



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV KONSTRUOVÁNÍ

INSTITUTE OF MACHINE AND INDUSTRIAL DESIGN

**DIAGONÁLNÍ PONORNÉ VODNÍ ČERPADLO S
HYDROSTATICKÝM POHONEM**

MIXED-FLOW SUBMERSIBLE WATER PUMP DRIVEN BY HYDROSTATIC MOTOR

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Marcel Para

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. RNDr. Ing. Josef Nevrlý, CSc.

BRNO 2016

Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav konstruování
Student:	Marcel Para
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce:	prof. RNDr. Ing. Josef Nevrlý, CSc.
Akademický rok:	2016/17

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

Diagonální ponorné vodní čerpadlo s hydrostatickým pohonem

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Problematika daného úkolu souvisí se návrhem obojživelného vozidla u něhož je třeba řešit pohon. Ten bude proveden pomocí diagonálního ponorného vodního čerpadla s hydrostatickým pohonem. Uvažované čerpadlo bude mít tyto parametry: $Q=150$ l/s, $H=50$ m, $n=2950$ 1/min, $P=105$ kW, $\eta_a=0,7$.

Typ práce: rešeršní

Cíle bakalářské práce:

Hlavním cílem práce je studie návrhu diagonálního ponorného vodního čerpadla s hydrostatickým pohonem s danými parametry. Navržené čerpadlo bude sloužit k pohonu obojživelného vozidla.

Díličí cíle bakalářské práce:

1. rešerše současného stavu poznání v dané oblasti,
2. analýza vlastností odpovídajících diagonálních ponorných vodních čerpadel a hydrostatických pohonů z hlediska jejich budoucího společného použití,
3. výběr vhodné kombinace komponent zahrnující technické i ekonomické hledisko.

Požadované výstupy: průvodní zpráva.

Rozsah práce: cca 27 000 znaků (15 - 20 stran textu bez obrázků).

Struktura práce a šablona průvodní zprávy jsou závazné:

http://dokumenty.uk.fme.vutbr.cz/BP_DP/Zasady_VSKP_2017.pdf

Seznam doporučené literatury:

BLAHA, J. and BRADA, K. Hydraulické stroje. Praha, SNTL,1992.

Fakulta strojního inženýrství, Vysoké učení technické v Brně / Technická 2896/2 / 616 69 / Brno

83-7085-848-1.

NEVRLÝ, J. Ponorná čerpací jednotka s hydromotorem nevyžadujícím samostatný odvod lekáže. Brno, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství Grantový projekt FT-TA/099, VUT-EU133003, 2006.

PIVOŇKA, J. et al. Tekutinové mechanismy. Praha, SNTL, 1985.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Martin Hartl, Ph.D.
ředitel ústavu

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

ABSTRAKT

Bakalárska práca rieši problém ponorného, diagonálneho čerpadla s hydrostatickým pohonom. Popisuje základné princípy hydrauliky a hýrdaulických prvkov. V bakalárskej práci sa zisťuje možnosť zapojenia hydrostatického systému ako pohon obojživelného vozidla. Práca je písaná v spolupráci so zadávateľom CENTROM HYDRAULICKÉHO VÝSKUMU, spol. s.r.o., ktorá je súčasťou SPL Holding., a.s.

KLÍČOVÉ SLOVÁ

Hydrostatický pohon, ponorné, čerpadlo, hydraulický, diagonálny, hydrodynamika, hydromotor, hydrogenerátor, obojživelné vozidlo

ABSTRACT

Bachelor thesis solves the problem of a submersible, diagonal hydrostatic pump. This study describes the basic principles of hydraulics and equipment. The possibility of engaging the hydrostatic system as an amphibious vehicle is investigated in the Bachelor thesis. The work is written in cooperation with the sponsor of HYDRAULIC RESEARCH CENTRE, spol. S.r.o., which is part of SPL Holding., Inc.

KEY WORDS

Hydrostatic drive, submersible, pump, hydraulic, diagonal, hydrodynamics, hydromotor, hydrogenerator, amphibious vehicle

BIBLIOGRAFICKÁ CITÁCIA

PARA, M. *Diagonální ponorné vodní čerpadlo s hydrostatickým pohonom*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2017. 43 s. Vedoucí bakalářské práce prof. RNDr. Ing. Josef Nevrlý, CSc.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením
vedoucího práce prof. RNDr. Ing. Josefa Nevrlého, CSc. a uvedl v seznamu
použitých zdrojů všechny literární a jiné zdroje.
V Brně 19. května 2017

.....
Marcel Para

POĎAKOVANIE

Týmto by som chcel poďakovať vedúcemu tejto bakalárskej práce prof. RNDr. Ing. Josefovi Nevrlému, CSc. a zamestnancom firmy CENTRUM HYDRAULICKÉHO VÝZKUMU, spol. s r.o. za cenné rady a pripomienky pri tvorbe tejto bakalárskej práce.

OBSAH

ÚVOD

1. Analýza a cieľ práce	14
2. Prehľad súčasného stavu poznania	15
2.1. Rozdelenie čerpadiel	15
2.1.1. Hydrodynamické čerpadlá	15
2.1.2. Hydrostatické čerpadlá	17
2.2. Hydromechanika	18
2.2.1. Základné vlastnosti kvapalín	19
2.2.2. Základné zákony hydromechaniky	20
2.3. Hydrostatický pohon	21
2.4. Konštrukčné prevedenie	22
2.4.1. Zátťaž (čerpadlo)	23
2.4.2. Hydromotor	24
2.4.3. Hydrogenerátor	25
2.4.4. Kvapalina	26
2.4.5. Prenosové kanály	27
2.5. Celková podoba sústavy	28
3. Diskusia	30
3.1. Využitie na trhu	30
3.1.1. Hasičská technika	30
3.1.2. Obojživelné vozidlo	32
3.2. Prieskum trhu	34
3.2.1. Hydromotor	34
3.2.2. Hydrogenerátor	35
3.2.3. Pohonná jednotka	37
4. Záver	38
Zoznam použitých veličín	39
Zoznam obrázkov a tabuliek	40
Zoznam príloh	41

ÚVOD

Táto bakalárska práca sa venuje problematike diagonálneho ponorného čerpadla s hydrostatickým pohonom. Práca je písaná v spolupráci so zadávateľom CENTROM HYDRAULICKÉHO VÝSKUMU, spol. s.r.o., ktorá je súčasťou SPL Holding., a.s.

Čerpadlo obecné slúži na prepravu tekutých látok, podľa toho ho nazývame hydraulickým. Je to mechanický stroj, dodávajúci energiu tekutine, ktorá cez neho preteká. Poháňané býva vždy iným strojom, spravidla motorom. Často sa používajú elektromotory ale taktiež môže mať hydraulický pohon. V tejto bakalárskej práci sa budem konkrétne zaoberať hydrodynamickým čerpadlom s hydrostatickým pohonom.

História čerpadiel siaha až do staroveku. Ich pôvodné použitie slúžilo na prepravu vody z jedného miesta na druhé, čo sa zväčša využívalo na zavlažovanie. Ako šiel čas ďalej tak sa využitie, druhy a konštrukčné prevedenia menili a vznikali nové typy čerpadiel. K najväčšiemu rozvoju došlo počas druhej svetovej vojny, kedy sa okrem vody začali čerpadlá používať aj iné médiá ako je napríklad olej. To spôsobilo väčšiu trvanlivosť čerpadiel z dôvodu samomazania.

Čerpadlá sú v dnešnej dobe veľmi často používaným zariadením. Používajú sa ako v domácnostiach, tak aj v rôznych odvetviach priemyslu a to napríklad v jadrovej a tepelnej energetike, takisto v chemickom a priemyselno-potravinárskom priemysle. Často sa využívajú čerpadlá s presným dávkovaním pre dopravu pitnej vody, zalievání rastlín. Takisto majú využitie pri čerpaní spodných vôd alebo usadenín z dna nádrže.

1. ANALÝZA PROBLÉMU A CIEĽ PRÁCE

1

Táto práca je rešeršná a zaoberá sa problémom hydrostatických pohonov a čerpadiel. Na začiatku práce sú rozobrané jednotlivé typy čerpadiel. Tieto čerpadlá sa využívajú v hydrostatických pohonoch tak ako hydrogenerátory, tak aj hydromotory. Problematika danej úlohy súvisí s návrhom obojživelného vozidla, u ktorého je treba vyriešiť pohon. Tento pohon by malo zabezpečovať diagonálne ponorné vodné čerpadlo s hydrostatickým pohonom so zadanými parametrami. Pri návrhu tohto systému je nevyhnutné poznať základné princípy a zákony. Tieto systémy pracujú s tekutinami, preto je potrebné poznať vlastnosti kvapalín, ktorým je venovaná jedna z kapitol tejto bakalárskej práce. Aby boli splnené požiadavky na tento systém, je nutné spraviť niekoľko prepočtov, aby bolo jednoznačné, že systém bude funkčný a bude dosahovať požadované výsledky.

2. PREHĽAD SÚČASNÉHO STAVU POZNANIA

2

2.1. Rozdelenie čerpadiel

2.1

Rozdelenie podľa energie

Základné rozdelenie čerpadiel je na hydrostatické a hydrodynamické vzhľadom k prevládajúcej zložke energie. Celková energia tekutiny sa vyjadri ako súčet energie polohovej (gravitačnej) W_g , tlakovej W_p , kinetickej W_k , deformačnej W_{df} , a energie tepelnej W_T . To znamená že $W=W_g+W_p+W_k+W_{df}+W_T$ pričom všetky tieto zložky sú zastúpené. Deformačná energia je zanedbateľná vzhľadom na nízku stlačiteľnosť vody. Gravitačnú energiu môžeme zanedbať z dôvodu nízkych výškových rozdielov medzi vstupom a výstupom. Energiu tepelnú nemusíme taktiež brať do úvahy, pretože teplota pracovnej kvapaliny je pri práci hydraulického mechanizmu v celom pracovnom obvode málo rozdielna. Z toho vyplýva, že hlavné formy energie sú tlaková a kinetická. Podľa toho, ktorá z nich prevláda, rozdeľujeme mechanizmy na hydrostatické a hydrodynamické. Hydrostatické čerpadlá pracujú prevažne s energiou tlakovou. Hydrodynamické, naopak, s energiou kinetickou.

Je tiež možno používať kombinácie čerpadiel rovnakých alebo rozdielnych konštrukčných prevedení, zapojené sériovo alebo paralelne. Tieto čerpadlá sa nazývajú kombinované[2].

2.1.1. Hydrodynamické čerpadlá

Hydrodynamické čerpadlá sú čerpadlá, kde prevláda kinetická zložka energiu W_k .

Pričom platí: $W_k = \frac{1}{2} * m * v^2 = \frac{1}{2} * \rho * V * v^2$

2.1.1.

Z toho vyplýva, že energia, prenášaná tekutinou, závisí od jej hmotnosti ale taktiež výrazne na rýchlosti pohybu tekutiny.

Rozdelenie hydrodynamických čerpadiel:

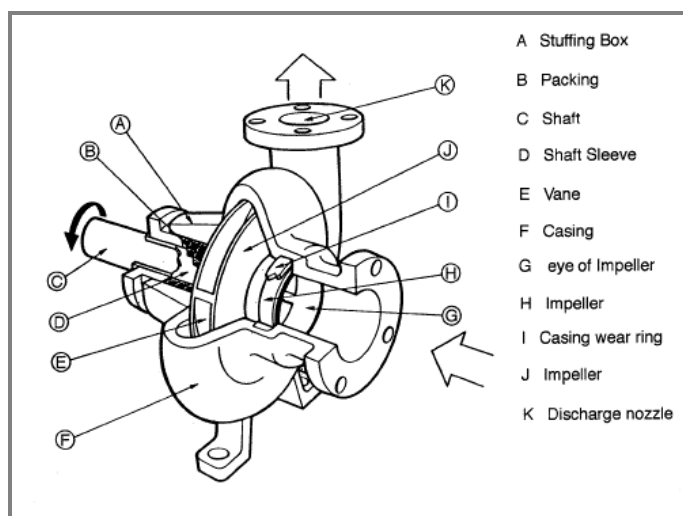
- a) odstredivé
 - diagonálne
 - radiálne
- b) axiálne
- c) obvodové
- d) labyrintové

Odstredivé čerpadlá

Odstredivé čerpadlá, tak ako už prezrádza názov, využívajú odstredivú silu na zrýchlenie čerpanej kvapaliny. Hlavné časti sú zobrazené na obrázku (obr.1). Princíp je jednoduchý. Kvapalina je nasávaná v oblasti hriadeľa a dostáva sa do čerpadla v oblasti osi rotora. Kvapalina je v špirálovej skrini roztočená lopatkami po jej obvode pričom naberá odstredivú silu, ktorá ju vymrští do výstupného otvoru. Kvapalina je následne brzdená čím sa mení jej nadobudnutá kinetická energia na tlakovú.

Odstredivé čerpadlá majú jednoduchú konštrukciu, nepoužívajú sa ventily takže je možné prečerpávať aj suspenzie. Výhodou je taktiež, že medzi hnací motor a čerpadlo nie je nutné zakomponovať spojku.

Tieto čerpadlá majú vysoký prietok a to až okolo 20 000 litrov za minútu, takisto dosahujú vysoké otáčky, okolo 3000 ot/min. Výtlak majú až do 100 metrov[5].



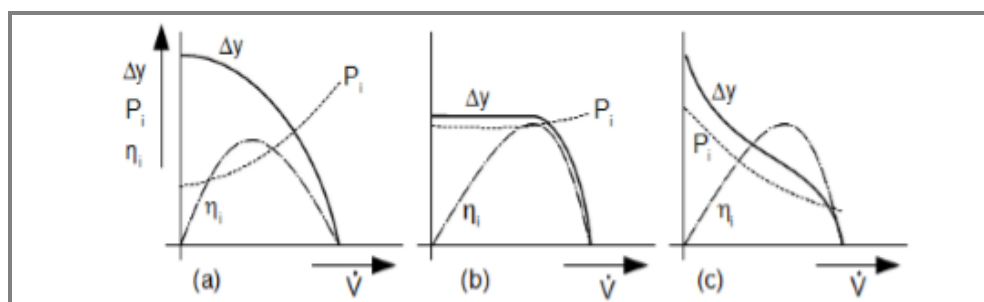
Obr.1, Odstredivé čerpadlo

Rozdelenie:

- radiálne - kvapalina vstupuje do obehového kola rovnobežne s osou hriadeľa a vystupuje kolmo k ose otáčania.
- diagonálne - do diagonálneho odstredivého čerpadla vstupuje kvapalina axiálne v smere osi otáčania špirály a vystupuje diagonálne (šikmo k ose otáčania)

Axiálne čerpadlá

Axiálne čerpadlá čerpajú priamo v axiálnom smere. To znamená, že kvapalina prichádza v smere osi hriadeľa a v tom istom smere odchádza. Na hriadeli je pevne naviazané obežné koleso. Obežné koleso má minimálne dve lopatky. Lopatky sú nastaviteľné alebo na pevno. Ak sú lopatky obežného kolesa široké, prekrývajú sa aspoň čiastočne v axiálnom smere a tak z nich vzniká skrutkové axiálne koleso. Ak sú ale lopatky úzke, potom sa už neprekrývajú a nevzniknú medzi nimi kanále. Potom má obežné koleso tvar vrtule. V tom prípade pracuje každá lopatka v prúde samostatne bez zreteľa na vzdialenosť druhej lopatky, a preto musí byť samostatne riešená. Čerpadlá axiálne môžu dosiahnuť väčšiu účinnosť ako odstredivé čerpadlá a to až do 90%. Sú schopné čerpať veľké prietoky, ale len do malých výšok[4][5].



Obr. 2, Porovnanie typu hydrodynamických čerpadel; (a) radiálne; (b) diagonálne; (c) axiálne

Obvodové čerpadlá

Obvodové čerpadlá (niekedy aj čerpadla vírivé) sú čerpadlá, kde kvapalina vstupuje aj vystupuje z obežného kola spravidla iba na časti obvodu. Tieto čerpadlá sa často používajú v potravinárskom priemysle na čerpanie ľahkých kvapalín a palív s nízkou viskozitou[5].

Labyrintové čerpadlá

Labyrintové čerpadlá sú tie čerpadlá, v ktorých kvapalina prichádza aj odchádza v smere medzery medzi rotorom a statorom. V jeho špirálových drážkach (labyrintoch) dochádza k zvyšovaniu tlaku[5].

2.1.2. Hydrostatické čerpadlá

Hydrostatické čerpadlá pracujú prevažne s energiou tlakovou W_p . Potenciálna (tlaková) zložka energie je daná priamym pôsobením tlaku P na plochu činného prvku S . Pri konštantnej sile (to znamená aj konštantnom tlaku) platí že $W_p = V * P$. Veľkosť prenášanej energie teda závisí od objemu a tlaku pôsobiaceho na kvapalinu[2][5].

Rozdelenie hydrostatických čerpadiel:

- a) rotačné
 - zubové
 - lamelové
 - vretenové
 - s rotujúcimi piestami
 - s odvažujúcimi sa piestami
- b) peristaltické
 - hadicové
- c) s kmitavým pohybom
 - siestové
 - plunžrové
 - vlnovcové
 - membránové
 - krídlové

Rotačné čerpadlá

Rotačné čerpadlá (objemové) prepravujú kvapalinu točivým (rotačným) pohybom činnej časti rotoru. Behom otáčky sa kvapalina nachádza v uzavretom priestore. To znamená, že počas otáčky nedochádza k vtoku ani výtoku za predpokladu ideálneho tesnenia. Teoreticky platí, že objem prenesenej kvapaliny na jednu otáčku je konštantný. Tieto čerpadlá vykonávajú spojitý rotačný pohyb a presúvajú kvapaliny zo sacieho priestoru do priestoru výtláčného. Čerpanie kvapaliny je rovnomerné. Konštrukcia umožňuje vysoké otáčky a priame prepojenie s elektromotorom.

Použitie:

Na dopravu menších objemov pri vysokých tlakoch. Používajú sa na pri dopravu olejov vo vysokotlakovej hydraulike[2][5].

Rozdelenie

- zubové
- lamelové
- vretenové
- s rotujúcimi piestami
- s odvaľujúcimi piestami

Peristaltické čerpadlá

Princíp práce peristaltického (hadicového) čerpadla spočíva v elasticite a zapamätateľnosti materiálu, z ktorého je vyrobená hadica. Pri otáčaní rotoru je táto hadica postupne uvoľňovaná a stlačovaná. Menší objem kvapaliny ostane uzatvorený a je vytlačovaný v smere rotácie lopatky. Následne vzniká podtlak a to spôsobuje ďalšie nasávanie. Výhodou peristaltického čerpadla je jeho jednoduchá konštrukcia a to, že čerpaná kvapalina prichádza do styku len s hadicou.

Tieto čerpadlá sa používajú v zdravotníctve, kde je potreba presného dávkovania[2].

Čerpadlá s kmitavým pohybom

Čerpadlá s kmitavým pohybom sú čerpadlá, ktoré dopravujú kvapalinu pomocou vratného kmitavého pohybu, ktoré robí činná časť čerpadla. Podľa tvaru činnej časti vieme tieto čerpadlá rozdeliť na :

- *Čerpadlá piestové* - kvapalina je prepravovaná osovým pohybom jedného alebo viacerých piestov čerpadla
- *Čerpadlá plunžrové* - kvapalina je prepravovaná pomocou plunžrov, plunžr je druh piestu s jednoduchou konštrukciou
- *Čerpadlá membránové* – kvapalina je prepravovaná pomocou membrány, ktorá kmitá
- *čerpadlá vlnocové* - kvapalina sa dopravuje pomocou pohybu vlnovca
- *čerpadlá krídlové* - tekutina je pomocou pohybu krídla[2]

2.2. Hydromechanika

Táto bakalárska práca sa opiera o hydromechaniku. Hydromechanika kvapalín a plynov (prípadne par) je časťou obecnej mechaniky, zahrňujúc aj mechaniku tuhých telies. Zaoberá sa rovnováhou síl v pokoji v hydrostatike a za pohybu v hydrodynamike. Pri skúmaní tohto pohybu sa používa mnoho poznatkov a zákonitostí z mechaniky tuhých telies. Ďalej sa využíva teória hydraulického podobnosti a experimentálnych výsledkov, získaných na modelových skúšobných staniciach[10].

2.2.1. Základné vlastnosti kvapalínPovrchové napätie:

•Vzniká v tenkej vrstve na rozhraní látok a môže byť definované ako energia vrstvy molekúl kvapaliny „W“ na rozhraní s inou látkou na jednotku plochy „S“

$$\sigma = W/S$$

• Alebo je možná aj iná definícia a to: povrchové napätie je dané pomerom elementárnych zložiek prítlačlivých medzimolekulárnych tečných síl „dF“ a dĺžky rozhrania „dl“

$$\sigma = dF/dl$$

Kapilarita:

Kapilarita je schopnosť kvapaliny zdvíhať sa alebo klesať v tenkej trubici tzv. kapiláre.

Tlak:

Je silový účinok molekúl na jednotku plochy, respektíve tlak je sila pôsobiaca na jednotku plochy v smere normály.

$$P=dF/dS$$

Teplota:

Teplota je priamoúmerná kinetickej energii molekúl kvapaliny.

Hustota a merný objem:

Hustota je hmotnosť objemovej kvapaliny a je jej fyzikálnou konštantou. Spravidla sa v termomechanike používa obrátená hodnota hustoty a nazýva sa „merný objem“

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{dm}{dV}$$

Súčiniteľ objemovej stlačiteľnosti:

Tento súčiniteľ „ δ “ je definovaný uvažovanou relatívnou zmenou objemu „ $\Delta V/V$ “ podelenú zmenou tlaku „ Δp “, pri izotermickej premene (tzn. pri konštantnej teplote $T=\text{konst}$)

$$\delta = -\frac{1}{V} \left(\frac{dV}{dp} \right) \approx \frac{\Delta V}{V \cdot \Delta p}$$

Modul objemovej pružnosti kvapaliny:

Modul pružnosti je daný prevrátenou hodnotou súčiniteľa stlačiteľnosti kvapaliny

$$K = \frac{1}{\delta} = \frac{V \cdot \Delta p}{\Delta V}$$

Teoretická rýchlosť šírenia zvuku v kapaline:

$$a_t = \sqrt{\frac{K}{\rho}} = \sqrt{\frac{dp}{d\rho}}$$

Teplotná roztlačnosť:

Teplotná roztlačnosť je schopnosť kvapaliny pri zahriatí zvýšiť svoj objem

$$\beta = \frac{1}{V} \left(\frac{\Delta V}{\Delta t} \right)_{p=\text{konst}}$$

Trecie napätie, dynamická a kinematická viskozita kvapaliny:

Obecná sila „F“ pôsobiaca na plochu „S“ má tečnú zložku sily „F_t“, ktorá vyvoláva tečné napätie a spôsobuje v kvapaline posun častíc. Podľa Newtonovho zákona platí pre tečné napätie na stene elementárneho hranola o výške „h“ vzťah:

$$\tau = \frac{dF_t}{dS} = \eta \cdot \frac{dv}{dh}$$

Dynamická viskozita - je všeobecne závislá na stavových veličinách tlaku a teploty kvapaliny, pričom s rastúcou teplotou klesá a závislosť na tlaku je zanedbateľná. Pretože v rozmere "η" sa vyskytuje jednotka sily, nazýva sa táto viskozita dynamická.

Ak je "η = konšt", tzn. že sa nemení v závislosti na tangenciálnom napätí, hovoríme o newtonskej kvapaline. Ak je "η = f (τ; dv / dn)" jedná sa o neneutronovské kvapaliny.

Kinematická viskozita - je umelo zavedená fyzikálna veličina, pričom jej názov kinematická vychádza z toho, že v jej rozmere sú kinematické veličiny (dráha a čas). Kinematická viskozita je definovaná vzťahom

$$\nu = \frac{\eta}{\rho}$$

2.2.2. Základné zákony hydromechaniky

Aby bolo možné navrhnuť riešenie problému je treba vypočítať všetky parametre potrebné na vytvorenie návrhu. Na to, aby sme zistili tieto parametre (napr. Vstupný a vstupný tlak, krútiaci moment, otáčky, pretok...) jednotlivých komponentov, je nutné poznať základné zákony hydromechaniky.

Pascalov zákon

Pascalov zákon je základom hydraulických zariadení, ktoré využívajú prenos tlaku tzn. Hydrostatické. Napríklad hydraulické lisy, prevody, zdviháky. Pascalov zákon hovorí o *prenose tlaku* do ľubovoľného miesta v kvapaline, pričom sa tlak nikde nestráca. Prenos tlaku je umožnený pohybom častíc kvapaliny a rozkladom vzájomných síl medzi nimi do všetkých smerov.

$$p = \frac{F_1}{S_1} = \frac{F_2}{S_2} = \text{konst}$$

2.2.2.

Rovnica kontinuity

Vyjadruje obecný zákon zachovania hmotnosti:

$$Q = S \cdot v = \text{konst}$$
$$\text{resp.: } S_1 \cdot v_1 = S_2 \cdot v_2$$

Bernoulliho rovnice

Predstavuje zákon zachovania energie hmotnostnej jednotky.

Pre ustálené prúdenie ideálnej tekutiny za pôsobenia tiažového zrýchlenia na prúdnicu platí:

$$\frac{v^2}{2} + \frac{p}{\rho} + g \cdot h = \text{konst}$$

Eulerova rovnica hydrodynamiky

Eulerova rovnica pre prúdenie ideálnej tekutiny vyjadruje rovnováhu síl hmotnostných (objemových), ktoré pôsobia na tekutinu zvonku, tlakových (pôsobiacich v tekutine) a zotrvačných od vlastného pohybu častíc dokonalej tekutiny.

$$\frac{D\vec{v}}{Dt} = \frac{\partial\vec{v}}{\partial t} + (\vec{v} \cdot \text{grad}) \cdot \vec{v} = \vec{a} - \frac{1}{\rho} \text{grad } p$$

Eulerova rovnice hydrostatiky:

$$\frac{D\vec{v}}{Dt} = 0$$
$$\vec{a} - \frac{1}{\rho} \text{grad } p = 0$$

2.3. Hydrostatický pohon

2.3.

Prenos výkonu u hydrostatického pohonu je zaisťovaný pomocou tlakovej energie kvapaliny. Prenášaný výkon môžeme vypočítať zo vzťahu:

$$P = Q \cdot p$$

Hydrostatický prevod sa dá charakterizovať ako zdroj tlakovej energie pomocou hydrogenerátora, prenosových kanálov, riadiacich a poistných prvkov a hydromotoru. Hydrostatické prevody sú konštruované tak, aby mali čo najväčší výkon pri najnižších nákladoch, rozmeroch, malú údržbu a malú náchylnosť na okolité vplyvy. Účinnosť hydrostatických systémov sa zväčša pohybuje od 0,8 do 0,9.

Výhody hydrostatických prevodov:

- Umožňujú plynulú zmenu výstupných otáčok v širokom rozsahu
- Sú schopné stálej činnosti pri veľmi nízkych otáčkach a plnom krútiacom momente
- Sú schopné ľahko zmeniť zmysel otáčania
- Majú ochranu proti preťaženiu v podobe prepúšťajúceho ventilu v hydraulickom obvode, ktorý zároveň obmedzuje zaťaženie všetkých jednotiek aj hnacieho motoru, a jeho nastavený maximálny tlak určuje maximálny krútiaci moment na hriadelí hydromotora.
- Disponujú veľmi malými zotrvačnými silami a z toho dôvodu majú veľmi dobrú rýchlosť reakcie.
- Je možné plynulo zvyšovať otáčky od nuly, pri využití najvyššieho krútiaceho momentu.
- Môžu byť volené v širokom rozsahu veľkostí a kombinácií jak hydromotor, tak generátor s premennými alebo konštantným pracovným objemom.
- Vzájomný pohyb jednotiek dovoľuje použitie hadíc k prenášaní tlakovej kvapaliny.
- Jednotky je možné umiestniť čo najvýhodnejšie z hľadiska funkcie, pretože nie sú na seba viazané mechanickou väzbou.

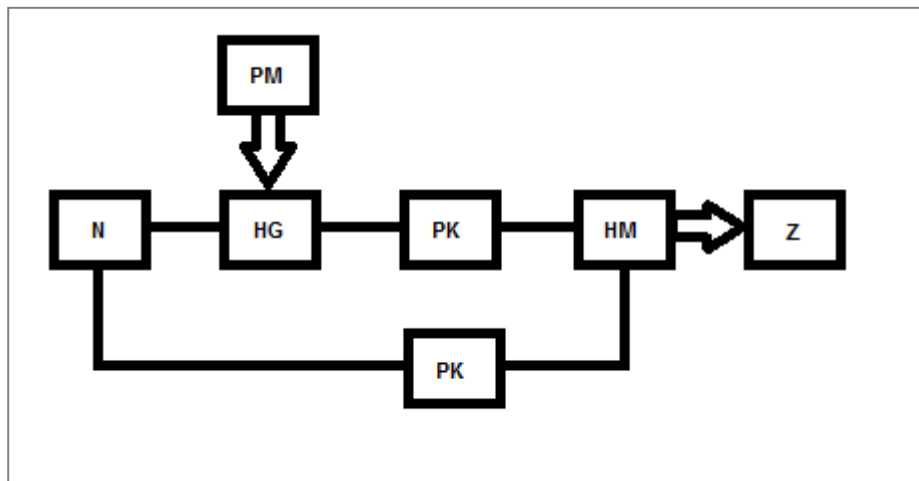
Nevýhody hydrostatických prevodov:

- Zhoršenie prenosu energie zapríčiňuje vysoké straty, k zníženiu strát pracovnej kvapaliny je potrebná veľmi presná výroba súčiastok a kvalitná prevádzková údržba.
- Ovládacie orgány hydrostatického prevodu pracujú s nízkymi prietokmi, a preto sú citlivé na nečistoty v pracovnej kvapaline.
- Hydrostatické prevody sú cenovo nákladnejšie než mechanické prevody
- Hydrostatické prevody majú voči mechanickým nižšiu životnosť a účinnosť

2.4. Konštrukčné prevedenie

Cieľ práce je štúdiá návrhu diagonálneho ponorného čerpadla s hydrostatickým pohonom s týmito parametrami: $Q=150$ l/s, $H=150$ m, $n=2950$ 1/min, $P=105$ kW, $\eta_a=0,7$.

Zo zadania vyplýva že problematika nezahŕňa len čerpadlo samotné, ale celý tekutinový systém vrátane externého dieselového motora a jeho prevediteľnosť. Zapojenie teda bude začínať dieselovým motorom, ktorý bude poháňať hydrostatický pohon. Ten zahŕňa hydromotor, hydročerpadlo a prenosové kanály. Následne na tento hydrostatický pohon je napojené samotné teleso čerpadla (viď obr.3). V tomto systéme prúdi kvapalina. Týmto jednotlivým častiam sa budem venovať v nasledujúcich podkapitolách.



Obr. 3, Schéma zapojenia hydraulického systému

PM – pohonný motor, HG – hydrogenerátor, N – nádržka s tekutinou, HM – hydromotor, PK – prenosové kanály, Z - záťaž

2.4.1. Zát'az (čerpadlo)

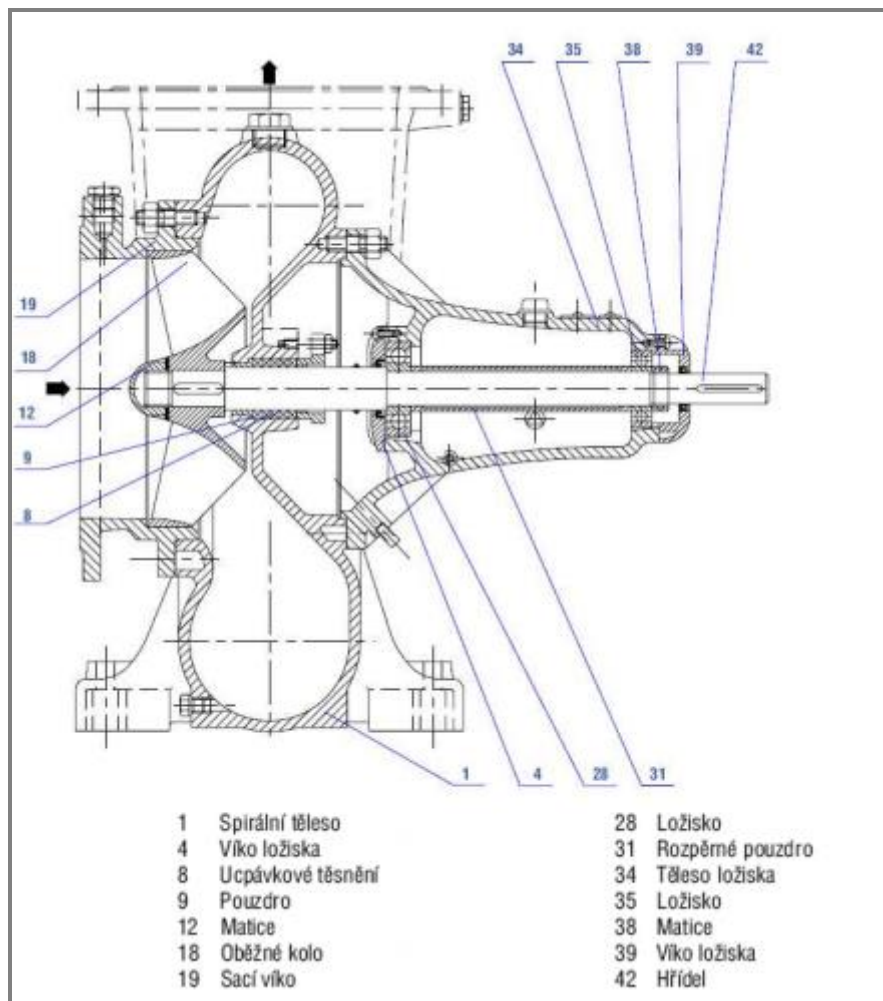
Zo zadania viem, že sa jedná o diagonálne odstredivé čerpadlo. Tieto čerpadlá majú vysoký prietok a to až okolo 20 000 litrov za minútu, takisto dosahujú vysoké otáčky, okolo 3000 ot/min. Výtlak majú až do 100 metrov. Do diagonálneho odstredivého čerpadla vstupuje kvapalina axiálne v smere osi otáčania špirály a vystupuje diagonálne (šikmo k osi otáčania).

Požadovaný prietok tohto čerpadla je: $Q=150 \text{ l/s}$

Toto čerpadlo je poháňané hydromotorom so zadanými otáčkami 2950 ot/min.

Za predpokladu, že by sa nebrala do úvahy disipácia energie (predpoklad ideálnych vlastností pracovnej kvapaliny, dokonalého utesnenia pracovných priestorov, pohyb mechanických častí bez trenia), sa teoretický objemový prietok čerpadla vypočíta: $Q=V \cdot n$

Diagonálne čerpadlá patria medzi najzložitejšie stroje v odbore čerpacej techniky. Sú náchylné k nestabilite, tlakovým pulzáciám a samobudiacemu kmitaniu. Do diagonálneho odstredivého čerpadla vstupuje kvapalina axiálne v smere osi otáčania špirály a vystupuje diagonálne (šikmo k osi otáčania), pričom využíva čiastočne odstredivú silu. U týchto čerpadiel je rotujúci akčný člen, ten pôsobí na kvapalinu a tým jej udeľuje rýchlosť. Tieto čerpadlá majú veľký počet merných otáčok. So stúpajúcim počtom merných otáčok prechádza vstupná hrana stále viac a viac do sacieho hrdla kola, kde potom zaujme šikmý smer. Dĺžka lopatky sa tým predĺži a vedenie vody je dokonalejšie. Výstupná hrana sa v náryse kola prejaví ako šikmá čiara k osi. Tým sa čiastočne vyrovnávajú dĺžky prúdových vlákien. Výstupná hrana je v skutočnosti skrutkovicou, ležiacou na kužeľovej ploche. Lopatka sama je potom čiastočnou skrutkovou plochou. Vonkajší veniec obežného kola sa vynecháva, pretože by zbytočne zvyšoval stratu trením kvapaliny o nerovný povrch venca a výroba je ľahšia. Aby však boli lopatky dostatočne silné, zosilňujú sa ich steny smerom k náboju [4].

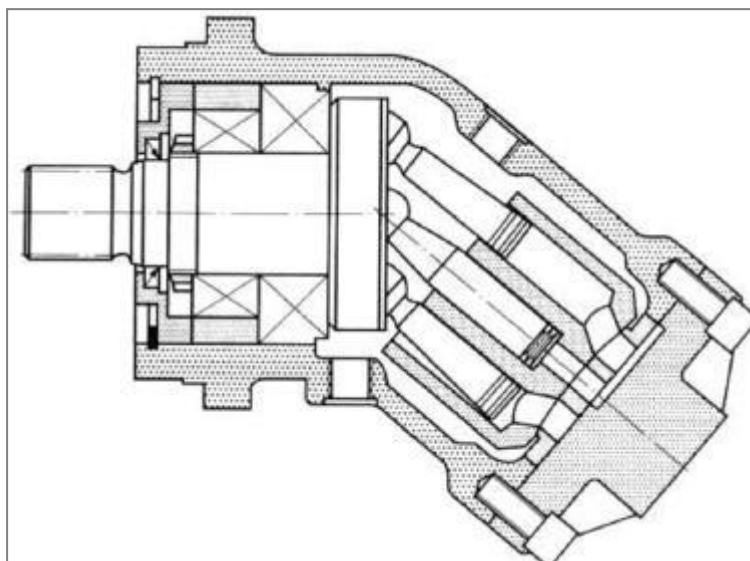


Obr. 4, Diagonálne čerpadlo

2.4.2. Hydromotor

Existuje veľa typov hydraulických motorov. Tieto typy sú popísané v predchádzajúcich kapitolách. Firmou SIGMA nám bol odporúčaný motor PARKER rady F12-080. Tento typ motorov ako je zrejmé z obrázku (Obr.4) je motor s naklonenou rovinou. Tieto typy motorov majú niekoľko výhod. Sú schopné pracovať s vysokými otáčkami a tlakom, čo znamená vysoký výstupný výkon. Valivé ložiská povoľujú veľké vonkajšie, radiálne a axiálne zaťaženie hriadeľa. Tieto motory sú tolerantné voči gravitačným silám a torzným kmitom. Nahnutie osi umožňuje kompaktný dizajn s malou hmotnosťou. Preto sú tieto motory vhodné pre použitie do hydrostatických pohonov.

2.4.2.



Obr. 5, Hydromotor s naklonenou rovinou

2.4.3. Hydrogenerátor

2.4.3.

Za predpokladu že by sa nebrala do úvahy disipácia energie (predpoklad ideálnych vlastností pracovnej kvapaliny, dokonalého utesnenia pracovných priestorov, pohyb mechanických častí bez trenia), sa teoretický objemový prietok hydrogenerátora spočíta: $Q_{tG} = V_G \cdot n_G$, a moment: $M_{tG} = \frac{\Delta p \cdot V_G}{2 \cdot \pi}$

Tieto podmienky sú však nespĺniteľné. Kvôli tomu zavádzame Q_z (stratový), ktorý je spôsobený nedokonalosťou tesnenia pracovných kvapalín.

Skutočný krútiaci moment je naopak navýšený o hodnotu, potrebnú na prekonávanie hydraulických a mechanických odporov. Pre túto hodnotu zavádzame M_{mhG} .

Existuje viacero typov generátorov a motorov, ktoré sú popísané v predchádzajúcich kapitolách.

Najvyužívanejšie sú piestové generátory a to z dôvodov:

- Sú schopné fungovať pri väčšom tlaku a tým je možné zmenšiť rozmery jednotiek a potrubia na jednotku výkonu, teda aj hmotnosti celého systému.
- Malé mechanické straty a veľká objemová účinnosť.
- Je možné meniť pracovný objem, ktorý nám umožní jednoduchú zmenu výstupného krútiaceho momentu a otáčok.

Pri zohľadnení výsledkov je najlepšie voliť Spriahnuté axiálne piestové čerpadlá.

Ich parametre tvoria základné prvky systému pre diaľkovú dopravu vody a čerpania z veľkých hĺbok. Tieto systémy reprezentujú mobilné čerpacie stanice o minimálnom výkone $5 \text{ m}^3/\text{min}$ [9].



Obr. 6, Spriahnuté axiálne piestové čerpadlo

2.4.4. Kvapalina

Hlavnou úlohou kvapaliny v hydraulickom obvode je prenášanie energie alebo práce. Pri tejto funkcii je vystavená namáhaniu a to jednak mechanickému (nachádza sa pod určitým tlakom) a chemickému (pôsobenie vzduchu a teploty).

Požiadaviek na kvapalinu je hneď niekoľko a to z dôvodu, aby bola zaručená spoľahlivosť práce hydraulického zariadenia.

Medzi tieto požiadavky patrí:

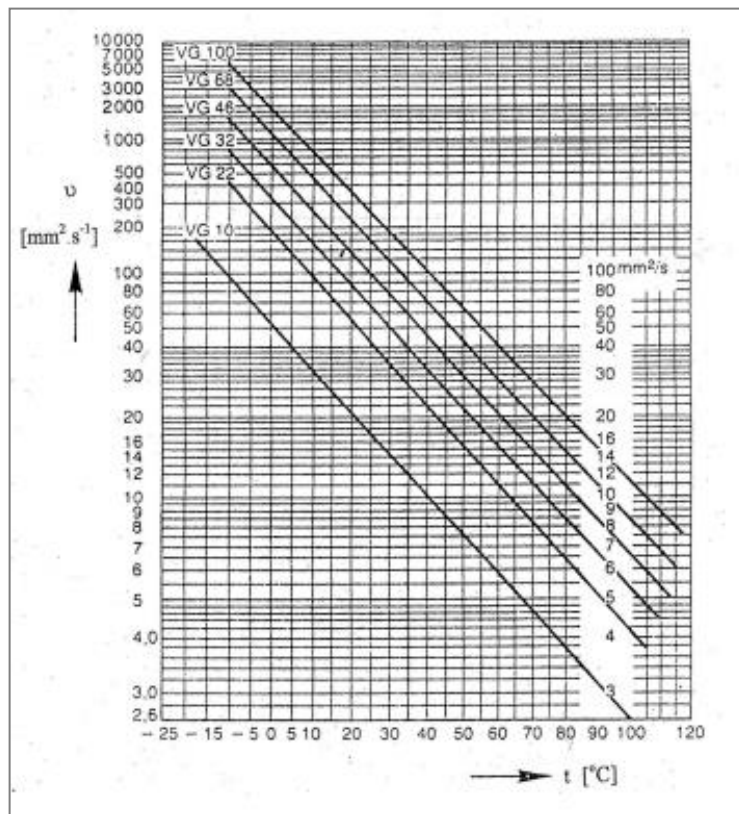
- 1) dobrá tesniaca schopnosť
- 2) mazanie
- 4) nekorozívnosť
- 5) prevádzková stabilita, chemická stálosť
- 6) dostupnosť a cena

Dobrá tesniaca schopnosť vplýva na objemovú účinnosť celého zariadenia a zároveň presnosť jeho práce. Mazacia schopnosť je potrebná hlavne tam, kde v dôsledku vysokého pracovného tlaku dochádza k veľkému zaťaženiu častí hydraulických prvkov a tým k vzniku veľkých trecích síl. Prevádzková kvapalina nesmie spôsobovať koróziu, ani inak chemicky pôsobiť na kovové aj nekovové časti hydraulického zariadenia, ale práve naopak, chrániť kovové časti proti hrdzaveniu spôsobeného vlhkosťou vzduchu. Prevádzková stabilita je nemennosť vlastností kvapaliny počas prevádzky. To je dôležité z hľadiska spoľahlivosti práce hydraulického obvodu.

Z bežných kvapalín sa v hydraulických systémoch používajú hlavne:

- a) Minerálne oleje
- b) Vodné roztoky a emulzné kvapaliny
- c) Syntetické oleje

Z vyššie menovaných druhov kvapalín sú najpoužívanejšie minerálne oleje a to preto, že splňujú v najvyššej miere splňajú požiadavky kladené na kvapaliny hydraulických obvodov. Majú veľmi dobrú tesniacu schopnosť a dokonalé mazacie vlastnosti. Sú nekorozívne a vyrábajú sa v mnohých druhoch podľa viskozity. Taktiež sú ekologicky najprívetivejšie. Ich cena je taktiež prijateľná.



Obr. 7, Porovnanie hydraulických olejov

Na obrázku je uvedených niekoľko viskózných kriviek pre rôzne hydraulické oleje. Tie sa podľa normy ISO 3448 rozdeľujú do tzv. viskózných tried. Číslo triedy znamená strednú viskozitu pri 40°C. Podľa viskózných kriviek je potom možné určiť správnu viskóznú triedu oleja pre požadované rozmedzie teplôt.

Ako už bolo vyššie uvedené, viskozita môže ovplyvniť napríklad tlakové a prietokové straty či mazanie pohybujúcich sa častí. Pri nízkych teplotách, kedy je viskozita vysoká, vznikajú veľké tlakové straty, a to môže mať za následok pomalší chod mechanizmu, prípadne jeho úplné zastavenie. Tlakové straty ovplyvňujú vstupný tlak do hydromotoru a tým jeho pracovné parametre. Vysoká viskozita taktiež môže zapríčiniť, že vôbec nedôjde k nasatiu kvapaliny do hydrogenerátoru. Preto výrobcovia hydraulických prvkov udávajú v katalógoch maximálnu viskozitu, pri ktorej ešte hydrogenerátor môže pracovať, tzv. štartovacia viskozita. U piestových hydrogenerátorov sa pohybuje okolo $\nu=1000\text{mm}^2\cdot\text{s}^{-1}$ [13].

2.4.5. Prenosové kanály

Na potrubie pôsobí viacero zaťažení, a to: mechanické zaťaženie, tepelné namáhanie, korozívne opotrebenie

Voľbu materiálu potrubia ovplyvňujú viaceré faktory, sú to najmä:

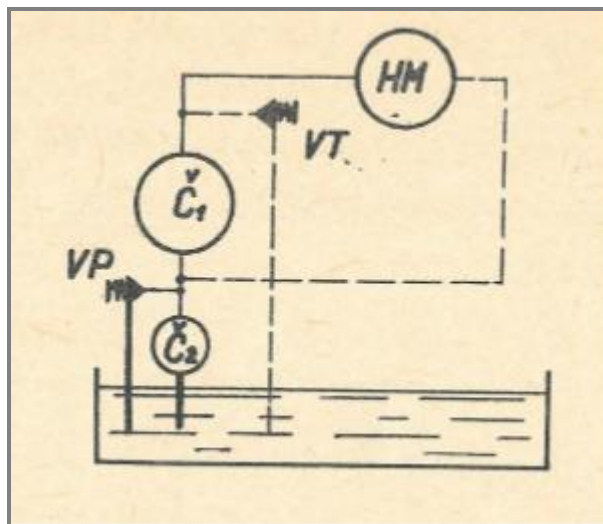
- Mechanické vlastnosti potrubia - pevnosť a pružnosť materiálu
- Technologické vlastnosti materiálu - zvariteľnosť, tvárnosť, ohybnosť
- Korózne vlastnosti
- Dovolený rozsah prevádzkových teplôt

2.4.5.

2.5. Celková podoba sústavy

Volíme uzavretý hydraulický obvod na základe jeho výhod.

Uzavretý obvod sa skladá z čerpadla Č1, ktorá nasáva kvapalinu z potrubia hydromotoru HM a vytlačuje ju späť do hydromotoru HM, kde táto kvapalina vykonáva prácu. Čerpadlo Č2 je len pomocné, slúži k pokrytiu objemových strát v uzavretom obvode. VP je prepúšťací ventil, ten má za úlohu prepúšťať prebytočný olej. Pomocné čerpadlo nemusí byť pri určitých podmienkach použité.

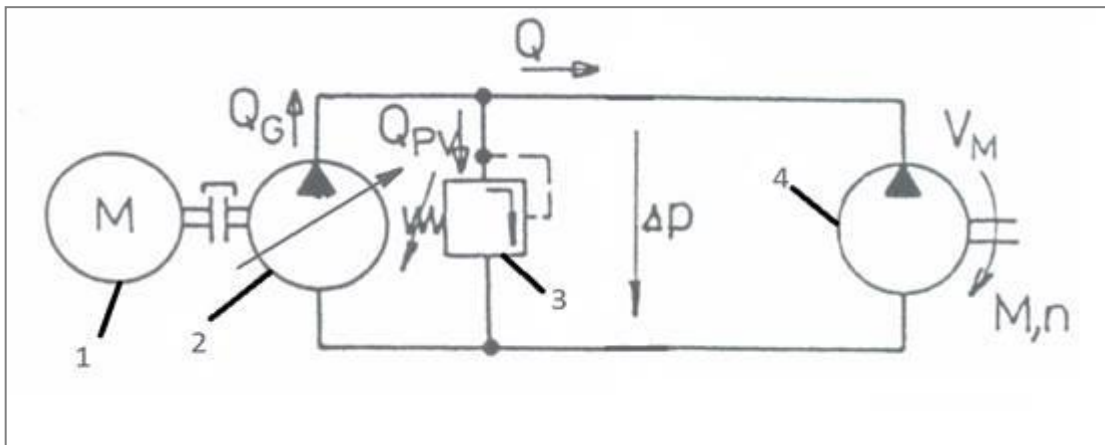


Obr. 8, Uzavretý obvod

Výhody a nevýhody uzavretého obvodu:

- Množstvo potrebnej kvapaliny je rovno v obsahu hydraulického obvodu.
- Rozmery nádrže sú u uzavretého obvodu podstatne menšie ako pri otvorenom obvode.
- Pri otepľovaní a následnom chladnutí kvapaliny sa jej objem znižuje a netesnosťami sa nasáva vzduch. Ten vytvára vzduchové bublinky a ovplyvňuje jednosmerný chod motoru

Hydraulická schéma:



Obr. 9, Hydraulické schéma systému

- 1- Pohonný motor; 2- Regulačný hydrogenerátor; 3- Poistný ventil;
- 4- Neregulačný hydromotor

3. DISKUSIA

3.1. Využitie na trhu

Pri návrhu čerpadla s hydrostatickým pohonom je taktiež dôležité uvažovať, kde je tento systém možné využiť. Tento systém by našiel využitie určite vo veľa oboroch. V kapitolách nižšie sú rozpísané dve využitia.

3.1.1. Hasičská technika

Takýto druh čerpadla využívajú hasiči. A to predovšetkým na hasenie rozsiahlych požiarov ako sú napríklad lesné požiare. Taktiež sa toto zariadenie môže využívať na odčerpávanie vody v zaplavených oblastiach po povodniach alebo zásobovanie vodou v humanitárnych táboroch a pod..

Čerpadiel s hydrostatickým pohonom na dnešnom trhu nie je veľa. Takýto produkt vyrába napríklad firma PYRONOVA pod názvom HYTRANS.

Jedná sa o unikátny kontajnerový systém na čerpanie veľkého množstva vody z veľkých hĺbok a na veľké vzdialenosti. Možno čerpať vodu z hĺbky až 50 m a dopravovať ju až do vzdialenosti niekoľko sto metrov či niekoľko kilometrov. Dopravované množstvo vody je 3000 l/min až 24.000 l/min, v špeciálnej konfigurácii až 50.000 l/min.

Základným princípom je dieselovým motorom poháňané hydraulické čerpadlo, ktoré prostredníctvom hydraulických hadíc zaisťuje pohon čerpadla na čerpanie vody. Unikátnosť spočíva i v tom, že bez obmedzenia možno čerpať vodu i pokiaľ je čerpadlo vo vode len sčasti – režim kavitácie. Zariadenie je plne automaticky riadené a vyžaduje len minimálne nároky na zásah obsluhy. Rovnako príprava zariadenia k nasadeniu a celej hadicovej dopravnej trasy je záležitosťou niekoľko desiatok minút. Opätovné zbalenie hadíc je vykonané pomocou špeciálnej navíjacej jednotky rýchlosťou asi 4 km/hod a vyžaduje len minimálny nárok na obsluhu [7].



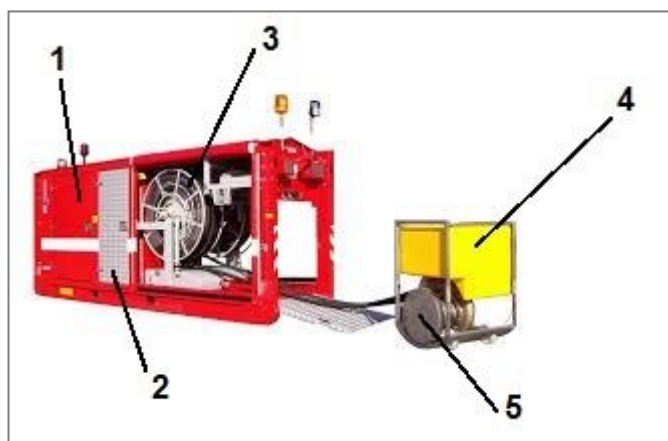
Obr. 10, Čerpací jednotka HFS HS150

Hlavné výhody:

- rýchlosť prípravy zásahu a jeho ukončenia
- veľké množstvo dopravovanej vody a dopravná vzdialenosť
- minimálne nároky na obsluhu a techniku v porovnaní s tradičnými spôsobmi
- systém v kontajneri nepotrebuje žiadnu inú techniku pre manipuláciu a prípravu zariadenia
- kontajnery sú prispôsobené aj na prepravu vrtuľníkom

Ako je z textu zrejmé, ide o podobný produkt, ako je zadaný pre túto bakalársku prácu.

Na obrázku vidíme, že súprava sa skladá z dvoch kontajnerov, pričom jeden je iba na prepravu hadíc. Tento kontajner je nevyhnutný, pretože toto čerpadlo slúži na čerpanie vody na veľké vzdialenosti a to niekedy až do vzdialenosti niekoľkých kilometrov. Druhý kontajner obsahuje zvyšok sústavy (dieselový motor, hydrostatický pohon, a čerpadlo).



Obr. 11, Čerpací jednotka HFS

Rozbor druhého kontajneru:

- 1) V tejto časti sa nachádza dieselový motor, ktorý poháňa hydrogenerátor.
- 2) V časti dva je nádrž s pracovnou kvapalinou spolu s hydrogenerátorom poháňaným dieselovým motorom. Tento hydrogenerátor je časťou hydrostatického pohonu, ktorý uvádza do pohybu pracovnú tekutinu, ktorá prúdi cez prenosové kanály (na obrázku označené ako 3).
- 3) Prenosové kanály, slúžiace na prepravu pracovnej kvapaliny. Tieto prenosové kanály sú namotané na bubne.
- 4) Vzduchová nádrž. Jej účelom je držať čerpadlo pri hladine. Cieľom je, aby čerpadlo nekleslo na dno a nečerpalo usadeniny.
- 5) V tejto časti je druhá časť hydrostatického pohonu a to hydromotor. Ďalej sa v tejto časti nachádza samotné čerpadlo, ktoré je roztáčané hydromotorom.

3.1.2. Obojživelné vozidlo

Ďalej je tento systém možné využiť na pohon obojživelného vozidla.

Základné druhy pohonov na vode pre obojživelné vozidlá sú:

- Vrtuľové propulzory – Využívajú sa hlavne u väčších armádnych kolesových obojživelných vozidiel. Existuje veľa rôznych prevedení[22][15].
- Reaktívny pohon – nazývaný tiež vodometný. U tohto pohonu sa voda vháňa hydrodynamickým čerpadlom do vozidla, a potom je veľkou rýchlosťou vyvedená z vozidla. Reakciou vytekajúceho prúdu vody na vozidlo vzniká ťahová pohonná sila [15].

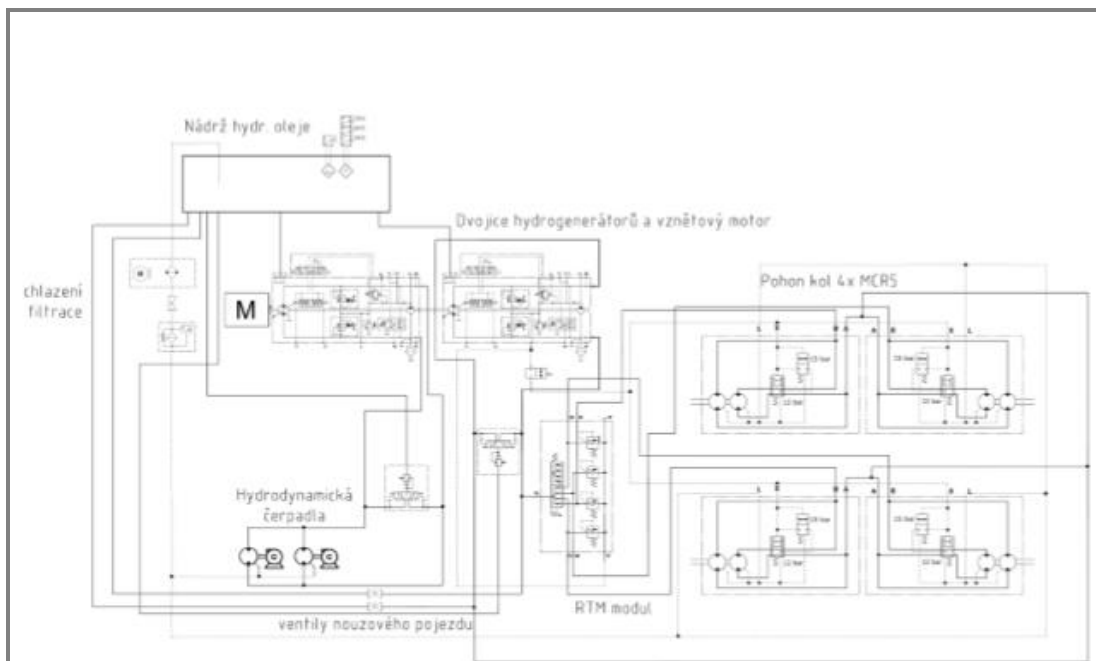
Niektorí výrobcovia obojživelných vozidiel využívajú hydrostatický pohon na základe jeho výhod. Jeden z týchto výrobcov je Hydratrek (výhody hydrostatických pohonov vid'. Kapitola 2.3. Hydrostatický pohon)



Obr. 12, Obojživelník Hydratrek

Táto kapitola sa odvoláva na bakalársku prácu Michala Nožky, v ktorom je návrh pohonu obojživelníka. Tento pohon je riešený dvoma čerpadlami a štyrmi hydromotormi pre pohon na súši, a dvojicou hydromotorov pre pohon hydrodynamických čerpadiel na vode.

Výsledná schéma zapojenia pohonu obojživelníka je na obrázku.



Obr. 13, hydraulické schéma obojživelníka

V tejto práci je riešený iba pohon na vode. V tomto prípade sa dá využiť navrhované diagonálne čerpadlo s hydrostatickým pohonom. Pri pohone obojživelníka je výhodné do systému zapojiť dvojicu axiálnych hydromotorov a taktiež dva hydrogenerátory. Tým by sa zabezpečila lepšia ovládateľnosť za predpokladu riadenia každého vodometu zvlášť[16].

3.2. Prieskum trhu

Ako je napísané v tejto práci, hydrostatický pohon sa skladá s hydromotora a hydrogenerátora. V tejto kapitole je niekoľko vybraných typov hydromotorov a hydrogenerátorov od rôznych firiem a ich základné charakteristiky. V nasledujúcej kapitole je ich porovnanie.

$$P_{kritis\text{skut}} = \frac{P_{krit}}{0,7} = 17,699 \text{ kW}$$

$$M_{krit} = \frac{P_{kritis\text{skut}}}{\omega_{krit}} = 53,798 \text{ Nm}$$

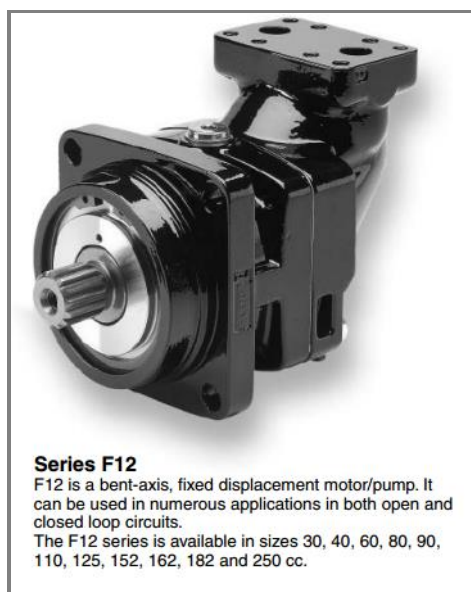
$$P_{noms\text{skut}} = \frac{P_{nom}}{0,7} = 145,479 \text{ kW}$$

$$M_{nom} = \frac{P_{noms\text{skut}}}{\omega_{nom}} = 74,949 \text{ Nm}$$

3.2.1. Hydromotor

Ako je už v tejto práci spomenuté, najvýhodnejšie je voliť motor s naklonenou rovinou. Taktiež je nutné prihliadnuť na ich požadované charakteristiky, ktoré sú zadané alebo vypočítané v prílohe. Hydromotory sa vyrábajú vo veľa verziách, veľkostiach a prevedeniach. V tejto podkapitole sú vybrané niektoré z nich, ktoré nám boli odporúčané.

Hydromotor Parker F12-125



Obr. 14, Hydromotor Parker F12-80

Tab. 1, Parametre hydromotoru Parker F12- 125

Max. zdvihový objem	80 cm ³ /ot
Maximálny prevádzkový tlak	42 MPa
Kontinuálne otáčky	4800 ot/min
Teoretický krútiaci moment pri 10MPa	125 Nm
Vstupný prietok - kontnuálny	386 l/s
Váha	26 [kg]

Hydromotor Bosch rexroth A2FM-80

Obr. 15, Hydromotor Bosch rexroth A2FM-80

Tab. 2, Parametre hydromotoru Bosh rexroth A2FM-80

Max. zdvihový objem	80 cm ³ /ot
Maximálny prevádzkový tlak	35 MPa
Kontinuálne otáčky	5000 ot/min
Teoretický krútiaci moment pri 10MPa	128 Nm
Maximálny prietok	392 l/s
Váha	46 kg

3.2.2. Hydrogenerátor

Uvažujeme o piestových axiálnych čerpadlách. Tak ako u hydromotoru je nutné prihliadnuť na ich požadované charakteristiky, ktoré sú zadané alebo vypočítané v prílohe. Hydromotory sa vyrábajú vo veľa verziách, veľkostiach a prevedeniach. V tejto podkapitole sú vybrané niektoré z nich, ktoré nám boli odporúčané.

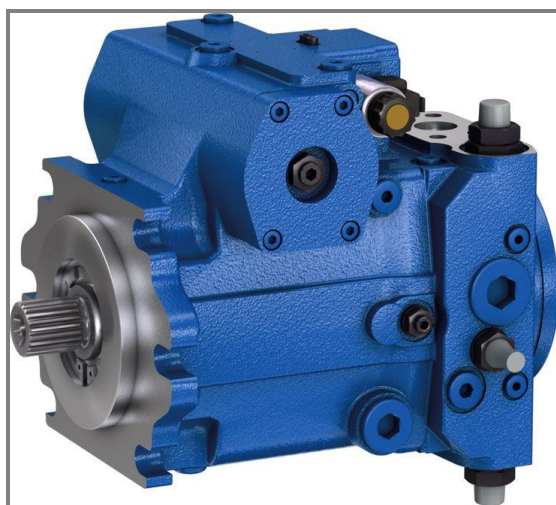
3.2.2.

Spriahnuté axiálne čerpadlo Parker rady P2

Obr. 16, Hydrogenerátor Parker rady P2

Tab. 3, Parametre hydrogenerátoru Parker P2

Max. zdvihový objem	125 cm ³ /ot
Vstupný tlak	35 MPa
Kontinuálne otáčky	2200 ot/min
Min. vstupný tlak	0,08 MPa
Max. vstupný tlak	1 MPa
Váha	76 kg

Axiální pístový hydrogenerátor BOSCH A4VG/32 - 125 cm³

Obr. 17, Hydrogenerátor BOSCH A4VG/32

Tab. 4, Parametre hydrogenerátoru Bosh A4VG/32

Max. zdvihový objem	125 cm ³ /ot
Vstupný tlak	35 MPa
Kontinuálne otáčky	2850 ot/min
Min. vstupný tlak	0,08 MPa
Max. vstupný tlak	1 MPa
Váha	80 kg

3.2.3. Pohonná jednotka

Zvolená pohonná jednotka je Iveco C78 ENT. Táto pohonná jednotka nám bola odporučená.



Obr. 18, Iveco C78 ENT

Tab. 5, Parametre pohonnej jednotky Iveco C78 ENT

Výkon	220 kW
Pracovné otáčky	1800 – 2000 ot/min
Počet valcov	6
Zdvihový objem	7,8
Max. krútiaci moment	1250 Nm
Váha	675 kg

4. ZÁVER

Záverom tejto práce je návrh odstredivého diagonálneho čerpadla s hydrostatickým pohonom. Navrhovaný hydraulický systém má slúžiť ako pohon obojživelníka. Taktiež je v tejto práci navrhnuté využitie ako hasičská technika.

S ohľadom na zložitosť hydraulického systému a jednotlivé zapojenie prvkov je nutné zvážiť kúpu celého systému kontajnerového hydraulického systému od firmy Somati systém s.r.o., popísaného v kapitole vyššie. Hlavná výhoda tohto systému je jeho pripravenosť na napojenie tlakových hadíc a pripojenia ponorného čerpadla.

Na základe výhod hydrostatického pohonu môžeme konštatovať, že hydrostatické pohony majú veľký potenciál pri využití v obojživelných vozidlách. A to hlavne plynulú zmenu výstupných otáčok v širokom rozsahu. Ďalej sú schopné stálej činnosti pri veľmi nízkych otáčkach a plnom krútiacom momente. Je taktiež možné plynulo zvyšovať otáčky od nuly pri využití najvyššieho krútiaceho momentu. Môžu byť volené v širokom rozsahu veľkostí a kombinácií jak hydromotor, tak generátor s premennými alebo konštantným pracovným objemom. Jednotky je možné umiestniť čo najvýhodnejšie z hľadiska funkcie, pretože nie sú na seba viazané mechanickou väzbou.

Pri využití tohto systému v obojživelnom vozidle sa ponúka možnosť použiť hydrodynamické diagonálne čerpadlo na jednej strane ako pohon, na strane druhej sa na vývod čerpadla dajú napojiť hadice a čerpadlo je schopné čerpať kvapalinu. V prípade pohonu je výhodnejšie využiť axiálne čerpadlá, ktoré prečerpávajú väčší objem kvapaliny, takže dáva vozidlu väčšiu kinetickú energiu, avšak neposkytuje taký tlak, takže pri čerpaní kvapaliny by už neboli tak výhodné.

Diagonálne čerpadlo je teda vhodným kompromisom pre pohon obojživelníka s možnosťou prečerpávať kvapalinu.

ZOZNAM POUŽITÝCH VELIČÍN A ROVNÍC

ρ [kg.m ⁻¹]	- hustota
δ [Pa ⁻¹]	- súčiniteľ objemovej rozťažnosti
β [°C ⁻¹]	- súčiniteľ teplotnej rozťažnosti
ν [m ² .s ⁻¹]	- kinematická viskozita
σ [N.m ⁻¹]	- povrchové napätie
η [Pa.s ⁻¹]	- dynamická viskozita
τ [Pa]	- smykové napätie
ω [rad ⁻¹]	- uhlová rýchlosť
η_c [%]	- celková účinnosť
η_m [%]	- mechanická účinnosť
η_o [%]	- objemová účinnosť
a [m.s ⁻²]	- zrýchlenie
D [m ³ .rad ⁻¹]	- maximálny výtlak čerpadla za radián
F [N]	- sila
K [Pa]	- modul objemovej stlačiteľnosti kvapaliny
l [m]	- dĺžka
m [kg]	- hmotnosť
M_k [N.m]	- krútiaci moment
M_{kt} [N.m]	- teoretický krútiaci moment
M_{kz} [N.m]	- straty krútiaceho momenty vplyvom trenia
p [Pa]	- tlak
P [W]	- výkon
Q [m ³ .s ⁻¹]	- hmotnostný prietok
Q_s [m ³ .s ⁻¹]	- straty hmotnostného prietoku
Q_t [m ³ .s ⁻¹]	- teoretický prietok
S [m ²]	- plocha
t [°C]	- teplota
v [m ³ .kg ⁻¹]	- merný objem
V [m ³]	- objem
v [m.s ⁻¹]	- rýchlosť kvapaliny

ZOZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKOV A TABULIEK

Zoznam použitých obrázkov

- Obr. 1** Odstredivé čerpadlo [22]
- Obr. 2** Porovnanie typu hydrodynamických čerpadel [21]
- Obr. 3** Schéma zapojenia hydraulického systému [19]
- Obr. 4** Diagonálne vodné čerpadlo [4]
- Obr. 5** Hydromotor s naklonenou rovinou [17]
- Obr. 6** Spriahnuté axiálne piestové čerpadlo [17]
- Obr. 7** Porovnanie hydraulických olejov [2]
- Obr. 8** Uzavretý obvod [19]
- Obr. 9** Hydraulické schéma systému [19]
- Obr. 10** Čerpací jednotka HFS HS150 [20]
- Obr. 11** Čerpací jednotka HFS [20]
- Obr. 12** Obojživelník Hydratrek [9]
- Obr. 13** Hydraulické schéma obojživelníka [16]
- Obr. 14** Hydromotor Parker F12-125 [17]
- Obr. 15** Hydromotor Bosch rexroth A6VM-115 [8]
- Obr. 16** Hydrogenerátor Parker rady P2 [17]
- Obr. 17** Hydrogenerátor BOSCH A4VG/32 [8]
- Obr. 18** Iveco C78 ENT [16]

Zoznam použitých tabuliek

- Tab. 1,** Parametre hydromotoru Parker F12- 125
- Tab. 2,** Parametre hydromotoru Bosh rexroth A2FM-80
- Tab. 3,** Parametre hydrogenerátoru Parker P2
- Tab. 4,** Parametre hydrogenerátoru Bosh A4VG/32
- Tab. 5,** Parametre pohonnej jednotky Iveco C78 ENT

ZOZNAM PRÍLOH

Príloha 1

Príloha 2

ZDROJE

- [1] STRÁŽOVEC, Igor a Pavol KUČÍK. *Tekutinové mechanizmy*. 1. vyd. Žilina: EDIS, 2000. ISBN 80-7100-804-4.
- [2] PACIGA, Alexander a Jaroslav IVANTYŠYN. *Tekutinové mechanizmy: celoštátna vysokoškolská učebnica pre strojnícke fakulty vysokých škôl*. 1. vyd. Bratislava: Alfa, 1985.
- [3] SIGMA: SIGMA PUMPY SK, s.r.o. [online]. ©2017 [cit. 2017-04-29]. Dostupné z: <http://www.sigmashop.sk/clanky/>
- [4] DUBOVÝ, Ľ. Studie membránového čerpadla s lineárním motorem. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 78 s. Vedoucí diplomové práce prof. Ing. František Pochylý, CSc.
- [5] *Druhy čerpadel* [online]. ©2010 [cit. 2017-04-29]. Dostupné z: <http://druhy-čerpadel.cz>
- [6] ŠMÍD, P. Konstrukční provedení čerpadel. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 38 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Roman Klas, Ph.D.
- [7] *Pyronova: Hytrans* [online]. ©2014 [cit. 2017-04-29]. Dostupné z: <http://www.pyronova.com/produkty/specialne-aplikacie/hytrans/>
- [8] Bosch Rexroth: Mobile Hydraulics [online]. ©2015 [cit. 2016-03-27]. Dostupné z: <http://www.boschrexroth.com/>
- [9] *Argo* [online]. ©2014 [cit. 2017-04-29]. Dostupné z: <http://www.argoatv.com.au/info/about-us>
- [10] ŠOB, František. *Hydromechanika*. Brno: CERM, 2001. ISBN 80-214-2037-5.
- [11] DUBOVÝ, Ľ. Studie membránového čerpadla s lineárním motorem. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 78 s. Vedoucí diplomové práce prof. Ing. František Pochylý, CSc. D
- [12] DRÁBKOVÁ, Sylva. *Mechanika tekutin*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2008. ISBN 978-80-248-1508-4.
- [13] KOPÁČEK, Jaroslav. *Hydraulické pohony hornických a hutnických strojů a zařízení*. 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská, 1964. Učební texty vysokých škol / Vysoká škola báňská.
- [14] BRUCE R. MUNSON, THEODORE H. OKIISHI, WADE W. HUEBSCH a ALRIC P. ROTHMAYER. *Fundamentals of fluid mechanics*. 7th ed. Hoboken, N.J.: Wiley, 2012. ISBN 1118116135.
- [15] TICHÝ, Jaroslav a Peter PATEK. *Teória lode*. 5. vyd. Bratislava: Vydavateľstvo STU, 2006. Edícia skript. ISBN 80-227-2466-1.
- [16] NOŽKA, M. Obojživelný terénní automobil s hydraulickým pohonem. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2016. 53 s. Vedoucí bakalářské práce prof. RNDr. Ing. Josef Nevrlý, CSc.
- [17] Hydraulic Pump & Motor Division. Parker [online]. ©2016 [cit. 2016-04-08]. Dostupné z: <http://www.parker.com/>
- [18] KOPÁČEK, Jaroslav. *Hydraulické pohony hornických a hutnických strojů a zařízení*. 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská, 1964. Učební texty vysokých škol / Vysoká škola báňská.
- [19] HOLAN, J. Odstředivé radiální ponorné vodní čerpadlo s hydrostatickým pohonem. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2016. 45 s. Vedoucí bakalářské práce prof. RNDr. Ing. Josef Nevrlý, CSc.

- [20] Somati [online]. ©2012 [cit. 2016-04-08]. Dostupné z:
<http://www.somatisystem.cz/cs/kontejnery>
- [21] ŠKORPÍK, Jiří. Vodní turbíny a hydrodynamická čerpadla, Transformační technologie, 2011-06, [last updated 2015-12]. Brno: Jiří Škorpík, [on-line] pokračující zdroj, ISSN 1804-8293. Dostupné z:
<http://www.transformacnitechologie.cz/vodni-turbiny-a-hydrodynamicka-čerpadla.html>
- [22] *Different Types of Pumps – Centrifugal Pumps: odstředivé čerpadlá* [online]. 2014 [cit. 2017-05-17]. Dostupné z:
<http://www.processindustryforum.com/article/different-types-pumps-centrifugal-pumps>
- [23] CHMATIL, L. Stabilita charakteristiky odstředivého čerpadla. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 73 s. Vedoucí diplomové práce prof. Ing. František Pochylý, CSc.
- [24] Chapple, P. *Principles of hydraulic systems design*. NY: Momentum Press, 2015. ISBN 978-1-60650-453-6