

Hydraulické akumulátory

Michal Tomašík

Bakalářská práce
2025



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

Akademický rok: 2024/2025

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	Michal Tomašík
Osobní číslo:	T23830
Studijní program:	B0788A270001 Procesní inženýrství
Forma studia:	Kombinovaná
Téma práce:	Hydraulické akumulátory

Zásady pro vypracování

- Popište, jaké funkce mohou vykonávat akumulátory v hydraulických systémech.
- Provedte rozdělení akumulátorů a popište jednotlivé konstrukční typy a jejich parametry.
- Nakreslete a popište příklady zapojení akumulátorů v hydraulických systémech.
- Navrhněte vhodný typ akumulátoru pro dané provozní podmínky.

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

1. Pavlok, B. a kol.: HYDRAULICKÁ ZAŘÍZENÍ STROJŮ: VŠB-TU Ostrava, 2007.
2. Drábková S. a kol: MECHANIKA TEKUTIN: VŠB-TU Ostrava, 2007.
3. Kopáček, J., Pavlok, B.: TEKUTINOVÉ MECHANISMY: VŠB-TU Ostrava, 2011.
4. Škopán, M.: HYDRAULICKÉ POHONY STROJŮ. VUT Brno, 2009.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Martin Vašina, Ph.D.**
Ústav fyziky a mater. inženýrství

Datum zadání bakalářské práce: **2. ledna 2025**
Termín odevzdání bakalářské práce: **16. května 2025**

prof. Ing. Roman Čermák, Ph.D. v.r.
děkan

L.S.

doc. Ing. Martin Bednařík, Ph.D. v.r.
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 10. února 2025

PROHLÁŠENÍ AUTORA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že

- odevzdáním bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., v platném znění bez ohledu na výsledek obhajoby;
- bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a bude dostupná k nahlédnutí;
- jedno vyhotovení bakalářské práce v listinné podobě bude ponecháno Univerzitě Tomáše Bati ve Zlíně k uložení;
- na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – bakalářskou práci – nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá; neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji, že

- jsem na bakalářské práci pracoval(a) samostatně a použitou literaturu jsem řádně citoval(a); v případě publikace výsledků budu uveden(a) jako spoluautor;
- odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.

Ve Zlíně, dne

.....
podpis autora

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá hydraulickými akumulátory a jejich funkcemi v hydraulických systémech. Teoretická část se zaměřuje na popis funkcí akumulátorů v hydraulických systémech, rozdělení akumulátorů, popsání jednotlivých konstrukčních typů a jejich parametrů. Dále se také zabývá příklady zapojení akumulátorů v hydraulických systémech. Praktická část se zabývá návrhem vhodného typu akumulátoru pro dané provozní podmínky.

Klíčová slova: hydraulické akumulátory, funkce akumulátorů, zapojení akumulátorů, návrh akumulátoru

ABSTRACT

This bachelor's thesis focuses on hydraulic accumulators and their functions in hydraulic systems. The theoretical part describes the functions of accumulators in hydraulic systems, the classification of accumulators and an explanation of individual construction types and their parameters. It also addresses examples of accumulator applications in hydraulic systems. The practical part focused on a suitable type of accumulator for the given operating conditions.

Keywords: hydraulic accumulators, functions of accumulators, connection of accumulators, accumulator design

Rád bych poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce, panu doc. Ing. Martinu Vašinovi, Ph.D. za jeho odborné vedení, cenné rady, ochotu a trpělivost.

OBSAH

ÚVOD.....	11
I TEORETICKÁ ČÁST	12
1 HYDRAULICKÉ AKUMULÁTORŮ.....	13
1.1 FUNKCE AKUMULÁTORŮ	13
1.2 ROZDĚLENÍ AKUMULÁTORŮ	14
1.2.1 Plynové akumulátory s přímým stykem plynu a kapaliny	14
1.2.2 Plynové akumulátory s dělicí přepážkou	15
1.2.3 Pružinové akumulátory	20
1.2.4 Závažové akumulátory	21
1.2.5 Speciální akumulátory	22
1.3 ZÁKLADNÍ PARAMETRY AKUMULÁTORŮ	27
2 PŘÍSLUŠENSTVÍ AKUMULÁTORŮ.....	29
2.1 UNIVERZÁLNÍ PLNÍČÍ A ZKUŠEBNÍ ZAŘÍZENÍ FPU-1	29
2.2 DUSÍKOVÉ PLNÍČÍ ZAŘÍZENÍ.....	30
2.3 VYBAVENÍ A BEZPEČNOSTNÍ ZAŘÍZENÍ	30
3 ZAPOJENÍ AKUMULÁTORŮ	32
3.1 AKUMULACE ENERGIE.....	32
3.2 OBJEMOVÁ KOMPENZACE.....	32
3.3 ŘÍZENÍ RYCHLOSTI NEBO OTÁČEK HYDROMOTORU.....	CHYBA! ZÁLOŽKA NENÍ DEFINOVÁNA.
3.4 TLUMENÍ PULZACÍ.....	33
3.5 TLUMENÍ TLAKOVÝCH RÁZŮ	35
II PRAKTICKÁ ČÁST.....	36
4 CÍLE PRAKTICKÉ ČÁSTI A VSTUPNÍ PARAMETRY	37
4.1 VÝPOČET A NÁVRH AKUMULÁTORU PRO DVA SPOTŘEBIČE.....	37
4.2 VÝPOČET A NÁVRH AKUMULÁTORU PRO ČTYŘI SPOTŘEBIČE	43
ZÁVĚR	50
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	51
SEZNAM OBRÁZKŮ	54
SEZNAM TABULEK.....	56
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	57

ÚVOD

Hydraulické systémy hrají v moderním strojírenství a automatizaci zásadní roli. Jedním z jejich klíčových prvků jsou hydraulické akumulátory, jejichž hlavní funkcí je akumulace energie, kterou v případě potřeby uvolňuje do hydraulického systému. Můžou zastávat i další funkce jako nouzový zdroj energie, vyrovnávání tlakových výkyvů, tlumení tlakových rázů a další. Návrh, volba a správné zapojení akumulátorů má přímý dopad na funkčnost, bezpečnost a životnost celého hydraulického systému.[1] [2] [3]

Tato bakalářská práce se zabývá popisem jednotlivých typů hydraulických akumulátorů, jejich konstrukčním provedením, způsob fungování a použití. V teoretické části se nachází souhrn základních informací o funkci akumulátorů, jejich rozdělení, parametry a příslušenství. Praktická část je věnována výpočtu a návrhu konkrétního typu akumulátoru pro dvě a čtyři zařízení s nepravidelným odběrem kapaliny.

Cílem práce je navrhnout vhodný typ akumulátoru pro specifikované provozní podmínky a ověřit jeho dimenzování na základě reálných vstupních parametrů. Výsledkem je doporučení konkrétních technických řešení, která přispívají k efektivnějšímu a stabilnějšímu provozu hydraulických systémů.

Práce je rozdělena na dvě hlavní části. V teoretické části jsou popsány typy akumulátorů, jejich výhody, nevýhody a použití. V praktické části je proveden výpočet a návrh konkrétního akumulátoru s využitím údajů z katalogu výrobce.

I. TEORETICKÁ ČÁST

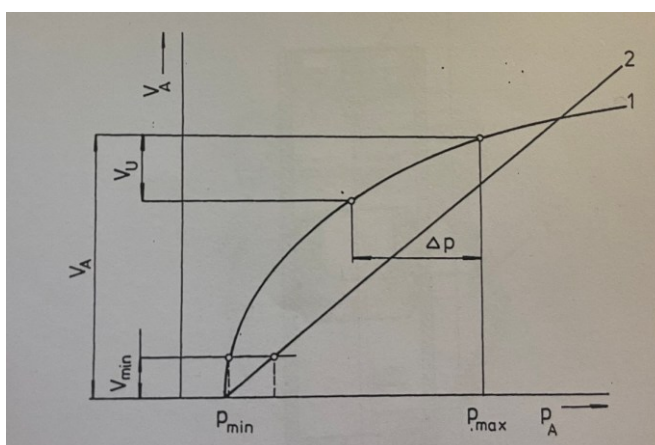
1 HYDRAULICKÉ AKUMULÁTORY

1.1 Funkce akumulátorů

Základní funkcí hydraulického akumulátoru je akumulovat tlakovou energii kapaliny. Tlaková energie kapaliny se v akumulátoru přeměňuje na deformační energii stlačeného plynu a tato energie se pak ve vhodný okamžik přemění zpět na energii tlakovou. Základním problémem je výběr vhodného typu akumulátoru pro daný účel, stanovení vhodné velikosti akumulátoru a jeho správné umístění v hydraulickém obvodu. Akumulátor v hydraulickém systému nachází uplatnění při vyrovnání nerovnoměrnosti v odběru kapalin, kompenzaci objemu kapaliny vlivem teplotních změn, zastupuje funkci nouzového zdroje energie, zdroj konstantního tlaku, kompenzátor průtokových ztrát, tlumič rázů a pulzací, tlumič tlakových změn v hydraulických obvodech a zajišťuje vratný pohyb (funkce pružiny). [1][4][5]

Akumulace energie v akumulátoru se děje buď stlačováním plynu nebo stlačováním pružiny. Mezi akumulátory patří plynový s přímým stykem kapaliny a plynu, pístový, vakový, membránový nebo pružinový akumulátor.

Užitečný objem V_A je rozhodující pro dimenzování akumulátorů, který je možný odebrat z akumulátorů při jeho celkovém objemu V_c a při zvoleném nebo přípustném poklesu tlaku Δp v rámci maximálního plnicího tlaku a tlaku minimálního. [6]

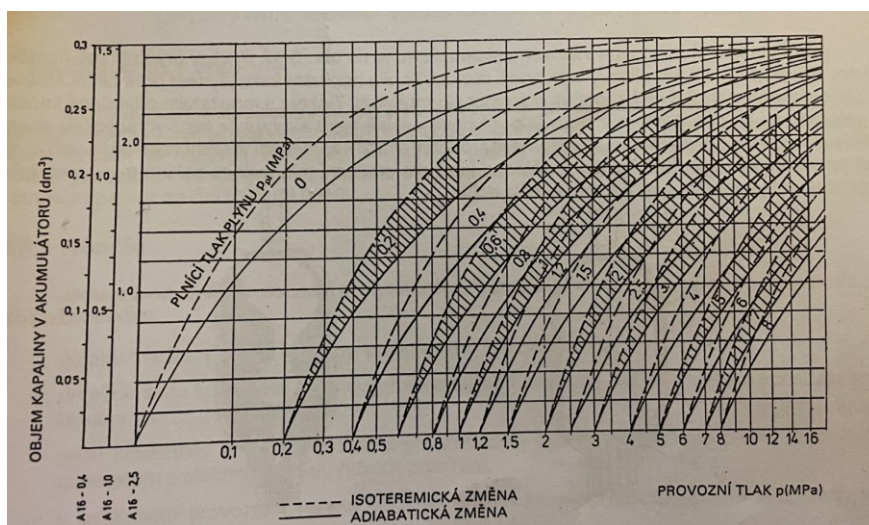


Obrázek 1: Diagram závislosti užitečného objemu a tlaku akumulátoru

1 – plynový akumulátor, 2 – pružinový akumulátor

(zdroj: [6])

Volba velikosti akumulátoru se řídí zpravidla podklady jejich výrobců, ať už ve formě výpočtových vztahů, nebo nejčastěji ve formě nanogramu.



Obrázek 2: Nanogram pro volbu velikosti akumulátoru

(zdroj: [6])

1.2 Rozdělení akumulátorů

Akumulátory se dělí dle konstrukce na:

1.2.1 Plynové akumulátory s přímým stykem plynu a kapaliny

Plynové akumulátory slouží k uchování tlakové energie kapaliny pomocí stlačeného plynu, čímž plní podobnou roli jako pružiny u pružinových akumulátorů. [7]

Akumulátory s přímým stykem plynu a kapaliny se ve vysokotlaké hydraulice prakticky nepoužívají, jelikož plyn se v kapalině rozpouští (absorbuje). Množství absorbovaného plynu V_p je úměrné tlaku plynu nad hladinou kapaliny podle vztahu:

$$V_p = V_k \cdot \alpha_p \cdot \frac{p}{p_0}. \quad (1)$$

Kde: V_p - objem rozpuštěného plynu [m^3],

V_k - objem kapaliny v akumulátoru [m^3],

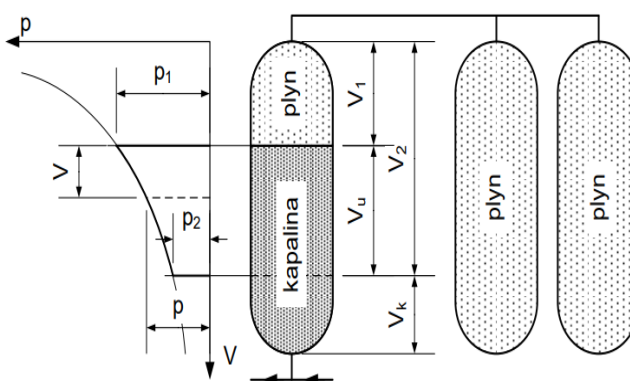
α_p - součinitel rozpustnosti plynu v kapalině [-],

p - absolutní tlak nad hladinou [MPa],

p_0 - atmosférický tlak (absolutní) [MPa].

Pokud je pracovní kapalinou olej, rozpustí se v něm při atmosférickém tlaku cca 8 až 9 objemových procent vzduchu ($\alpha_p = 0,08 - 0,09$), ve vodě pak cca 2 % vzduchu ($\alpha_p = 0,02$). S rostoucím tlakem množství rozpouštěného vzduchu narůstá. S tímto typem akumulátorů se nejčastěji můžeme setkat v nízkotlaké hydraulice. [1]

Tento typ akumulátoru obvykle zahrnuje soustavu tlakových nádob, přičemž hlavní nádoba je zčásti naplněna kapalinou a zčásti plynem. Podle potřeby mohou být připojeny další tlakové nádoby s plynem, aby pneumatická pružina měla požadované vlastnosti. Čím větší objem plynu zvolíme, tím menší bude pokles tlaku při stejném odběru kapaliny. Kapalina bývá zpravidla vodní emulze nebo olej, zatímco jako plyn se používá vzduch nebo dusík. [8][9]



Obrázek 3: Plynový akumulátor s přímým stykem kapaliny a plynu

V_1 a V_2 jsou objemy plynu před a po odběru kapaliny; V_u je užitečný objem akumulátoru;
 V_k je kritický objem akumulátoru

(zdroj: [10])

1.2.2 Plynové akumulátory s dělicí přepážkou

Tento typ akumulátoru byl vyvinut za cílem snížení absorpce plynu v kapalině. Mezi tyto plynové akumulátory se řadí pístové, vakové a membránové akumulátory.

Velikost vnitřního objemu tlakové nádoby akumulátoru lze vypočítat pomocí obecné rovnice pro termodynamické změny stavu ideálního plynu.

$$p \cdot V^n = \text{konst.} \quad (2)$$

Za předpokladu, že p_1 je nejnižší tlak a tlak p_2 je nejvyšší v akumulátoru, V_1 a V_2 jsou objemy plynu při tlacích p_1 a p_2 , poté platí.

$$p_1 \cdot V_1^n = p_2 \cdot V_2^n. \quad (3)$$

Celkový objem akumulátoru se určí ze vztahu.

$$V_c = V + V_2 = V + \frac{\Delta V}{\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{1}{n}} - 1}. \quad (4)$$

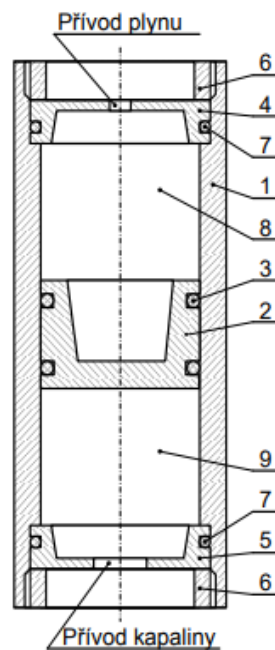
kde: V – objem akumulátoru zaplněný kapalinou při stlačení plynu na V_2 . Pokud děj probíhá dostatečně pomalu na to, aby nedocházelo ke změně teploty ($T = \text{konst.}$), tak poté exponent n má hodnotu 1. Při adiabatické změně (rychlý děj, při kterém nedochází ke sdílení tepla) se volí exponent n v rozmezí 1,1 až 1,4 v závislosti na rychlosti změny. [7]

a) Pístové akumulátory

Pístové akumulátory se používají pro oleje a bezvodé syntetické kapaliny, pro vodu nejsou vhodné, také se nehodí jako tlumiče rázů a pulzací. Jsou vhodné pro velké rozdíly teplot a velké změny (poklesy) tlaku. [1]

Pronikání plynu do kapaliny je zabráněno pomocí utěsněného a vyváženého plovoucího pístu, který se pohybuje v přesně opracovaném válci. Válec je vybaven víky s otvory pro přívod kapaliny, plynu nebo montáž kontrolních zařízení. Píst navíc zajišťuje, že plyn nepronikne do hydraulického obvodu ani při úplném vybití akumulátoru, čímž odpadá potřeba minimálního ventilu. Pístový akumulátor lze instalovat v jakékoliv poloze, avšak nejčastěji se montuje svisle, s plynovou částí nahoře, aby se ušetřila zastavěná plocha.

Ve srovnání s akumulátorem s přímým stykem plynu s kapalinou, je pístový akumulátor díky setrvačnosti pístu a odporu těsnění méně citlivý na rychlé změny objemu kapaliny. Pístový akumulátor je v provozu vysoce spolehlivý a vyžaduje jen minimální údržbu. [8] [26]

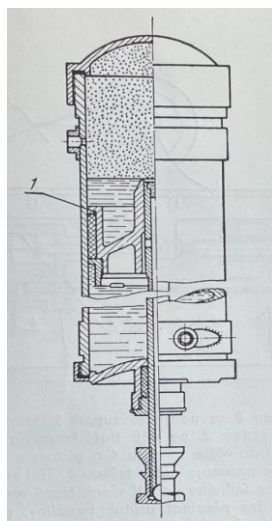


Obrázek 4: Pístový akumulátor

- 1) těleso akumulátoru; 2) píst oddělující pracovní kapalinu a plyn; 3) těsnění pístu; 4) 5) dna akumulátoru; 6) matice; 7) utěsnění den akumulátoru; 8) plyn; 9) kapalina

(zdroj: [10])

Když se píst **1** zvedá, dochází ke stlačování vzduchu v horní části, čímž se zde ukládá potenciální energie. Kapalina zároveň zabráňuje průchodu vzduchu mezi jednotlivými prostory válce. [11]



Obrázek 5: Mechanismus pístového akumulátoru

(zdroj: [11])

Během činnosti akumulátoru se průběh tlaku v akumulátoru řídí stavovou rovnicí pro plyn.

$$p \cdot V_p^n = \text{konst.} \quad (5)$$

Kde: p – okamžitý absolutní tlak plynu [MPa],

V_p – okamžitý objem plynu v akumulátoru při tomto tlaku [m^3],

n – exponent, závislý na druhu stavové změny [-].

n	Parametry plynu		Poznámka
	tlak	čas komprese, expanze	
	[Mpa]	[s]	
1	5	120	platí-li alespoň jeden z parametrů
1,1	15 až 20	5	plnění akumulátoru
1,2	15 až 20	4 až 5	plnění akumulátoru
1,3	15 až 20	2 až 4	plnění akumulátoru
1,35	32		velmi rychlé střídání cyklů
1,29 až 1,35			odběr z akumulátorů pro hydraulické lisy

Tabulka 1: Hodnoty exponentu n

(zdroj: [8])

b) Vakové akumulátory

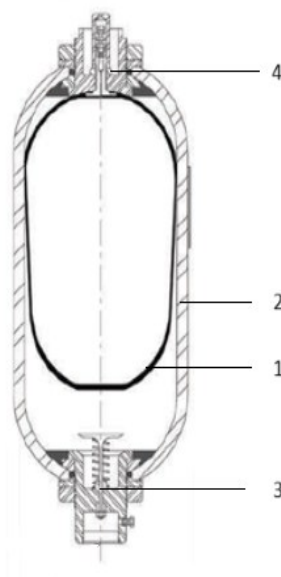
Vakové akumulátory jsou dnes jedním z nejběžnějších typů akumulátorů - díky jednoduchosti, absenci pohyblivých částí, rychlé reakci a vyrábí se i ve variantách určených pro vodu.

Akumulátor je složen z válcového tělesa s kulovitými víky, která mají otvory. Víka jsou buď svařena nebo se těleso uzavírá lisováním v zápustce. Spodním větším otvorem se vkládá tenký pryžový vak, který je zakončen kovovou koncovkou. Na koncovku je namontován plynový ventil, zatímco do spodního víka je umístěn kapalinový ventil. V současnosti jsou vyráběny kvalitní vaky, které zajišťují vysokou těsnost a dlouhou životnost. [1]

Vakový akumulátor je nejrozšířenějším typem akumulátoru v oblasti malých a středních velikostí díky dvěma významným vlastnostem. Když je akumulátor vyprázdněn,

tak díky tlaku plynu vak přilne k plášti akumulátoru a nepohybuje se po něm, není tedy nutno, aby byl plášť obráběn a díky tomu jsou výrobní náklady a pořizovací cena nižší. Při změně objemu vaku dochází k malé deformační práci, takže vakový akumulátor reaguje na objemové změny kapaliny podobně citlivě jako akumulátor s přímým stykem plynu a kapaliny, což je v určitých případech klíčové. [8]

Ve vakovém akumulátoru tlaková kapalina stlačuje vak, který odděluje kapalnou a plynnou část. Tím dochází ke stlačování vzduchu a ukládání potenciální energie. Při provozu akumulátoru se tato energie přeměňuje na pohybovou. Kromě toho může akumulátor sloužit i jako tlumič kapalinových rázů nebo jako vyrovnávač objemových změn kapaliny v systému. [12][13]



Obrázek 6: Vakový akumulátor

1) těleso akumulátoru; 2) pryžový vak; 3) uzavírací ventil; 4) plnicí ventil

(zdroj: [14])

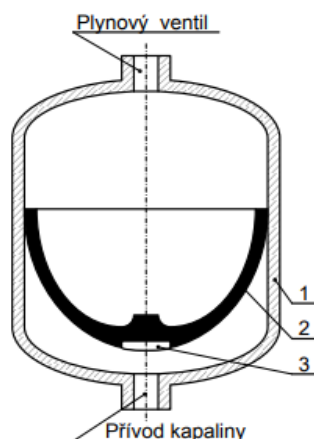
c) Membránové akumulátory

Membránové akumulátory obsahují ocelovou nádobu, která je odolná vůči stlačení a je obvykle vyrobena jako kulová nebo válcová. Uvnitř akumulátoru je membrána z elastického materiálu (elastomer), která slouží jako oddělovací prvek. Používají se k tlumení nárazů, vibrací nebo k vyrovnávání průsaků oleje nebo objemu v hydraulických systémech.

Existují dva typy membránových akumulátorů, a to se svařovanou nebo šroubovanou konstrukcí. U svařovaného modelu je membrána vtlačena do spodní části před provedením

kruhového švového svařování. Použitím vhodného postupu svařování, například svařování elektronovým paprskem a správným umístěním membrány zajišťuje, že se elastomerní materiál při svařování nepoškodí. U šroubového modelu je membrána držena na místě přišroubováním horní a spodní části k upínacím maticím. [15]

Z hlediska hmotnosti je výhodný kulovitý tvar akumulátoru, protože při stejném tlaku je napětí ve stěnách poloviční oproti válcovému tvaru akumulátoru. Akumulátor je lehký a je možné jej montovat v libovolné pozici. Avšak tento tvar akumulátoru je při větších objemech nevhodný, jelikož zabírá větší půdorysnou plochu než válcový tvar. Nepříznivým vlivem na životnost akumulátoru jsou velké deformace membrány. Pro zvýšení životnosti membrány se používá k plnění membránového akumulátoru téměř v každém případě dusík, jelikož jako netečný plyn příznivě působí na membránu. [8][16]



Obrázek 7: Membránový válcový akumulátor

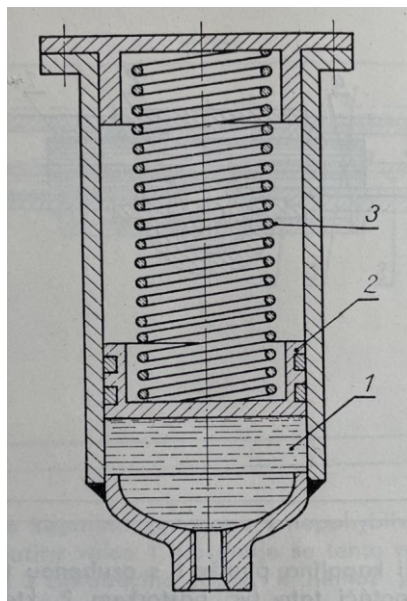
1) těleso akumulátoru; 2) pružná membrána; 3) talířový ventil

(zdroj: [10])

1.2.3 Pružinové akumulátory

Pružinové akumulátory akumulují energii v pružině, která je působením tlakové tekutiny stlačována. Akumulátor může být doplněn mechanismem pro nastavení předpětí pružiny. Tlak kapaliny se mění v závislosti na míře stlačení pružiny, takže není konstantní. Mezi výhody tohoto typu akumulátoru patří jednoduchá výroba. Nevýhodou však je, že pružiny se postupem času opotřebovávají vlivem opakovaného stlačování, což může vést k jejich prasknutí. [1][7]

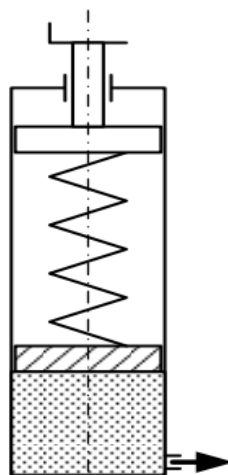
Pokud stoupne tlak kapaliny v prostoru 1, píst 2 se nazdvihne a stlačí pružinu 3, ve které se tím nahromadí potenciální energie. [11]



Obrázek 8: Mechanismus pružinového akumulátoru

(zdroj: [11])

Pružinové akumulátory se používají pro malé objemy cca v dm^3 pro tlaky do 3 až 5 MPa. Avšak tyto akumulátory není výhodné vyrábět s vyšším pracovním tlakem než 7 MPa a užitečným objemem větším než 10 dm^3 , důvodem je velikost pružin, které pružinové akumulátory mají, a které omezují užitečný objem a pracovní tlak. [1]



Obrázek 9: Pružinový akumulátor

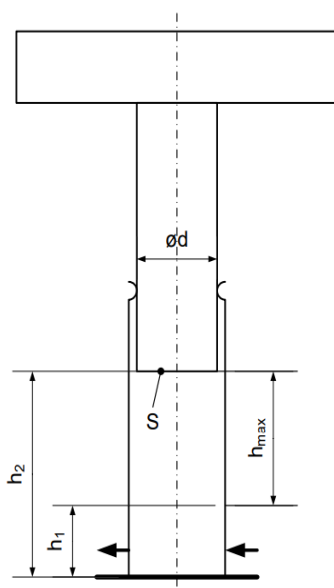
(zdroj: [10])

1.2.4 Závažové akumulátory

V závažových akumulátorech se energie uchovává v závaží, které je zvednuto do určité polohy tlakovou kapalinou. Jedná se o jeden z nejstarších druhů vysokotlakých akumulátorů,

který se v současnosti objevuje pouze u starších zařízení. Tento typ byl primárně využíván u strojů s vysokou pracovní rychlostí, kde nedocházelo k výrazným a náhlým změnám v odběru kapaliny. Při použití tohoto akumulátoru bylo nutné zajistit, aby rychlost pohybu pístu nepřesáhla 0,5 m/s a hydraulický obvod musel být vybaven pojistným ventilem, aby se předešlo tlakovým rázům způsobeným pohybem velkých hmot. [7][10]

Závažový akumulátor je složen z válce, do kterého se ponořuje závažím zatížený plunžr. Akumulace energie spočívá v polohové energii závaží o hmotnosti m_t . Je možné odebírat kapalinu o konstantním tlaku v celém rozsahu užitečného zdvihu, což je vlastně jedinou předností tohoto typu akumulátoru. Dnes je používán ke kalibraci tlaků u speciálního laboratorního zařízení s netěsněným plunžrem. Nevýhodami jsou velké rozměry a hmotnost, z které vyplývá setrvačnost. Setrvačnost při velkých rychlostech způsobuje tlakové rázy, které lze opravdu velmi zřídka odstranit, díky tomuto se pro rychloběžná zařízení nehodí vůbec. Navíc se závažový akumulátor musí montovat pouze ve svislé poloze. [8]



Obrázek 10: Schéma závažového akumulátoru

(zdroj: [10])

1.2.5 Speciální akumulátory

a) S kovovým měchem

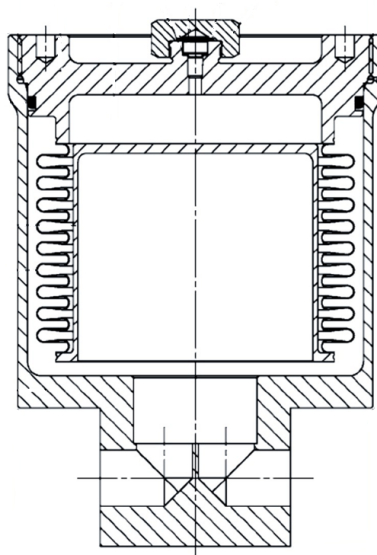
Akumulátory s kovovým měchem obsahují kovový měch, který je pevně svařen s ostatními součástmi, což zajišťuje jejich plynutěnost. Pro lepší tlumicí vlastnosti jsou

vybaveny obtokovým blokem. Kovový měch slouží jako oddělovací prvek mezi plynem a kapalinou.

Kovový měch se uvnitř akumulátoru pohybuje bez opotřebení a tření, přičemž funguje s jedním nastavením po mnoho let. Díky tomu je potřeba údržby a kontroly akumulátoru minimální.

Výhodami těchto akumulátorů je použitelnost i nad teploty vyšší než 160 °C, jsou bezúdržbové, neopotřebovává se díky plynotěsnosti a absenci třecích členů a je použitelný pro veškeré hydraulické kapaliny.

Tento typ akumulátoru je používán k tlumení pulzací na lodních dieselech, motorech v elektrárnách a na dávkovacích čerpadlech. [17]



Obrázek 11: Schéma akumulátoru s kovovým měchem

(zdroj: [18])

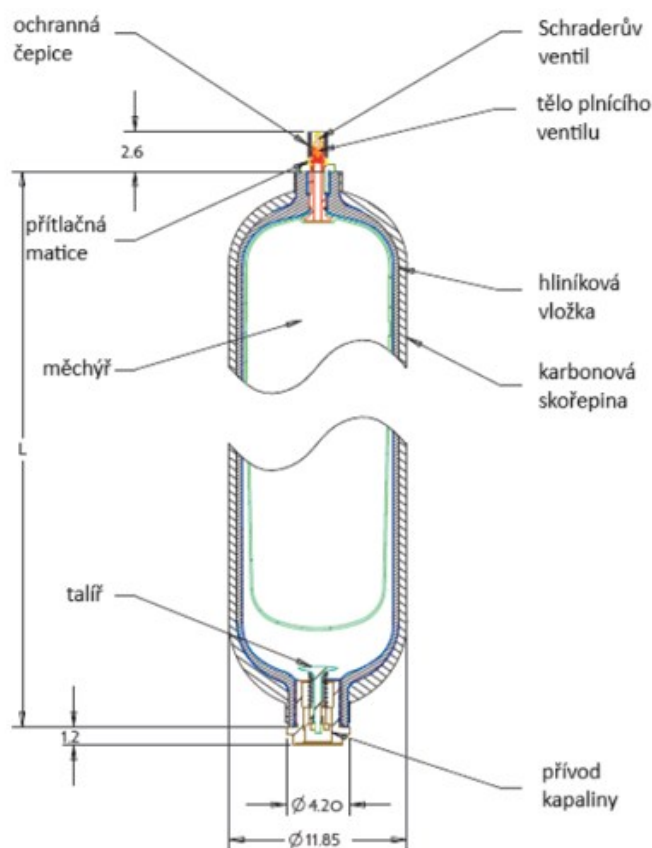
b) Se sníženou váhou

Hydraulické akumulátory se sníženou hmotností jsou dostupné v membránovém, pístovém a vakovém provedení. Použitím hliníku, tenkých stěn nebo kombinací plastových materiálů je dosaženo redukované váhy. Díky těmto inovacím je možné snížit celkovou hmotnost akumulátoru až o 80 % ve srovnání s tradičními akumulátory z uhlíkové oceli.

Akumulátory se sníženou hmotností napomáhají uspoření energie a úspoře zdrojů snížením váhy použitých akumulátorů (např. úspora paliva). Dále se používají pro akumulaci energie vznikající bržděním, kterou uloží a poté podporuje následující proces zrychlování.

Tato technologie umožňuje úsporu energie u dopravních prostředků používaných v každodenním provozu, zejména v režimu „Stop-and-Go”. Příkladem mohou být městské autobusy, kyvadlové spoje, svozová vozidla, dodávky nebo hnací systém posunovacích lokomotiv v kolejové dopravě. Další obecné oblasti použití jsou například letectví a kosmonautika, větrná energie.

Mezi příklady akumulátorů se sníženou vahou patří akumulátory s optimalizovanou vahou, kde použitím alternativních materiálů snížíme hmotnost, dále existují lehké akumulátory, kde je váha snížena pomocí ovinutí obvodu, a ultralehké akumulátory, kde je snížené hmotnosti dosaženo ovinutím celého akumulátoru. [17]



Obrázek 12: Konstrukce odlehčeného hydraulického akumulátoru

(zdroj: [19])

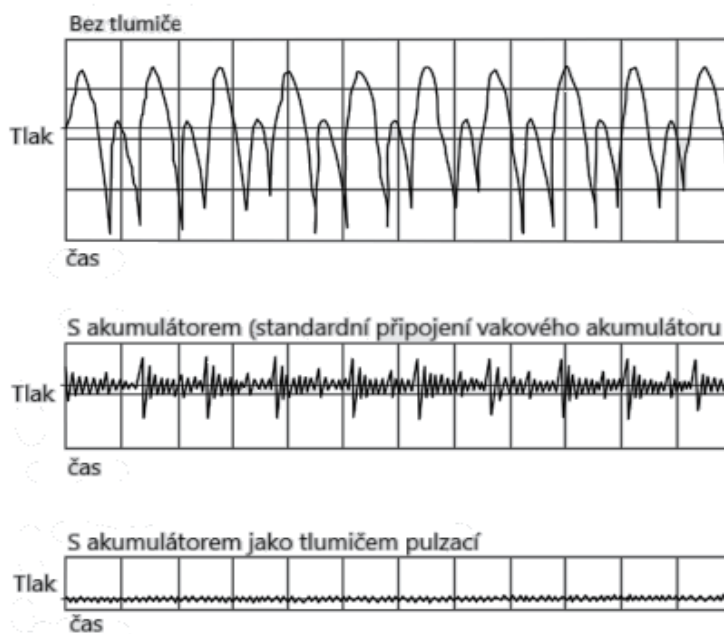
c) Hydraulické tlumiče

V hydraulických systémech se mohou objevit tlakové pulzace, které jsou vyvolány různými zařízeními a procesy jako jsou například nerovnoměrnosti vyvolané objemovými čerpadly, rázové propojení prostorů s různými tlaky, tlaková váha ve ventilech, ovládání regulačních a uzavíracích armatur s krátkými otevíracími a zavíracími časy, procesy při

připojování a odpojování objemových čerpadel nebo změny stavu proudění hydraulických kapalin. Tyto faktory vedou ke kolísání průtoku a tlaku, což nepříznivě ovlivňuje životnost všech komponent.

Mezi hydraulické tlumiče patří tlumiče pulzací, které jsou složené ze svařené nebo vykované tlakové nádoby z uhlíkové oceli pro chemicky agresivní kapaliny. Vedení kapaliny blíže k plynu je podstatně zlepšeno díky speciálnímu kapalinovému ventilu s inline přípojem. Tlumič pulzací může být zapojen přímo to potrubí, jelikož má dva kapalinové přípoje. Průtok je směřován bezprostředně na membránu, respektive na vak obtokem v kapalinovém ventilu. Díky tomu dochází k přímému kontaktu průtoku s vakem nebo membránou, které skoro bez setrvačnosti kolísání průtoků vyrovnávají pomocí objemu plynu. Tlakové pulzace vyšších frekvencí jsou zachycovány obzvláště zde.

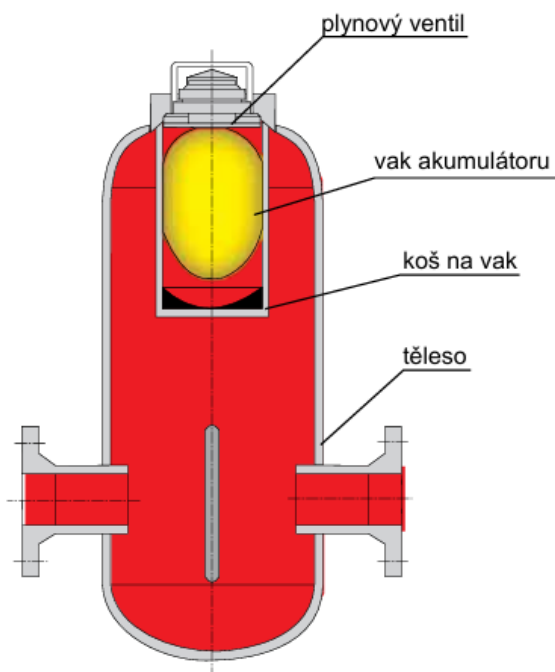
Tlumiče pulzací nacházejí své uplatnění především v citlivých regulačních a měřicích zařízeních, široce rozvětvených systémech vedení, například v procesních okruzích chemického průmyslu a hydraulických zařízeních s objemovými čerpadly. Tlumiče pulzací mají za úkol chránění armatury, regulačních zařízení a jiných přístrojů, zabránění praskání trubek v důsledku únavy materiálu, kmitání a nerovnoměrným průtokům a zlepšuje tlumení hluku. [17][20]



Obrázek 13: Porovnání pulzací

(zdroj: [21])

Jako další patří mezi hydraulické tlumiče stabilizátory sacího průtoku, jsou dalším druhem tlumení pulzací, který se speciálně používá pro snížení kolísání tlaku v sání. Stabilizátor se skládá, ve srovnání s vakem, z velkého tělesa, sloužícího jako zásobní nádrž, koše na vak s vakem a plynového ventilu. Stabilizátor se používá na citlivé měřicí a regulační zařízení, v procesních okruzích chemického průmyslu, na všechny druhy objemových čerpadel a na sání objemových čerpadel v nízkotlaké oblasti. Malý objem plynu ve stabilizátoru je obklopen mnohonásobně větším objemem kapaliny. Tímto a speciální konstrukcí v oblasti přípojí, jsou obzvláště dobře redukovány urychlovací efekty průtoku, tím lze obzvláště dobře zlepšit hodnoty NPHS (výška přídržného tlaku zařízení), zabránit kmitání potrubí a vyloučit kavitaci (vznik dutin v kapalině při lokálním poklesu tlaku) v čerpadle. [17]

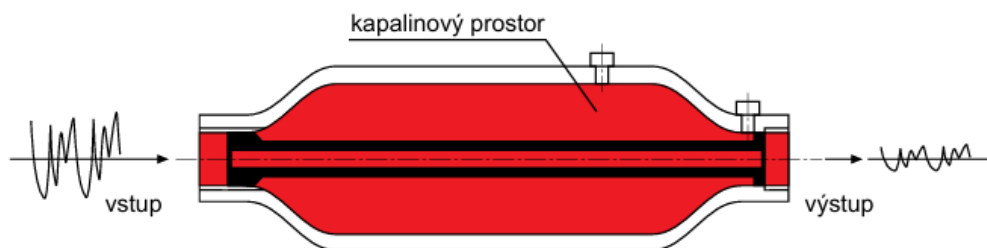


Obrázek 14: Stabilizátor sacího průtoku

(zdroj: [17])

Další typ hydraulického tlumiče je tlumič zvuku v kapalině, který se skládá z kovaného nebo svařovaného vnějšího tělesa, dvou potrubních přípojí, které jsou umístěné proti sobě a vnitřní trubky. Kapalinový tlumič neobsahuje žádnou plynovou náplň ani pohyblivé díly, takže není potřeba žádná údržba. Tento tlumič lze použít jak pro minerální oleje, tak i pro jiné hydraulické kapaliny. Kapalinový tlumič lze vyrobit z koroziivzdorné oceli, tudíž je možnost použití i pro korozivně působící kapaliny.

Kapalinový tlumič je založen na principu rozpínací komory s interferenčním vedením. Lze jej použít pro čerpadla všech druhů, obráběcí stroje, stroje na plasty, letadla nebo hydraulické stanice. Tlumič má za úkol snížení tlakových pulzací, snížení hladiny zvuku nebo lze jej použít při problémech s pulzacemi u různých tlakových rozsahů. [17]



Obrázek 15: Kapalinový tlumič zvuku

(zdroj: [17])

1.3 Základní parametry akumulátorů

Základní parametry jednotlivých typů akumulátorů jsou uvedeny v tabulce (Tabulka 2)

Akumulátor		Tlak	Objem		Poměr	Poměr	Poměr	Výrobce		Poznámka
			V_u	V_c	P_2/P_0	P_1/P_0	P_2/P_1			
		[MPa]	[dm ³]	[dm ³]						
Závažový		do 35	do 1500				~1,03 ~1,0	výrobci tvářecích strojů		pro kalibraci tlaků
Pružinový		do 2,5		do 200 V_u						pro speciální případy
Plynový s přímým stykem		do 42	až 12 000	(12 až 21) V_u			~1,1	výrobci tvářecích a hutních strojů a zařízení		největší hodnoty pro skupinový pohon těžkých kovacích lisů
		do 16		do 40				ZTS Bratislava, ČSSR		
		20	0,78 až 24	1 až 25				ATE, NSR		
		do 35		do 400				Bolenz & Schäfer, NSR		
		30		do 25				ETNA, Francie		
		7		0,26 až 13,5				Haskel, USA		
	Pístový	14		0,26 až 13,9				Haskel, USA		
		21		0,26 až 50				Haskel, USA		
		21		0,6 až 100				Hausherr, NSR		
		35		0,6 až 100				Hausherr, NSR		
Plynový s nepřímým stykem		20		do 24				Herion, NSR		
		21 až 35		10 až 200		1,05		Hydac, NSR		$Q_{max} = 73 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (při odběru nebo plnění)
		11 až 55		0,63 až 400				Hydraulik Duisburg, NSR		s tlumením
		14 až 35		0,25 až 100				Industrial Hydraulic, V.B.		
		16		do 2,7	$\leq (4 \text{ až } 5)$	$\geq 1,1$		Jihlavan, Jihlava, ČSSR		
		do 33		do 50	≤ 3	$\sim 1,1$		Bosch, NSR		
		8		do 200	≤ 4	$\geq 1,1$		Greer-Mercier, USA		
	Vakový	21		do 200	≤ 4	$\geq 1,1$		Greer-Mercier, USA		
		35		do 200	≤ 4	$\geq 1,1$		Greer-Mercier, USA		
		10 až 55		0,1 až 200	$\leq$	$\sim 1,1$		Hydac, NSR		$Q \leq 140 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
		11 až 55		0,63 až 25				Hydraulik Duisburg, NSR		
		16		1 až 25	$\leq (4 \text{ až } 5)$	$\geq 1,1$		Orsta, NDR		
		do 21		do 2,8	≤ 3	$\sim 1,1$		Bosch, NSR		$Q_{max} = 73 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
	Membránový	1 až 50		0,1 až 4				Hydac, NSR		
		40		0,5 až 50				Leduc, Francie		

Tabulka 2: Základní parametry akumulátorů

(zdroj: [8])

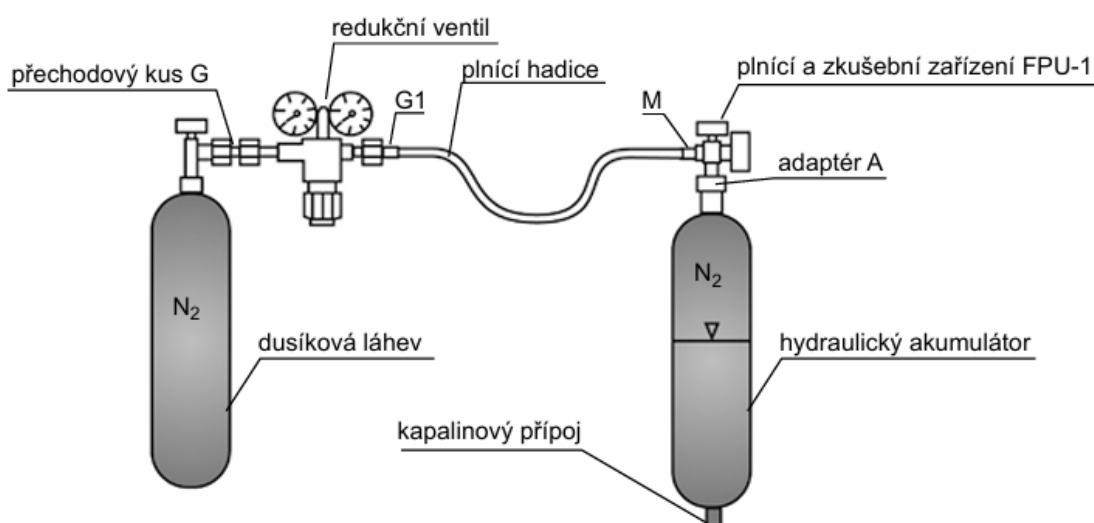
2 PŘÍSLUŠENSTVÍ AKUMULÁTORŮ

2.1 Univerzální plnicí a zkušební zařízení FPU-1

Toto plnicí a zkušební zařízení na pístové, membránové a vakové akumulátory se skládá z vřetena s elastickým těsněním, zpětného a odlehčovacího ventilu, ventilového tělesa, plnicí hadice, adaptéru A3 pro vakové akumulátory a manometru s rozsahem do 400 bar.

Plnicí a zkušební zařízení FPU-1 se používá k plnění hydraulických akumulátorů dusíkem, stejně jako k úpravě a kontrole plnicího tlaku. Zařízení se našroubuje na plynový ventil a prostřednictvím flexibilní hadice se propojí se standardní dusíkovou lahví. Pokud je potřeba snížit nebo zkontrolovat tlak, připojení hadice není nutné.

Úniky dusíku z hydraulických akumulátorů bývají obvykle minimální. Aby se však předešlo situacím, kdy pokles plnicího tlaku způsobí doraz pístu na víko nebo nadměrnou deformaci vaku či membrány, je doporučeno pravidelně kontrolovat tlak plynu. Hodnota plnicího tlaku, která je uvedena štítku nebo tělese akumulátoru musí být nastavena při každé nové instalaci nebo opravě a následně alespoň jednou zkontrolována během prvního týdne provozu. Pokud nedojde ke ztrátě dusíku, další kontrola by měla proběhnout přibližně po čtyřech měsících. Jestliže ani poté není zjištěna změna tlaku, stačí následné ověřování provádět jednou ročně. [15]



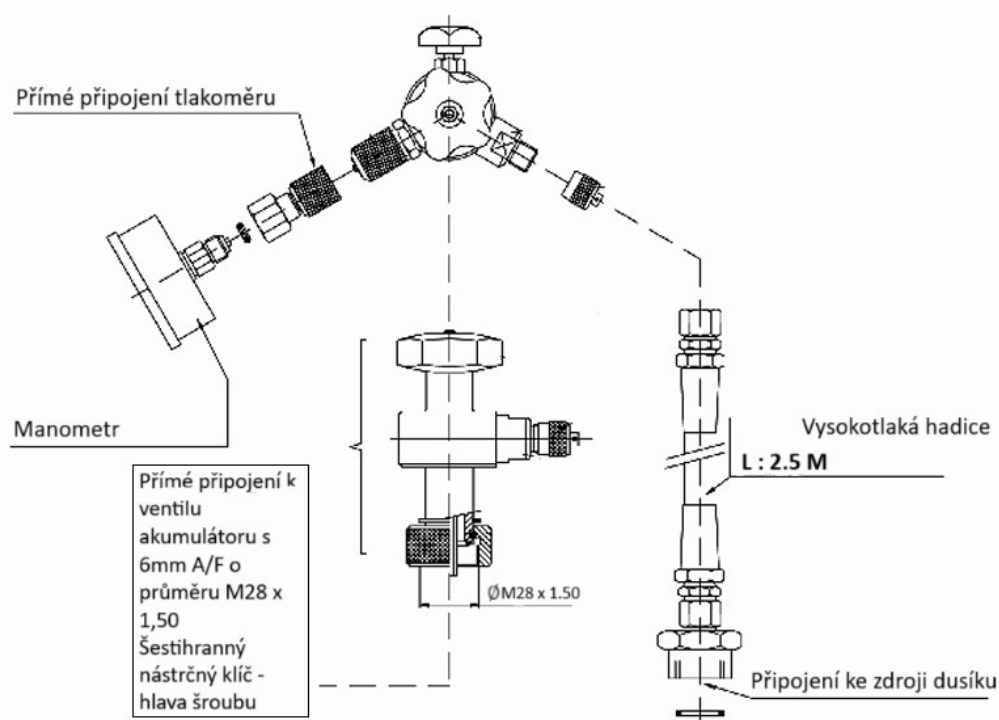
Obrázek 16: Schématické sestavení plnicího a zkušebního zařízení

(zdroj: [17])

2.2 Dusíkové plnicí zařízení

Dusíková plnicí zařízení umožňují rychlé a cenově příznivé doplňování nebo plnění potřebných předepínacích tlaků plynu v pístových, membránových a vakových akumulátorech. Garantují optimální využití běžných dusíkových lahví až po zbytkový tlak 20 bar a maximální plnicí tlak akumulátoru 350 bar.

Dusíková plnicí zařízení se skládají z hydraulického a elektrického řízení, z napájecí olejové jednotky (hydraulického agregátu), spojovacích hadic a pístového akumulátoru. Pístový akumulátor je použit jako dusíkové čerpadlo. [17]



Obrázek 17: Plnicí sada VGU

(zdroj: [22])

2.3 Vybavení a bezpečnostní zařízení

Výroba a uvedení na trh tlakových zařízení se řídí směrnicí 97/23/ES, která zároveň stanovuje bezpečnostní požadavky na tato zařízení i jejich konstrukční celky. Regulace týkající se výstroje, instalace a provozu hydraulických akumulátorů se v jednotlivých zemích liší.

Předpisy vyžadují minimální vybavení, jako uzavírací zařízení, zařízení pro měření tlaku s vyznačeným přípustným provozním tlakem, zařízení proti překročení tlaku a možnost

připojení kontrolního manometru. Další bezpečnostní zařízení, která mohou být připojena dodatečně jsou zařízení proti překročení teploty a tlaku, které mohou být i elektromagneticky ovládané odlehčovací ventily.

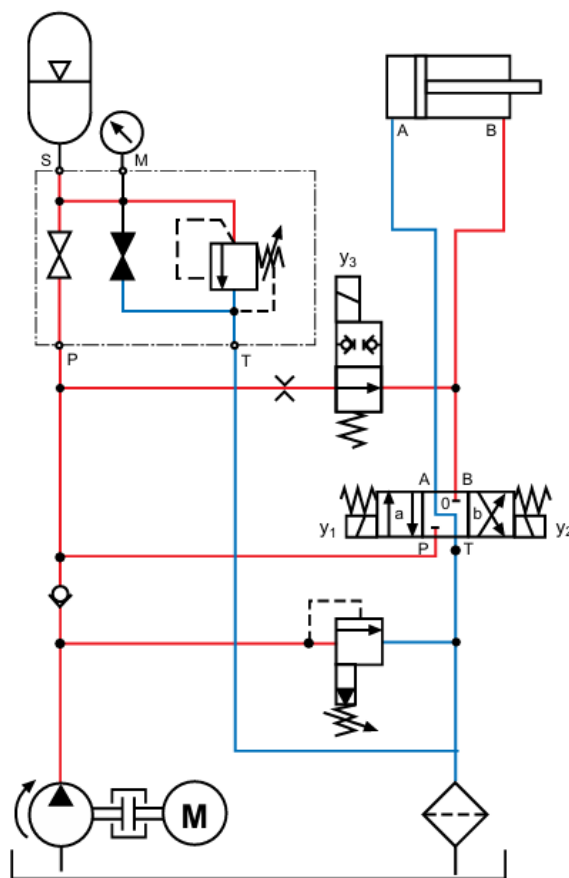
Svařování nebo letování a mechanické práce (např. obrábění) se na hydraulických akumulátorech nesmí v žádném případě provádět. [17]

3 ZAPOJENÍ AKUMULÁTORŮ

3.1 Akumulace energie

Akumulátor dokáže uloženou hydraulickou energii použít v případech potřeby jako je například nahrazení výkonu čerpadla (nouzová funkce, podpora čerpadla). [17]

Náhly výpadek elektrické energie nebo tlakové kapaliny v hydraulickém obvodu může někdy způsobit vážné následky. Například kdyby při zastavení obráběcího stroje zůstal stroj v záběru, dojde pravděpodobně k jeho poškození. Tomuto lze předejít tím, že do obvodu zařadíme akumulátor, který při výpadku proudu zapojí rozvaděč na přímočarý hydromotor, který vysune nástroj ze záběru ještě před zastavením stroje. [8]



Obrázek 18: Akumulace energie pro nouzovou funkci hydraulických válců

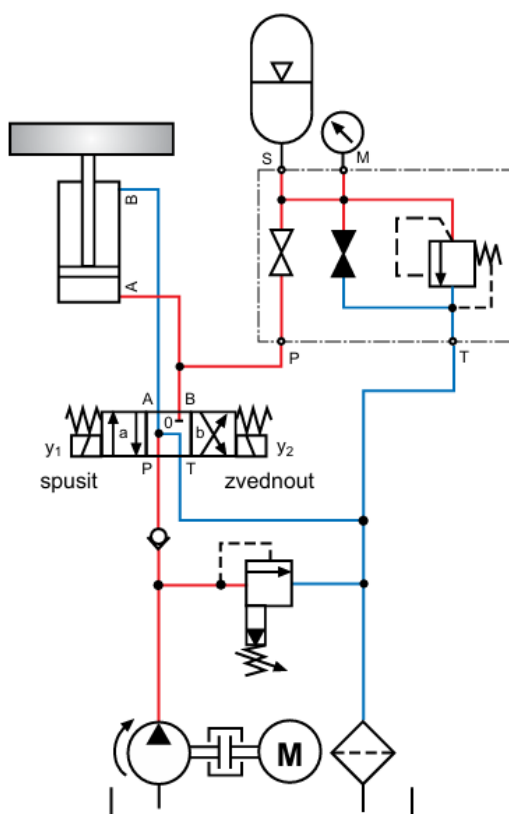
(zdroj: [17])

3.2 Objemová kompenzace

V každém hydraulickém obvodu nalezneme prvky, které vykazují určitý únik kapaliny (netěsnosti), čili mají určitou svodovou propustnost. Pokud je třeba v hydraulické soustavě

udržet po delší dobu konstantní tlak, bylo by trvalé zapojení hydrogenerátoru nevhodné. Zapojení akumulátoru do obvodu umožní v potřebném čase udržet tlak.

Akumulátor je také vhodné umístit do obvodu, v němž je těsně uzavřen určitý objem kapaliny v hydromotoru a v potrubí mezi ním a rozvaděčem, jestliže je tento obvod vystaven teplotním rozdílům, poté akumulátor zachycuje růst tlaku při stoupající teplotě a naopak.[8][23]

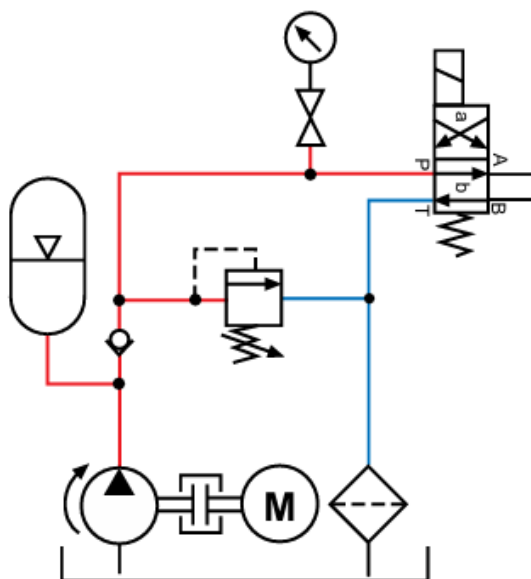


Obrázek 19: Objemová kompenzace jako kompenzace prosáklého oleje

(zdroj: [17])

3.3 Tlumení pulzací

Tlakové pulzace mají některé nepříznivé účinky, u výrobních a zvláště u obráběcích strojů zhoršují kvalitu obrobku tím, že způsobují chvění, snižují spolehlivost spojů a životnost těsnění. Nejčastějším zdrojem pulzací jsou hydrogenerátory. Vznik pulzací vyháží z konstrukčních principů a může mít za následek nerovnoměrný chod hydromotoru. Akumulátor je jedním z prostředků, kterými lze tlakové pulzace kapaliny tlumit. Nejvyšší tlumicí účinek má použitý akumulátor tehdy, když je jeho rezonanční frekvence rovna frekvenci pulzací.[8][26]



Obrázek 20: Tlumení pulzací na objemovém čerpadle

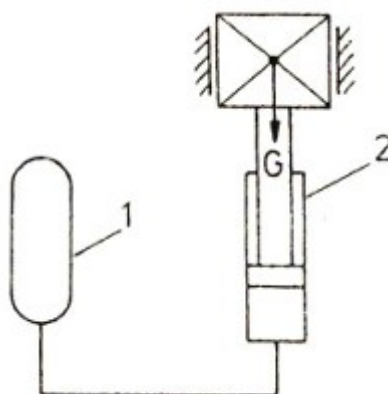
(zdroj: [17])

3.4 Zdroj tlaku pro obvody s hydromotory řízenými rychlými ventily

Pokud je průtok řízen do hydromotoru rychlým ventilem, například servoventilem nebo rychlým proporcionálním ventilem, je použit hydrogenerátor s regulací na konstantní tlak a paralelně připojený akumulátor jako zdroj tlaku. Regulační hydrogenerátor je relativně pomalý, proto je použit akumulátor jako dočasný zdroj tlaku po dobu přestavení hydrogenerátoru na požadovaný průtok. [1]

3.5 Vyvažování hmotné zátěže (pneumohydraulická pružina)

Princip vyvažování hmotné zátěže, kde akumulátor slouží jako pneumohydraulická pružina, která vyvažuje zátěž na hydromotoru, je zřejmý z obrázku 21. K manipulaci stačí mnohem menší síla než by odpovídala tíze zátěže G . [1]



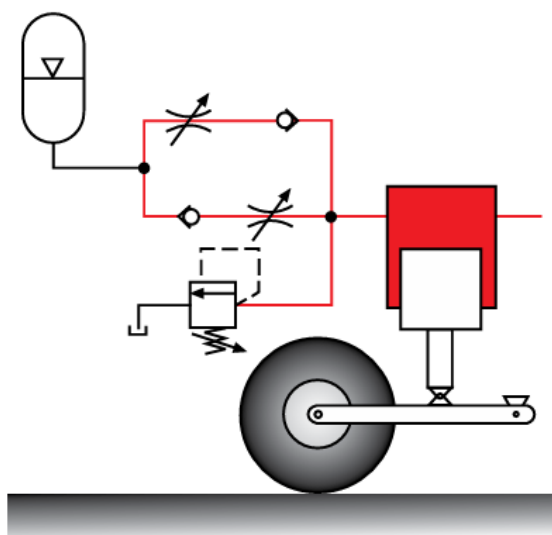
Obrázek 21: Vyvažování hmotné zátěže akumulátorem

1 – akumulátor, 2 – hydromotor

(zdroj: [1])

3.6 Tlumení tlakových rázů

Náhlým zrychlením nebo zpomalením sloupce kapaliny vznikají tlakové rázy, které doznívají kmitáním. Takové náhlé změny mohou způsobit poškození zařízení. K tlakovým rázům nejčastěji dochází při práci rozvaděčů nebo jiných prvků pro hrazení proudu kapaliny, ale také při práci jiných hydraulických prvků, například přímočarých hydromotorů. Tyto situace lze zlepšit membránovým nebo vakovým akumulátorem. Nejefektivnější umístění akumulátoru je co nejbližší od místa vzniku rázů.[8][27][28]



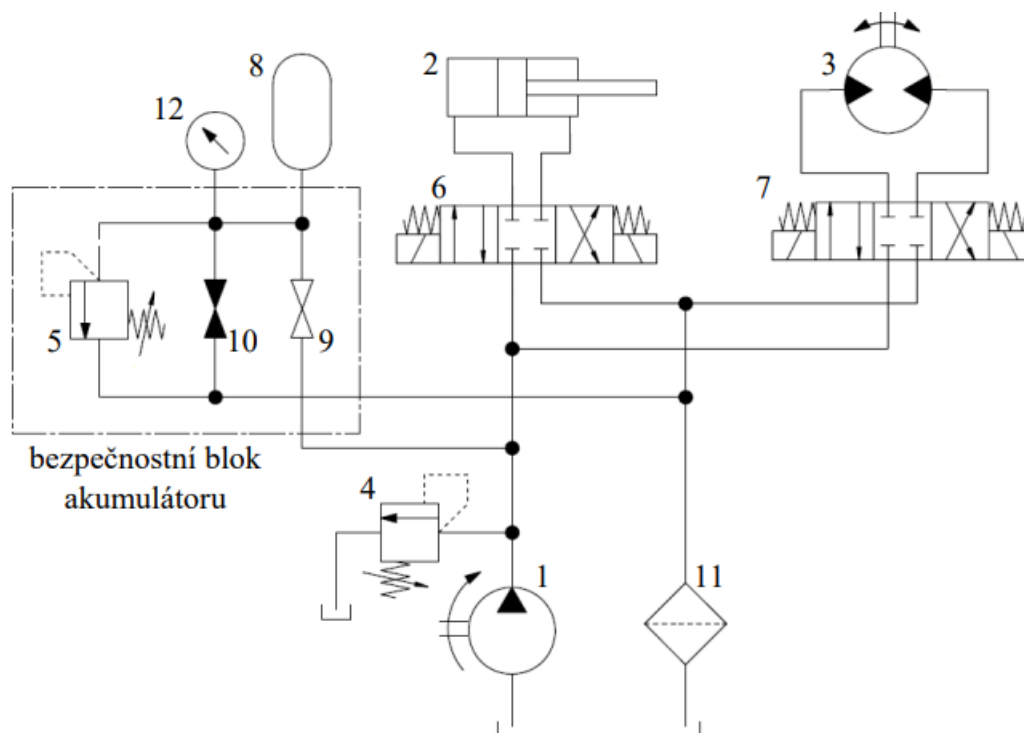
Obrázek 22: Tlumení tlakových rázů

(zdroj: [17])

II. PRAKTICKÁ ČÁST

4 CÍLE PRAKTICKÉ ČÁSTI A VSTUPNÍ PARAMETRY

Praktická část se zabývá výpočtem a návrhem hydraulických akumulátorů pro dva a čtyři spotřebiče. Odběr průtoku ze zdroje je nepravidelný. Jako první bude výpočet pro dva spotřebiče, kterými budou vrtačka a lis. Je třeba stanovit průtok hydrogenerátorem, a následně díky zjištěnému průtoku a otáčkám elektromotoru lze vypočítat geometrický objem hydrogenerátoru, který je potřeba znát pro jeho návrh.



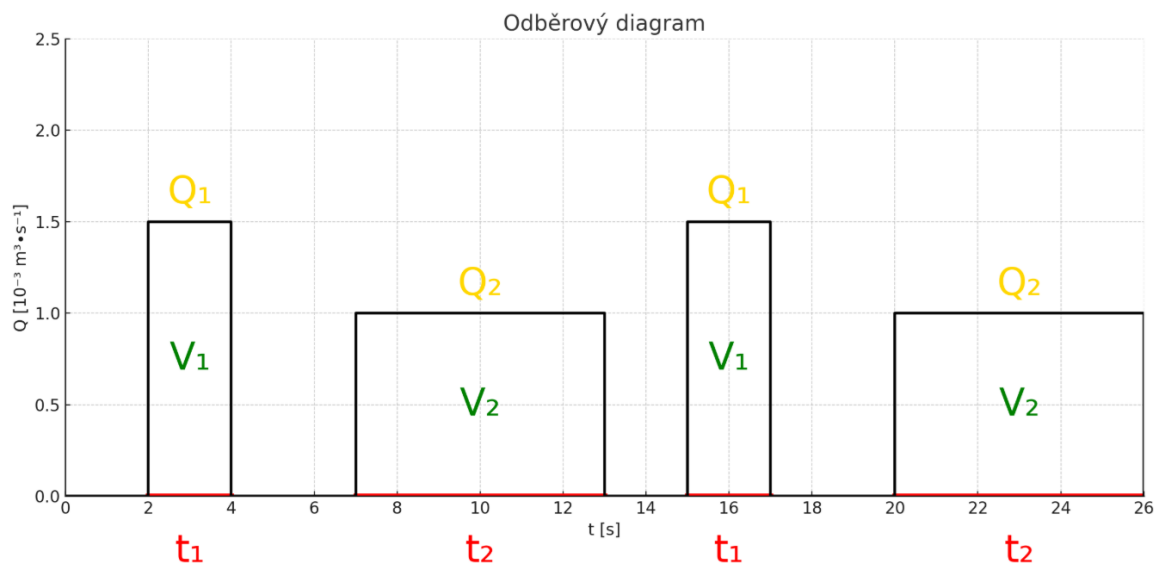
Obrázek 23: Pokrytí odběru více spotřebičů s různou spotřebou

1 – hydrogenerátor, 2 – přímočarý hydromotor, 3 – rotační hydromotor, 4, 5 – pojistné ventily, 6, 7 – rozvaděče, 8 – akumulátor, 9, 10 – uzavírací ventily, 11 – filtr, 12 – manometr

(zdroj: [24])

4.1 Výpočet a návrh akumulátoru pro dva spotřebiče

Odběr průtoků ze zdroje je nepravidelný, zatížení je uvažováno z odběrového diagramu (Obrázek 24). Jedná se o periodicky opakující se cyklus s dobou periody $T = 13$ s. Pro daný cyklus je počítán střední průtok dodávaný hydrogenerátorem Q_S , geometrický objem hydrogenerátoru V_G a užitečný objem akumulátoru V_A . Jakmile je znám geometrický objem hydrogenerátoru, tak je volen hydrogenerátor z katalogu výrobce (Obrázek 25), poté je stanoven užitečný objem a je volen vhodný akumulátor z katalogu výrobce (Obrázek 30).



Obrázek 24: Odběrový diagram

[zdroj: vlastní]

Odběry objemových průtoků v jednotlivých úsecích: $Q_1 = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

$$Q_2 = 1 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$$

Doba jednotlivých odběrů:

$$t_1 = 2\text{s}$$

$$t_2 = 6\text{s}$$

Otáčky elektromotoru:

$$n = 1500 \text{ ot/min}^{-1}$$

Doba periody:

$$T = 13\text{s}$$

Nejdříve je třeba stanovit střední průtokové množství Q_s , zbytek potřebného průtoku do systému dodá akumulátor. Střední průtokové množství je u akumulátorů počítáno pro přesnější stanovení množství dodané energie, jelikož průtok není konstantní. Tato hodnota také slouží k objektivnímu porovnání různých typů akumulátorů a k optimalizaci návrhu elektronických zařízení pro efektivní využití energie. [24]

$$Q_s = Q_G = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta V_i}{T} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i \cdot t_i}{T} = \frac{1,5 \cdot 10^{-3} \cdot 2 + 1 \cdot 10^{-3} \cdot 6}{13}, \quad (6)$$

$$Q_s = Q_G \cong 0,692 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}.$$

Ze středního průtoku Q_S a otáček elektromotoru n – lze vypočítat geometrický objem akumulátoru a navrhnout jej, tak aby splňoval průtočnou účinnost $\eta = 95\%$.

$$V_G = \frac{Q_S}{n} = \frac{0,692 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}}{1500 \text{ ot/min}^{-1}} = \frac{0,692 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}}{25 \text{ ot/s}} \quad (7)$$

$$V_G = 2,768 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{ot} = 27,68 \text{ cm}^3/\text{ot}$$

Dále je stanoven požadovaný geometrický objem s průtokovou účinností hydrogenerátoru $\eta = 95\%$.

$$V_{G/95} = \frac{V_G}{\eta} = \frac{27,68}{0,95} \cong 29,14 \text{ cm}^3/\text{ot} \quad (8)$$

Nyní je volen hydrogenerátor z katalogu výrobce (Obrázek 25), je volen regulační axiální pístový hydrogenerátor s označením K3VL45 od firmy Hydroma, o geometrickém objemu $45 \text{ cm}^3/\text{ot}$.

Pump Type	Capacity (cm ³ /rev)	Rated pressure (bar)	Maximum self-priming speed (rpm)
K3VL28	28	320	3,000
K3VL45	45	320	2,700
K3VL60	60	250	2,400
K3VL80	80	320	2,400
K3VL112	112	320	2,300
K3VL140	140	320	2,200
K3VL200	200	320	1,900
K3VL200H	200	320	2,200

Obrázek 25: Volba hydrogenerátoru z katalogu výrobce

(zdroj: [29])

Jako další bude počítáno množství kapaliny, které je hydrogenerátorem dodáváno za dobu cyklu V_T . [24]

$$V_T = Q_G \cdot T = 0,692 \cdot 10^{-3} \cdot 13 \cong 9 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \cong 9 \text{ dm}^3. \quad (9)$$

Objemy V_i odebrané zařízením v jednotlivých časových úsecích t_i . [24]

$$V_1 = Q_1 \cdot t_1 = 1,5 \cdot 10^{-3} \cdot 2 = 3 \cdot 10^{-3} m^3 = 3 dm^3. \quad (10)$$

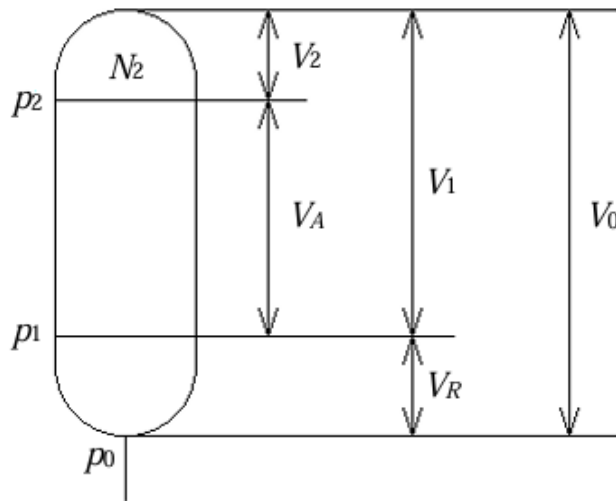
$$V_2 = Q_2 \cdot t_2 = 1 \cdot 10^{-3} \cdot 6 = 6 \cdot 10^{-3} m^3 = 6 dm^3. \quad (11)$$

Odebraný objem zařízením $\sum_{i=1}^n V_i$ musí být roven objemu dodanému hydrogenerátorem V_T .

Akumulátor je navržen tak, aby dokázal pokrýt rozdíl mezi středním průtokem hydrogenerátoru, okamžitým odběrem a stanovením užitečného objemu akumulátoru V_A , jako rozdíl maximální kladné a záporné odchylky ΔV (Obrázek 29). [24]

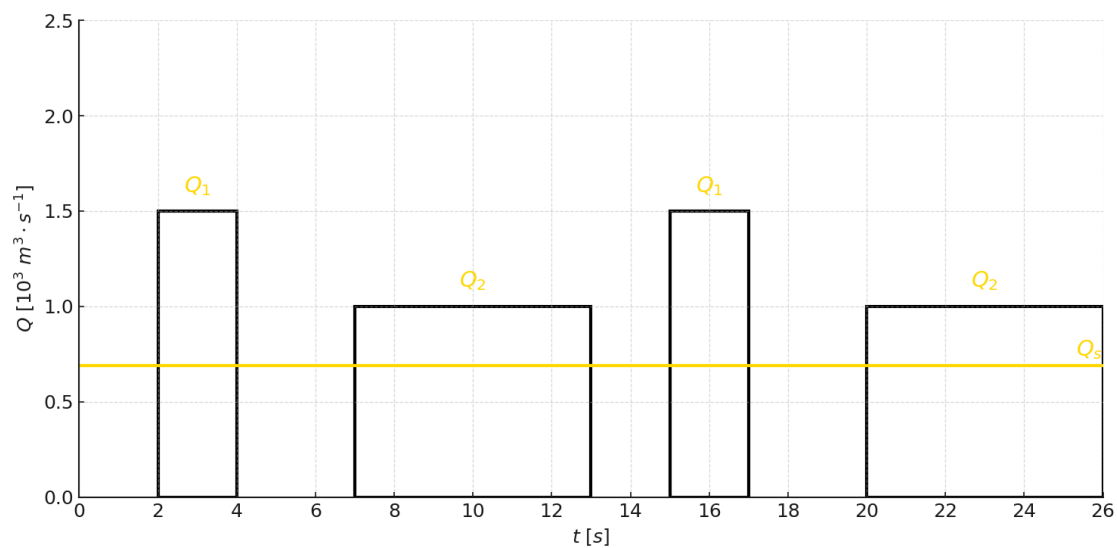
$$V_A = (1,85 + 0,2) \cdot 10^{-3} = 2,05 \cdot 10^{-3} m^3 = 2,05 dm^3. \quad (12)$$

Pro zařízení s daným odběrovým diagramem bude navržen akumulátor pro kombinovaný pohon s hydrogenerátorem, kde pracovní tlak mechanismu $p_2 = 16$ MPa, dovolený minimální tlak $p_1 = 10$ MPa a polytropický exponent $n = (1,1 \div 1,4)$. [24]

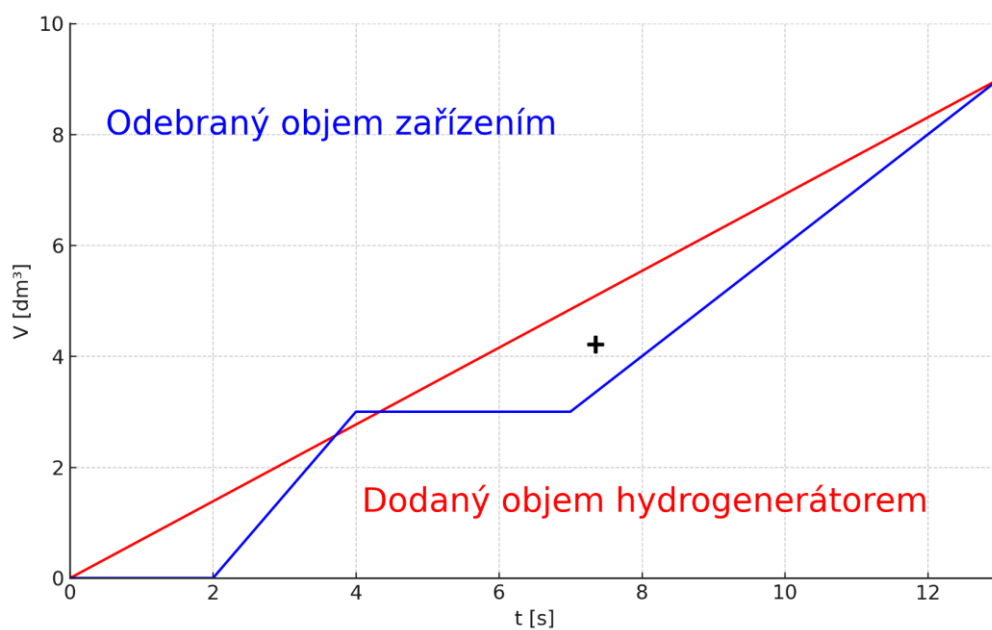


Obrázek 26: Pracovní cykly akumulátoru

(zdroj: [24])

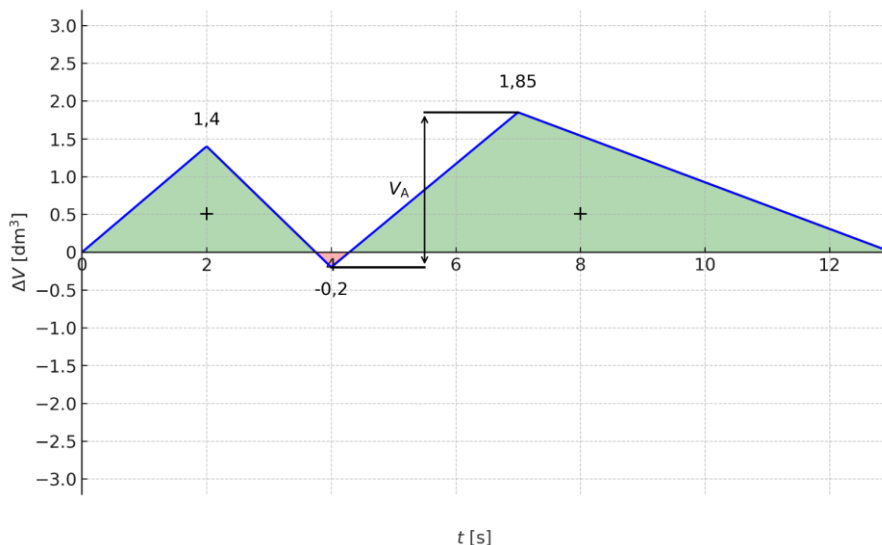


Obrázek 27: Odběrový diagram se středním průtokem

(zdroj: vlastní)

Obrázek 28: Odebraný a dodaný objem

(zdroj: vlastní)



Obrázek 29: Průběh plnění a vyprazdňování akumulátoru

(zdroj: vlastní)

Při předpokládané polytropické změně platí $p \cdot V^n = \text{konst.}$, polytropický exponent byl zvolen $n = 1,2$. Nyní je možno spočítat objem plynu V_2 v akumulátoru při maximálním (pracovním) tlaku v hydraulickém obvodu. [24]

$$V_2 = \frac{V_A}{\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{1}{n}} - 1} = \frac{2,05 \cdot 10^{-3}}{\left(\frac{16 \cdot 10^6}{10 \cdot 10^6}\right)^{\frac{1}{1,2}} - 1} = 4,28 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 = 4,28 \text{ dm}^3. \quad (13)$$

Objem plynu V_1 při minimálním tlaku v hydraulickém obvodu, lze vypočítat s využitím obrázku 27.

$$V_1 = V_2 + V_A = 4,28 \cdot 10^{-3} + 2,05 \cdot 10^{-3} = 6,33 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 = 6,33 \text{ dm}^3. \quad (14)$$

Nyní je volen akumulátor z katalogu výrobce (Obrázek 30), je volen vakový akumulátor s označením SB40-10 firmy Hydac, o jmenovitém objemu 10 dm^3 .

SB40-2.5 ... 50

Permitted operating pressure 40 bar (PED)

Nominal Volume [l]	Eff. gas volume [l]	Weight [kg]	A [mm]	B [mm]	C [mm]	Ø D [mm]	J thread ISO DIN 13	K thread ISO 228	SW [mm]	Q ¹⁾ [l/s]
2.5	2.5	9	541	122	68	108	M100x2	G 2	36	7
5	5	13	891			219				
10	9.3	14	533	106						
20	18	23	843							
32	33.5	38	1363							
50	48.6	52	1875		78					

1) Q = max. flow rate of operating fluid (at approx. 0,5 bar pressure drop via connection)

2) use C-spanner

Obrázek 30: Volba akumulátoru z katalogu výrobce

(zdroj: [30])

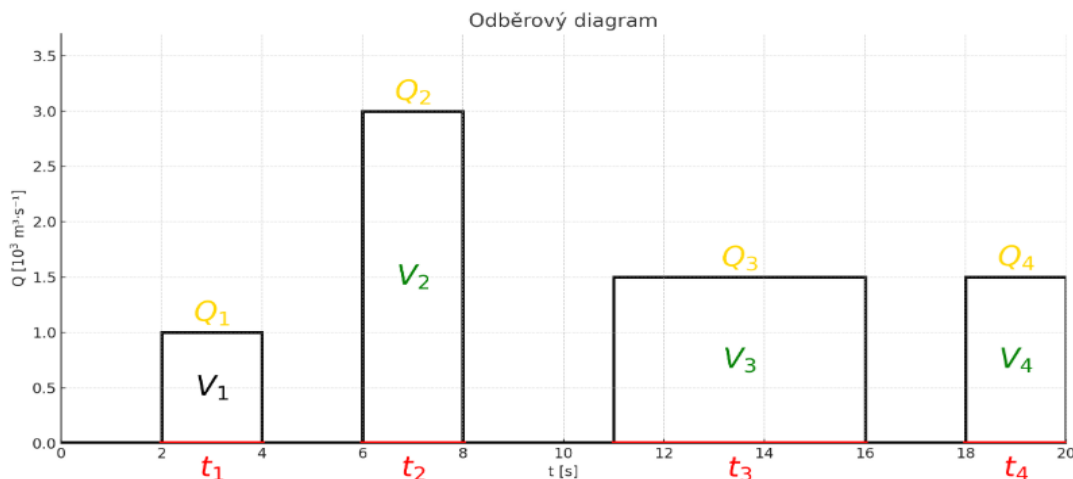
Na závěr je vypočítán rezervní objem akumulátoru V_R akumulátoru. Rezervní objem akumulátoru je praktickým bezpečnostním a provozním prvkem při dimenzování akumulátoru. Obvykle bývá stanoven jako podíl celkového objemu nebo jako minimální zůstatkový objem kapaliny při nejnižším pracovním tlaku. [24]

$$V_C = V_1 + V_R \rightarrow V_R = V_C - V_1 = 10 \cdot 10^{-3} - 6,33 \cdot 10^{-3} = 3,67 \cdot 10^{-3} m^3, \quad (15)$$

$$V_R = 3,67 dm^3.$$

4.2 Výpočet a návrh akumulátoru pro čtyři spotřebiče

Odběr průtoků ze zdroje je nepravidelný, zatížení je uvažováno z odběrového diagramu (obrázek 31). Jedná se o periodicky opakující se cyklus s dobou periody $T = 20$ s. Pro daný cyklus je počítán střední průtok dodávaný hydrogenerátorem Q_S , geometrický objem hydrogenerátoru V_G a užitečný objem akumulátoru V_A . Jakmile je znám geometrický objem hydrogenerátoru, tak je volen hydrogenerátor z katalogu výrobce (Obrázek 32), poté je stanoven užitečný objem a je volen vhodný akumulátor z katalogu výrobce (Obrázek 37).



Obrázek 31: Odběrový diagram

(zdroj: vlastní)

Odběry objemových průtoků v jednotlivých úsecích: $Q_1 = 1 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

$$Q_2 = 3 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$$

$$Q_3 = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$$

$$Q_4 = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$$

Doba jednotlivých odběrů:

$$t_1 = t_2 = t_4 = 2 \text{ s}$$

$$t_3 = 5 \text{ s}$$

Otáčky elektromotoru:

$$n = 1500 \text{ ot/min}^{-1}$$

Doba periody:

$$T = 20 \text{ s}$$

Nejdříve je třeba stanovit střední průtokové množství Q_S , zbytek potřebného průtoku do systému dodá akumulátor. Střední průtokové množství je u akumulátorů počítáno pro přesnější stanovení množství dodané energie, jelikož průtok není konstantní. Tato hodnota také slouží k objektivnímu porovnání různých typů akumulátorů a k optimalizaci návrhu elektronických zařízení pro efektivní využití energie. [24]

$$Q_S = Q_G = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta V_i}{T} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i \cdot t_i}{T},$$

$$Q_S = Q_G = \frac{1 \cdot 10^{-3} \cdot 2 + 3 \cdot 10^{-3} \cdot 2 + 1,5 \cdot 10^{-3} \cdot 5 + 1,5 \cdot 10^{-3} \cdot 2}{20}, \quad (16)$$

$$Q_S = Q_G = 0,925 \cdot 10^{-3} m^3 \cdot s^{-1}.$$

Ze středního průtoku Q_S a otáček elektromotoru n - lze vypočítat geometrický objem akumulátoru a navrhnout jej, tak aby splňoval průtokovou účinnost $\eta = 95 \%$.

$$V_G = \frac{Q_S}{n} = \frac{0,925 \cdot 10^{-3} m^3 \cdot s^{-1}}{1500 \text{ ot/min}^{-1}} = \frac{0,925 \cdot 10^{-3} m^3 \cdot s^{-1}}{25 \text{ ot/s}} \quad (17)$$

$$V_G = 3,7 \cdot 10^{-5} m^3/\text{ot} = 37 \text{ cm}^3/\text{ot}$$

Dále je stanoven požadovaný geometrický objem s průtokovou účinností hydrogenerátoru $\eta = 95 \%$.

$$V_{G/95} = \frac{V_G}{\eta} = \frac{37}{0,95} \cong 38,95 \text{ cm}^3/\text{ot} \quad (18)$$

Nyní je volen hydrogenerátor z katalogu výrobce (Obrázek 32), je volen axiální pístový hydrogenerátor s označením K3VL45 od firmy Hydroma, o geometrickém objemu $45 \text{ cm}^3/\text{ot}$.

Pump Type	Capacity (cm ³ /rev)	Rated pressure (bar)	Maximum self-priming speed (rpm)
K3VL28	28	320	3,000
K3VL45	45	320	2,700
K3VL60	60	250	2,400
K3VL80	80	320	2,400
K3VL112	112	320	2,300
K3VL140	140	320	2,200
K3VL200	200	320	1,900
K3VL200H	200	320	2,200

Obrázek 32: Volba hydrogenerátoru z katalogu výrobce

(zdroj: [29])

Jako další bude počítáno množství kapaliny, které je hydrogenerátorem dodáváno za dobu cyklu V_T . [24]

$$V_T = Q_G \cdot T = 0,925 \cdot 10^{-3} \cdot 20 = 18,5 \cdot 10^{-3} m^3 = 18,5 \text{ dm}^3. \quad (19)$$

Objemy V_i odebrané zařízením v jednotlivých časových úsecích t_i . [24]

$$V_1 = Q_1 \cdot t_1 = 1 \cdot 10^{-3} \cdot 2 = 2 \cdot 10^{-3} m^3 = 2 dm^3, \quad (20)$$

$$V_2 = Q_2 \cdot t_2 = 3 \cdot 10^{-3} \cdot 2 = 6 \cdot 10^{-3} m^3 = 6 dm^3, \quad (21)$$

$$V_3 = Q_3 \cdot t_3 = 1,5 \cdot 10^{-3} \cdot 5 = 7,5 \cdot 10^{-3} m^3 = 7,5 dm^3, \quad (22)$$

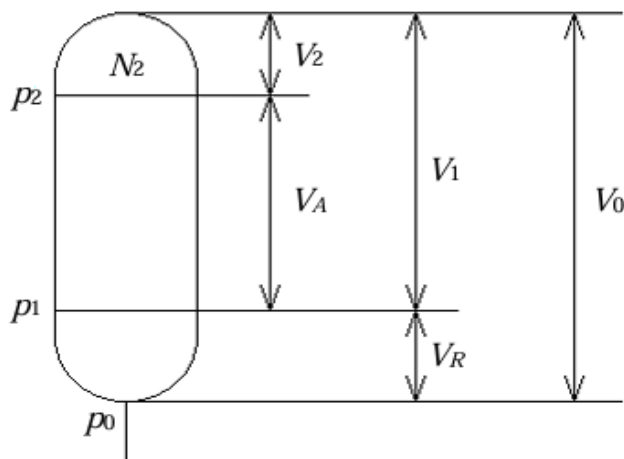
$$V_4 = Q_4 \cdot t_4 = 1,5 \cdot 10^{-3} \cdot 2 = 3 \cdot 10^{-3} m^3 = 3 dm^3. \quad (23)$$

Odebraný objem zařízením $\sum_{i=1}^n V_i$ musí být roven objemu dodanému hydrogenerátorem V_T .

Akumulátor musí být navržen tak, aby dokázal pokrýt rozdíl mezi středním průtokem hydrogenerátoru, okamžitým odběrem a stanovením užitečného objemu akumulátoru V_A , jako rozdíl maximální kladné a záporné odchylky ΔV (Obrázek 36). [24]

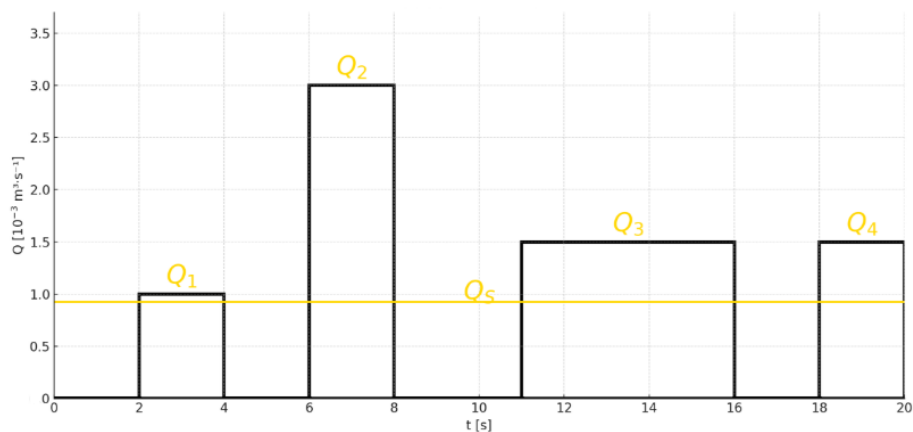
$$V_A = (3,4 + 0,8) \cdot 10^{-3} = 4,2 \cdot 10^{-3} m^3 = dm^3. \quad (24)$$

Pro zařízení s daným odběrovým diagramem bude navržen akumulátor pro kombinovaný pohon s hydrogenerátorem, kde pracovní tlak mechanismu $p_2 = 16$ MPa, dovolený minimální tlak $p_1 = 10$ MPa a polytropický exponent $n = (1,1 \div 1,4)$. [24]



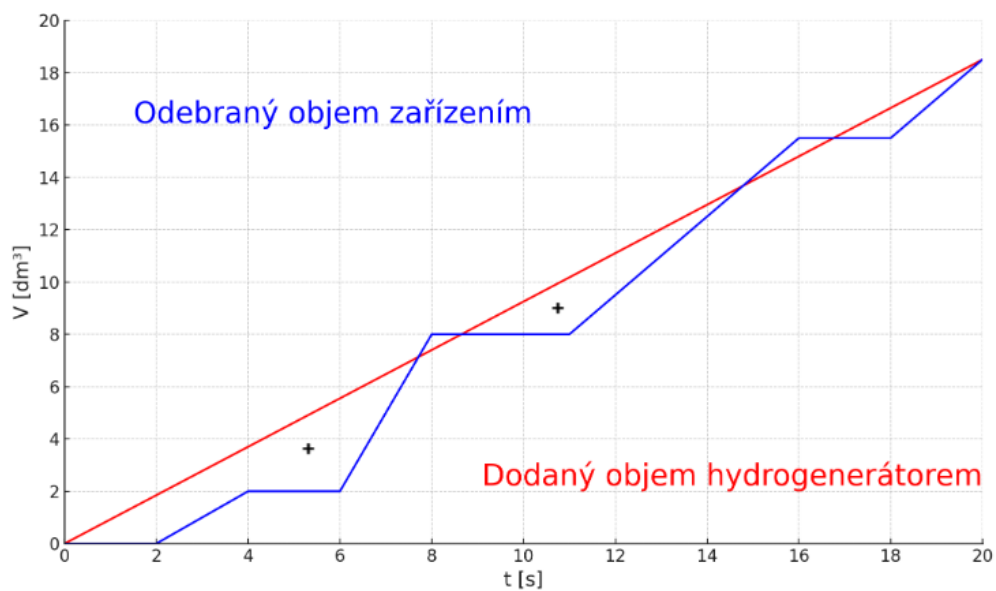
Obrázek 33: Pracovní cykly akumulátoru

(zdroj: [24])



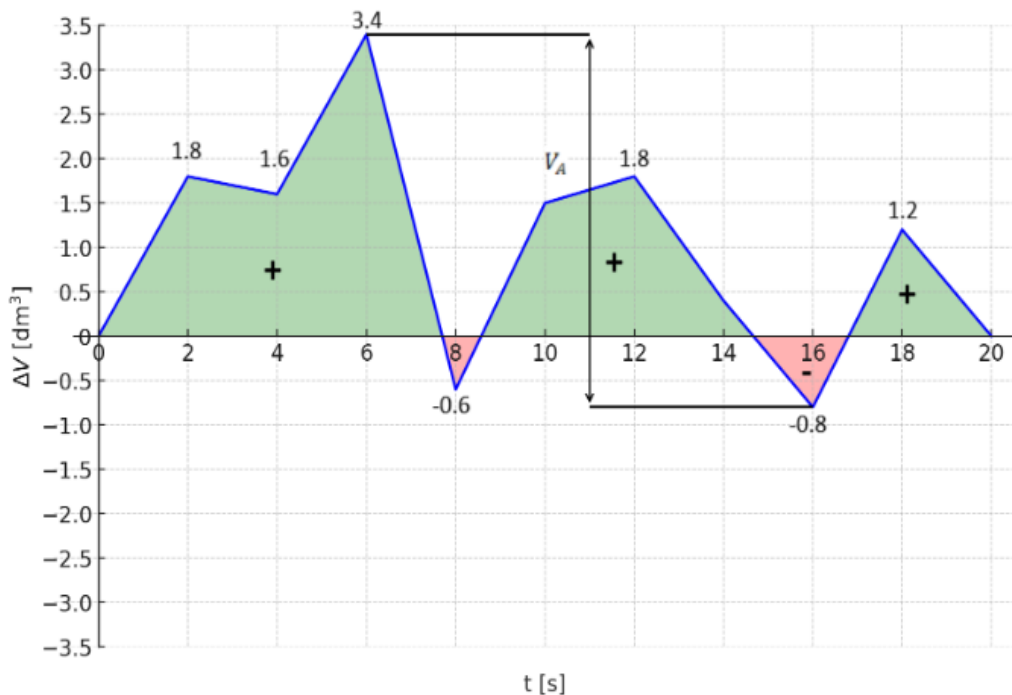
Obrázek 34: Odběrový diagram se středním průtokem

(zdroj: vlastní)



Obrázek 35: Odebraný a dodaný objem

(zdroj: vlastní)



Obrázek 36: Průběh plnění a vyprazdňování akumulátoru

(zdroj: vlastní)

Při předpokládané polytropické změně platí $p \cdot V^n = \text{konst.}$, polytropický exponent byl zvolen $n = 1,2$. Nyní je možno spočítat objem plynu V_2 v akumulátoru při maximálním (pracovním) tlaku v hydraulickém obvodu. [24]

$$V_2 = \frac{V_A}{\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{1}{n}} - 1} = \frac{4,2 \cdot 10^{-3}}{\left(\frac{16 \cdot 10^6}{10 \cdot 10^6}\right)^{\frac{1}{1,2}} - 1} = 8,76 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 = 8,76 \text{ dm}^3. \quad (25)$$

Objem plynu V_1 při minimálním tlaku v hydraulickém obvodu, lze vypočítat s využitím obrázku 34.

$$V_1 = V_2 + V_A = 8,76 \cdot 10^{-3} + 4,2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 = 12,96 \text{ dm}^3. \quad (26)$$

Akumulátor je volen z katalogu výrobce (Obrázek 37), je volen vakový akumulátor s označením SB40-20 firmy Hydac o jmenovitém objemu 20 dm³.

SB40-2.5 ... 50

Permitted operating pressure 40 bar (PED)

Nominal Volume [l]	Eff. gas volume [l]	Weight [kg]	A [mm]	B [mm]	C [mm]	Ø D [mm]	J thread ISO DIN 13	K thread ISO 228	SW [mm]	Q ¹⁾ [l/s]
2.5	2.5	9	541	122	68	108	M100x2	G 2	36	7
5	5	13	891			219				
10	9.3	14	533	106						
20	18	23	843							
32	33.5	38	1363							
50	48.6	52	1875	68 ²⁾						

1) Q = max. flow rate of operating fluid (at approx. 0,5 bar pressure drop via connection)

2) use C-spanner

Obrázek 37: Volba akumulátoru z katalogu výrobce

(zdroj: [30])

Na závěr je vypočítán rezervní objem akumulátoru V_R akumulátoru. Rezervní objem akumulátoru je praktickým bezpečnostním a provozním prvkem při dimenzování akumulátoru. Obvykle bývá stanoven jako podíl celkového objemu nebo jako minimální zůstatkový objem kapaliny při nejnižším pracovním tlaku.[25]

$$V_C = V_1 + V_R \rightarrow V_R = V_C - V_1 = 20 \cdot 10^{-3} - 12,96 \cdot 10^{-3} = 7,04 \cdot 10^{-3} m^3, \quad (27)$$

$$V_R = 7,04 dm^3.$$

ZÁVĚR

Cílem práce bylo navržení vhodného typu hydrogenerátoru a hydraulického akumulátoru pro dva a poté pro čtyři spotřebiče s nepravidelným odběrem. K tomu bylo nutné nejdříve stanovit základní parametry systému, zejména střední průtok hydrogenerátoru a celkové odběry jednotlivých zařízení za určitý čas. Ve výpočtech jsou zahrnuty analýzy odběrových diagramů, určení užitečných objemů, výběr vhodného typu hydrogenerátoru a akumulátoru z katalogu výrobce a na závěr stanovení rezervního objemu akumulátoru.

V obou případech byl na základě vypočítaných parametrů zvolen axiální pístový hydrogenerátor s označením K3VL45 od firmy Hydroma. V prvním případě byl počítán návrh akumulátoru pro dva spotřebiče, kde je vyhovující vakový akumulátor SB40-10 od firmy Hydac, který odpovídá daným požadavkům jak z hlediska pracovního tlaku, tak i objemové kapacity. V druhém případě, kde byl počítán návrh akumulátoru pro čtyři spotřebiče, byl volen vakový akumulátor SB40-20 od firmy Hydac, jelikož nám objem plynu při minimálním tlaku vyšel více než dvojnásobný oproti prvnímu případu. Rezervní objem byl určen podle provozních podmínek jako zajištění proti nadměrnému poklesu tlaku, čímž je zaručena spolehlivost a nepřetržitost hydraulického systému i při dočasném výpadku odběru.

Provedené výpočty a volba konkrétního typu hydrogenerátoru a akumulátoru ukazují, že správným návrhem lze dosáhnout efektivního vyrovnaní kolísavých odběrů a zajištění bezproblémového provozu hydraulických zařízení.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] PAVLOK, Bohuslav; HRUŽÍK, Lumír a BOVA, Miroslav. Hydraulická zařízení strojů. PDF. VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2007.
- [2] FOJTÁŠEK, Kamil; HRUŽÍK, Lumír; BUREČEK, Adam; STONAWSKI, Erik; DVOŘÁK, Lukáš a VAŠINA, Martin. Tekutinové mechanismy a hydraulické mechanismy. PDF. VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2022.
- [3] ŠKOPÁN, Miroslav. Hydraulické pohony strojů. PDF. VUT-Vysoké učení technické v Brně, 2009.
- [4] HOLDMEYER, D. Hydraulics: Accumulators and filters. *Tribology & Lubrication Technology*, 2023. Online. roč. 79, č. 8, s. 30–32. Dostupné z: <https://www.proquest.com/scholarly-journals/hydraulics-accumulators-filters/docview/2848497421/se-2>. [cit. 2025-02-04].
- [5] YAN, J., 2013. In: *Applied energy*. Elsevier, s. 262-270. ISBN 0306-2619.
- [6] KOPÁČEK, Jaroslav a PAVLOK, Bohuslav, 2011. *Tekutinové mechanismy*. 3. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava. ISBN 9788024824055.
- [7] PROKEŠ, Josef a VOSTROVSKÝ, Jiří, 1988. *Hydraulické a pneumatické mechanismy*. Redakce báňské a strojírenské literatury. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury.
- [8] PIVOŇKA, J. A KOL. Tekutinové mechanismy. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury.
- [9] PARKER. Accumulators, Accessories and Spares, 2014. Online. Wwww.seall.cz. Dostupné z: https://www.seall.cz/uploads/files/european-accumulator-catalogue/HY10-4004-GB_European_Accumulator_Catalogue_240114_v3_.pdf. [cit. 2025-05-12].
- [10] Čechura, M., Hlaváč, J., & Staněk, J. (2015). *Konstrukce tvářecích strojů: Učební texty pro bakalářské i navazující magisterské studium* PDF. Západočeská univerzita v Plzni. ISBN 978-80-261-0513-8.
- [11] ARTOBOLEVSKIJ, Ivan Ivanovič, 1960. *Hydraulické, pneumatické a elektrické mechanismy: příručka pro inženýry, konstruktéry a vynálezce. Přel. z rus. vyd. 2. vyd.* Praha: Státní nakladatelství technické literatury.

- [12]ARTOBOLEVSKIJ, Ivan Ivanovič, 1960. *Hydraulické mechanismy: příručka pro inženýry, konstruktéry a vynálezce. Přel. z rus. orig.* 2. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury.
- [13]OLAER. *Hydropneumatický vakový akumulátor*, 2016. Online. Dostupné z: <https://cdn.kovaz.cz/data/user-content/katalogy/Akumul%C3%A1tory%20a%20chladi%C4%8Dc/Souvisej%C3%ADc%C3%AD%20podklady%20k%20akumul%C3%A1tor%C5%AFm/Pou%C5%BEit%C3%AD%20vakov%C3%BDch%20akumul%C3%A1tor%C5%AF.pdf>. [cit. 2025-05-13].
- [14]Engineered Seal Products. (n.d.). *Bladder accumulators*. Engineered Seal Products, 2025. Online. <https://www.espint.com/products/bladder-accumulators> [cit. 2025-02-02].
- [15]Exner, H., Freitag, R., Geis, H., Lang, R., Oppolzer, J., Schwab, P., Sumpf, E., & Ostendorff, U. (1991). *Basic principles and components of fluid technology* (volume 1). Mannesmann Rexroth.
- [16]BOSCH REXROTH *Membránové akumulátory*, 2024. Online. Dostupné z: <https://store.boschrexroth.com/cs/cz/membranove-akumulatory>. [cit. 2025-05-12].
- [17]HYDAC Service GmbH. *Hydraulika – základy a komponenty*, 2013. Online. Sulzbach/Saar: HYDAC International GmbH. SAP-čís.: 3508590. Dostupné z: www.hydac.com. [cit. 2025-02-03].
- [18]KOGLER, Helmut. *The Hydraulic Buck Converter – Conceptual Study and Experiments*, 2012. Online. Disertační práce. Johannes Kepler University Linz, Institute of Machine Design and Hydraulic Drives. Dostupné z: <https://www.researchgate.net/publication/279186617>. [2025-02-05].
- [19]JOHNSON, Dan, 2010. *Hydraulic Hybrid Company Introduces Lightweight Hydraulic Accumulators for Vehicular and Other Applications*. Online. In: Green Car Congress. Dostupné z: <https://www.greencarcongress.com/2010/07/lightning-20100712.html>. [cit. 2025-03-03].
- [20]COMER. *Hydraulic accumulators-Pulsation damping and Anti noise*, 2019. Online. Dostupné z: <https://www.comer-italia.com/eng/applications-hydraulic-accumulators/pulsation-damping-anti-noise>. [cit. 2025-05-12].

- [21]HYDAC Technology GmbH. *Hydraulic dampers*, 2024. Online. Sulzbach/Saar: HYDAC Technology GmbH. Dostupné z: www.hydac.com. [cit. 2025-02-03].
- [22]KOVÁZ. *Plnění a kontrolní zařízení*, 2013. Online. Dostupné z: <https://www.kovaz.cz/plnici-a-kontrolni-zarizeni-pro-dusikove-akumulatory-vgu-f-25-250-8-ts3-3-250bar-20214122833-640519/>. [cit. 2025-05-13].
- [23]DREXLER, Peter et al. Příručka hydrauliky – Svazek 3 – Projektování a konstrukce hydraulických zařízení. Wertheim/Wartberg: Mannesmann Rexroth GmbH, 1988.
- [24]FOJTÁŠEK, Kamil, Lumír HRUŽÍK, Lukáš DVOŘÁK, Adam BUREČEK, Erik STONAWSKI a Martin VAŠINA. *Tekutinové mechanismy: Praktické úlohy a základy pneumatiky*. Ostrava: 2022. Studijní materiál.
- [25]BAROŠKA, Ján. *Hydrostatické mechanismy*. Žilina: Hydropneutech, 2012. ISBN 978-80 970897-2-6.
- [26]FREUDENBERG. *Sealing Technologies*, 2023. Online. Wwww.mmspektrum.com. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/membranove-akumulatory-freudenberg-tlumeni-razu-a-pulzaci-stabilizace-a-akumulace-hydraulicke-energie>. [cit. 2025-05-12].
- [27]PAVLOK, Bohuslav. *Hydraulické prvky a systémy. Díl 2. Řídicí prvky hydrostatických systémů. Příslušenství hydraulických obvodů*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2008. ISBN 978-80-248-1827-6.
- [28]BOSCH REXROTH. *Fluidní technika: průmyslová hydraulika – základy*. 3. doplněné vydání. Brno: Bosch Rexroth, spol. s.r.o. (školení a poradenství), 2012.23
- [29]HYDROMA. *Hydrogenerátor axiální pístový*, 2016. Online. Dostupné z: https://www.hydroma.cz/files/product/9/5/20202/data/104-K3VL_katalog.pdf. [cit. 2025-05-14].
- [30]HYDAC International. *Bladder Accumulators – Standard design*, 2011. Online. Sulzbach/Saar: HYDAC Technology GmbH. Dostupné z: https://www.hydac.com/shop/media/catalog/crossbase/PRD_DOC_PRO/PRD_DOC_PRO_3201-00001_SEN_AIN_V31.pdf. [cit. 2025-05-10].

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Diagram závislosti užitečného objemu a tlaku akumulátoru.....	13
Obrázek 2: Nanogram pro volbu velikosti akumulátoru.....	14
Obrázek 3: Plynový akumulátor s přímým stykem kapaliny a plynu	15
Obrázek 4: Pístový akumulátor.....	17
Obrázek 5: Mechanismus pístového akumulátoru	17
Obrázek 6: Vakový akumulátor	19
Obrázek 7: Membránový válcový akumulátor.....	20
Obrázek 8: Mechanismus pružinového akumulátoru.....	21
Obrázek 9: Pružinový akumulátor	21
Obrázek 10: Schéma závažového akumulátoru	22
Obrázek 11: Schéma akumulátoru s kovovým měčem	23
Obrázek 12: Konstrukce odlehčeného hydraulického akumulátoru	24
Obrázek 13: Porovnání pulzací	25
Obrázek 14: Stabilizátor sacího průtoku	26
Obrázek 15: Kapalinový tlumič zvuku	27
Obrázek 16: Schématické sestavení plnicího a zkušebního zařízení	29
Obrázek 17: Plnicí sada VGU	30
Obrázek 18: Akumulace energie pro nouzovou funkci hydraulických válců	32
Obrázek 19: Objemová kompenzace jako kompenzace prosáklého oleje	33
Obrázek 20: Tlumení pulzací na objemovém čerpadle.....	34
Obrázek 21: Vyvažování hmotné zátěže akumulátorem.....	35
Obrázek 22: Tlumení tlakových rázů.....	35
Obrázek 23: Pokrytí odběru více spotřebičů s různou spotřebou	37
Obrázek 24: Odběrový diagram	38
Obrázek 25: Volba hydrogenerátoru z katalogu výrobce	39
Obrázek 26: Pracovní cykly akumulátoru.....	40
Obrázek 27: Odběrový diagram se středním průtokem	41
Obrázek 28: Odebraný a dodaný objem.....	41
Obrázek 29: Průběh plnění a vyprazdňování akumulátoru	42
Obrázek 30: Volba akumulátoru z katalogu výrobce.....	43
Obrázek 31: Odběrový diagram	44
Obrázek 32: Volba hydrogenerátoru z katalogu výrobce	45
Obrázek 33: Pracovní cykly akumulátoru.....	46
Obrázek 34: Odběrový diagram se středním průtokem	47

Obrázek 35: Odebraný a dodaný objem	47
Obrázek 36: Průběh plnění a vyprazdňování akumulátoru.....	48
Obrázek 37: Volba akumulátoru z katalogu výrobce	49

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Hodnoty exponentu n	18
Tabulka 2: Základní parametry akumulátorů.....	28

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Δp	[MPa]	Rozdíl tlaku
ΔV	[m ³]	Rozdíl objemu
α_p	[-]	Součinitel rozpustnosti plynu v kapalině
η	[%]	Účinnost
n	[-]	Polytropický exponent
n	[ot/min ⁻¹]	Otáčky elektromotoru
p	[MPa]	Absolutní tlak nad hladinou
p_0	[MPa]	Atmosférický tlak (absolutní)
p_1	[MPa]	Minimální tlak v akumulátoru
p_2	[MPa]	Maximální tlak v akumulátoru
Q_1	[m ³ · s ⁻¹]	Objemový průtok v úseku 1
Q_2	[m ³ · s ⁻¹]	Objemový průtok v úseku 2
Q_3	[m ³ · s ⁻¹]	Objemový průtok v úseku 3
Q_4	[m ³ · s ⁻¹]	Objemový průtok v úseku 4
Q_G	[m ³ · s ⁻¹]	Geometrický průtok hydrogenerátoru
Q_S	[m ³ · s ⁻¹]	Střední objemový průtok hydrogenerátoru
T	[s]	Doba periody
t_1	[s]	Doba odběru v úseku 1
t_2	[s]	Doba odběru v úseku 2
t_3	[s]	Doba odběru v úseku 3
t_4	[s]	Doba odběru v úseku 4
V	[m ³]	Objem akumulátoru zaplněný kapalinou
V_1	[m ³]	Odebraný objem zařízením v úseku 1
V_2	[m ³]	Odebraný objem zařízením v úseku 2

V_3	$[m^3]$	Odebraný objem zařízením v úseku 3
V_4	$[m^3]$	Odebraný objem zařízením v úseku 4
V_A	$[m^3]$	Užitečný objem akumulátoru
V_C	$[m^3]$	Celkový objem akumulátoru
V_G	$[m^3/ot]$	Geometrický objem akumulátoru
$V_{G/95}$	$[m^3/ot]$	Geometrický objem akumulátoru při účinnosti 95 %
V_K	$[m^3]$	Objem kapaliny v akumulátoru
V_P	$[m^3]$	Objem rozpuštěného plynu
V_R	$[m^3]$	Rezervní objem akumulátoru
V_T	$[m^3]$	Množství kapaliny dodané hydrogenerátorem za dobu cyklu