

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO
INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

HYDRAULICKÉ POHONY JEŘÁBOVÝCH BUBNŮ

HYDRAULIC DRIVES OF HOISTING DRUMS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

JIŘÍ VOŘECH

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. JIŘÍ MALÁŠEK, Ph.D.

BRNO 2013

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

Akademický rok: 2012/13

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Jiří Vořech

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Stavba strojů a zařízení (2302R016)**

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:

Hydraulické pohony jeřábových bubnů

v anglickém jazyce:

Hydraulic drives of hoisting drums

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Provést rozbor možností hydraulických pohonů jeřábových bubnů. Uvést výrobce a technické parametry vhodných hydromotorů. Zkonstruovat 3D model příkladu technického řešení za účelem vysvětlení principu funkce.

Cíle bakalářské práce:

Vypracovat technickou zprávu s porovnáním jednotlivých možností pohonů jeřábových bubnů se zdůvodněním hydraulického pohonu.

Zkonstruovat a nakreslit 3D model příkladu technického řešení hydraulického pohonu jeřábového bubnu za účelem vysvětlení principu funkce.

Nakreslit schéma hydraulického obvodu.

Seznam odborné literatury:

1. Janovský L.: Systémy a strojní zařízení pro vertikální dopravu. ČVUT v Praze. 1991.
2. Medek, J.: Hydraulické pochody PC DIR s.r.o., Brno 1998.
3. Jančík, L.: Části a mechanismy strojů, ČVUT Praha, 2004.
4. Klimeš P.: Části a mechanismy strojů I, II, VUT Brno 2003.
5. Gajdůšek J., Škopán M.: Teorie dopravních a manipulačních zařízení. VUT v Brně. 1988.

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Jiří Malášek, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2012/13.

V Brně, dne 19.11.2012



prof. Ing. Václav Pištěk, DrSc.
Ředitel ústavu



prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan



ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá hydraulickými pohony jeřábových bubnů, jejich rozdělením a popisem jejich částí a součástí. Dále se věnuje porovnání jednotlivých možností pohonů jeřábových bubnů se zdůvodněním hydraulického pohonu. Součástí práce je 3D model vhodného příkladu technického řešení za účelem vysvětlení principu funkce a dále také schéma hydraulického obvodu.

KLÍČOVÁ SLOVA

hydromotor, hydraulický pohon, jeřábový buben

ABSTRACT

This bachelor's thesis deals with hydraulic drives of hoisting drums, their sorting and description of their parts and components. It also pays attention to comparison of particular possibilities of hoisting drums with hydraulic drive rationale. A 3D model of a suitable example of technical solution for the purpose of explaining the principle of the function is a part of this work as well as a hydraulic circuit diagram.

KEYWORDS

hydraulic motor, hydraulic drive, hoisting drum



BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

VOŘECH, J. *Hydraulické pohony jeřábových bubnů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013. 42 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Jiří Malášek, Ph.D.



ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením doc. Ing. Jiřího Maláška, Ph.D. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 24. května 2013

.....

Jméno a příjmení



PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych poděkovat vedoucímu práce panu doc. Ing. Jiřímu Maláškovi, Ph.D. za rady při tvorbě této práce, panu Ing. Vladimíru Houšťovi za podporu a pomoc v tématu mé práce již na střední škole a panu Ing. Zdeňku Kobyolkovi za vysvětlení a ukázkou technických řešení.



OBSAH

Úvod	10
1 Kapaliny	11
1.1 Vlastnosti kapalin	11
1.2 Kapaliny užívané v hydraulických pohonech	13
2 Obecné pojednání o hydraulických pohonech	15
2.1 Základní parametry	15
2.2 Materiál částí hydraulických pohonů	16
2.3 Provozní podmínky	18
2.4 Údržba, prevence a diagnostika	18
3 Vhodné hydromotory pro jeřábové bubny	19
3.1 Axiální hydromotor	19
3.1.1 S nakloněným blokem válců	19
3.1.2 S nakloněnou deskou	20
3.2 Radiální hydromotor	21
3.2.1 S písty vedenými ve statoru	21
3.2.2 S písty vedenými v rotoru	22
3.3 Použitý typ hydromotoru	24
3.3.1 Princip funkce	25
3.3.2 Nastavení objemu hydromotoru	26
3.3.3 Vlastní konstrukce hydromotoru	26
4 Hydraulický obvod	28
4.1 Vhodný hydraulický obvod a jeho části	28
4.2 Odvzdušnění a kontrola tlaku	28
5 Spojení hydraulického pohonu s bubnem a části sestavy	30
5.1 Spojky	30
5.2 Jeřábové bubny	31
5.3 Vlastní řešení sestavy	32
6 Další možnosti pohonů jeřábových bubnů	35
6.1 Shrnutí veškerých pohonů a jejich srovnání	35
6.2 Souhrn výhod a nevýhod hydraulických pohonů bubnů	36
Závěr	38
Seznam použitých zkratk a symbolů	41
Seznam příloh	42



ÚVOD

V dnešní době stále více zaujímají hydraulické pohony v jeřábové technice své místo. Jejich základním prvkem je hydromotor na výstupu a čerpadlo na vstupu.

Úkolem této bakalářské práce je provést rozbor možností hydraulických pohonů jeřábových bubnů, uvést výrobce a technické parametry vhodných hydromotorů a zkonstruovat 3D model příkladu technického řešení za účelem vysvětlení principu funkce.

Dále potom porovnat jednotlivé možnosti pohonů jeřábových bubnů se zdůvodněním pro použití hydraulického pohonu. Součástí práce je i schéma hydraulického obvodu a pojednání o hydraulických obvodech.

Část práce současně tvoří i obecné pojednání o těchto pohonech, vlastnostech vhodných typů pro naše použití, popisu funkce vybraného konkrétního typu, provozních podmínkách, jejich nesporných výhodách, naproti tomu samozřejmě i nevýhodách atd. Součástí práce je popis sestavy 3D modelu a jeho hlavních částí.

Prvním krokem je nahlédnutí do problematiky vlastností kapalin, užívaných kapalin v těchto pohonech a také do problematiky používaných materiálů částí hydraulických pohonů.



1 KAPALINY

V hydraulických obvodech kapalina hlavně přenáší tlakovou energii z místa její výroby na místo přeměny v mechanickou energii (hydromotor, či válec), přenáší signály tlakovými vlnami, maže pohyblivé vnitřní části, odvádí nečistoty a teplo. [7]

1.1 VLASTNOSTI KAPALIN

K přenosu tlakové energie je možné použít různých kapalin. Nejbezpečnější a nejlevnější je voda. Avšak způsobuje korozi a narušuje povrch kovových součástí. U běžných strojírenských zařízení se tedy využívá různých druhů olejů, jelikož mají dobré mazací vlastnosti a chemicky téměř nepůsobí na kovové součásti. Oleje rozdělujeme na minerální, syntetické a rostlinné, přičemž bývají podle potřeby dále doplněny o případné přísady. Mezi nejhlavnější vlastnosti kapalin užívaných v hydraulických mechanismech patří především: [7]

- Viskozita – tato vlastnost patří mezi nejdůležitější pro použití v hydraulice, protože na ní závisí odpor, který vzniká při protékání kapaliny potrubím nebo otvory. V praxi se kapalině s malou viskozitou říká řídká, s větší viskozitou hustá. Viskozita závisí na tlaku a teplotě kapaliny. Změna viskozity s teplotou je daná tzv. viskozním indexem. Při narůstání tlaku se viskozita zvětšuje. [7]
- Stlačitelnost – je velmi důležitá ve vysokotlakých zařízeních v těžkém provozu. Má vliv na tuhost hnací soustavy, stejnosměrnost a přesnost pohybů. Stlačitelnost v % původního objemu tekutin v závislosti na tlaku pro typické případy je zobrazena na obr. 1. [7]
- Mazací vlastnosti – tlaky mezi některými součástmi mohou být velmi vysoké při malých vůlích, takže mazací film musí být velice tenký a musí mít velkou pevnost. Přerušení mazacího filmu má za následek přímý styk kovu s kovem, jímž se nejen zvýší opotřebení, ale vyvine i veliké množství tepla, které zvyšuje teplotu kapaliny a má vliv na její viskozitu. [7]
- Odolnost proti tvoření emulsí, odolnost proti pění.
- Body tuhnutí, vzplanutí.
- Další vlastnosti, jako např.: chemická stálost, chemické působení, skladovací životnost atd. [7]

Měrná hmotnost (hustota): hmotnost objemové jednotky.

$$\rho = \frac{m}{V} \text{ [kg.m}^{-3}\text{]}, \quad (1.1.1)$$

kde m je hmotnost [kg], V objem [m^3].

Hydrostatický tlak: je poměr síly a plochy kolmé na směr síly.

$$p = \frac{F}{S} \text{ [Pa]}, \quad (1.1.2)$$



kde F je síla [N], S je obsah plochy [m^2].

Pascalův zákon: tlak v kapalině se šíří rovnoměrně všemi směry.

$$p = \frac{F_1}{S_1} = \frac{F_2}{S_2} \quad [\text{Pa}] \quad (1.1.3)$$

Rovnice kontinuity (spojitosti): vyjadřuje, že v jedné proudové trubici se nemění celková hmotnost protékající kapaliny. [7]

$$Q = Sv = \text{konst.} \quad [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}], \quad (1.1.4)$$

$$S_1 v_1 = S_2 v_2 \quad [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}], \quad (1.1.5)$$

kde v je rychlost kapaliny [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$].

Rovnice Bernoulliho: vyjadřuje rovnováhu prací sil objemových, plošných a setrvačných, neboli rovnováhu energie tlakové, potenciální a kinetické. [7]

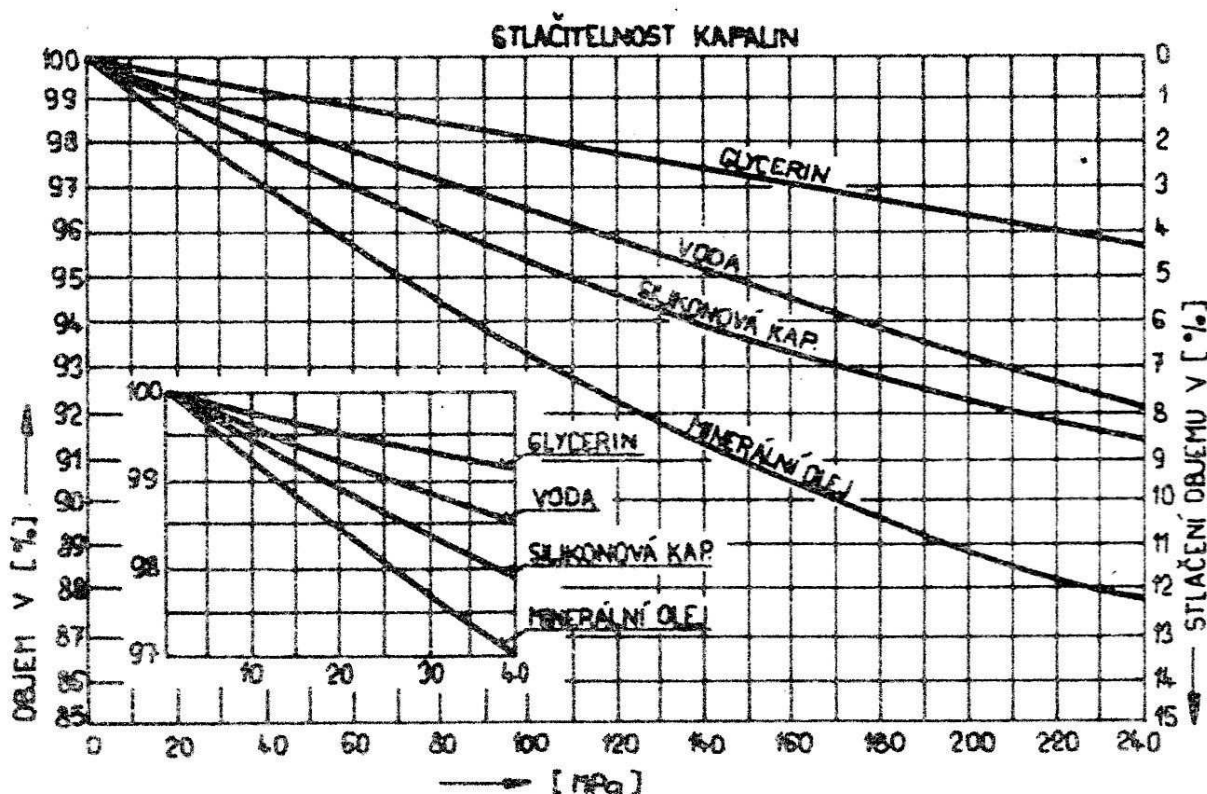
$$gh + \frac{p}{\rho} + \frac{v^2}{2} = \text{konst.}, \quad (1.1.6)$$

kde člen $g \cdot h$ představuje polohovou energii hmotnostní jednotky kapaliny, druhý člen p/ρ je tlaková energie hmotnostní jednotky kapaliny, třetí člen rovnice ($v^2/2$) se rovná kinetické energii hmotnostní jednotky kapaliny. Gravitační zrychlení g [$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$], h je hloubka [m]. Rovnice je často také vyjádřena ve tvaru: [7]

$$h + \frac{p}{\rho g} + \frac{v^2}{2g} = \text{konst.}, \quad (1.1.7)$$

u Bernoulliho rovnice pro reálné kapaliny musí být přidán člen e_r , jenž představuje energii vypořebenou k překonání hydraulických odporů a můžeme jej vyjádřit jako tlakovou energii $e_r = p/\rho$, nebo potencionální energii $e_r = gh$. Takto upravená rovnice může být psaná v tomto tvaru: [7]

$$gh_1 + \frac{p_1}{\rho} + \frac{v_1^2}{2} = gh_2 + \frac{p_2}{\rho} + \frac{v_2^2}{2} + e_r \quad (1.1.8)$$



Obr. 1 Objemové změny (stlačitelnost v % původního objemu tekutin v závislosti na tlaku pro typické konkrétní případy. [3]

1.2 KAPALINY UŽÍVANÉ V HYDRAULICKÝCH POHONECH

Na kapaliny užívané v hydraulických pohonech jsou kladeny vysoké požadavky, protože pracují v obtížných podmínkách. Musí tedy splňovat spoustu podmínek, které zajišťují spolehlivý provoz. Hlavní jsou:

- Smí obsahovat co nejméně složek, které by se značněji vypařovaly za předpokládaných provozních teplot. [5]
- Za provozu by měly podléhat minimálním chemickým změnám a nesmějí vylučovat větší množství škodlivých zplodin (např. dehet). [5]
- Při provozní teplotě musí mít dostatečnou tekutost, aby hydraulické odpory byly malé. [5]
- Neměly by obsahovat pevné nebo kapalné nečistoty.
- Dobré mazací vlastnosti.
- Mají vykazovat co nejmenší změny viskozity v závislosti na teplotě. [5]

Těmto požadavkům a podmínkám zatím dobře vyhovují minerální oleje, zejména tzv. voltolisované, které se vyznačují plochou charakteristikou viskozity.

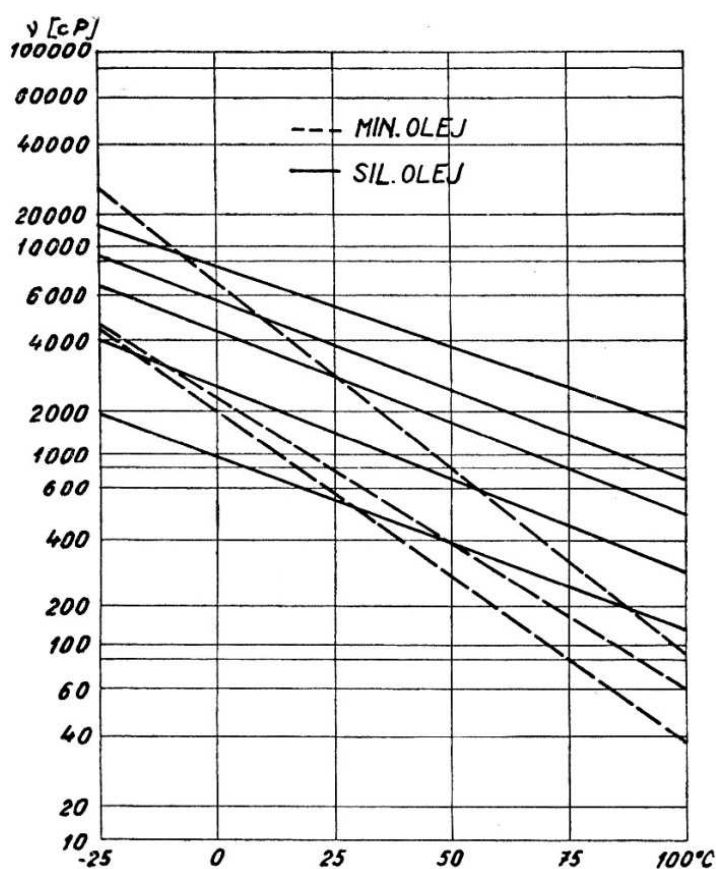


Voltolisování je proces, při kterém je vystaven olej tichým elektrickým výbojům, jejichž vlivem dochází k polymerizaci molekul. Polymerizace se projeví zmenšením změny viskozity s teplotou. [5]

Po této stránce mají nejlepší vlastnosti silikonové oleje. Silikonové oleje jsou neústrojné látky podobné řadě organických sloučenin, ve kterých je uhlík nahrazen křemíkem. K jejich výhodám kromě ploché charakteristiky viskozity patří také velmi nízký bod tuhnutí, velká chemická odolnost a dobré izolační vlastnosti. Snadno tvoří olejové filmy, jsou tedy dány dobré mazací schopnosti a to zejména v nízkých teplotách. Ještě při teplotách $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$ zůstávají čisté silikonové oleje po dlouhou dobu dokonale tekuté. Prakticky se jich dá použít v rozsahu nízkých teplot do $-38\text{ }^{\circ}\text{C}$. Vzhledem k tomu, že se mísí velmi špatně s jinými kapalinami (kromě organických rozpustidel, např. benzol, toluol atd.), jsou velmi aktivní na hladině a zabráňují tvorbě pěny. Již malé přídavky k olejům nebo olejovým emulsím ($\sim 0,1\%$ pro oleje a $\sim 0,5\%$ pro emulze) postačují k potlačení tvorby pěny. Tato vlastnost je velmi cenná pro hydraulické pohony. [5]

Nevýhodou těchto olejů při použití v hydraulických pohonech vzhledem k jejich malému povrchovému napětí je snadnější průnik úzkými mezerami, který požaduje dobré utěsnění (menší vůle). [5]

Pro srovnání je přiložena charakteristika viskozity pro minerální a silikonové oleje (obr. 2). Můžeme vidět, že rozdíly jsou podstatné. Tam, kde je potřeba zajistit nehořlavost, se užívá olejových emulsí, jejichž složení bývá $90 \div 92\%$ H_2O , 5% minerálního oleje, $3 \div 5\%$ mýdla. Pro nízké teploty se užívá glycerinu, petroleje a eventuálně lihu kromě již uvedených silikonových olejů. [5]



Obr. 2 Porovnání charakteristiky viskozity pro minerální a silikonové oleje. [5]



2 OBEČNÉ POJEDNÁNÍ O HYDRAULICKÝCH POHONECH

Hydraulické pohony jsou postaveny na těchto základních principech – tlaková energie a fyzikální nestlačitelnost kapaliny. V pracovním prostoru motoru se přivedená tlaková energie převádí ze sloupce kapaliny na pevné části – u rotačního hydromotoru na hřídel, u přímého na píst. Výstupem jsou moment a otáčky, nebo síla a rychlost. K jejich poměrně malé velikosti se vyznačují vysokými výkony. [2, 5]

2.1 ZÁKLADNÍ PARAMETRY

Při výběru nebo konstrukci vhodného hydromotoru je potřeba správné zvolení parametrů, které značně ovlivňuje jejich vhodnost pro konkrétní použití. Mezi nejdůležitější vlastnosti zejména patří: [4]

- Geometrický objem – objem pracovního prostoru hydromotoru, kde probíhá přestup energie během jediné otáčky nebo jednoho zdvihu. [2]
- Objemový průtok

$$Q = \frac{dV}{dt} \quad [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]. \quad (2.1.1)$$

- Pohybová frekvence – u rotačního pohybu je shodná s otáčkami motoru, pro translační pohyb se vypočítá z následujícího vztahu: [7]

$$f = \frac{v}{2h_p} \quad [\text{s}^{-1}], \quad (2.1.2)$$

kde v je rychlost translačního pohybu $[\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$, h_p zdvih pístnice $[\text{m}]$.

- Proud – u rotačních hydromotorů [7]

$$Q_p = V_n \quad [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}], \quad (2.1.3)$$

kde n jsou otáčky motoru $[\text{s}^{-1}]$.

- Síla – na pístnici přímočarého motoru

$$F = \Delta p S \quad [\text{N}], \quad (2.1.4)$$

kde Δp je tlakový spád $[\text{Pa}]$, S činná plocha pístu $[\text{m}^2]$.

- Výkon - pro přímočarý hydromotor [7]

$$P = \Delta p S v \quad [\text{W}] \quad (2.1.5)$$

- pro rotační hydromotor [7]

$$P = \Delta p V_n \quad [\text{W}]. \quad (2.1.6)$$



- Krouticí moment – na hřídeli rotačního hydromotoru [7]

$$M_k = \frac{\Delta p V}{2\pi} \quad [\text{N.m}]. \quad (2.1.7)$$

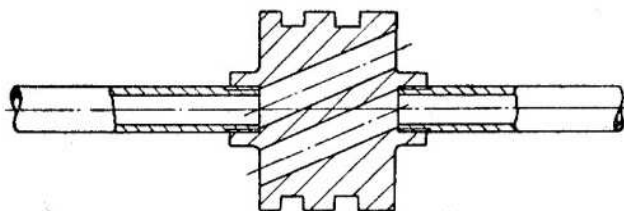
2.2 MATERIÁL ČÁSTÍ HYDRAULICKÝCH POHONŮ

Výběr vhodného materiálu má také do jisté míry vliv na správnou funkci hydraulického pohonu.

Např. válce se vyrábí nejčastěji z bezešvých trubek. Víko a dno je k válci buď přivařeno, nebo jsou stažena vzájemně šrouby. V druhém případě musí být těsněny styčné plochy. Válce pro nízké tlaky mohou být vyrobeny z litiny. Litina musí být jemnozrná, bez lunrů (dutin). Mohlo by se totiž stát, že se skrytý lunkr, který nebyl odhalen během obrobení, promáčkne tlakem kapaliny a válec již přestane být těsný. Dlouhé válce je výhodné vyrábět jako dělené, přičemž spoj je třeba provést velmi pečlivě a s minimální vůlí v přechodu z jedné části válce do druhé. Tato vůle může jednak způsobit problémy při těsnění, jednak je příčinou zvýšeného opotřebení. Velmi důležité je dodržení sousosty obou dílů. [5]

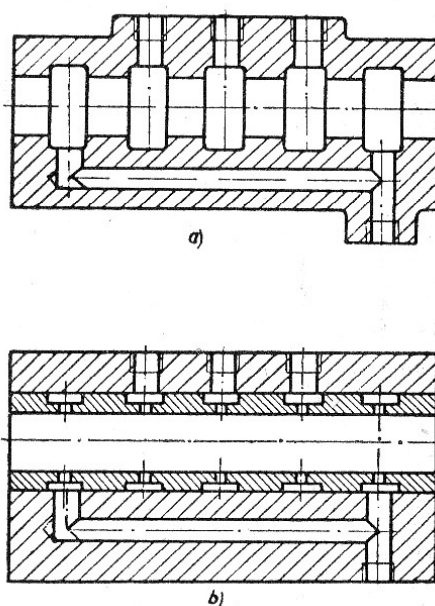
Vysokotlaké válce se zhotovují buď z ocelolitiny nebo jako kované. Rotující válce upínačů je vhodné vyrábět z lehkých slitin, aby měly malý moment setrvačnosti. [5]

Píst a pístní tyč. Tyto obě části se vyrábějí z jednoho kusu, je-li malý rozdíl průměrů, nebo dělené. Dělený píst je výhodné vyrábět z jemnozrné šedé litiny s ohledem na styk válec-píst. Pístní tyč se zhotovuje z oceli či bezešvé trubky. Druhého způsobu se využívá, když se válec pohybuje a kapalina je přiváděna pístní tyčí (obr. 3). [5]



Obr. 3 Přívod kapaliny pístní tyčí. [5]

Tělesa ventilů, rozvaděčů apod. se nejvíce zhotovují z ocelových bloků. Tento způsob je nejvýše nevhodný, zejména v sériové výrobě. Je potřeba se zaměřit na použití šedé litiny, která vyhoví v obráběcích strojích téměř vždy. Předlití spojovacích kanálků a otvorů pro ventily nebo šoupátka ušetří do značné míry obrobení. Tento způsob výroby ovšem předpokládá pečlivé a kvalitní provedení odlitků a sériovou výrobu dílů. Použití odlévaných těles umožní vypuštění pouzder, která věští nejen další zdražení výroby, ale jsou také současně zdrojem větších objemových ztrát. Srovnání tělesa litinového a ocelového s pouzdem se nachází na obr. 4. [5]

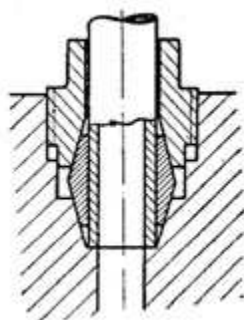


Obr. 4 a) Litinové těleso, b) Těleso s pouzdrém. [5]

Ventily, šoupátka, písty a rotory čerpadel. K jejich zhotovení se zpravidla používají cementační oceli. U ventilů namáhaných rázy, které jsou vystaveny většímu opotřebení, se doporučuje použití speciálních ocelí. Dlouhá šoupátka je vhodné tvrdě chromovat, aby byly vyloučeny deformace vznikající při kalení. [5]

Zpružiny jsou v hydraulických pohonech řazeny mezi nejvíce namáhané části. Je proto potřeba věnovat zvýšenou pozornost jejich výrobě. U zpružin málo namáhaných (např. vypínací šoupátka, blokovací ventily apod.) se může užít oceli 13 140, jinak je doporučena ocel 13 250 a 13 270. [5]

Těsnění ať statické, nebo dynamické se vyrábí nejvíce z pryže nebo umělých látek. Pouze těsnicí vložky v podřadných případech se zhotovují z papíru (těsnění velkých ploch), pro vyšší tlaky z mědi nebo měkké oceli (obr. 5), jde-li hlavně o těsnění přípojů trubek. Ukazuje se však, že hlavně tam, kde záleží na citlivosti pohybujícího se členu, je vhodné použití kožených manžet. [5]



Obr. 5 Přípoj s ocelovým kroužkem. [5]



2.3 PROVOZNÍ PODMÍNKY

Provoz hydraulických mechanismů odpovídá obecně platným zásadám a ve všech konkrétních případech musí ještě být dodrženy další kladené požadavky, jež jsou uvedené v návodu k obsluze. Tyto podmínky jsou nutné, aby se dosáhlo provozně – ekonomických výsledků. Jsou-li tyto podmínky nedodržovány, především se snižuje provozní spolehlivost a životnost mechanismu. [7]

Provozní spolehlivost je velmi důležitým faktorem u všech strojů a strojních soustav. Každá porucha stroje a následný výpadek z provozu znamená ztrátu. U některých zařízení a továren (hutě, válcovny apod.) může provozní porucha zapříčinit velké škody a to jak z hlediska poklesu produkce, tak z hlediska způsobených škod na materiálu při narušení kontinuity jeho zpracování. [7]

Lze obecně konstatovat, že základní platné zásady provozu hydraulických mechanismů, které musí být splněny, hlavně spočívají v zajištění následujících tří bodů: [7]

1. čistota a kvalita pracovní kapaliny;
2. provozní teplota mechanismu;
3. řádné seřízení mechanismu.

2.4 ÚDRŽBA, PREVENCE A DIAGNOSTIKA

Pracovníci údržby by měli z větší části provádět preventivní prohlídky a zásahy, které z těchto prohlídek případně vyplynou. Jelikož jsou systémy členité a složité a také s ohledem na integraci hydraulických systémů s elektronickými je nutné, aby určení pracovníci k údržbě hydraulických mechanismů měli potřebné znalosti, kvalifikaci a měli potřebné měřicí a diagnostické přístroje.

Většina moderních zařízení jsou zkonstruována tak, že jsou vybavena alespoň jednoduchým zabudovaným diagnostickým systémem, jenž zahrnuje i hydraulický obvod. Na zařízení je signalizován vznik poruchy a ve kterém uzlu nebo části hydraulického obvodu se porucha vyskytuje. Je tedy usnadněna podrobná identifikace závady, respektive nalezení nefunkčního hydraulického prvku. Ovšem ani v tomto případě se neobejdou pracovníci údržby bez alespoň základních měřících a diagnostických přístrojů. Pomocí těchto měřících přístrojů je zkrácen potřebný čas k nalezení a následnému odstranění závady a tím jsou tedy zkráceny prostroje. [7]

K preventivním prohlídkám je možno dodat, že časové intervaly a specifikace činnosti je závislá na druhu mechanismu a jeho pracovním režimu. Proto v návodu k obsluze by měly být tyto údaje uvedeny od výrobce. [7]

Jsou vyvíjena a ověřována čidla pro nejrůznější aplikace, která by automaticky upozorňovala na nutnost zásahu pracovníka údržby. V praxi v tomto směru zatím existuje jeden druh čidla – signalizuje okamžik cca 80 provozních hodin před vznikem havárie hydromotoru. Nainstaluje se přímo do skříně hydromotoru, funguje na principu sepnutí elektrického obvodu následkem přítomnosti vodivých kovových částí z opotřebených součástí. [7]



3 VHODNÉ HYDROMOTORY PRO JEŘÁBOVÉ BUBNY

Jedná se o rotační pístové motory. Prakticky se jedná o nejrozšířenější hydraulický motor. Základními součástmi jsou písty, které vykonávají přímočarý vratný pohyb ve válcích. Obecně pístový motor je z hydraulického hlediska nejvýhodnější typ. Umožňuje použití vysokých tlaků při dobré objemové účinnosti. Mají široký rozsah otáček, menší rozměry a hmotnosti. Časté použití těchto pohonů bubnu je např. u mobilní techniky (autojeřáby) nebo u přístavních jeřábů.

Rozděluje se podle prostorového uspořádání pístů na:

- axiální,
- radiální.

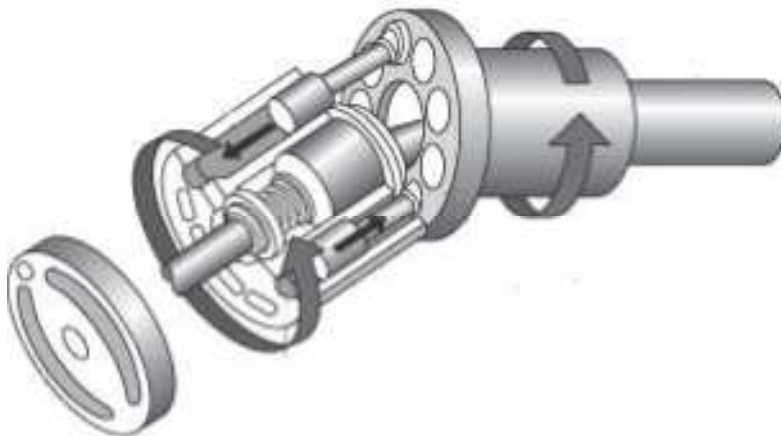
3.1 AXIÁLNÍ HYDROMOTOR

Tyto pístové hydromotory mají osu otáčení rovnoběžnou s osami válců. Jsou vyráběny v regulačním i neregulačním provedení. Změny geometrického objemu je dosaženo řízením zdvihu pístů a to změnou úhlu mezi osou bloku válců a osou hřídele, popřípadě změnou úhlu šikmé desky. Mají dynamické vlastnosti a jsou tedy vhodné pro vysoké pohybové frekvence. Mezi velké výrobce těchto motorů můžeme uvést např. Poclain Hydraulics, s.r.o. s pobočkou v Brně nebo Bosch Rexroth. Vhodný motor této firmy je uveden v katalogu v příloze 5. Podle konstrukce se dělí na: [2]

- s nakloněným blokem válců,
- s nakloněnou deskou.

3.1.1 S NAKLONĚNÝM BLOKEM VÁLCŮ

Osa hřídele je různoběžná s osou bloku válců a úhel mezi nimi sevřený určuje zdvih pístů. Nucený pohyb pístů je vyvolán ojnicemi uloženými v kulových kloubech v pístech a v hnaném hřídeli. Středky kulových kloubů na hřídeli leží v kolmé rovině k ose hřídele a prochází průsečíkem obou os. Rotační pohyb bloku a hřídele je vzájemně vázaný přes ojnice a písty, přičemž nutná vůle mezi pístem a ojnicí způsobuje jejich částečné úhlové pootočení. [2]



Obr. 6 Axiální pístový hydromotor s nakloněným blokem. [2]

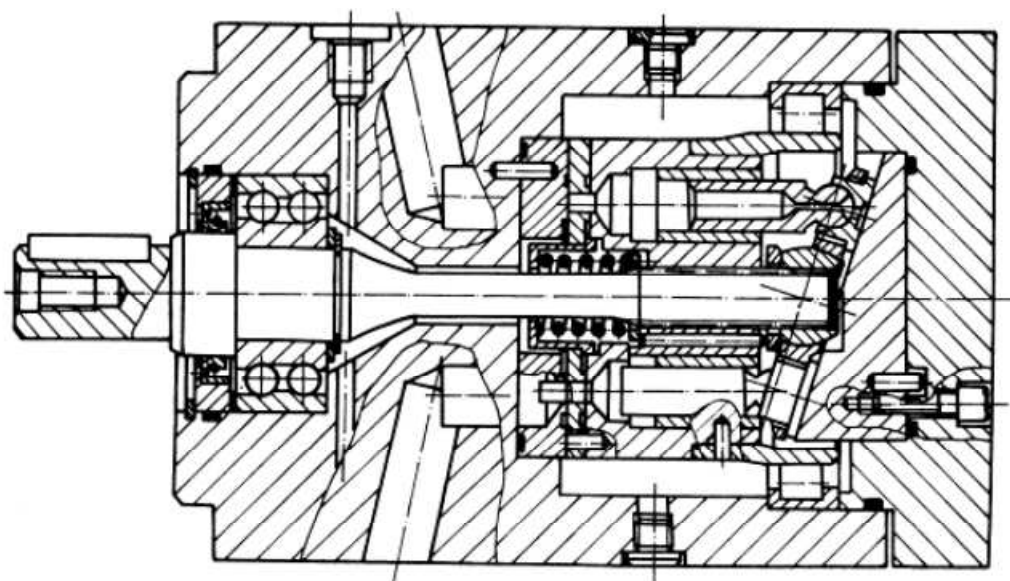


Neregulační motor má šoupátkový rozvod kapaliny na čele bloku válců. Styková rozvodová plocha u těchto prvků může být kulová nebo rovinná. Blok válců je volný axiálně a je silově vytížen. Blok válců je přitlačován axiálními silami k rozvodové hlavě a jsou v rovnováze se silami na rozvodových plochách, které blok odtlačují. Hydromotor má tzv. centrální přitlačování, které zvětšuje k bloku přitlačnou sílu lineárně se součtem tlaků v obou rozvodových prostorách. Kulová uložení ojnic jsou mazána kapalinou, která je přivedena z válců vrtáním v pístech a ojnicích. [4]

Pracovní část regulačního motoru je uložena v kyvném závěsu, jehož naklápěním se mění úhel sklonu os a tím i geometrický objem. Jejich nevýhodou jsou velké hmoty, které se pohybují při řízení a svým setrvačným účinkem zvětšují dobu přestavění nebo přestavné síly. Další nevýhodou jsou větší zástavbové rozměry. Jsou vyráběny v omezeném regulačním rozsahu, jelikož nejmenší velikost úhlu os je dána ztrátami vzniklými v hydromotoru. [2]

3.1.2 S NAKLONĚNOU DESKOU

Tento motor má nižší rozběhový moment, je to způsobeno vyššími třecími odpory mezi blokem pístu a pístem při přenosu momentu od nakloněné desky přes blok válců na hřídel. Z toho plyne menší účinnost. Jeho výhodou jsou menší rozměry. [6]



Obr. 7 Axiální pístový hydromotor s nakloněnou deskou. [2]

Blok válců a hřídel jsou ve stejné ose a rotace bloků je přímo odvozena od rotace hřídele. Písty jsou opřeny o šikmou desku a jejich zdvih je daný úhlem naklonění desky. Styk desky a pístů je přímý nebo pomocí hydrostaticky vyvážených kluzátek. Písty se v prvním případě svým vnějším koncem opírají o desku, která je uložena na ložisku a rotuje společně s nimi a blokem válců. V druhém případě jsou vnější konce pístů vybaveny kluzátky, deska je pevná a tato kluzátka po ní kloužou. Kluzátka jsou spojena s písty kulovým kloubem. [2]

Modifikací motorů s nakloněnou deskou jsou pomaloběžné axiální pístové hydromotory, u kterých je styk mezi pístem a šikmou deskou tvořen koulemi. Zpravidla jsou vyráběny s protiběžnými písty, takže axiální síly jsou vyrovnané a nezatěžují ložiska. Dvě nakloněné desky mají oběžné dráhy tvořeny částí anuloidů. Ve styku s pístem jsou koule odlehčovány tlakem kapaliny a odvalují se po oběžné dráze desek. Z hřídele se stává rotující válcové rozvodové šoupátko, jelikož jeho vnitřkem je rozváděna kapalina. [2]

3.2 RADIÁLNÍ HYDROMOTOR

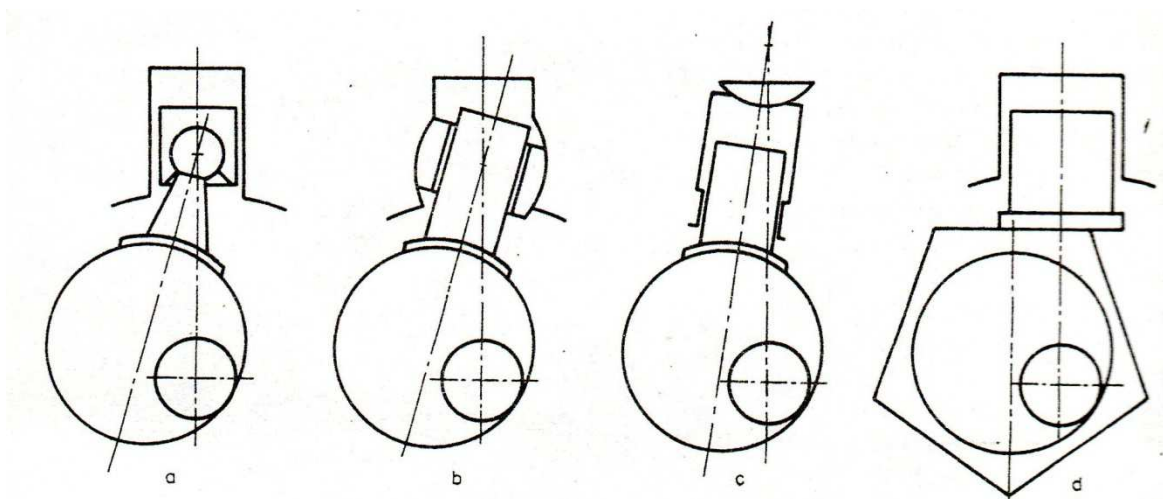
Tyto hydromotory se používají převážně jako neregulační vysokomomentové pomaluběžné. Osy válců jsou v rovině, která je kolmo k ose otáčení. Téměř výhradně bývají konstruovány pro nízké až střední otáčky a při možnosti práce při tlacích až 40 MPa dovedou zajistit vysoké kroutící momenty. Ty jsou s výhodou využívány k přímému pohonu stroje bez vložené mechanické převodovky. Tyto hydromotory se výhodně používají tam, kde je možné je přímo vestavět do hnaného zařízení. Známá aplikace tohoto druhu jsou právě pohony jeřábových bubnů (např. u mobilní techniky – autojeřáby, nebo u přístavních jeřábů) a také pohony pojezdových kol mobilních strojů. Při požadavku na zvlášť velké točivé momenty se pomaluběžné motory zkombinují s planetovým převodem, navíc často i s brzdou, která zajistí klidovou polohu. Mazání motoru probíhá kvalitně již samotným hnacím médiem. Vyrábějí se pro jmenovité tlaky až 32 MPa, maximální tlaky jsou do 40 MPa a otáčky 0,1 až 10 s⁻¹. Záběrový moment je 90 – 98% maximálního momentu. [2, 7]

Radiální pístové hydromotory jsou dvou konstrukcí:

- s písty vedenými ve statoru,
- s písty vedenými v rotoru.

3.2.1 S PÍSTY VEDENÝMI VE STATORU

Síla přes písty od tlaku kapaliny je přenášena na výstředník vytvořený na výstupním hřídeli hydromotoru. Přenášení síly od pístu ke středu excentru je zajištěno pomocí ojnice, naklápěním vedení pístů nebo pomocí vícebokého hranolu. Tyto pohony pístů se liší výrobcem. [7]

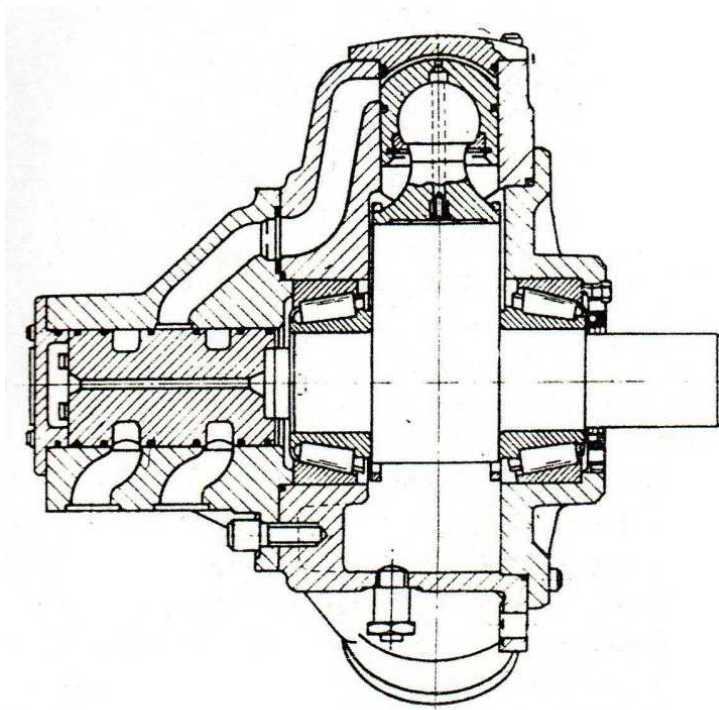


Obr. 8 Různá řešení pohonu pístu: a) s kulovým čepem v pístu, výrobce Staffa, b) naklápěním vedení pístu, výrobce Pleiger, c) rovněž naklápěním vedení pístu, firma Calzoni, d) pomocí vícebokého hranolu, od firmy Düsterloh. [7]

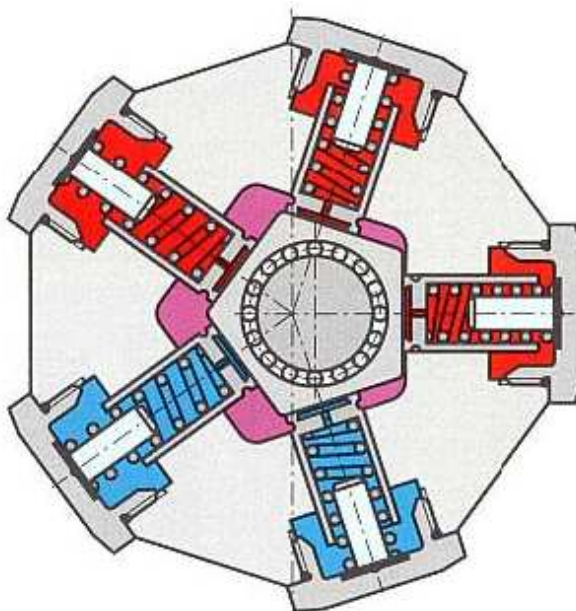
Počet pístů se pohybuje mezi 5 a 7, písty mohou být uspořádány ve dvou řadách, vzájemně pootočených o polovinu rozteče pístů – toto řešení se hlavně užívá pro zvýšení kroutícího momentu. [7]



Rozvod je řešen válcovým nebo plochým šoupátkem. Hydromotory tohoto typu se nazývají jednokřivkové, jelikož geometrický objem je tvořený zdvihem pístů sledujících kruhovou dráhu. [7]



Obr. 9 Příklad řešení motoru s písty vedenými ve statoru. [7]

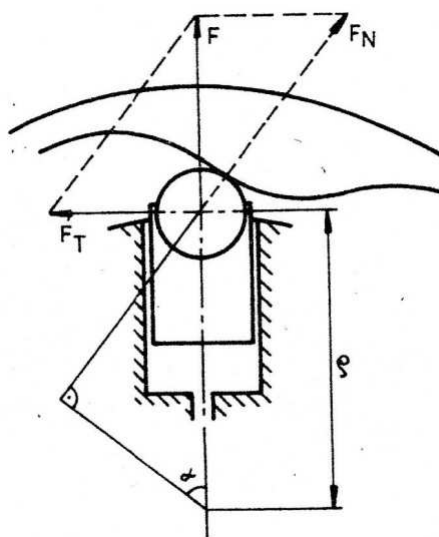


Obr. 10 Další příklad motoru s písty ve statoru, červená barva označuje písty pod tlakem. [7]

3.2.2 S PÍSTY VEDENÝMI V ROTORU

Tyto hydromotory mají křivkovou dráhu pro písty. Ta umožňuje několikanásobný zdvih každého pístu během jediné otáčky, proto se motory tohoto typu také nazývají vícekřivkové. [2, 7]

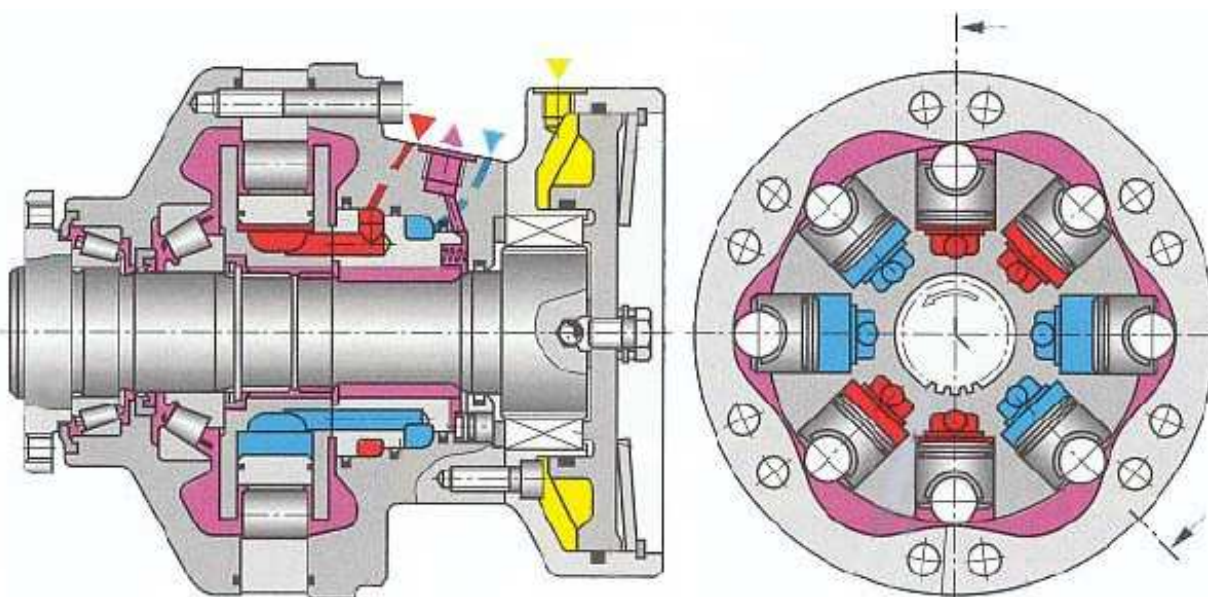
Rozvod kapaliny je proveden rozvodovým čepem, kolem kterého rotuje blok válců. Na píst působí síla tlakové kapaliny, ta se přenáší na oběžnou dráhu pomocí kladky. [2, 7]



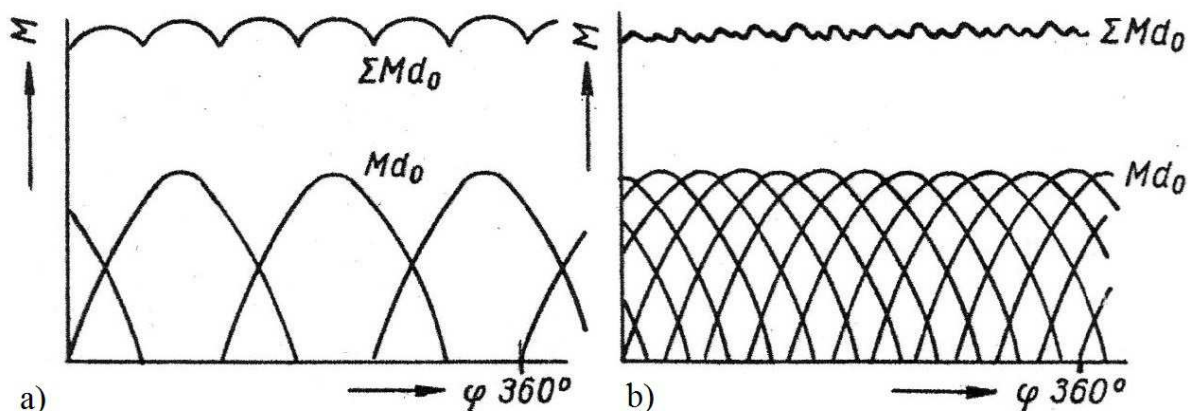
Obr. 11 Znázornění kladky. [7]

Rozkladem této síly vzniká normálová složka, zachycena povrchem oběžné dráhy a tečná složka, která na odpovídajícím poloměru k ose motoru vytváří dílčí točivý moment. Výsledný moment motoru je dán součtem těchto dílčích točivých momentů od pístů pod tlakem. [7]

Modernizované konstrukce mají počet pístů sudý, radiální síly jsou tedy v rovnováze. Vhodným tvarem oběžné dráhy lze docílit dokonalé rovnoměrnosti otáčení. [7]



Obr. 12 Radiální hydromotor s písty vedenými v rotoru, tlaková kapalina značena červenou barvou. [2]



Obr. 13 Znázornění nerovnoměrnosti hnacího momentu při různém počtu pístů, např.: a) 4 písty, b) 12 pístů. [7]

3.3 POUŽITÝ TYP HYDROMOTORU

Pro vlastní návrh a konstrukci 3D modelu hydraulického pohonu jeřábového bubnu, za účelem vysvětlení principu funkce, je zvolen nejčastěji používaný typ, a to radiální pístový hydromotor s písty vedenými v rotoru. Regulace probíhá typicky ventilově, regulací hydrogenerátoru nebo také u některých motorů výměnou rozvodového ústrojí – tím dojde ke zmenšení/zvětšení objemu motoru. Součástí motoru je parkovací lamelová brzda nebo může být i bubnová. Parkovací brzda je pro použití u jeřábového bubnu nutná, jelikož dochází k prosakování kapaliny uvnitř motoru – břemeno by časem spadlo. Slouží také jako bezpečnostní. Pokud je hydraulická, je nutné zajistit k ní přívod kapaliny. Samotný hydromotor je zapojen na přívod a odvod kapaliny. Potom musí být také zajištěn odvod již zmíněné přebytečné kapaliny, která uniká různými mezerami do prostor motoru. Ta současně zajišťuje mazání motoru.

Známým výrobcem těchto motorů je Hägglunds, který nedávno přešel pod Bosch Rexroth. Tato firma je známa hlavně pro aplikace pohonů větších rozměrů a velká zatížení. Dalším známým výrobcem je Poclain Hydraulics. Jako vhodný typ pro jeřábový buben lze uvést např. MS/MSE02 této firmy, jeho základní parametry jsou: $P = 22 \text{ kW}$, maximální tlak 45 MPa , maximální otáčky $9,8 \text{ s}^{-1}$, objem za otáčku $0,7 \text{ L.ot}^{-1}$. Další podrobné parametry jsou uvedeny v katalogu v příloze 4. Konkurenční motor od firmy Bosch Rexroth je uveden v příloze 6. [15]

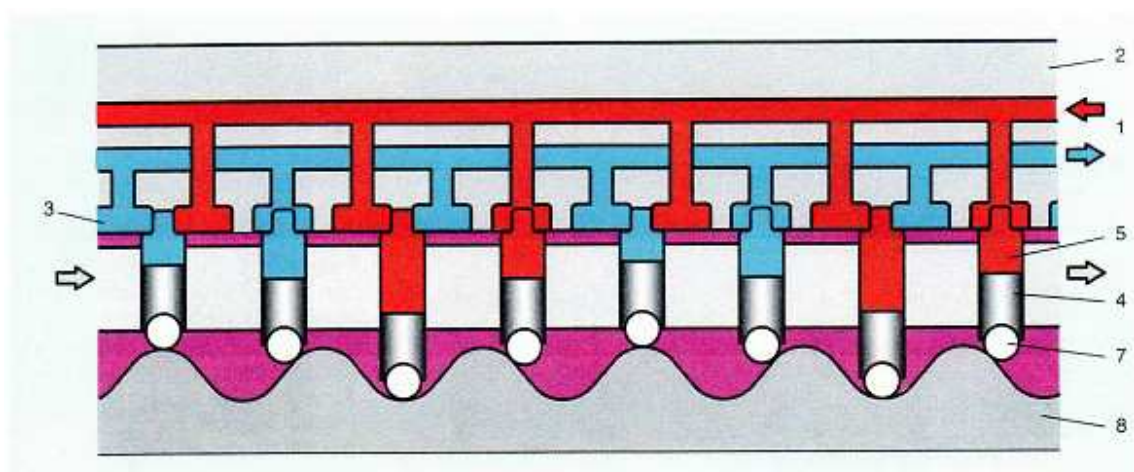


Obr. 14 Hydromotor MS/MSE02 od Poclain Hydraulics. [15]

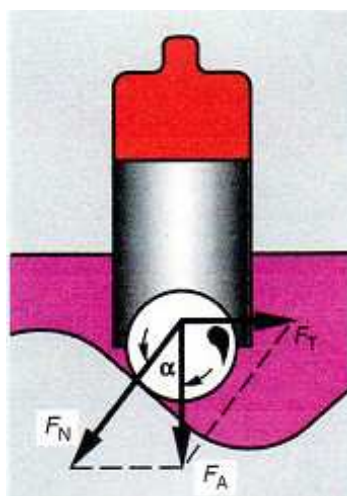
3.3.1 PRINCIP FUNKCE

Tento typ hydromotoru má křivkovou dráhu pro písty, jenž umožňuje několikanásobný zdvih každého pístu během jediné otáčky.

Princip funkce je znázorněn na obr. 15. Kapalina je přivedena pod tlakem (1) rozvodovým ústrojím (2) a vtokovým ventilem (3) vtéká do prostoru pod pístem (5), píst (4) se vlivem tlaku od kapaliny posouvá. Síla tlakové kapaliny, která působí na píst, se přenáší na oběžnou dráhu (8) pomocí kladky (7) – píst po křivce sjíždí dolů. Rozložením této síly vzniká normálová složka, která je zachycena povrchem oběžné dráhy a tečná složka, která na odpovídajícím poloměru k ose hydromotoru tvoří točivý moment. Po součtu těchto dílčích točivých momentů máme výsledný moment motoru. Jak rotor stále pokračuje v pohybu, píst je stlačen křivkou na oběžné dráze opačným směrem (směrem nahoru) a vytlačuje takto kapalinu skrz odtokový ventil rozvodovým ústrojím ven. Tento děj probíhá u každého pístu během každé otáčky. [1]



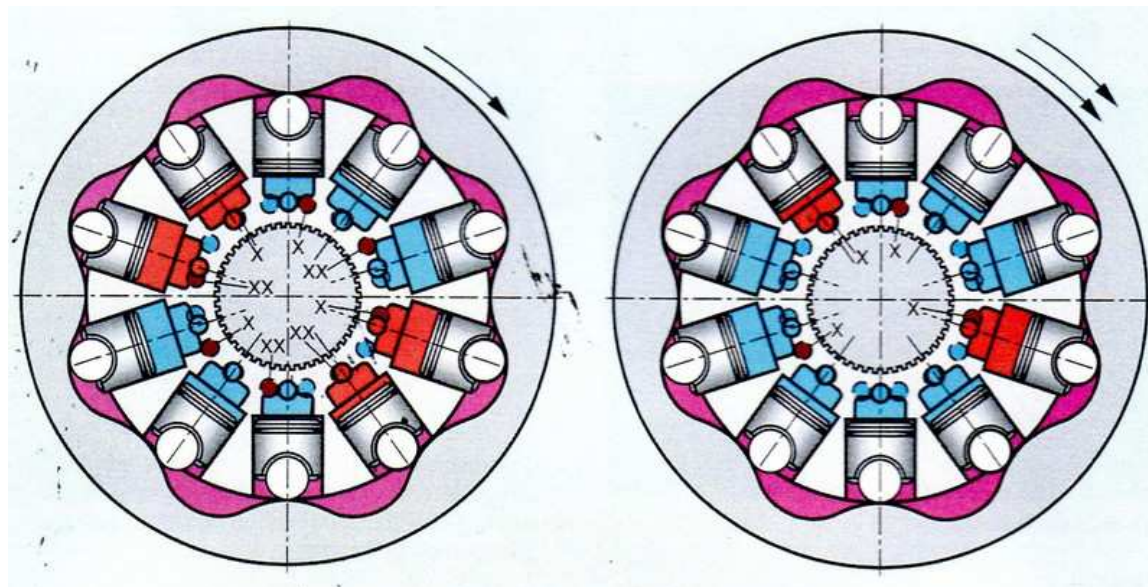
Obr. 15 Princip funkce (barvou červenou je znázorněna kapalina pod tlakem, modrá - odvod. [1])



Obr. 16 Princip kladky. [1]

3.3.2 NASTAVENÍ OBJEMU HYDROMOTORU

Některé motory tohoto typu s písty v rotoru umožňují změnou rozvodového ústrojí měnit svůj objem. Toho se docílí tím, že se mění množství vtokových ventilů na rozvodu. Po snížení počtu vtokových ventilů se sníží i objem. Výsledkem jsou vyšší otáčky rotoru a nižší kroutící moment. [7]



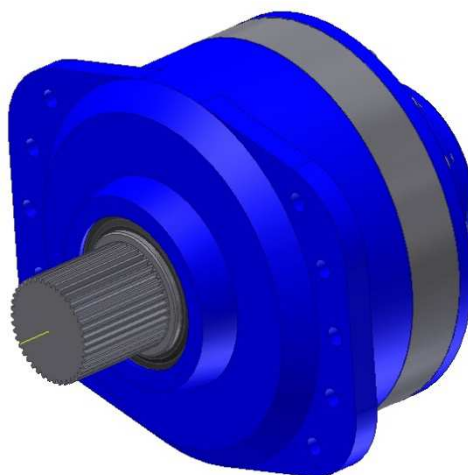
Obr. 17 Příklad změny objemu u 10-ti pístového motoru, vlevo vtokové ústrojí s 8 vtokovými ventily, vpravo je počet ventilů snížen o polovinu – 1:2, tím otáčky vzrostou na 200% a kroutící moment klesne o polovinu. Tlak značen červenou barvou. [1]

3.3.3 VLASTNÍ KONSTRUKCE HYDROMOTORU

Je zvolen typ radiálního pístového hydromotoru s písty vedenými v rotoru. Dle doporučení volen klasický počet vtokových ventilů 1:1 – pro 8 pístů je 6 vtokových ventilů na rozvodovém ústrojí. Je jich 6, jelikož to je i počet zdvihů – křivek pro 8 pístů. Rozvodové ústrojí je vyměnitelné pro případnou změnu objemu. V zadní části se nachází elektricky ovládaná hydraulická lamelová brzda, která je také aktivována i v případě havárie nebo poruchy.

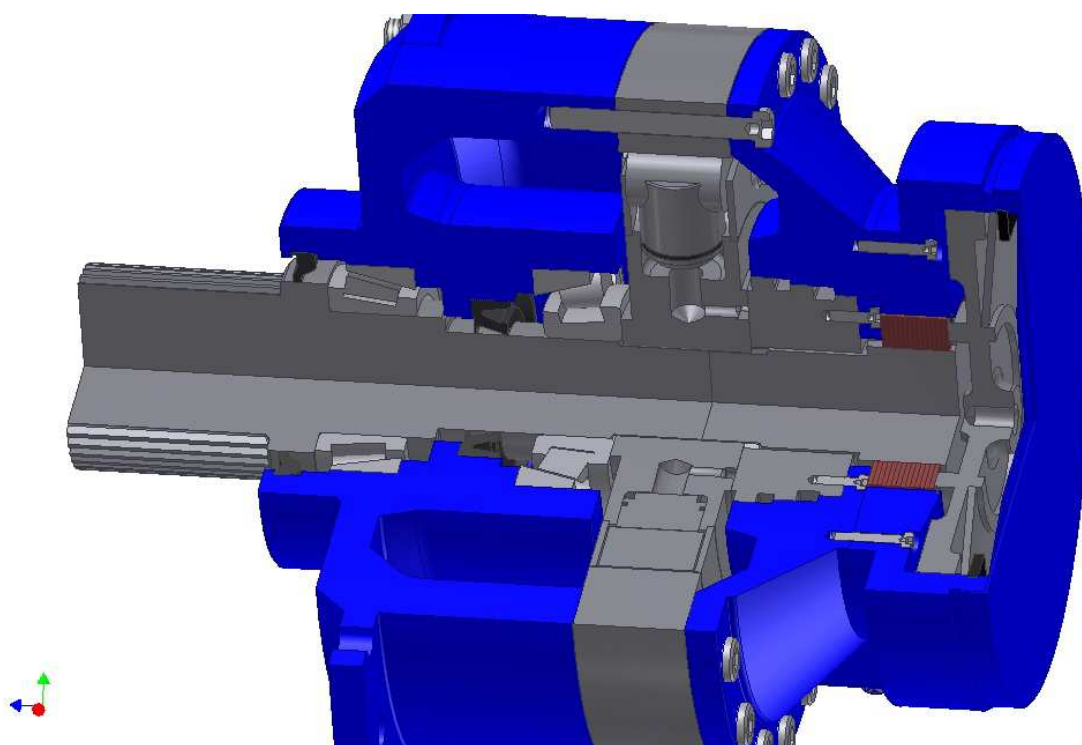
Rozměry motoru jsou obdobné s typem MSE02 od Poclain Hydraulics: průměr 218 mm, délka 200 mm, průměr výstupního hřídele je 60 mm, průměr pístu 25 mm, zdvih 8 mm, počet křivek 6, počet pístů je 8. Základní parametry:

- maximální výkon $P = 17 \text{ kW}$,
- maximální tlak $p = 35 \text{ MPa}$,
- maximální otáčky $n = 0,8 \text{ s}^{-1}$,
- objem $V_{ot} = 0,56 \text{ L.ot}^{-1}$,
- maximální kroutící moment $M_k = 2\,700 \text{ N.m}$.



Obr. 18 Vlastní konstrukce hydromotoru.

Výpočty byly provedeny firmou Poclain Hydraulics. Bližší náhledy vlastního návrhu radiálního hydromotoru jsou uvedeny v příloze 7 a 8.



Obr. 19 Konstrukce vlastního hydromotoru, zleva: výstupní hřídel, 2 soudečková ložiska nesoucí zátěž bubnu, rotor s písty obíhajícími křivky statoru, rozvodové ústrojí s kanály pro rozvod kapaliny, lamelová parkovací brzda.



4 HYDRAULICKÝ OBVOD

Obvod pohonu se skládá z těchto hlavních částí: čerpadla (hydrogenerátoru), hydromotoru, ovládacích členů, pomocných členů, nádrže pro kapalinu, z potrubí.

Mezi ovládací členy jsou řazeny takové prvky, jež mohou změnou své polohy ovlivňovat chod motoru, např. rozváděče, škrťací ventily, kohouty, blokovací ventily, časová relé atd. Zbývající členy jsou pomocné. Spojením a provedením všech členů tak, aby vykonávaly sled pohybů, určitou funkci, vzniká tzv. hydraulický obvod. [5]

Obvody se rozdělují na:

- Otevřené – provozní kapalina se vrací po každém pracovním cyklu z hydromotoru zpět do nádrže.
- Uzavřené – objem kapaliny obíhá v uzavřeném okruhu, aniž by se po skončení pracovního cyklu vracel do nádrže.

4.1 VHODNÝ HYDRAULICKÝ OBVOD A JEHO ČÁSTI

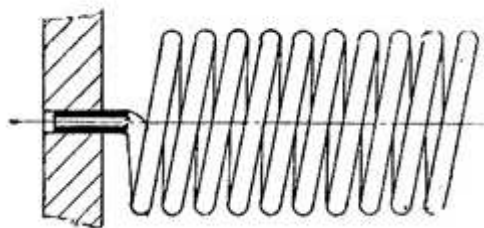
Jedná se o otevřený obvod. Kromě hlavních částí jako je hydromotor s brzdou, čerpadlo, potrubí a nádrže se skládá navržený vhodný hydraulický obvod z rozváděče, zpětných ventilů, přepouštěcích ventilů, hydraulických zámků, ovládacího ventilu brzdy, uzavíracích ventilů, sacího filtru a vzduchového filtru na nádrži. Možností návrhu hydraulického obvodu pro pohon jeřábového bubnu je samozřejmě více.

Rozváděče jsou prvky určené k rozvodu kapaliny a k hrazení průtoku. V navrhovaném hydraulickém obvodu se jedná o elektromagneticky ovládaný rozváděč s bypassem. Zpětné ventily slouží k propouštění kapaliny pouze jedním směrem. Přepouštěcí ventily udržují v mechanismu přibližně konstantní tlak, přičemž propouští určitý průtok. Hydraulické zámkové ventily vznikají spojením dvou řízených jednosměrných ventilů. Slouží k zajištění a fixaci, zaručují maximální těsnění. Ovládací ventil hydraulické brzdy na motoru je elektrický. Uzavírací ventily uzavírají určité větve hydraulického obvodu. [10]

Schéma hydraulického obvodu i s popisem je uvedeno v příloze 1, která je součástí této práce.

4.2 ODVZDUŠNĚNÍ A KONTROLA TLAKU

Při navrhování hydraulického pohonu je potřeba zamezit vniku vzduchu do obvodu a zajistit, aby vzduch případně mohl být odstraněn. Vzduch v oleji je příčinou nespolehlivého chodu. Je snížena tuhost a zvyšuje se nerovnoměrnost pohybu. Zvyšuje sklon ke kavitaci v čerpadlech a způsobuje jejich hlucení. Je také třeba zamezit vzniku vzduchových polštářů ve válcích tím, že se přívod kapaliny umístí v nejvyšších místech. Kromě toho je dobré umístit v nejvyšších místech obvodu odvzdušňovací ventily. Místo těchto ventilů je možné použít trubky malého průměru, stočené do spirály (obr. 20). [5]



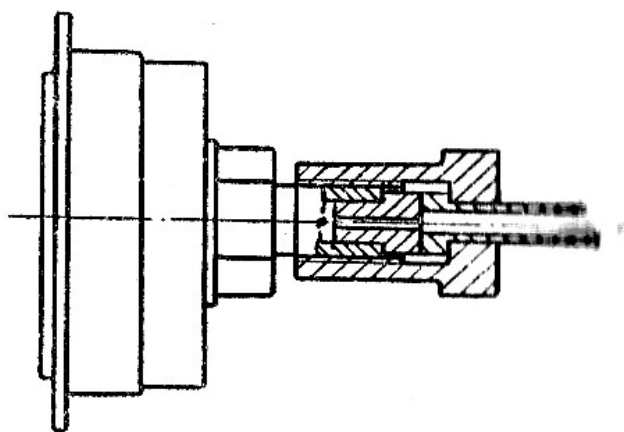
Obr. 20 Odvzdušnění trubičkou. [5]

Pokud není v obvodu vzduch, odkapává trubičkou olej. Jeho množství při vhodně dimenzovaném průměru trubky nemá prakticky vliv na objemové ztráty. Vzduch v obvodu lze také poznat podle toho, že olej v nádrži je světle žlutý a povrch pěnivý. [5]

Pro seřízení pohonu na optimální poměry je důležitá kontrola tlaku, ta se provádí pomocí pružinových nebo speciálních manometrů.

Jelikož tlak v obvodě je často proměnnou veličinou závislou na rovnoměrnosti dodávky kapaliny, je potřeba manometr nějak chránit, aby se jeho pružina brzy neunavila. K manometru je tedy připojen uzavírací kohout. Manometr se potom zapojuje do obvodu jen na dobu potřebnou ke změření tlaku. Někdy postačuje vložení tlumivky do přívodu a manometr zůstává zapojen celou dobu provozu (obr. 21). [5]

Je-li potřeba kontroly tlaku na některých místech jen při montáži či seřizování, zhotoví se v tělese přípojný otvor, který se po kontrole zaslepí.



Obr. 21 Ochrana manometru tlumivkou. [5]



5 SPOJENÍ HYDRAULICKÉHO POHONU S BUBNEM A ČÁSTI SESTAVY

Hydraulické pohony získávají stále více na významu a použití. Nevyžadují užití převodovky, jelikož používané hydromotory již generují vysoké kroutící momenty. Pro speciálně vysoké kroutící momenty jsou hydromotory kombinované s planetovým převodem. Hydromotor je vybaven vlastní parkovací brzdou. Součástí pohonu je hydraulický obvod, popsáný v předchozí kapitole. [7]

Uspořádání a spojení hydraulického pohonu s bubnem může být různého provedení, např. spojkou, buben má vlastní ložiska a motor je vybaven ramenem pro zachycení kroutícího momentu. Často používané řešení je, že výstupní hřídel motoru je přímo spojen s bubnem pomocí spojky, zatížení nesou kuželíková ložiska uvnitř motoru a na druhém konci bubnu se nachází naklápěcí ložisko. Tuto koncepci jsem použil ve své práci. Existuje další časté řešení – buben je z každé strany vsazen na výstupní hřídele dvou motorů. Tak se často děje např. u malých typů MS/MSE02 od Poclain Hydraulics. Zatížení potom opět nesou kuželíková ložiska v motorech.



Obr. 22 Hydraulický pohon jeřábového bubnu od firmy Hägglunds (Bosch Rexroth). [17]

5.1 SPOJKY

Spojky obecně jsou součástí přenášející kroutící moment mezi hnacím a hnacím zařízením či mezi jednotlivými součástmi. Hlavní funkce spojek:

- tlumení rázů a torzních kmitů hřídelí,
- ochrana zařízení před přetížením,
- umožňují montážní nepřesnosti a tepelnou roztažnost součástí,
- zajišťují plynulý rozběh zařízení,
- montáž a demontáž celku po částech.



Pro naše použití jsou vhodné spojky zubové a také se používají nejčastěji. Jejich velkou výhodou je schopnost přenášet velké kroutící momenty. Dalšími výhodami jsou malá hmotnost a malý moment setrvačnosti. Umožňují malé úhlové výchylky a axiální posuv bubnu. Pro malé kroutící momenty se vyrábějí z plastu, pro střední a velké momenty jsou ocelové lité nebo kované. [11]

Spojení s bubnem může být také provedeno napřímo, kdy drážkovaná hřídel na konci bubnu je zasunuta do rotoru motoru, nebo naopak. Další možností je, že výstupní hřídel motoru již tvoří svým velkým průměrem na konci kotoučovou spojku a tou je přímo spojen s bubnem (obr. 23).



Obr. 23 MS/MSE02 od Poclain Hydraulics. [15]



Obr. 24 Příklad zubové spojky, výrobce ComInTec. [12]

5.2 JEŘÁBOVÉ BUBNY

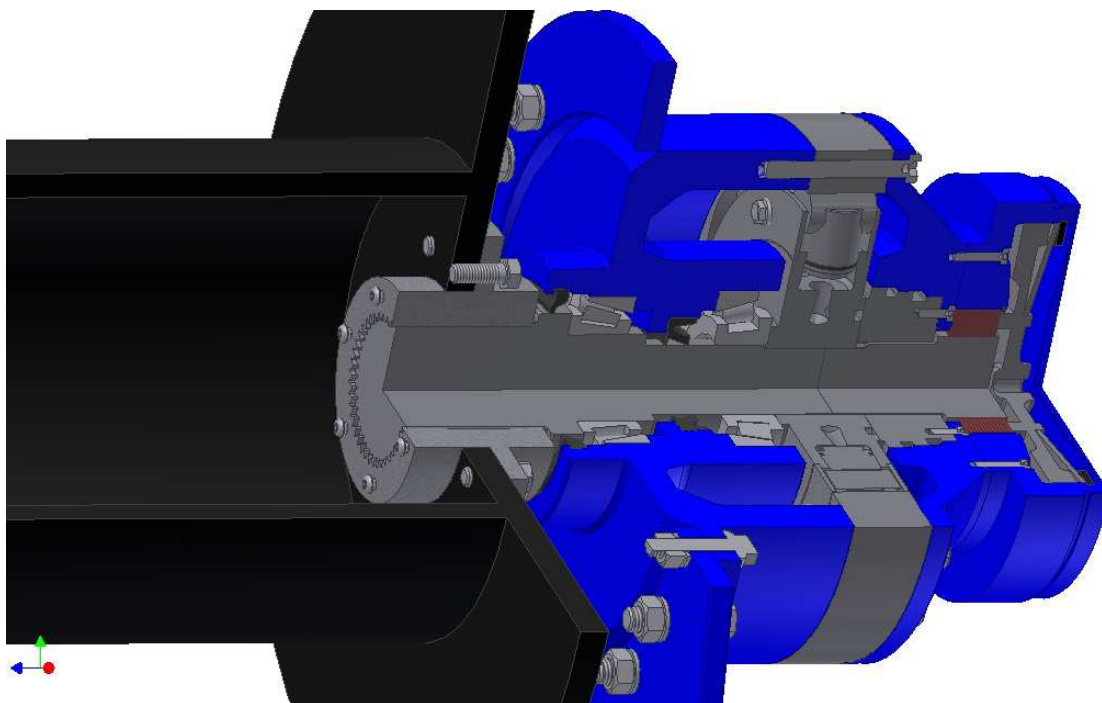
Bubny pro ocelová lana se vyrábějí hladké nebo s vodící drážkou pro lano. U hladkého bubnu je lano navíjeno ve více vrstvách a buben musí mít tedy obruby. U bubnu s drážkou je lano navíjeno jen v jedné vrstvě do drážky a nedochází tedy k otěru lana o lana, což jej více šetří proti opotřebení. Hladké bubny se používají pro menší zatížení. Pro větší zatížení se tedy užívají bubny drážkované – často se šroubovitými drážkami, dle průměru lana je voleno stoupání šroubovice. Buben je vyráběn ze svařence z trubky nebo skružovaného plechu, méně často jako odlitek (šedá litina nebo ocel). [13]



Obr. 25 Hladký a drážkovaný buben firmy Alto Systems. [14]

5.3 VLASTNÍ ŘEŠENÍ SESTAVY

Hlavní částí je radiální pístový hydromotor s písty vedenými v rotoru uvedený v této práci. Bylo použito časté řešení spojení a to přes drážkovou výstupní hřídel motoru pomocí zubové spojky přišroubované k bubnu. Spojka dovoluje axiální posuv bubnu a malé úhlové výchylky. Inspirací použité spojky byla spojka Siemens Zapex série ZN ze zušlechtné oceli, která je schopna přenášet kroutící moment až 162 500 N.m. Ze strany bubnu je opatřena víkem, pro případ vady těsnění u výstupní hřídele motoru a následnému úniku oleje do svařence bubnu. [18]

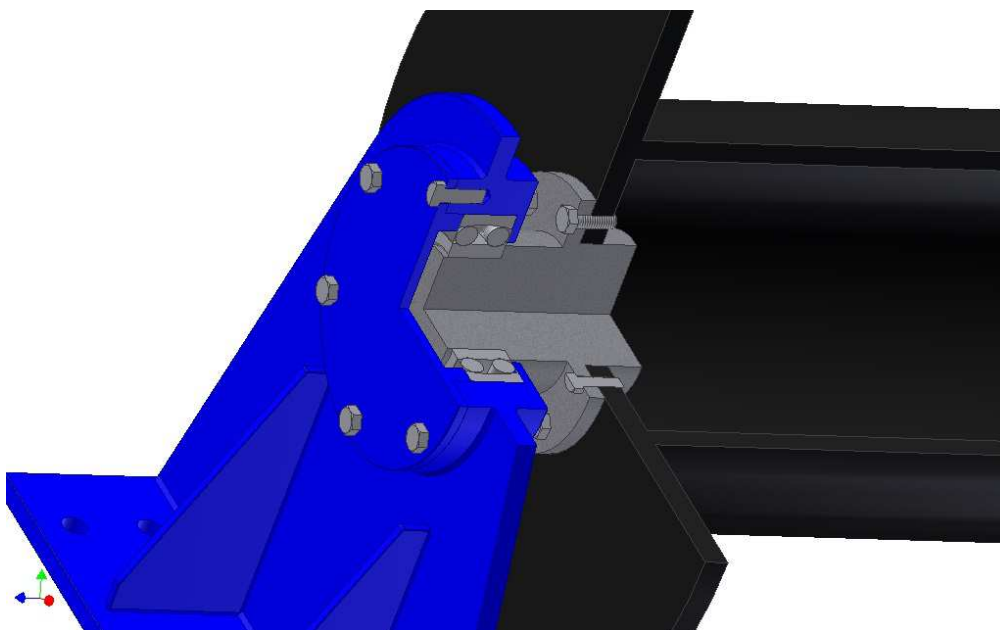


Obr. 26 Vlevo zubová spojka (bez víka), hydromotor, zcela vpravo brzda, která je součástí motoru.



Buben je použit hladký s obručemi pro více vrstev lana, vyroben ze svařence o materiálu zaručujícím svařitelnost. Průměr lana je 8 mm. Z druhé strany bubnu je přišroubován podpěrný čep. Ten je uložen na ložisku v ložiskovém pouzdře umístěném na držáku bubnu.

Ložisko je naklápěcí kuličkové s těsněním, vyrovnává nepřesnosti výroby a zatížení bubnu. Jedná se o SKF ČSN 024650. Umožňuje také snadnější montáž bubnu. Ze strany motoru nesou zatížení dvě kuželíková ložiska uvnitř motoru – SKF ČSN 024720. Všechny součásti jsou dostatečně naddimenzovány.



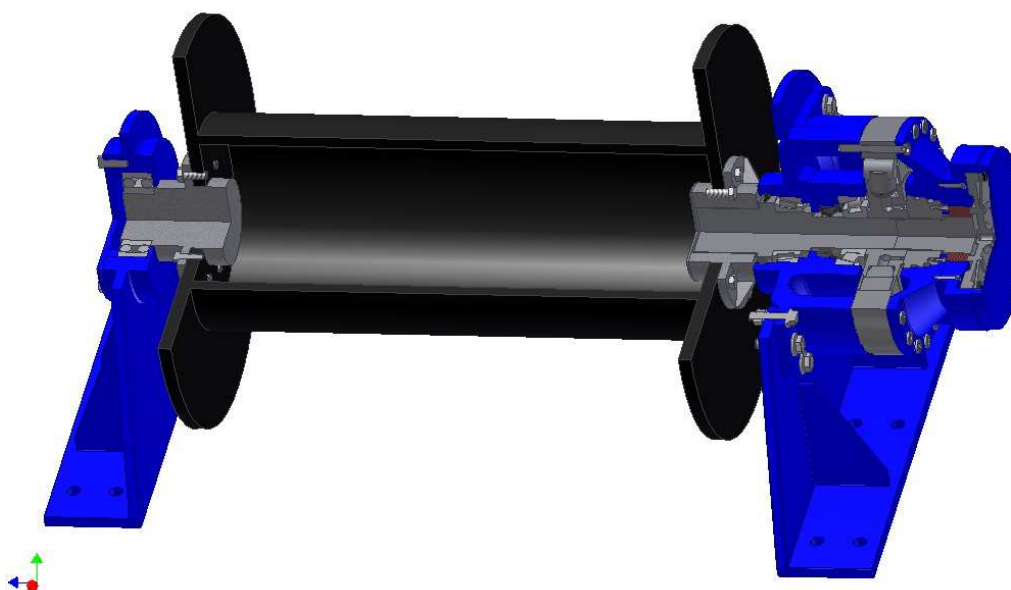
Obr. 27 Naklápěcí ložisko a podpěrný čep.

Základní a montážní rozměry jsou uvedeny na výkresu v příloze 2. Výpočty a návrhy parametrů motoru, bubnu a pumpy, byly provedeny firmou Poclain Hydraulics. V tab. 1 jsou tyto navržené parametry uvedeny. 3D model pohonu je zobrazen v příloze 3.



Tab. 1 Spočtené parametry firmou Poclain Hydraulics.

Specifikace:		
Výkon motoru	17,0	kW
Pumpa	20	cm ³ .ot ⁻¹
Otáčky pumpy	1500	min ⁻¹
Hydromotor	0,56	L.ot ⁻¹
Rychlost navíjení	30	m.min ⁻¹
Zatížení bubnu	5	kN
Průměr bubnu	200	mm
Průměr lana	8	mm
Plnicí tlak	35	MPa
Odvodný tlak	2	MPa
Účinnost motoru	0,93	(-)
Průtok	28,5	L.min ⁻¹
Max.krouticí moment motoru	2,7	kN.m
Max.rychlost motoru	48,3	min ⁻¹
Rychlost navíjení 1 vrstvy lana	31,59	m.min ⁻¹
Síla od 1 vrstvy lana	26,28	kN



Obr. 28 Celkový pohled, větší náhled se nachází v příloze 7.

6 DALŠÍ MOŽNOSTI POHONŮ JEŘÁBOVÝCH BUBNŮ

Zdvihový mechanismus jeřábů může mít spoustu druhů pohonu, od nejpoužívanějších elektrických, po např. hydraulické, jimž je věnována tato závěrečná práce.

6.1 SHRUTÍ VEŠKERÝCH POHONŮ A JEJICH SROVNÁNÍ

Ruční pohon není příliš častý, používá se u zařízení jednoduchých a málo používaných nebo u zařízení, kde je nutnost přesné manipulace. Také se užívá jako záložní pohon. Pro malé hmotnosti. [9]

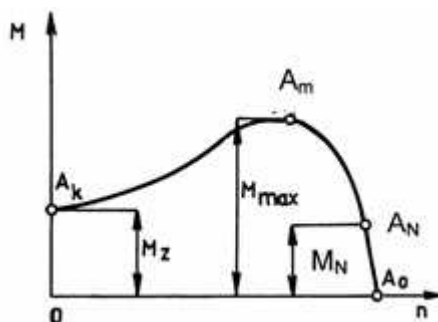
Pneumatický pohon je možné užít tam, kde je zaveden stlačený vzduch. Jedná se o pružný pohon, vyfukovaný vzduch také přispívá k větrání. Je výhodný pro provoz ve výbušném prostředí. [9]

Pohon se spalovacím motorem je nezávislý na elektrické síti, je tedy výhodný pro použití v terénu a tam, kde se jiné zdroje nenabízí. Do $P = 30$ kW se používá benzínový motor, pro vyšší výkony potom naftový. Mezi nevýhody řadíme malou přetížitelnost, obtížnou reverzaci a spouštění, méně výhodná charakteristika. V uzavřených prostorách je nutné použít detoxikační zařízení. Mezi motorem a dalším ústrojím musí být užitá výsuvná spojka, spojená obvykle se spojkou pružnou. Výhodně se tento pohon spojuje s elektrickým nebo hydraulickým pohonem (dieselektrický, dieselhydraulický). [9]

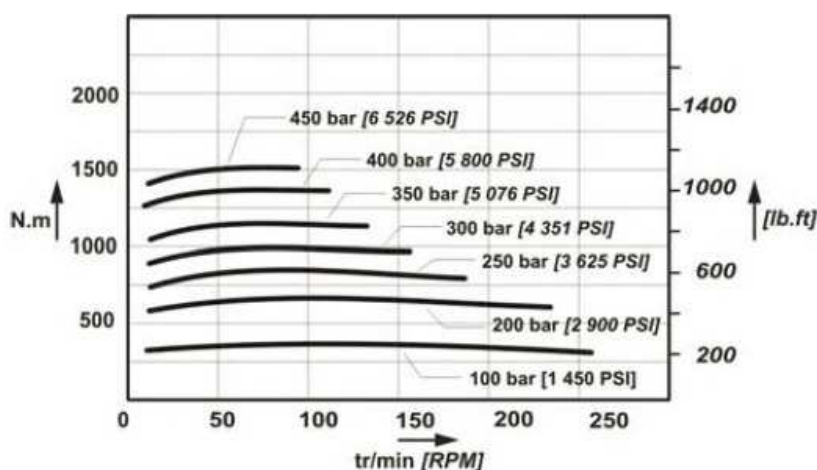
Elektrický pohon je jistě nejpoužívanější. Umožňuje individuální pohon každého mechanismu. Výhodou je snadný přívod energie, pohotovost, možnost reverzace, snadná ovladatelnost, hospodárny provoz, možnost elektrického brzdění. Mezi nevýhody lze řadit závislost na elektrické síti, či nebezpečí úrazu elektrickým proudem. [9]

Hydraulický pohon je poháněn tlakovou kapalinou generovanou čerpadlem (hydrogenerátorem). Vyznačuje se plynulou regulací rychlosti, jednoduchou ovladatelností, malými rozměry v poměru s velkými výkony. Je však choulostivý na nečistoty a změny teploty, je nutná velmi přesná výroba. Hydraulické pohony mají stále větší význam a častější použití. Na obr. 29 a 30 se nachází pro příklad srovnání momentové charakteristiky nejpoužívanějšího pohonu - elektrického s pohonem hydraulickým. [9]

Jak je vidno, užití hydraulických pohonů pro jeřábové bubny je i přes některé nevýhody opodstatněné a výhodné. Další podkapitola je věnována shrnutí jejich veškerých vlastností.



Obr. 29 Momentová charakteristika asynchronního motoru, M_z je moment záběrný – bod A_k , M_{max} maximální moment, M_{max} může být někdy zároveň momentem záběrným – bod A_m , M_N je jmenovitý moment, nulový moment – bod A_0 . [8]



Obr. 30 Momentová charakteristika radiálního pístového hydromotoru s písty v rotoru – typ MS02 od Poclain Hydraulics. [16]

6.2 SOUHRN VÝHOD A NEVÝHOD HYDRAULICKÝCH POHONŮ BUBNŮ

K rozšíření hydraulických pohonů napomohly některé vlastnosti, které je dnes činí někdy nepostradatelnými. K jejich výhodám lze řadit:

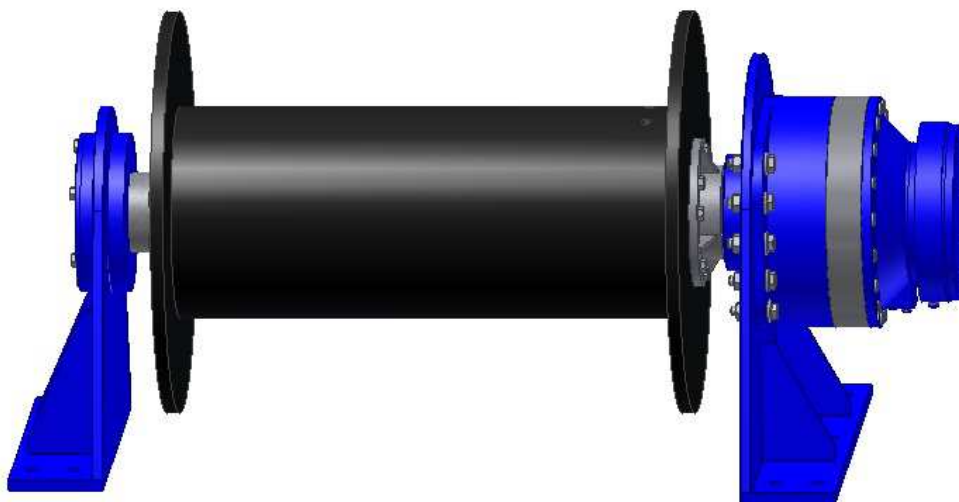
- snadné rozvádění energie i na velké vzdálenosti, při libovolném uspořádání, i na málo přístupná místa,
- jednoduché řízení parametrů (tlak, otáčky, rychlost, průtok, moment, výkon), [2]
- snadná ochrana proti přetížení (pojistné ventily), vysoká přetížitelnost,
- snadná blokáce pohybu, důležitá pro automatické cykly, [6]
- klidný a tichý chod,
- možnost dojetí na pevný doraz, [5]
- ve srovnání s přenášeným výkonem malé rozměry, [5]
- měkká reverzace bez rázů, [5]
- dokonalé mazání pohybujících se částí, [7]
- malé zástavbové rozměry,
- možnosti vytvářet libovolné struktury uspořádání typizovaných prvků, [5]
- práce i v zápalném a výbušném prostředí, [7]



- snadná ovladatelnost.

Naproti tomu některé nevýhody:

- jsou choulostivé na nečistoty v kapalině a změny teploty,
- vyžadují velmi přesnou výrobu,
- ztráty při přenosu energie,
- závislost vlastností pohonů na vlastnostech kapalin,
- hrozba ekologických havárií při úniku provozní kapaliny nebo požárů, kvůli hořlavosti a chemickým vlastnostem kapaliny.



Obr. 31 Celkový pohled na navrženou sestavu hydraulického pohonu jeřábového bubnu.



ZÁVĚR

Úkolem této bakalářské práce je porovnání možností hydraulických pohonů jeřábových bubnů a uvedení výrobců a technických parametrů vhodných hydromotorů. Zdrojem k poskytnutí těchto potřebných informací posloužila nejen klasická literatura, ale i katalogy firem a internet. Práce je zaměřena hlavně na konkrétní typ hydromotoru – radiální pístový s písty vedenými v rotoru. Jedná se o nejpoužívanější typ pro pohon jeřábových bubnů a je použit i pro 3D model, jenž je součástí této práce.

Další část práce je věnována hydraulickým obvodům se schématem vhodného obvodu pro použití radiálního pístového hydromotoru jako pohonu pro jeřábový buben. Součástí zprávy je i pojednání o kapalinách pro hydraulické pohony, o základních parametrech těchto pohonů, jejich provozních podmínkách, údržbě atd. Závěrem práce je souhrn veškerých možností pohonů jeřábových bubnů se zdůvodněním pro hydrauliku a shrnutí výhod a nevýhod hydrauliky.

Pro 3D model je užit program Autodesk Inventor. Model je plně pohyblivý a funkční, jedná se o vlastní návrh celého pohonu. Součástí modelu je kompletní motor, buben, spojka a usazovací stojany s ložiskem na jedné straně. Motor má reálné parametry, spočítané firmou Poclain Hydraulics. Model tak slouží nejen pro vysvětlení funkce, ale i pro představu, jak by hydraulický pohon bubnu mohl vypadat. Ukazuje také, že hydromotory jsou velmi komplexní a složitá zařízení. Např. navrhnout a vyrobit křivky na satoru pro pohyb pístů je velmi komplikované a je často výrobním tajemstvím firem. Stejně tak rozvodové ústrojí dokazuje složitost motoru.

Hydromotory jsou složitější na výrobu, avšak jejich nesporné výhody jim dovolují konkurovat ostatním pohonům jeřábových bubnů. Uvedené typy motorů v této práci spojují výhodné vlastnosti, jako např. malé rozměry, vysoké výkony a kroutící momenty, výborná regulovatelnost nebo vysoká bezpečnost.

Již dnes jsou hydraulické pohony v jeřábové technice hojně zastoupeny a tento trend se bude stále zvyšovat. Je to dáno i neustálým vývojem. Přestože základní principy této techniky zůstávají stejné nebo obdobné, s rozvojem řídicí techniky a propojováním s elektronikou se vývoj stále posouvá kupředu. Dalším důvodem neustálého rozšiřování je jejich modernější, postupně snadnější výroba a tím i dostupnější cena.



POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] EXNER, FREITAG, GEIS, LANG, OPPOLZER, SCHWAB, SUMPFF, *Der Hydraulik Trainer Band 1: Grundlagen und Komponenten der Fluidtechnik Hydraulik*. Sulzbach: Mannesmann Rexroth GmbH, 1991. 340 s. ISBN 3-80023-0619-8
- [2] JANOVEC, Aleš. *Sestavení souboru multimediálních interaktivních schémat hydromotorů: Multimedia schemes design for fluid motors*. Brno: Vysoké učení technické, Fakulta strojního inženýrství, 2007. 1 elektronický optický disk [CD-ROM / DVD]. Bakalářská práce. Vedoucí práce Stanislav Věchet.
- [3] PEŇÁZ, Václav a Dušan BENŽA. *Tekutinové mechanismy*. 1. vyd. Brno: VUT Brno, 1990, 211 s. ISBN 80-214-0082-X
- [4] PIVOŇKA, Josef. *Tekutinové mechanismy*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1987, 623 s.
- [5] PROKEŠ, Josef. *Hydraulické pohony*. 1. vyd. Praha: Roh-Práce, 1957, 275 s.
- [6] SEDLÁČEK, J., *Přímočarý hydromotor*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. 51 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Roman Klas, Ph.D.
- [7] VOŘECH, J. *Radiální pístový hydromotor a hydrogenerátor*. Olomouc: Střední průmyslová škola strojnická Olomouc, 2009. 32 s.
- [8] 5. Asynchronní motor – laboratorní cvičení [online]. [cit. 2013-05-10].
URL: <http://www.elektro.fme.vutbr.cz/studopory/elektrot/lab_06_cv.htm >
- [9] Dopravní stroje a zařízení – učební texty [online]. [cit. 2013-05-10].
URL: <<http://studentsavs.ic.cz/s23..doc> >
- [10] Hydraulické obvody – prezentace [online]. [cit. 2013-05-01].
URL: <www.umt.fme.vutbr.cz/~svechet/main/storage/vau/Prezentace6.ppt >
- [11] Hřídelové spojky – učební texty [online]. [cit. 2013-05-04].
URL: <http://mechmes.websnadno.cz/dokumenty/pri-str-11.04_castistrojuumoznujicipohyb_spojky.pdf >
- [12] OPIS Engineering k. s. – GN SPOJKY [online]. [cit. 2013-05-01].
URL: <<http://opis.cz/spojky/GD.html> >
- [13] Stavba a provoz strojů 2 – Řemenové převody – skripta [online]. [cit. 2013-05-01].
URL: <<http://www.spssol.cz/~vyuka/UCITELE/HO/00-VE%C8ERN%CD%20STUDIUM/3.RO%C8N%CDK/Stavba%20a%20provoz%20stroj%F9%202.pdf> >
- [14] ALTO SYSTEMS – bubny [online]. [cit. 2013-05-16].
URL: <http://www.altosystems.cz/215-vzduchovy_lanovy_navijak_rpa >
- [15] Poclain Hydraulics - MS/MSE02 [online]. [cit. 2013-04-20].
URL: <<http://www.poclain-hydraulics.com/en/products/motors/ms/ms-mse02> >



- [16] Poclain Hydraulics – dokumentace motoru [online]. [cit. 2013-04-20].
URL: <http://www.poclain-hydraulics.com/_upload/ressources/media/pdf/A36314W.pdf>
- [17] Rexroth Bosch – prezentace firmy [online]. [cit. 2013-05-16].
URL: <http://www.boschrexroth.com/en/xc/company/haeggglunds_landingpage/index>
- [18] Zapex ZN – spojky Siemens [online]. [cit. 2013-05-17].
URL: <<http://www.automation.siemens.com/mcms/mechanical-drives/en/couplings/torsionally-rigid-couplings/gear-coupling-zapex-zn/pages/zapex-zn.aspx>>

**SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ**

e_r	[J]	energie k překonání hydraulických odporů
f	[s ⁻¹]	pohybová frekvence
F	[N]	síla
g	[m.s ⁻²]	gravitační zrychlení
h	[m]	hloubka
h_p	[m]	zdvih pístnice
m	[kg]	hmotnost
M_k	[N.m]	kroutící moment
n	[s ⁻¹]	otáčky motoru
p	[Pa]	tlak
P	[W]	výkon
Q	[m ³ .s ⁻¹]	objemový průtok
Q_p	[m ³ .s ⁻¹]	proud
S	[m ²]	obsah plochy
t	[s]	čas
t_t	[°]	teplota
V	[m ³]	objem
v	[m.s ⁻¹]	rychlost
V_{ot}	[L.ot ⁻¹]	objem za jednu otáčku motoru
Δp	[Pa]	tlakový spád
π	[-]	číslo pí
ρ	[kg.m ⁻³]	hustota



SEZNAM PŘÍLOH

Příloha I – výkres se schématem hydraulického obvodu

Příloha II – výkres s montážními a základními rozměry pohonu

Příloha III – CD-ROM s 3D modelem a všemi přílohami v elektronické podobě (PDF, JPEG)

Příloha IV – katalog s údaji o radiálním pístovém hydromotoru od firmy Poclain Hydraulics

Příloha V – katalog s údaji o axiálním pístovém hydromotoru, také firmy Poclain Hydraulics

Příloha VI – katalog s údaji o radiálním pístovém hydromotoru od firmy Bosch Rexroth

Příloha VII – náhled spojení hydromotoru s bubnem

Příloha VIII – celkový náhled na sestavu v řezu