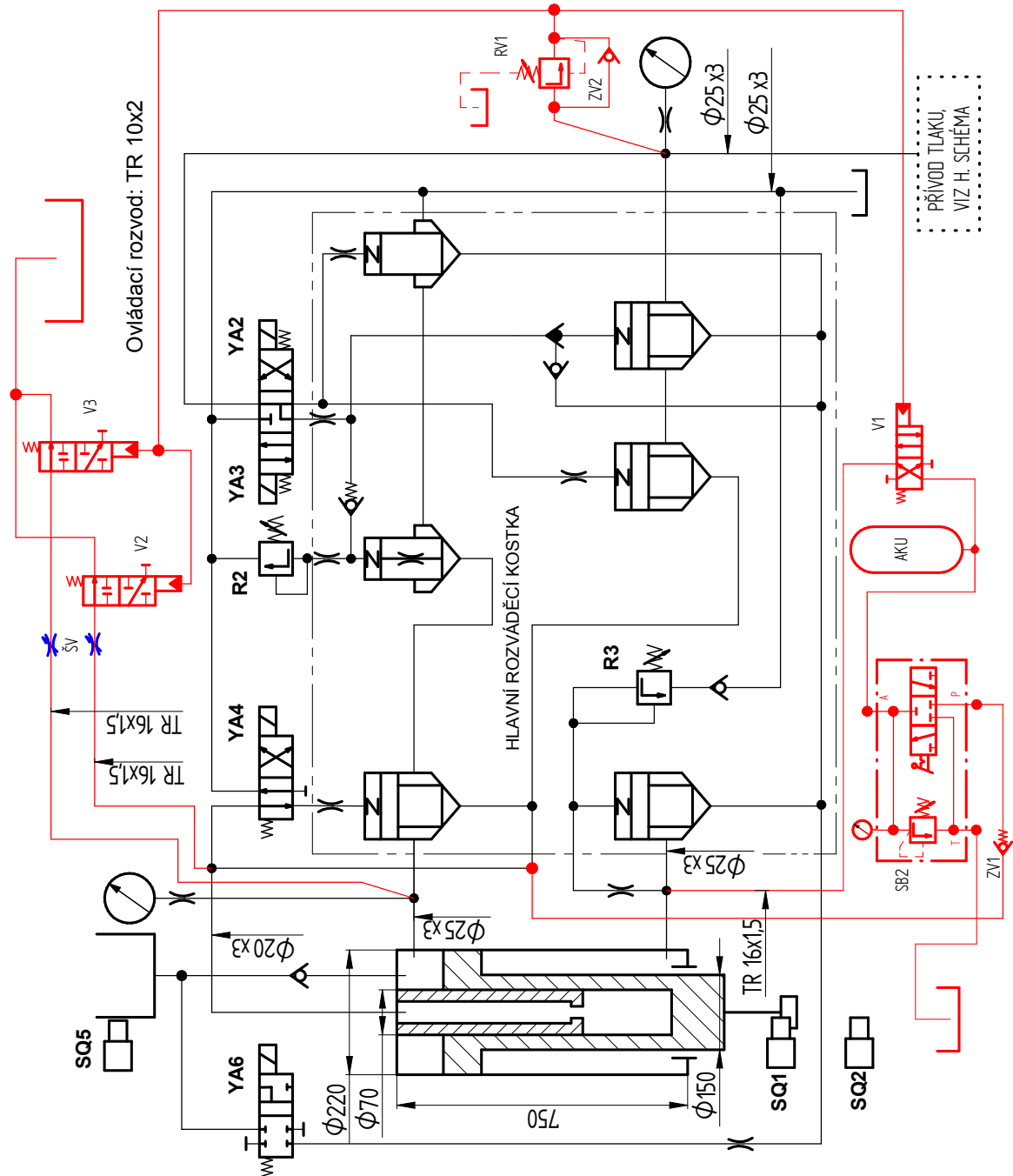
Použité komponenty:

RV1	- Přímě řízený redukční ventil.	ZV1,2	- Jednosměrný ventil.
SB2	- Bezpečnostní a uzavírací blok.	V1	- Ventil nouzového zdvihu.
AKU	- Vakový akumulátor.	V2,3	- Odpouštěcí ventil.
ŠV1,2	- Škrťací ventil.		

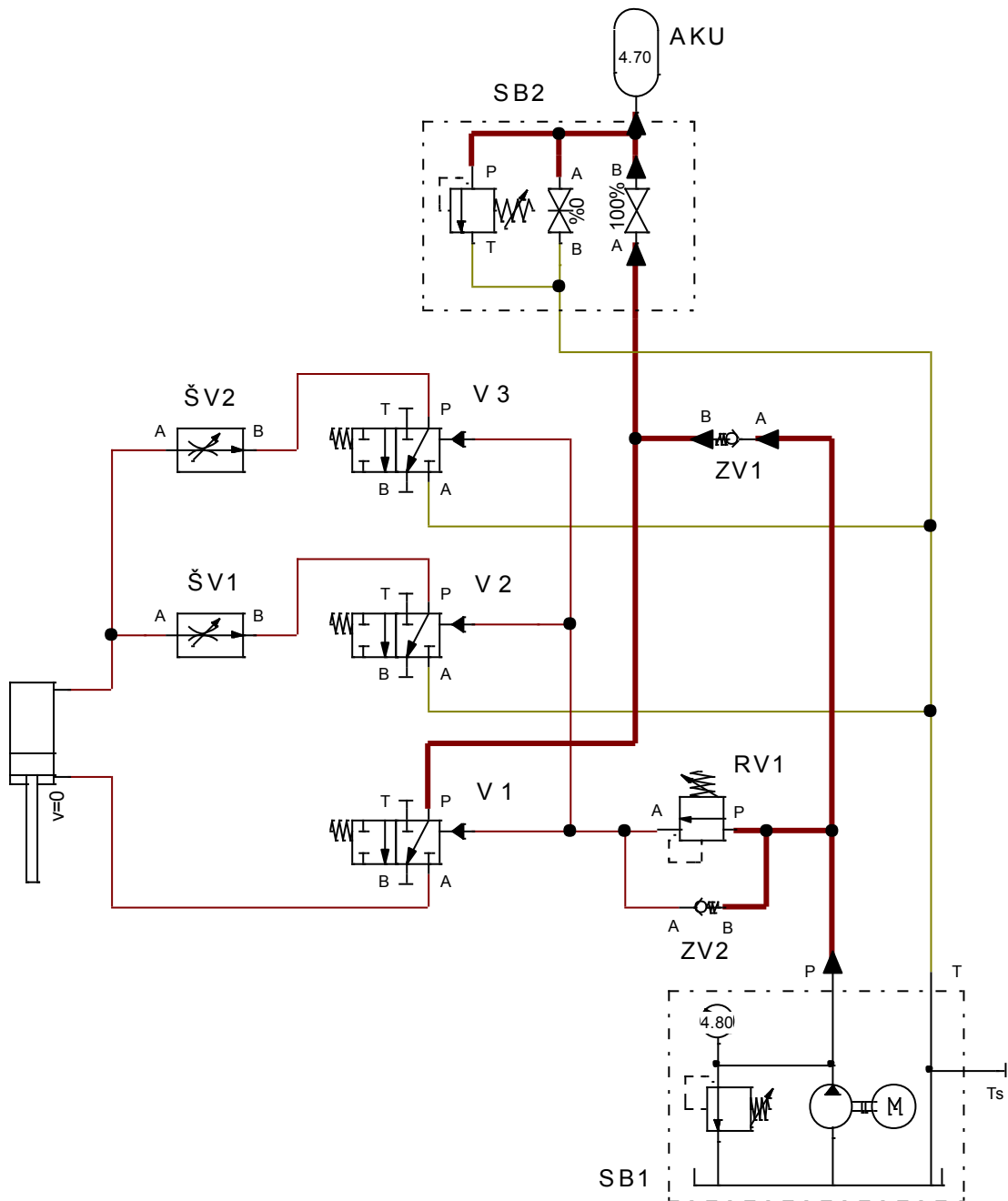
Popis funkce hydraulického obvodu:

Normální stav – obvod je pod provozním tlakem a redukční ventil (RV1) propouští a stabilizuje ovládací tlak v ovládacím okruhu. Jednosměrný ventil (ZV2) u redukčního ventilu je uzavřen. Ventil (V1) je uzavřen a nepropouští olej do zdvihacího okruhu lisu. Zároveň jsou také působením řídicího tlaku uzavřeny odpouštěcí ventily (V2, V3). Tedy prostory nad pístem pracovního i rychlého zdvihu nejsou spojeny do nádrže. Lis pracuje podle původního hydraulického návrhu. Současně je z hlavní větve lisu přes jednosměrný ventil (ZV1) a bezpečnostní blok (SB2) napouštěn hydraulický akumulátor.

Na obr. 6.3-2 je zjednodušené schéma akumulátorového obvodu. Toto schéma je nakresleno pro potřebu simulace v programu „FluidSIM demo“ od firmy FESTO **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.** Křížení s tečkou je spojeno, křížení bez tečky není spojeno. Silná čára spoje je pod tlakem, slabá je bez tlaku, nebo je to odpad bez protitlaku. Šipky ukazují směr průtoku oleje.



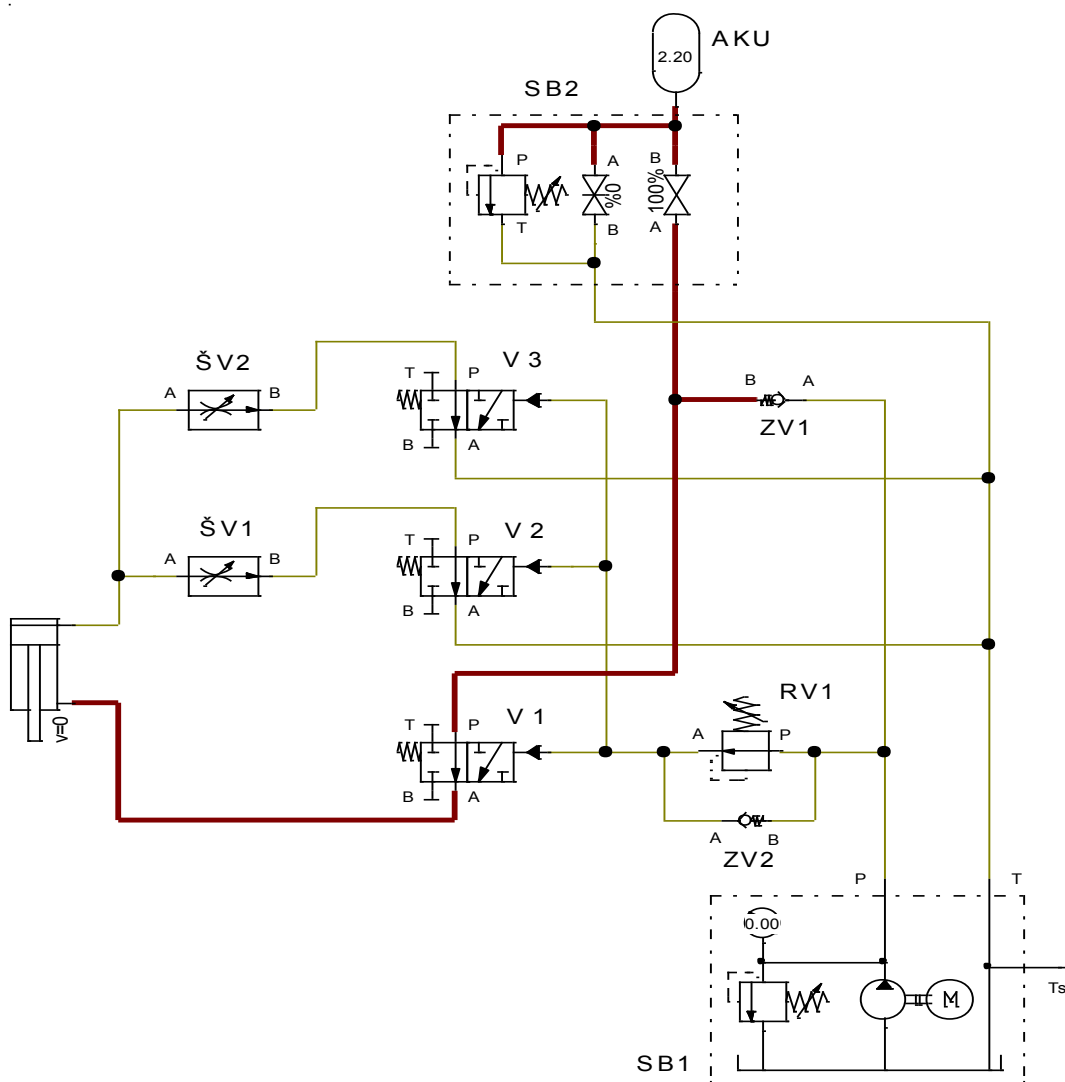
Obr. 6.3-1 Schéma nouzového akumulátorového obvodu.



Obr. 6.3-2 Schéma pro simulaci plnění akumulátoru.

Nouzový stav – v hlavním okruhu klesá tlak a hydraulický zámek z vestavných ventilů blokuje polohu beranu. Tlak klesá také před redukčním ventilem (RV1) v ovládacím nouzovém okruhu. Jednosměrný ventil (ZV2) odpouští tlak z řídicího okruhu. Ventily (V1, V2, V3) bez řídicího tlaku jsou pružinou přesunuty do druhé polohy a otevírají se. Ventil (V1) je otevřen a olej je veden do prostoru pod pístem beranu. Odvod oleje do nádrže z druhé strany pístu umožňují otevřené ventily (V2, V3) a tím obcházejí hydraulický zámek. Píst vyjíždí do horní polohy. Rychlost zdvihu beranu je řízena škrticím ventilem (ŠV1 a ŠV2). V případě požadavku na uvolnění beranu z horní polohy je možné ručně otevřít bezpečnostní blok hydraulického akumulátoru a olej pomalu odpustit do nádrže.

Schéma obvodu v nouzovém režimu je na obr. 6.3-3.



Obr. 6.3-3 Schéma nouzového zdvihu beranu.

6.4 Výpočty.

Požadovaný čas nouzového zdvihu je max. do 60 s.

Potřebný objem V pro plné zvednutí z dolní polohy:

\varnothing pístnice $d_2 = 150$ mm, \varnothing válce $d_1 = 220$ mm, max. zdvih $h = 0,65$ m

$$V = \left(\frac{\pi \cdot d_1^2}{4} \cdot h \right) - \left(\frac{\pi \cdot d_2^2}{4} \cdot h \right) = \left(\frac{\pi \cdot 0,22^2}{4} \cdot 0,65 \right) - \left(\frac{\pi \cdot 0,15^2}{4} \cdot 0,65 \right) \\ \cong 13,22 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

Vzhledem k možným ztrátám zaokrouhlím potřebný objem akumulátoru pro potřebný zdvih na $14 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$. Tedy ΔV je **14 l. (0,014 m³)**.

Objem nad pístem. $V = S_1 \cdot h = \frac{\pi \cdot 0,22^2}{4} \cdot 0,65 = \mathbf{0,0247 \text{ m}^3}$

Maximální čas vyprázdnění válce je 60 s, tedy $Q_V = 0,0247/60 = \mathbf{0,0004 \text{ m}^3/\text{s}}$ (0,4 dm³/s)

Jmenovitá světlost odpadního potrubí (16 x 1,5) je 13 mm. Rychlost proudění v trubce:

$$Q_V = S \cdot v \Rightarrow v = \frac{Q_V}{S} = \frac{0,0004}{\frac{\pi \cdot 0,013^2}{4}} = \mathbf{3,01 \frac{m}{s}} \text{ (vyhovuje)}$$

Tlakový spád v odpadní větvi je součet všech ztrát, které odečteme z příslušných grafů pro trubky a pro ostatní prvky. Za předpokladu že odpad bude do volné nádrže, mohou přepokládat tlakový spád 10 bar (1 MPa). (trubka – 2, škrtkovací ventil – 4, rozvaděč – 4 bary).

Váha beranu je cca 95 kg. Potřebný tlak $p = F/S = 931/20341,81 = 0,0458 \text{ MPa}$

Minimální potřebný tlak pro zvednutí beranu je 1,0458 MPa.

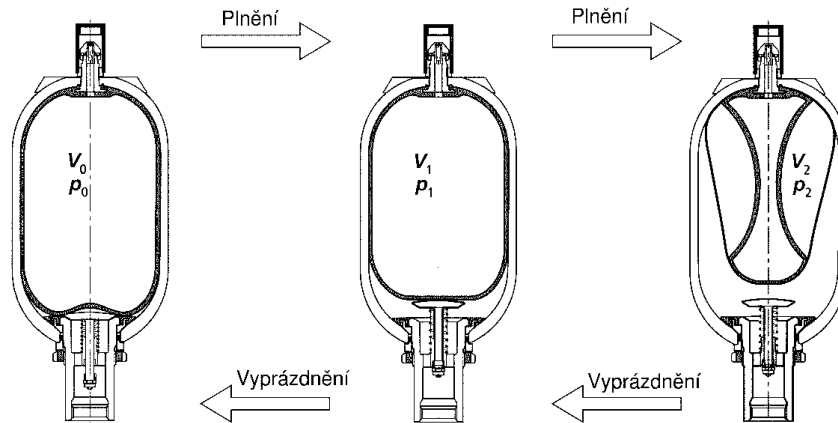
Pracovní tlak v okruhu při normálním provozu je (p_2) 4,8 MPa. Vzhledem k namáhání a tedy k životnosti pryžového vaku je doporučen podle [8] rozdíl tlaků v akumulátoru vůči plnicímu tlaku p_0 takto.

$$p_0 \approx 0,9 \cdot p_1 \qquad p_2 \leq 4 \cdot p_0$$

Čím menší rozdíl tlaků, tím delší životnost vaku. Proto volím ve vzorci pro výpočet tlaku p_2 hodnotu 2,5 místo 4:

$$p_1 = \frac{p_2}{2,5 \cdot 0,9} = \frac{4,8}{2,5 \cdot 0,9} = \mathbf{2,133 \text{ MPa}} \qquad p_0 = 0,9 \cdot 2,133 \cong \mathbf{1,92 \text{ MPa}}$$

Tímto jsou dány základní podmínky pro volbu hydraulického akumulátoru (obr. 6.4-1).



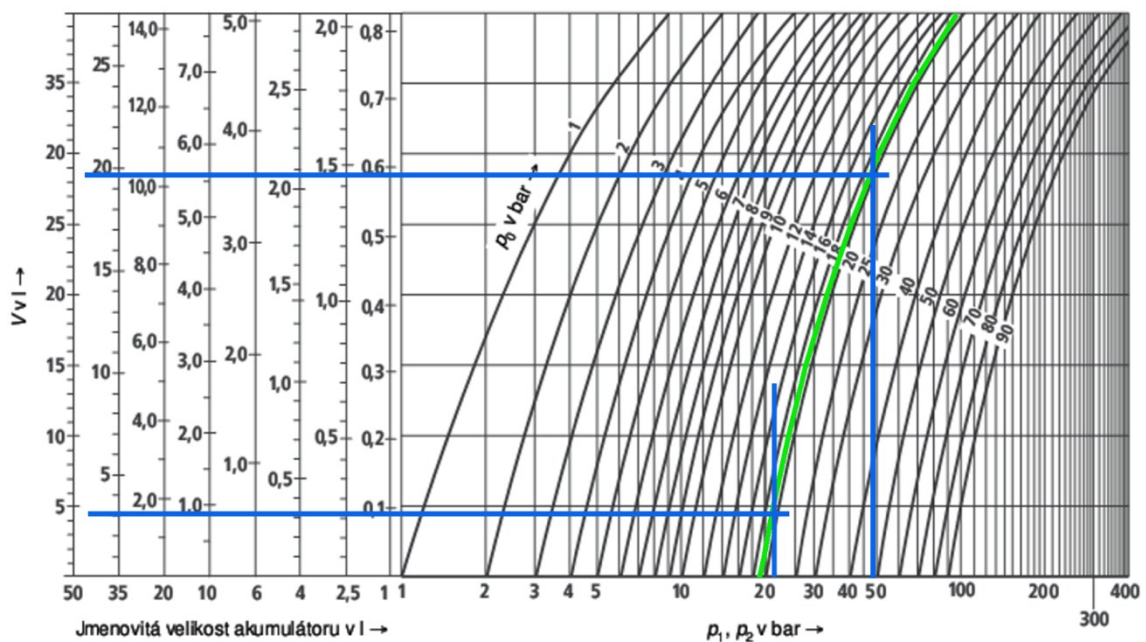
Obr. 6.4-1 Označení stavu akumulátoru [17].

$$p_1 = 2,133 \text{ MPa}; \quad p_2 = 4,8 \text{ MPa}; \quad p_0 = 1,92 \text{ MPa}; \quad \Delta V = 14 \text{ dm}^3 \text{ (l)}$$

p_0 – plnicí tlak plynu je dán konstrukcí a použitím hydraulického akumulátoru. Tlak se určuje při maximální pracovní teplotě média – plnění a kontrola však probíhá při teplotě 20°C .

Pro použití diagramů pro určení jmenovité velikosti akumulátoru platí ΔV pouze pro tlaky do 20 MPa. V případě větších tlaků se reálný plyn chová již značně odlišně od ideálního a musíme použít korekční faktor. Tento faktor odečteme s příslušných diagramů

Změna plynové náplně probíhá pomalu a za nízkých tlaků, budu vybírat v diagramu pro izotermickou stavovou změnu do 90 barů (9 MPa).- graf 6.4-1.



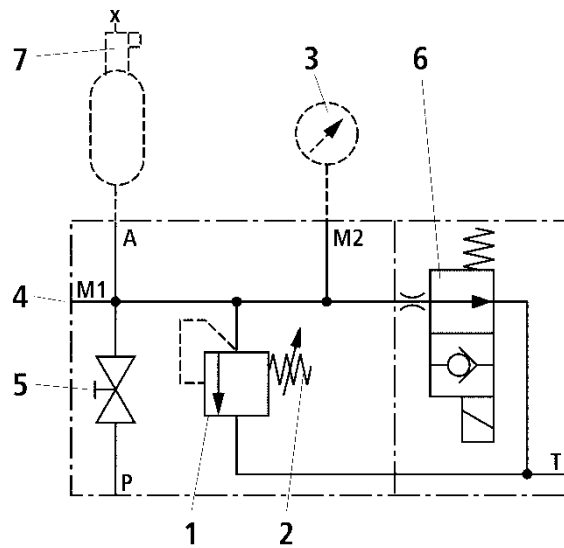
Graf 6.4-1 Volba jmenovité velikosti akumulátoru (35 l).

Jmenovitá velikost vakového hydraulického akumulátoru je 35 l.

Rozměry zařízení jsou v příloze na obr. 8.2-3.

Bezpečnostní blok pro montáž hydraulického akumulátoru použiju od stejného dodavatele [17]. Tento blok je na obr. 6.4-2 a obsahuje:

1. bezpečnostní redukční ventil.
2. řízení ventilu.
3. měření tlaku.
4. přípojka kontrolního manometru.
5. uzavírací zařízení.
6. elektromagneticky řízené odlehčovací zařízení.
7. teplotní čidlo.



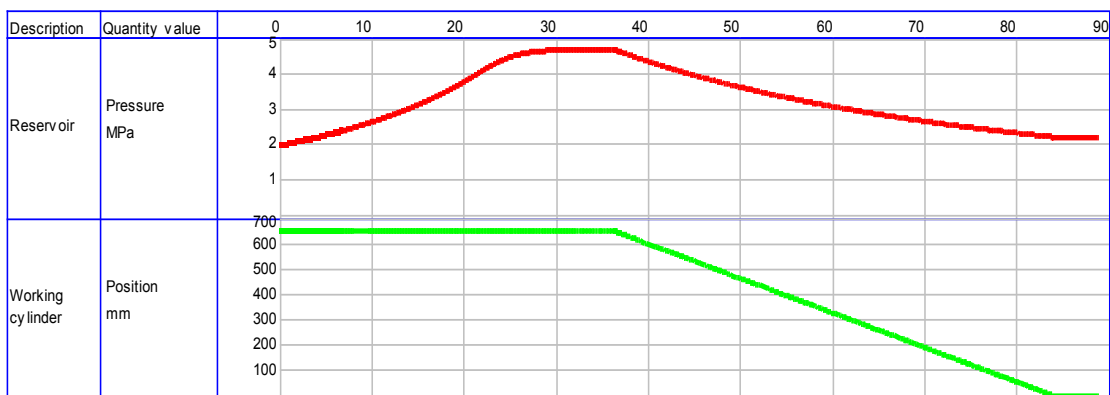
Obr. 6.4-2 Bezpečnostní blok.

Tlakový spád na vstupní větvi akumulátoru nezjišťuju, protože doba plnění je dostatečně dlouhá k vyrovnání max. tlaku v původním okruhu a v akumulátoru.

Vedení z akumulátoru má tlakovou ztrátu pouze v přívodní trubce a místní ztrátu v řídicím rozvaděči (odečteno z příslušných diagramů) cca 6 barů (0,6 MPa).

Takto navržený nouzový obvod bude postaven na základové ventilové desce od ARGO HYTOS. Vakový akumulátor bude umístěn vlevo (při pohledu zepředu) za vyrovnávací nádrží. Pro propojení použiju běžná šroubení a bezešvé hydraulické trubky (trubky budou uhýbány).

Graf tlaku plnění a vyprazdňování akumulátoru se zdvihem beranu za čas je na graf 6.4-2



Graf 6.4-2 Průběh zdvihu beranu.

Na tomto grafu je vidět časový průběh plnění hydraulického akumulátoru. Čas je prodloužen vloženým odporem (jednosměrný ventil ZV1) na cca 35 s. Rychlé plnění akumulátoru zkracuje životnost pryžového vaku. Při normálním provozu je tlak v akumulátoru 4,7 MPa. V okamžiku ztráty tlaku v řídicím obvodu ventilů V1, 2, 3 je zvednut beran tlakem oleje z akumulátoru za cca 45 s. Toto je znázorněno v druhé části grafu.

7 Závěr.

Tato práce je rozdělena na několik částí. V první části je seznámení a popis některých druhů hydraulických akumulátorů. V další části práce jsou popsány hydraulické prvky jednoduchých obvodů s akumulátory tlaku s jejich popisem.

Hlavní částí bakalářské práce je obecný nástin výpočtů v hydraulickém obvodu využívající akumulátor jako zdroj tlaku. Vlastní určení obvodových hodnot vychází z požadovaných vlastností hydromotoru. Následně jsou určeny všechny odpory (tlakové ztráty prvku, nebo vedením) v obvodu a základní výpočty pro určení komponent hydraulického obvodu. Jsou zde také ukázány možnosti využití diagramů, tlakových ztrát na jednotlivých prvcích, od výrobců hydraulických prvků.

V poslední části jsou obecné výpočty akumulátoru, jako zdroje tlaku, aplikovány na konkrétní zadání hydraulického obvodu nouzového zdvihu dílenského lisu. Je navržen jednoduchý obvod s minimem součástí a s možností aplikace na různé hydraulické systémy. Návrh tohoto obvodu byl simulován v návrhovém programu firmy FESTO – FluidSim demo [16]. Tato simulace ukázala provozuschopnost tohoto návrhu, s grafickým výstupem potvrzujícím časové hodnoty zdvihu beranu lisu (graf 6.4-2).

8 přílohy.

8.1 ARGO-HYTOS, Katalogové listy [7].

HC 5143

Typový klíč			
SP2A-A3 / S		□ □	
Ventil redukční přímořízený	Standard	S	Těsnění NBR FPM (Viton)
		bez označení V	Tlakový stupeň nastavitelný tlak do 63 bar nastavitelný tlak do 160 bar nastavitelný tlak do 210 bar
		06 16 21	
Základní parametry			
Připojovací závit		3/4-16 UNF - 2B	
Max. průtok	dm ³ _min ⁻¹	20	
Maximální tlak na vstupu (kanál P)	bar	150 (tlakový stupeň 06)	250 (tlakový stupeň 16)
		350 (tlakový stupeň 21)	
Redukovaný tlak	bar	63	50 - 160
		100 - 210	
Provozní tlak v závislosti na průtoku	bar	viz p-Q charakteristika	
Tlaková kapalina		Minerální olej výkonových tříd HL, HLP dle DIN 51524	
Rozsah provozní teploty kapaliny pro standardní těsnění (NBR)	°C	-30 ... +100	
Rozsah provozní teploty kapaliny pro Viton těsnění (FPM)	°C	-20 ... +120	
Rozsah provozní viskozity	mm ² /s	10 ... 500	
Předepsaný stupeň čistoty kapaliny		Min. třída 21/18/15 podle ISO 4406 (1999)	
Hmotnost	kg	0,13	
Maximální utahovací moment ventilu	Nm	30+2	
Montážní poloha		libovolná	

Obr. 8.1-1 Katalogový list přímo řízeného redukčního ventilu SP2A-A3.

HC 4006

Typový klíč		
RPH3-06 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> / <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		
Rozváděč s hydraulickým a pneumatickým ovládáním		
Jmenovitá světlost		
Počet pracovních poloh dvupolohové 2 třípolohové 3		
Propojení a zajištění výchozí polohy šoupátka viz tabulka propojení		
	neoznačen V	Těsnění NBR FPM (Viton)
	1 2	Ovládání Hydraulické Pneumatické
	1 2	Připojovací závit pro ovládání M10x1 G1/8
Základní parametry		
Jmenovitá světlost	mm	06
Maximální průtok (dle tlaku a propojení)	dm ³ .min ⁻¹	viz p-Q charakteristiky
Maximální provozní tlak ve vývodech P, A, B	bar	320
Maximální provozní tlak ve vývodu T	bar	160
Minimální ovládací tlak	bar	2
Maximální ovládací tlak	bar	25
Objem ovládacího prostoru	cm ³	6,2
Tlakové ztráty	bar	viz Δp-Q charakteristiky
Tlaková kapalina		Minerální olej výkonových tříd HL, HLP dle DIN 51524
Rozsah provozní teploty kapaliny (NBR)	°C	-30 ... +100
Rozsah provozní teploty kapaliny (FPM)	°C	-20 ... +120
Rozsah provozní viskozity	mm ² .s ⁻¹	20 ... 400
Předepsaný stupeň čistoty kapaliny		Min.třída 21/18/15 podle ČSN ISO 4406 (2006)
Životnost rozváděče - počet cyklů přestavení		10 ⁷
Hmotnost rozváděče - dvupolohové	kg	1,8
třípolohové		2,5
Montážní poloha		libovolná

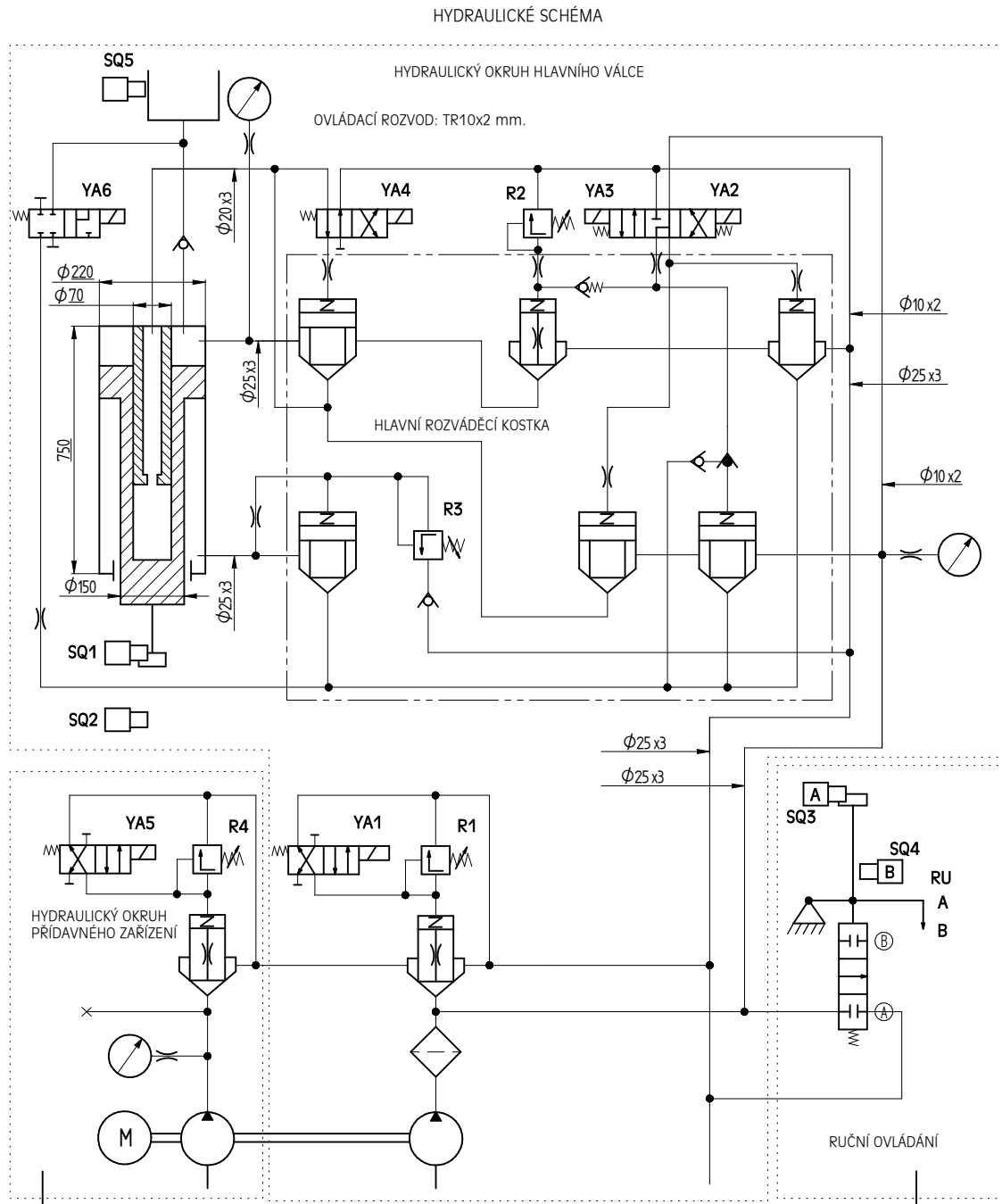
Obr. 8.1-2 Katalogový list - hydraulicky ovládaný rozváděč RPH3-06.

HC 5051

Typový klíč		
<p>Dvojitý škrtkový ventil</p>	<p>2VS3-06- <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></p>	
<p>Jmenovitá světlost</p>	<p>A B C</p>	
	<p>bez označení V</p> <p>Těsnění Standard (NBR) Viton (FPM)</p> <p>Nastavovací prvek šroub s vnitřním šestihranem, pojistnou maticí a krytem otočná rukojeť se stupnicí otočná rukojeť se stupnicí a zámkem</p> <p>S R Z</p> <p>Provedení Ventil v kanálu A* Ventil v kanálu B* Ventil v kanálech A a B* * viz. schematické značky</p>	
<p>Preferované typy naleznete zvýrazněné v typovém klíči a v tabulce na straně 3</p>		
Schematické značky		
<p>A</p>	<p>B</p>	<p>C</p>
<p>① strana ventilu ② strana desky</p>	<p>Poznámka: Orientace symbolu prvku na štítku souhlasí s funkcí ventilu.</p>	
Základní parametry		
Jmenovitá světlost	mm	06
Maximální průtok	dm ³ .min ⁻¹	80
Maximální provozní tlak	bar	320
Tlaková kapalina	Minerální olej výkonových tříd HL, HLP dle DIN 51524	
Rozsah provozní teploty kapaliny (NBR)	°C	-30 ... +100
Rozsah provozní teploty kapaliny (Viton)	°C	-20 ... +120
Rozsah provozní viskozity	mm ² .s ⁻¹	20 ... 400
Předepsaný stupeň čistoty kapaliny	Min. třída 21/18/15 podle ISO 4406 (1999)	
Hmotnost ventilu	kg	1,2
Montážní poloha	libovolná	

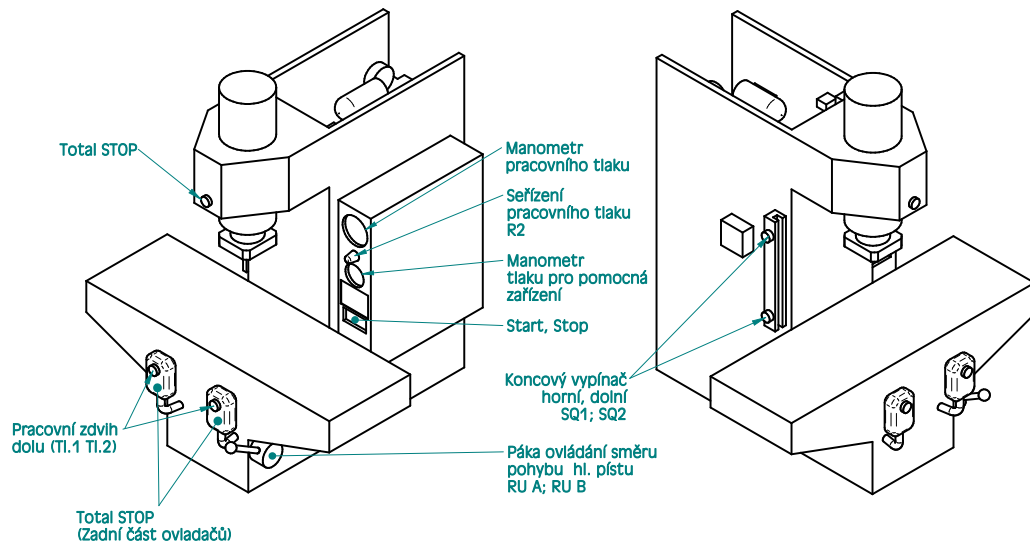
Obr. 8.1-3 Katalogový list - škrtkový ventil V2S3-06-AS.

8.2 Hydraulický lis.

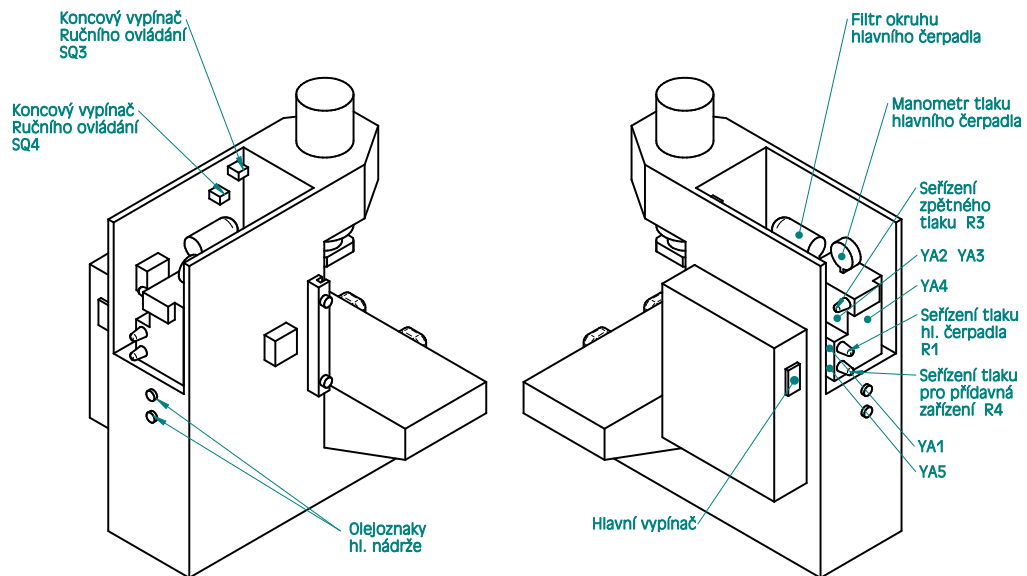


Obr. 8.2-1 Hydraulické schéma lisu YVA 41-250kN

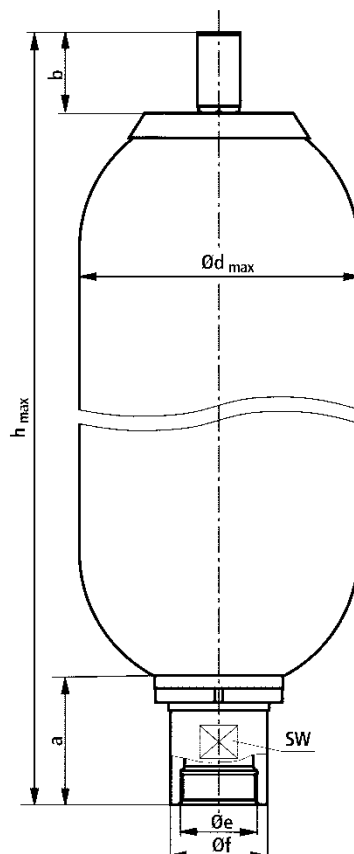
OVLÁDACÍ PRVKY 1



OVLÁDACÍ PRVKY 2



Obr. 8.2-2 Ovládací prvky a jejich umístění.



Jmenovitý objem v litrech	Údaje pro objednávku / typ	Obj. číslo	h max	Ød max	a	b	Øe	Øf	SW	Hmotnost kg
1	HAB1-350-4X/2G05G-2N111-BA	R901195131	333,5	115,5	56	70	G3/4"	36	32	5
	HAB1-350-4X/2G05G-2E111-BA	R901195132								
2,5	HAB2,5-350-4X/2G07G-2N111-CE	R901195133	554	115,5	69	70	G1 1/4"	53	50	10
	HAB2,5-350-4X/2G07G-2E111-CE	R901195134								
4	HAB4-350-4X/2G07G-2N111-CE	R901195135	438,5	170	67	70	G1 1/4"	53	50	16
	HAB4-350-4X/2G07G-2E111-CE	R901195136								
6	HAB6-350-4X/2G07G-2N111-CE	R901195137	564,5	170	67	70	G1 1/4"	53	50	20
	HAB6-350-4X/2G07G-2E111-CE	R901195138								
10	HAB10-330-4X/2G09G-2N111-CE	R901195139	590,5	225,5	104	70	G2"	76	70	32
	HAB10-330-4X/2G09G-2E111-CE	R901195140								
20	HAB20-330-4X/2G09G-2N111-CE	R901195141	900,5	225,5	104	70	G2"	76	70	53
	HAB20-330-4X/2G09G-2E111-CE	R901195142								
35	HAB35-330-4X/2G09G-2N111-CE	R901195143	1424	225,5	104	70	G2"	76	70	85
	HAB35-330-4X/2G09G-2E111-CE	R901195144								
50	HAB50-330-4X/2G09G-2N111-CE	R901195145	1940	225,5	104	70	G2"	76	70	123
	HAB50-330-4X/2G09G-2E111-CE	R901195146								

Obr. 8.2-3 Rozměry akumulátorů.

9 Knižní publikace

- [1] ŠLECHTA, A. *Plynové hydraulické akumulátory*. Praha: SNTL, 1978
- [2] ČERNOCH, S. *Strojně technická příručka*. Praha: SNTL, 1977
- [3] KRŮŽ, R., VÁVRA, P. *Strojírenská příručka, 4. svazek*. Praha: Scientia, 1994. ISBN 80-85827-58-1

10 Podnikové publikace

- [4] KUCHARČÍK. *Praktické metody výpočtu hydraulického obvodu přímočarého motoru*. Plzeň: ŠKODA, 1978
- [5] ŠKODA a.s. *Hydraulika ŠKODA, informační zpravodaj č. 2, č. 3*. Plzeň: ŠKODA, 1978
- [6] ARGO-HYTOS s.r.o., *Návod k použití filtrů kapaliny ARGO-HYTOS*. Vrchlabí: ARGO-HYTOS, 2010
- [7] ARGO-HYTOS s.r.o., *Zákaznický katalog výrobků*. Vrchlabí: ARGO-HYTOS, 2009
- [8] BOSCH REXROTH: *Vakový akumulátor*. Brno: Bosch Rexroth, spol. s r.o. R-CZ 50170/12.10

11 Publikace na internetu

- [9] PAVLOK, B., HRUŽÍK, L., BOVA, M., *Hydraulická zařízení strojů - učební texty (on line)*. 21. 10. 2011. [http://www.fs.vsb.cz/europrojekty/414/hydraulická-arizeni-strojů.pdf](http://www.fs.vsb.cz/europrojekty/414/hydraulicka-arizeni-strojů.pdf)
- [10] VECHET, S., *Prostředky automatického řízení, prezentace (on line)*. 26. 11. 2011. <http://www.umt.fme.vutbr.cz/~svechet/main/storage/vp2/cpt02.ppt>,
- [11] Tobul Accumulator, Inc. (on line). 3. 12. 2011. <http://www.tobul.com/images/scripts/tobulcatalog.pdf>
- [12] MIKULÍK, F., *Přednáška pro revizní techniky - 2009 (on line)*. 7. 1. 2012. http://www.hydraulické-akumulatory.cz/hydraulicke_akumulatory.pdf
- [13] Seall v. o. s., *Membránové akumulátory (on line)*. 9. 1. 2012. <http://www.seall.cz/akumulatory>
- [14] Olear CZ s. r. o., *Akumulátory (on line)*. 4. 2. 2012. <http://olaer.cz/cz-suche-download/cz-katalogove-listy-akumulatory.htm>
- [15] Accumulators, Inc. *Rubber compatibility (on line)*. 24. 2. 2012. <http://www.accumulators.com/rubber-compatibility.html>

- [16] Festo s.r.o., Fluidsim (on line). 15. 3. 2012. <http://www.festo-didactic.com/cz-cs/vyukove-systemy/software-e-learning/fluidsim/?fbid=Y3ouY3MuNTQzLjMxLjIwLjU5MQ>
- [17] BOSCH Rexroth, Vakový akumulátor (on line). 17. 12. 2011. http://www.boschrexroth.com/RDSearch/rd/r_50170/r-cz50170_2010-12.pdf