



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

HYDRAULICKÝ LIS CTC 63

HYDRAULIC PRESS CTC 63

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jakub Vachek

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jiří Omes, Ph.D.

BRNO 2018

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav automobilního a dopravního inženýrství
Student: **Jakub Vachek**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Stavba strojů a zařízení
Vedoucí práce: **Ing. Jiří Omes, Ph.D.**
Akademický rok: 2017/18

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:

Hydraulický lis CTC 63

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Hydraulický lis svařované konstrukce je koncipován jako samostatné pracoviště s autonomním pohonem. Na hydraulickém lisu budou prováděny operace rovnání rotačních součástí jako kruhových tyčí, hřídelů nebo rotorů elektromotorů.

Parametry zařízení:

Jmenovitá síla 630 kN.
Zdvih 160 mm.
Pracovní rychlost 42 mm/s.
Zpětná rychlost 117 mm/s.
Upínací deska stolu nad podlahou 990 mm.

Cíle bakalářské práce:

Provést zhodnocení současného stavu rovnacích lisů.
Návrh optimální velikosti stolu.
Návrhové a kontrolní výpočty.
Výkres sestavení a vybrané detailní výkresy.

Seznam doporučené literatury:

CERHA, Josef. Hydraulické a pneumatické mechanismy I. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2010. ISBN 978-80-7372-560-0.

ČECHURA, Milan, HLAVÁČ, Jan a Jiří STANĚK. Konstrukce tvářecích strojů, Učební texty pro bakalářské i navazující magisterské studium. Vyd. 1. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, únor 2015. 109 s. ISBN 978-80-261-0513-8

NOVOTNÝ, Karel. Výrobní stroje a zařízení: Tvářecí stroje. Vyd. 1. Brno: VUT FSI v Brně. září 2002

STANĚK, Jiří. Základy stavby výrobních strojů, Tvářecí stroje. Vyd. 1. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, únor 2004. 126 s. ISBN 80-7082-738-6.

SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R. MISCHKE a Richard Gordon BUDYNAS. Konstruování strojních součástí. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2010. Překlady vysokoškolských učebnic. ISBN 978-80-214-2629-0.

ŠTRBA, Marián a Jiří JANOUŠ. Tvářecí stroje – Všeobecné technické požadavky: československá státní norma ČSN 21 0001: schválena listopad 1996. Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 1996.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2017/18.

V Brně, dne 4. 10. 2017



prof. Ing. Václav Píštěk, DrSc.
ředitel ústavu

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

ABSTRAKT

Tématem této bakalářské práce je návrh hydraulického lisu pro rovnání rotačních součástí, jeho návrhové a kontrolní výpočty. Práce dále obsahuje výkresovou dokumentaci vybraných dílů a stručný přehled zadané tematiky.

KLÍČOVÁ SLOVA

Hydraulický lis, rovnání, hydromotor, hydrogenerátor, rám.

ABSTRACT

The topic of this bachelor thesis is design of the hydraulic press for straightening rotary parts, and design plus control calculations for this press. The thesis also contains drawing of selected parts and a brief overview of topic that thesis focuses on.

KEYWORDS

Hydraulic press, straightening, pump, hydraulic cylinder, frame.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

VACHEK, J. *Hydraulický lis CTC 63*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2018. 50 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jiří Omes, Ph.D.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

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

V Brně dne 25. května 2018

.....

Jakub Vachek

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval panu Ing. Jiřímu Omesovi, Ph.D., za cenné připomínky, odborné rady a za vedení této bakalářské práce.

OBSAH

Úvod.....	10
1 Princip fungování lisu	11
1.1 Parametry ovlivňující lisování.....	11
2 Typy rámců hydraulických lisů.....	12
2.1 otevřené rámy stojanové.....	12
2.2 Uzavřené rámy stojanové	13
2.3 Uzavřené rámy sloupové	13
3 Hydraulické lisy použitelné pro rovnání součástí	15
3.1 Univerzální lisy.....	15
3.2 Rovnačí lisy	15
4 Moderní trendy v oblasti konstrukce hydraulických lisů.....	17
5 Návrhový výpočet	18
5.1 Předběžný návrh průměru pístu přímočarého hydromotoru.....	18
5.2 Výpočet potřebných parametrů hydrogenerátoru	19
5.3 Výpočet potřebných parametrů elektromotoru.....	22
6 Volba konstrukcí varianty řešení.....	24
6.1 Varianta 1	24
6.2 Varianta 2	25
6.3 Zvolená varianta	25
7 Kontrolní výpočet.....	26
7.1 Výpočet rámu lisu.....	26
7.2 Výpočet průhybu krajní hrany stolu	33
7.3 Výpočet pružné spojky mezi elektromotorem a hydrogenerátorem.....	35
7.4 Kontrola spojení perem mezi elektromotorem a spojkou.....	35
7.5 Kontrola spojení perem mezi hydrogenerátorem a spojkou.....	37
7.6 Výpočet minimálního průměru tlakových hydraulických hadic	38
7.7 Kontrola pístní tyče na vzpěr.....	38
8 Návrh hydraulického obvodu	40
8.1 Nádrž	41

8.2	Hydrogenerátor	41
8.3	Proporcionální tlakový redukční ventil	42
8.4	Elektorhydraulický šoupátkový rozvaděč	43
8.5	Škrtící ventil	43
Závěr.....		44
Seznam použitých zkratk a symbolů		47
Seznam příloh.....		50

ÚVOD

Lis je jeden ze základních výrobních strojů používaných při strojírenské, ale i jiné výrobě. Patří do skupiny tvářecích strojů, což znamená, že při své práci neodebírá zpracovávaný materiál, ale pouze jej přetváří. Při tváření je lisovaný materiál zatěžován silou nad mezí kluzu daného materiálu a tím se v něm vytvoří trvalá plastická deformace, což znamená, že se materiál nevrátí do původního stavu v jakém byl před zatížením.

Mezi hlavní výhody tváření patří lepší mechanické vlastnosti zpracovávané součásti v porovnání se součástí obráběnou. To je způsobeno tím, že vlákna materiálu jsou pouze přetvarována a nikoliv uštěřena jako je tomu v případě obrábění. Další výhodou tváření jsou například menší spotřeba materiálu a možnost použití stroje k opravě již vyrobené součásti. Toho se využívá právě u lisu určeného k rovnání, jehož konstrukční návrh je tématem této bakalářské práce.

K rovnání se přistupuje tehdy, když není možné dodržet požadované geometrické vlastnosti jen technologií předchozí výroby, nebo když je potřeba upravit dodávaný polotovar od výrobce na zadané geometrické vlastnosti pro další výrobu.

Parametry, které jsou důležité pro volbu lisu, jsou například maximální velikost pracovní síly, typ rámu, rozměry pracovního stolu a tuhost rámové konstrukce, která ovlivňuje přesnost celého zařízení. Další možné parametry jsou například rychlost pohybu nástroje nebo druh pohonu.

1 PRINCIP FUNGOVÁNÍ LISU

Princip lisování, stejně jako jiných tvářecích operací, spočívá v cíleném vytvoření trvalých plastických deformací v materiálu, čímž dojde k jeho přetvoření. Toho se dosahuje tak, že je materiál zatěžován silou nad mezí kluzu lisovaného materiálu.

Hlavními částmi lisu, ať už se jedná o hydraulické nebo mechanické lisy, jsou statický rám a pohyblivý beran, kterým se působí přímo na materiál nebo je k němu připevněn nástroj.

1.1 PARAMETRY OVLIVŇUJÍCÍ LISOVÁNÍ

Jmenovitá síla stroje - jedná se o maximální hodnotu síly, kterou je stroj schopen vyvinout.

Pracovní síla – síla, kterou lis pracuje při lisování. Pracovní síla může nabývat různých hodnot až do velikosti síly jmenovité. Způsob, jakým se pracovní síla nastavuje, se liší v závislosti na druhu pohonu lisu. U hydraulických lisů se velikost pracovní síly nastavuje změnou velikosti pracovního tlaku, který působí na píst, naproti tomu u mechanických lisů je velikost pracovní síly závislá na nastaveném zdvihu beranu.

Tuhost stroje – velmi důležitý parametr vztahující se ke konstrukci daného lisu. Její hodnota lze vypočítat jako podíl jmenovité síly a celkové pružné deformace konstrukce. Tuhost stroje má vliv i na jeho další parametry, jako je například přesnost nebo celková účinnost lisu. Na lisu s vyšší tuhostí se větší množství energie přenesou do lisované součásti, místo aby bylo použito na deformaci samotného lisu.

Mez kluzu - je specifický parametr pro každý lisovaný materiál a její hodnotu je možné najít buď v materiálovém listu daného materiálu který je lisován nebo provedením vlastní tahové zkoušky. Hodnota meze kluzu je závislá na teplotě materiálu, kdy u většiny materiálu se stoupající teplotou klesá. Toho se využívá při tváření materiálu za tepla, kdy díky snížené mezi kluzu, je potřeba menší pracovní síla stroje.

Tvárnost materiálu - schopnost trvale měnit svůj tvar, aniž by došlo ke vzniku trhlin v materiálu, které by ovlivnily vlastnosti hotové součásti.[1]

Přetvárný odpor materiálu - jedná se o odpor, který klade materiál proti svému přetváření. Je to hodnota meze kluzu materiálu zvětšená o další odpory, které při lisování působí, jako například tření mezi materiálem a nástrojem. Tření je významným faktorem například u lisů pro hluboké tažení, kde je materiál ve velkém styku s nástrojem, ale při rovnání součástí je vliv tření minimální.[1]

2 TYPY RÁMŮ HYDRAULICKÝCH LISŮ

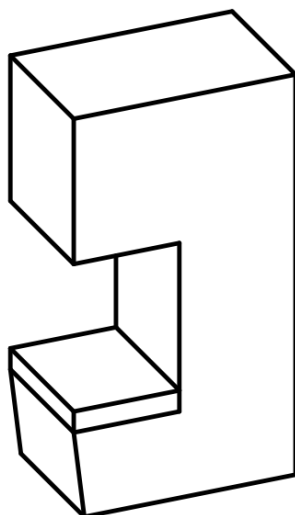
U hydraulických lisů se používají převážně tři základní druhy rámců lisů, a to otevřené rámy stojanové, uzavřené rámy stojanové a uzavřené rámy sloupové.

2.1 OTEVŘENÉ RÁMY STOJANOVÉ

Otevřené rámy stojanové, někdy taky nazývané C-rámy, se používají převážně u lisů pro zpracování materiálů, kde převládá jejich délkový rozměr. Vyznačují se snazším přístupem do pracovního prostoru lisu než u lisů s uzavřeným rámem. Naopak hlavní nevýhodou otevřených stojanových rámců je nižší tuhost při srovnatelných rozměrech stojanu a snaha se při zatížení rozevírat, což způsobuje nesouosost horního a spodního nástroje. Otevřené stojanové rámy jsou vyráběny jako svařované nebo odlévané.

Odlévané rámy se používají především pro lisy velkých jmenovitých sil, řádově od tisíců kN, nebo v případě kdy, je požadována vysoká tuhost rámu a je potřeba použít vyztužení v místech, kde by jej bylo obtížné svařit.

Svařované rámy umožňují lepší možnost přizpůsobení lisu požadavkům zákazníka díky snazší úpravě již navržených lisů. Není potřeba vyrábět novou odlévací formu pro každou novou specifikaci lisu, ale jednotlivé díly se pouze vyřezou z normalizovaného polotovaru a rám se svaří.



Obr. 1: Rám otevřeného lisu.[1]

2.2 UZAVŘENÉ RÁMY STOJANOVÉ

Uzavřené rámy stojanové se využívají převážně pro lisy nižších a středních jmenovitých sil, jakými jsou například montážní lisy. Uzavřené rámy stojanové se vyrábí svařováním polotovarů z normalizovaných profilů v kombinaci s montáží pomocí šroubů a čepů. Tento typ rámu se používá pro lisy vertikální koncepce s hydromotorem umístěným v horní části rámu. Ve spodní části bývají vybaveny vícero otvory nad sebou pro zasunutí čepu, což umožňuje přestavení výšky stolu. U některých lisů s těmito rámy je umožněno měnit i polohu příčnicku s hydromotorem, čehož lze využít pro lepší rozvržení polohy pracovního prostoru a tím usnadnění práce obsluhy.

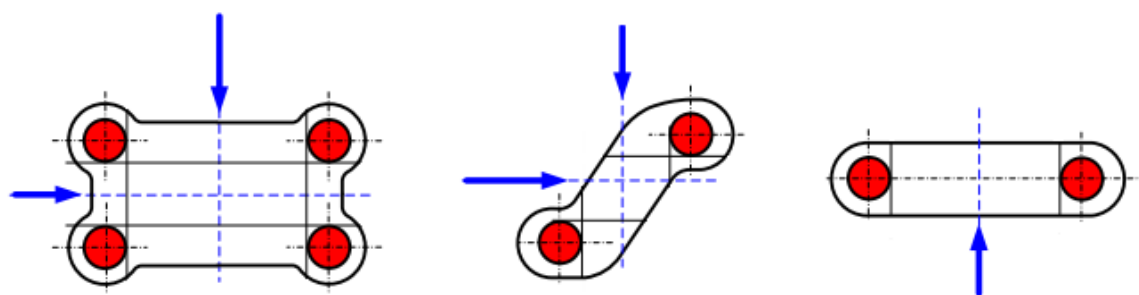


Obr. 2: Lis Hidrolikсан HD/600M 2000x700 s možností změny polohy stolu i hydromotorem. [11]

2.3 UZAVŘENÉ RÁMY SLOUPOVÉ

Lisy se sloupovými rámy jsou vyráběny v celém spektru sil, ale hlavní uplatnění nachází u lisů velkých jmenovitých sil. Jsou konstruovány jako dvousloupové nebo čtyřsloupové, kdy u dvousloupových může materiál procházet kolmo ke spojnicí os sloupů nebo zešikma, čímž se zlepšují možnosti přístupu do pracovního prostoru.

Sloupy rámu slouží nejen ke spojení horní části lisu se spodní částí lisu, případně podlahou, ale ve většině případů i k vedení beranu lisu. V případě, že je sloup válcového průřezu, slouží jako vedení celá plocha jeho pláště, v případě, že má sloup jiný tvar, bývá vybaven vodíci lištami z ořezuvzdorného materiálu.



Obr. 3: Schematické znázornění uspořádání sloupů[1]

3 HYDRAULICKÉ LISY POUŽITELNÉ PRO ROVNÁNÍ SOUČÁSTÍ

Hydraulické lisy je možné dále dělit podle účelu, ke kterému mají primárně sloužit. Pro rovnání rotačních součástí se používají převážně univerzální nebo rovnací lisy.

3.1 UNIVERZÁLNÍ LISY

Jedná se o lisy, na kterých lze provádět všechny běžné operace plošného i objemového tváření a s použitím přípravků i montážní operace. Univerzální lisy bývají konstruované s uzavřenými i otevřenými rámy. Z konstrukčního hlediska jsou specifické tím, že mají stůl vybavený drážkami sloužícími pro upevnění přípravků a nástrojů. Univerzální lisy mohou být vybaveny horní upínací deskou, která obsahuje upínací drážky. Velikosti jmenovitých sil se pohybují od desítek u malých, až po desítky tisíc kN u velkých výrobních lisů. [9]



Obr. 4: Vlevo lis PROMA HLR 12 se silou 120 kN[12], vpravo lis SICMI PCL 200 A se silou 2000 kN[15].

3.2 ROVNACÍ LISY

Rovnáčkové lisy jsou stroje určené primárně k rovnání již vyrobených součástí nebo polotovaru pro následující výrobní operaci. Uplatňují se zde dvě základní konstrukce a to lis portálový a lis na tyčový materiál.

3.2.1 PORTÁLOVÝ ROVNACÍ LIS

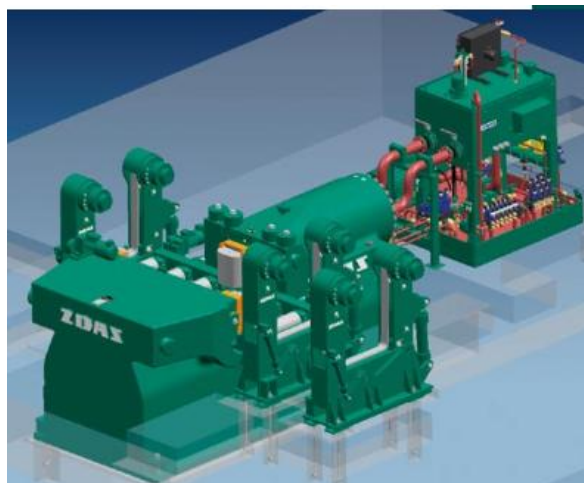
Portálový rovnací lis se skládá z pohyblivého portálu a pevné desky stolu, ke které je připevněn rovnací materiál. V horní části portálu je posuvně umístěn přímočarý hydromotor. Přestavování polohy hydromotoru ve směru osy x a y probíhá u strojů starší koncepce manuálně jen pomocí tlačítek, anebo u novějších strojů automaticky zadáním požadované polohy v souřadnicích x a y do řídicího systému. Lis lze využít na rovnání plochých, tyčových i tvarově složitých součástí jako jsou například svarky. [9]



Obr. 5: Portálový rovnací lis ŽDAS CDN 400[9]

3.2.2 ROVNACÍ LIS NA TYČOVÝ MATERIÁL

Jedná se o lis horizontální koncepce. Slouží k rovnání kruhových a čtyřhranných profilů za studena. Rám lisu má tvar položeného písmene C, kde z jedné boční strany je připevněn přímočarý hydromotor, a z druhé strany jsou umístěny stavitelné rovnací opory. Ve spodní části lisu jsou umístěny poháněné válečky sloužící k pojezdu rovnaného dílu. Před a za pracovním prostorem lisu jsou umístěny řetězové manipulátory sloužící k otáčení materiálu. Výhodami tohoto typu rovnacího lisu proti portálovému rovnacímu lisu jsou jednodušší ustavení rovnaného dílu a možnost umístění lisu přímo do automatizované výrobní linky. [9]



Obr. 6: Rovnací lis na tyčový materiál ŽDAS CDT 1000[9]

4 MODERNÍ TRENDY V OBLASTI KONSTRUKCE HYDRAULICKÝCH LISŮ

Upravitelná konstrukce stroje

Lis je konstruován s ohledem na snadnou změnu parametrů a rozměrů dle požadavků zákazníka. Při realizaci objednávky je vybrán předběžný lis z modelové řady výrobce, který přibližně odpovídá požadovaným vlastnostem a následně se upraví dle konkrétních požadavků, jako třeba výška zdvihu, velikost a upínací možnosti stolu nebo třeba stupeň automatizace. Při tomto stylu konstrukce je možné využít parametrické modelování. To znamená, že rozměry při konstruování v 3d programech nejsou zadávány číselnými hodnotami, ale jen jako odkaz na tabulku, která obsahuje veškeré potřebné rozměry. Odkazová tabulka může dále obsahovat i pevnostní výpočty, ze kterých jednotlivé rozměry vychází, nebo řady nakupovaných hydraulických komponent a jejich přípojných rozměrů.

Automatizace a zástavba lisu do výrobní linky

V současné době se začíná využívat častěji úplná automatizace lisu společně se zástavbou přímo do výrobní linky. Automatizované lisy se od normálních liší volbou použitých hydraulických komponent, které musí umožnit jejich automatické řízení. Jedná se především o proporcionální nebo servo ventily a rozvaděče. Dalším rozdílem u automatizovaných lisů jsou použité bezpečnostní prvky, které nesmí povolit přístup obsluhy do pracovního prostoru během činnosti lisu. K tomu se používá kombinace pevného a elektronicky ovládaného pohyblivého krytování se senzory proti násilnému otevření nebo použitím optických závor a jiných senzorů, které při detekci vstupu do pracovního prostoru chod stroj automaticky zastaví. Přesné předpisy, kterými se bezpečnostní prvky musí řídit, jsou uvedeny v normě ČSN EN 693+A2.

5 NÁVRHOVÝ VÝPOČET

Návrhový výpočet lisu vychází ze zadaných číselných parametrů a požadavků danými určením konkrétního lisu. V případě tohoto lisu je požadavek na délku stolu takový, aby byla dostatečná pro upnutí rovnaných součástí.

Zadané parametry:

Jmenovitá síla: $F = 630 \text{ kN}$

Zdvih: $Z = 160 \text{ mm}$

Pracovní rychlost: $v_d = 42 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$

Zpětná rychlost: $v_z = 117 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$

Výška upínací desky nad podlahou: $L_0 = 990 \text{ mm}$

Parametry vyplývající z určení lisu:

Délka stolu: $L_S = 2000 \text{ mm}$

5.1 PŘEDBĚŽNÝ NÁVRH PRŮMĚRU PÍSTU PŘÍMOČARÉHO HYDROMOTORU.

Při výpočtu se vychází z návrhového tlaku p_n , ze kterého se určí předběžná plochy pístu hydromotoru.

Předběžná plocha pístu S_n :

$$S_n = \frac{F}{p_n} \quad [\text{mm}^2] \quad (1)$$

$$S_n = \frac{630000}{20} = 31\,500 \text{ mm}^2$$

$$S_n = 31\,500 \text{ mm}^2$$

Kde $p_n = 20 \text{ MPa}$; návrhový tlak v hydraulickém obvodu při dopředném pohybu;

Předběžný průměr pístu D_n :

$$D_n = \sqrt{\frac{S_n \cdot 4}{\pi}} \quad [mm^2] \quad (2)$$

$$D_n = \sqrt{\frac{31\,500 \cdot 4}{\pi}} = 200,27 \text{ mm}$$

$$D_n = 200,27 \text{ mm}$$

5.2 VÝPOČET POTŘENÝCH PARAMETRŮ HYDROGENERÁTORU

Dle předchozích výpočtů je zvolen přímočarý hydromotor DUPLOMATiC HC3A-200/140W-160-K0-0-0-11/10(0) [8].

Pracovní plocha při dopředném pohybu S_1 :

$$S_{p1} = \frac{\pi \cdot D_p^2}{4} \quad [mm^2] \quad (3)$$

$$S_{p1} = \frac{\pi \cdot 200^2}{4} = 31\,415,93 \text{ mm}^2$$

$$S_{p1} = 31\,415,93 \text{ mm}^2$$

Kde $D_p = 200$ mm, průměr pístu hydromotoru [8];

Pracovní plocha při zpětném pohybu S_2 :

$$S_{p2} = \frac{\pi \cdot (D_p^2 - d_t^2)}{4} \quad [mm^2] \quad (4)$$

$$S_{p2} = \frac{\pi \cdot (200^2 - 140^2)}{4} = 16\,022,12 \text{ mm}^2$$

$$S_{p2} = 16\,022,12 \text{ mm}^2$$

Kde $d_t = 140 \text{ mm}$, průměr pístní tyče hydromotoru [8];

Pracovní tlak p :

$$p = \frac{F}{S_{p1}} \quad [MPa] \quad (5)$$

$$p = \frac{630\,000}{31\,415,93} = 20,05 \text{ MPa}$$

$$p = 20,05 \text{ MPa}$$

Potřebný objemový průtok pro dopředný pohyb Q_{vpd} :

$$Q_{vpd} = \frac{v_d \cdot S_1 \cdot 60}{10^6} \quad \left[\frac{dm^3}{min} \right] \quad (6)$$

$$Q_{vpd} = \frac{42 \cdot 31\,415,93 \cdot 60}{10^6} = 79,17 \text{ dm}^3/min$$

$$Q_{vpd} = 79,17 \text{ dm}^3/min$$

Potřebný objemový průtok pro zpětný pohyb Q_{vpz} :

$$Q_{vpz} = \frac{v_z \cdot S_{p2} \cdot 60}{10^6} \quad \left[\frac{dm^3}{min} \right] \quad (7)$$

$$Q_{vpz} = \frac{117 \cdot 16\,022,12 \cdot 60}{10^6} = 112,48 \frac{dm^3}{min}$$

$$Q_{vpz} = 112,48 \frac{dm^3}{min}$$

Dle předchozích výpočtů byl zvolen pro pohon lisu hydrogenerátor DUPLOMATiC IGP6-080-R01/10[10]. Parametry, které o volbě rozhodly, jsou pracovní tlak p a objemový průtok s větším průtokovým množstvím za minutu, což je objemový průtok pro zpětný pohyb Q_{vpz} .

Parametry zvoleného hydrogenerátoru:

Geometrický objem: $V_g=80,7cm^3/ot$ [10];

Maximální objemový průtok hydrogenerátoru (při 1500 ot/min): $Q_v=121 dm^3/min$ [10];

Maximální tlak hydrogenerátoru: $p_{maxh}=28 MPa$ [10];

Maximální otáčky hydrogenerátoru: $n_{maxh}=2400 ot/s$ [10];

Objemová účinnost hydrogenerátoru: $\eta_v= 96\%$ [10];

Celková účinnost hydrogenerátoru: $\eta_c= 90\%$ [10];

5.3 VÝPOČET POTŘEBNÝCH PARAMETRŮ ELEKTROMOTORU

Předběžné otáčky elektromotoru pro dosažení pracovní rychlosti n_{pd} :

$$n_{pd} = \frac{Q_{Vpd}}{V_g \cdot \eta_v} \quad [ot/min] \quad (8)$$

$$n_{pd} = \frac{79,17}{\frac{80,7}{1000} \cdot 0,96} = 1021,89 \text{ ot/min}$$

$$n_{pd} = 1021,89 \text{ ot/min}$$

Předběžné otáčky elektromotoru pro dosažení pracovní rychlosti n_{pz} :

$$n_{pz} = \frac{Q_{Vpz}}{V_g \cdot \eta_v} \quad [ot/min] \quad (9)$$

$$n_{pz} = \frac{112,48}{\frac{80,7}{1000} \cdot 0,96} = 1451,82 \text{ ot/min}$$

$$n_{pz} = 1451,82 \text{ ot/min}$$

Výkon hydrogenerátoru P_h :

$$P_h = \frac{p \cdot Q_{Vpd}}{60} \quad [kW] \quad (10)$$

$$P_h = \frac{20,05 \cdot 79,17}{60} = 26,46 \text{ kW}$$

$$P_h = 26,46 \text{ kW}$$

Potřebný příkon pro hydrogenerátor N_h :

$$N_h = \frac{P_h}{\eta_c} \quad [kW] \quad (11)$$

$$N_h = \frac{26,46}{0,90} = 29,4 \text{ kW}$$

$$N_h = 29,4 \text{ kW}$$

Podle potřebného příkonu pro hydrogenerátor a jeho otáček byl zvolen elektromotor Bosch REXROTH MAD160B-0150-SA-S2-AF0-35-N1

Parametry elektromotoru:

Výkon elektromotoru: $P_e=29,8 \text{ kW}$ [13];

Otáčky elektromotoru: $n=1500 \text{ ot/min}$ [13];

Výsledný objemový průtok při použití zvoleného hydrogenerátoru a elektromotoru Q_{vf} :

$$Q_{vf} = \frac{V_g \cdot n \cdot \eta_v}{1000} \quad \left[\frac{dm^3}{min} \right] \quad (12)$$

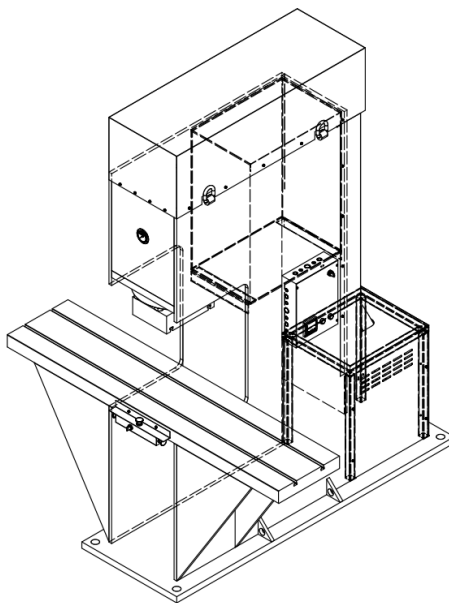
$$Q_{vf} = \frac{80,7 \cdot 1500 \cdot 0,96}{1000} = 116,21 \text{ dm}^3/\text{min}$$

$$Q_{vf} = 116,21 \text{ dm}^3/\text{min}$$

6 VOLBA KONSTRUKČÍ VARIANTY ŘEŠENÍ

Při návrhu konstrukční varianty řešení se vyvinuly dvě možné varianty řešení.

6.1 VARIANTA 1



Obr. 7: Varianta 1

Lis s otevřeným svařovaným stojanovým rámem a nádrží umístěnou ve vnitřní části stojanu. Průřez rámu lisu je rozšířen proti variantě 2 kvůli umístění nádrže.

Výhody: + Vyšší tuhost rámu

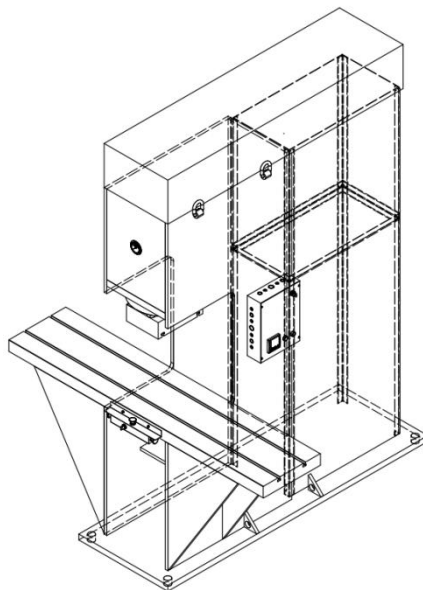
+ Nehrozí proražení nádrže neopatrnou manipulací

+ Krytování hydrogenerátoru slouží jako plošina pro stání při údržbě hydraulických komponent v horní části.

Nevýhody: -Větší množství spotřebovaného materiálu na rám a tím vyšší cena rámu.

- Obtížnější čištění nádrže.

6.2 VARIANTA 2



Obr. 8: Varianta 2

Lis s otevřeným svařovaným stojanovým rámem a nádrží umístěnou v zadní části lisu. Nádrž je uložena na svařovaném rámu z L-profilů, který je k lisu přišroubován.

Výhody: + Menší spotřeba materiálu na samotný rám lisu

+ Jednodušší tvary krytování lisu, snazší ohýbání.

Nevýhody: - Menší tuhost rámu

- Větší celkové rozměry stroje

- Potřeba vyrobit konstrukci pro uložení nádrže

6.3 ZVOLENÁ VARIANTA

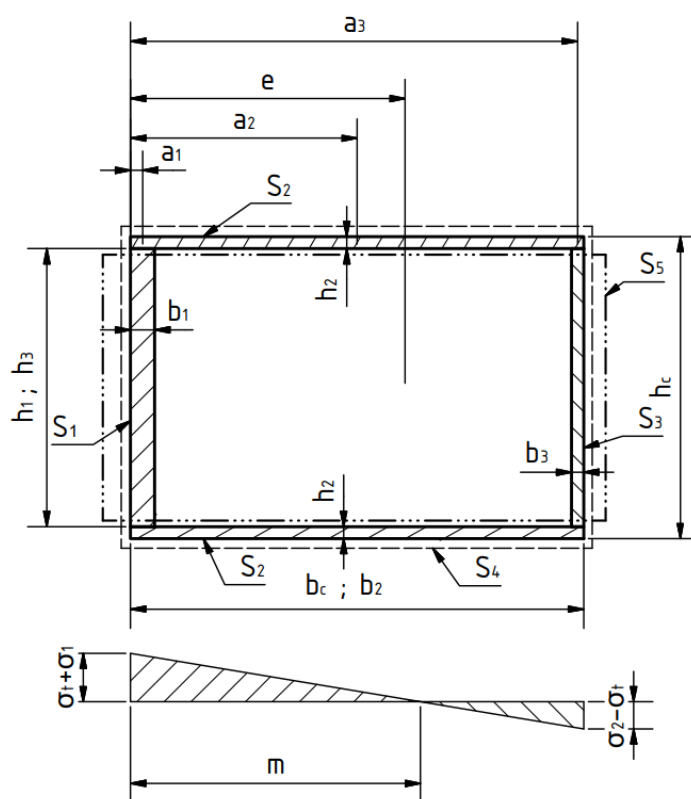
Po zvážení výhod a nevýhod obou variant byla zvolena varianta 1. Vyšší náklady na materiál rámu lisu jsou vyváženy jeho vyšší tuhostí a snazším zhotovením celkového stroje, neboť není potřeba svařovat složitý rám pro uchycení nádrže, ale jen jednodušší krycí plošinu pro hydrogenerátor.

7 KONTROLNÍ VÝPOČET

Při kontrolním výpočtu se stanovuje, zda zvolené konstrukční řešení a vybrané komponenty vyhovují z hlediska bezpečnosti a možných mezních stavů.

7.1 VÝPOČET RÁMU LISU

Rozměry lisu jsou zvoleny s ohledem na velikost zatížení a plánované umístění nádrže na hydraulickou kapalinu ve vnitřní části sloupu.



Obr. 9: Průřez sloupem lisu znázorňující označení jednotlivých ploch a rozměrů pro následující výpočet;

Zvolené rozměry:

Celková šířka sloupu: $h_c=500\text{mm}$;

Celková délka sloupu: $b_c=750\text{ mm}$;

Délka stěny 1: $h_1=460\text{ mm}$;

Šířka stěny 1: $b_1=40$ mm;

Vzdálenost těžiště plochy 1 od okraje: $a_1=20$ mm;

Délka stěny 2: $b_2=750$ mm;

Šířka stěny 2: $h_2=20$ mm;

Vzdálenost těžiště plochy 2 od okraje: $a_2=375$ mm;

Délka stěny 3: $h_3=460$ mm;

Šířka stěny 3: $b_3=20$ mm;

Vzdálenost těžiště plochy 3 od okraje: $a_3=740$ mm;

Plocha sloupu 1 S_1 :

$$S_1 = h_1 \cdot b_1 \quad [mm^2] \quad (13)$$

$$S_1 = 460 \cdot 40 = 18\,400 \text{ mm}^2$$

$$S_1 = 18\,400 \text{ mm}^2$$

Plocha sloupu 2 S_2 :

$$S_2 = h_2 \cdot b_2 \quad [mm^2] \quad (14)$$

$$S_2 = h_2 \cdot b_2 = 20 \cdot 750 = 15\,000 \text{ mm}^2$$

$$S_2 = 15\,000 \text{ mm}^2$$

Plocha sloupu 3 S_3 :

$$S_3 = h_3 \cdot b_3 \quad [mm^2] \quad (15)$$

$$S_3 = 460 \cdot 20 = 9\,200 \text{ mm}^2$$

$$S_3 = 9\,200 \text{ mm}^2$$

Plocha sloupu 4 S_4 :

$$S_4 = h_c \cdot b_2 \quad [mm^2] \quad (16)$$

$$S_4 = 500 \cdot 750 = 375\,000 \text{ mm}^2$$

$$S_4 = 375\,000 \text{ mm}^2$$

Plocha sloupu 5 S_5 :

$$S_5 = (h_c - 2 \cdot h_2) \cdot b_c \quad [mm^2] \quad (17)$$

$$S_5 = (500 - 2 \cdot 20) \cdot 750 = 345\,000 \text{ mm}^2$$

$$S_5 = 345\,000 \text{ mm}^2$$

Celková plocha průřezu sloupu S_c :

$$S_c = S_1 + 2 \cdot S_2 + S_3 \quad [mm^2] \quad (18)$$

$$S_c = 18\,400 + 2 \cdot 15\,000 + 9\,200 = 57\,600 \text{ mm}^2$$

$$S_c = 57\,600 \text{ mm}^2$$

Těžiště plochy průřezu sloupu e :

$$e = \frac{S_1 \cdot a_1 + 2 \cdot S_2 \cdot a_2 + S_3 \cdot a_3}{S_c} \quad [mm] \quad (19)$$

$$e = \frac{18\,400 \cdot 20 + 2 \cdot 15\,000 \cdot 375 + 9\,200 \cdot 740}{57\,600} = 354,59 \text{ mm}$$

$$e = 354,59 \text{ mm}$$

Kvadratický moment plochy průřezu 1 J_{z1} :

$$J_{z1} = \frac{h_1 \cdot b_1^3}{12} + S_1 \cdot (e - a_1)^2 \quad [mm^4] \quad (20)$$

$$J_{z1} = \frac{460 \cdot 40^3}{12} + 18\,400 \cdot (354,59 - 20)^2 = 2\,062\,398\,519 \, mm^4$$

$$J_{z1} = 2,06 \cdot 10^9 \, mm^4$$

Kvadratický moment plochy průřezu 3 J_{z3} :

$$J_{z3} = \frac{h_3 \cdot b_3^3}{12} + S_3 \cdot (a_3 - e)^2 \quad [mm^4] \quad (21)$$

$$J_{z3} = \frac{460 \cdot 20^3}{12} + 9\,200 \cdot (740 - 354,59)^2 = 1\,366\,850\,070 \, mm^4$$

$$J_{z3} = 1,37 \cdot 10^9 \, mm^4$$

Kvadratický moment plochy průřezu 4 J_{z4} :

$$J_{z4} = \frac{h_c \cdot b_2^3}{12} + S_4 \cdot (a_2 - e)^2 \quad [mm^4] \quad (22)$$

$$J_{z4} = \frac{500 \cdot 750^3}{12} + 375\,000 \cdot (375 - 354,59)^2 = 17\,734\,267\,713 \, mm^4$$

$$J_{z4} = 17,73 \cdot 10^9 \, mm^4$$

Kvadratický moment plochy průřezu 5 J_{z5} :

$$J_{z5} = \frac{(h_c - 2 \cdot h_2) \cdot b_2^3}{12} + S_5 \cdot (a_2 - e)^2 \quad [mm^4] \quad (23)$$

$$J_{z5} = \frac{(500 - 2 \cdot 20) \cdot 750^3}{12} + 345\,000 \cdot (375 - 354,59)^2 =$$

$$= 16\,315\,526\,296 \, mm^4$$

$$J_{z5} = 16,32 \cdot 10^9 \, mm^4$$

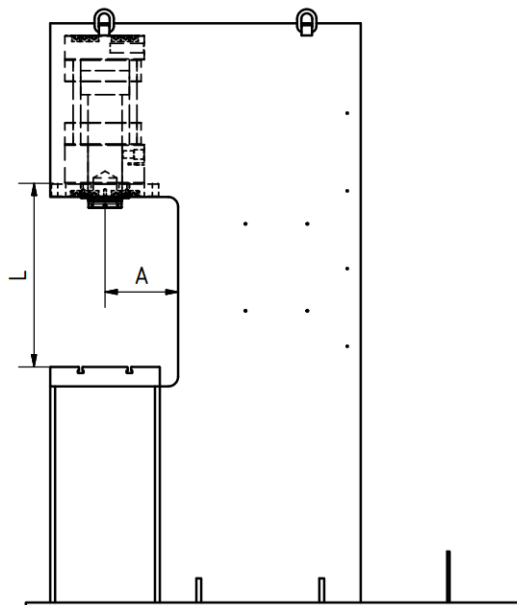
Celkový kvadratický moment plochy průřezu sloupu J_{zc} :

$$J_{zc} = J_{z1} + J_{z4} - J_{z5} + J_{z3} \quad [mm^4] \quad (24)$$

$$J_{zc} = 2,06 \cdot 10^9 + 17,73 \cdot 10^9 - 16,32 \cdot 10^9 + 1,37 \cdot 10^9 =$$

$$= 4\,847\,990\,003 \, mm^4$$

$$J_{zc} = 4,85 \cdot 10^9 \, mm^4$$



Obr. 10: Boční pohled na lis s vyznačenými rozměry pro další výpočty.

Ohybový moment působící na rám M_o :

$$M_o = F \cdot (A + e) \quad [N \cdot mm] \quad (25)$$

$$M_o = 630\,000 \cdot (300 + 354,59) = 412\,394\,595 \text{ N} \cdot mm$$

$$M_o = 412\,394\,595 \text{ N} \cdot mm$$

Kde $A = 300$ mm, vyložení rámu;

Zakřivení neutrální osy ρ :

$$\rho = \xi \cdot \frac{E \cdot J_{zc}}{M_o} \quad [mm] \quad (26)$$

$$\rho = 1 \cdot \frac{207\,000 \cdot 4\,847\,990\,003}{412\,394\,595} = 2\,433\,431 \text{ mm}$$

$$\rho = 2\,433\,431 \text{ mm}$$

Kde $E = 207$ GPa, modul pružnosti oceli v tahu;

$\xi = 0,7$ až $1,3$ součinitel tvaru stojanu[1]

Napětí σ_t :

$$\sigma_t = \frac{F}{S_c} = \quad [MPa] \quad (27)$$

$$\sigma_t = \frac{630\,000}{57\,600} = 10,94 \text{ MPa}$$

$$\sigma_t = 10,94 \text{ MPa}$$

Napětí σ_1 :

$$\sigma_1 = \frac{M_o \cdot e}{J_{zc}} \quad [MPa] \quad (28)$$

$$\sigma_1 = \frac{412\,394\,595 \cdot 354,59}{4\,847\,990\,003} = 30,16 \text{ MPa}$$

$$\sigma_1 = 30,16 \text{ MPa}$$

Napětí σ_2 :

$$\sigma_2 = \frac{M_o \cdot (b_c - e)}{J_{zc}} \quad [MPa] \quad (29)$$

$$\sigma_2 = \frac{412\,394\,595 \cdot (750 - 354,59)}{4\,847\,990\,003} = 33,63 \text{ MPa}$$

$$\sigma_2 = 33,63 \text{ MPa}$$

Poloha neutrální osy m :

$$m = b_c \cdot \frac{\sigma_t + \sigma_1}{\sigma_1 + \sigma_2} \quad [mm] \quad (30)$$

$$m = 750 \cdot \frac{10,94 + 29,74}{29,74 + 33,16} = 483,17 \text{ mm}$$

$$m = 483,17 \text{ mm}$$

Celková deformace γ :

$$\gamma = \frac{L \cdot (A + m)}{\rho} \quad [mm] \quad (31)$$

$$\gamma = \frac{756 \cdot (300 + 483,17)}{3\,163\,460} = 0,24 \text{ mm}$$

$$\gamma = 0,24 \text{ mm}$$

Kde $L = 756$ mm, Celková rozevíraná délka při práci lisu;

Tuhost stojanu k_r :

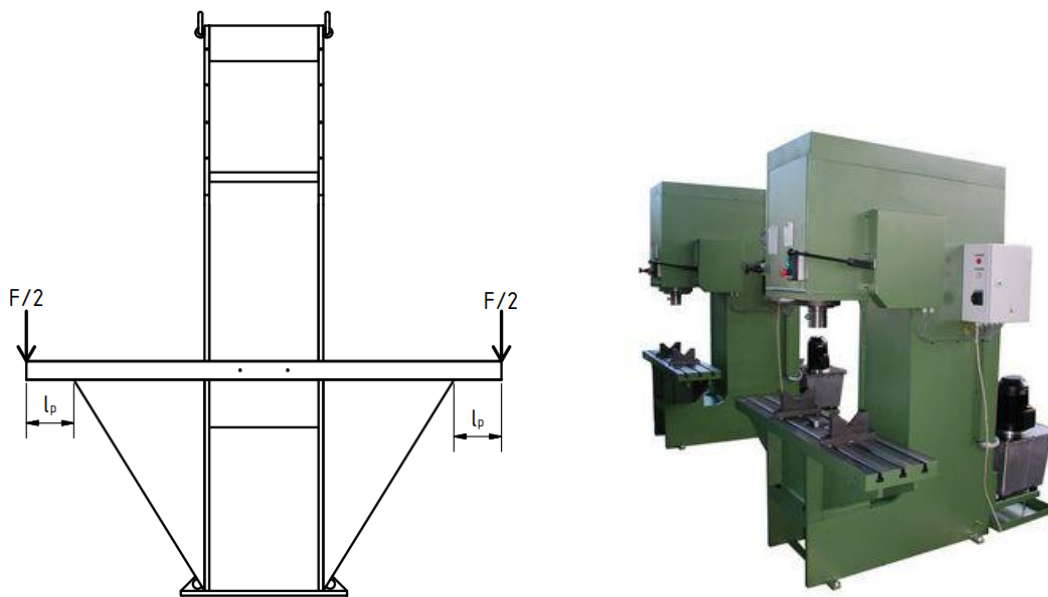
$$k_r = \frac{F}{\gamma} \quad [N/mm] \quad (32)$$

$$k_r = \frac{630\,000}{0,24} = 2\,589\,287,92 \text{ N/mm}$$

$$k_r = 2\,589\,287,92 \text{ N/mm}$$

7.2 VÝPOČET PRŮHYBU KRAJNÍ HRANY STOLU

Pro výpočet průhybu stolu je zvoleno zatížení jmenovitou silou a uložení součásti na úplném konci stolu. Tím je při výpočtu dosaženo maximálního možného průhybu. V případě uložení součásti blíže podpory stolu by byla hodnota délky převisu stolu l_p nahrazena zvolenou vzdáleností od podpory. Jelikož se tato vzdálenost nachází v čitateli vzorce (33), tak by výsledný průhyb dosáhl menší hodnoty. To samé platí i v případě použití nižší síly než síly jmenovité.



Obr. 11: Vlevo pohled na přední část lisu s vyznačenými převisy a zatěžujícími silami, vpravo lis TOS Rakovník CDC 30-S1 s upevněným spodním rovnacím nástrojem[16].

Průhyb stolu y :

$$y = \frac{\frac{F}{2} \cdot l_p^3}{3 \cdot E \cdot J_{xs}} \quad [mm] \quad (33)$$

$$y = \frac{\frac{630000}{2} \cdot 200^3}{3 \cdot 207000 \cdot 18\,518\,282} = 0,22 \text{ mm}$$

$$y = 0,22 \text{ mm}$$

Kde $J_{xs} = 18\,518\,282 \text{ mm}^4$, kvadratická moment plochy průřezu stolu. Jeho hodnota byla zjištěna v programu Autodesk Inventor a zahrnuje všechny sražení hran a drážky pro uchycení příslušenství;

$l_p = 200 \text{ mm}$, převis stolu;

7.3 VÝPOČET PRUŽNÉ SPOJKY MEZI ELEKTROMOTOREM A HYDROGENERÁTOREM

Dle požadavků hydrogenerátoru [10] na pružné spojení mezi hydrogenerátorem a elektromotorem byla zvolena pružná spojka T.E.A. TECHNIC GE-T 55-70 AA 40/55 [7].

Krouticí moment působící na spojku M_k :

$$M_k = \frac{P_e \cdot 60 \cdot 1000}{2 \cdot \pi \cdot n} \quad [Nm] \quad (34)$$

$$M_k = \frac{29,8 \cdot 60 \cdot 1000}{2 \cdot \pi \cdot 1500} = 189,71 Nm$$

$$M_k = 189,71 Nm$$

$$M_k < M_{kn}$$

$$189,71 < 410 \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Kde $M_{kn} = 410$, maximální krouticí moment který spojka může přenášet[7];

7.4 KONTROLA SPOJENÍ PEREM MEZI ELEKTROMOTOREM A SPOJKOU

Pro spojení elektromotoru a spojky bylo zvoleno pero 16e7 x 10 x 80 ČSN 02 2562

Dovolený tlak ve spoji p_D :

$$p_D = 0,75 \cdot p_0 \quad [MPa] \quad (35)$$

$$p_D = 0,75 \cdot 90 = 67,5 MPa$$

$$p_D = 67,5 MPa$$

Kde $p_0 = 90 MPa$, základní hodnota dovoleného tlaku pro náboj z litiny[2];

Síla ve spoji mezi elektromotorem a spojkou F_{0e} :

$$F_{0e} = \frac{2 \cdot M_k}{d_e \cdot 1000} \quad [N] \quad (36)$$

$$F_{0e} = \frac{2 \cdot 189,71}{55 \cdot 1000} = 6898,64 \text{ N}$$

$$F_{0e} = 6898,64 \text{ N}$$

Kde $d_e = 55$ mm, průměr výstupní hřídele elektromotoru[13];

Tlak ve spoji mezi elektromotorem a spojkou p_{pe} :

$$p_{pe} = \frac{F_{0e}}{t_{1e} \cdot (l_e - b_e)} \quad [MPa] \quad (37)$$

$$p_{pe} = \frac{6896,64}{3,8 \cdot (80 - 16)} = 28,37 \text{ MPa}$$

$$p_{pe} = 28,37 \text{ MPa}$$

$$p_{pe} < p_D$$

$$28,37 < 67,5 \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Kde $t_{1e} = 3,8$ mm, hloubka drážky v náboji u elektromotoru[2];

$l_e = 80$ mm, délka pera u elektromotoru[2];

$b_e = 16$ mm, šířka pera u elektromotoru[2];

7.5 KONTROLA SPOJENÍ PEREM MEZI HYDROGENERÁTOREM A SPOJKOU

Pro spojení hydrogenerátoru a spojky bylo zvoleno pero 12e7 x 8 x 70 ČSN 02 2562

Síla ve spoji mezi hydrogenerátoru a spojkou F_{0h} :

$$F_{0h} = \frac{2 \cdot M_k}{d_h \cdot 1000} \quad [N] \quad (38)$$

$$F_{0h} = \frac{2 \cdot 189,71}{40 \cdot 1000} = 9485,63 \text{ N}$$

$$F_{0h} = 9485,63 \text{ N}$$

Kde $d_h = 40 \text{ mm}$, průměr výstupní hřídele hydrogenerátoru [10];

Tlak ve spoji hydrogenerátoru a spojkou p_{ph} :

$$p_{ph} = \frac{F_{0h}}{t_{1h} \cdot (l_h - b_h)} \quad [MPa] \quad (39)$$

$$p_{ph} = \frac{9485,63}{3,1 \cdot (70 - 12)} = 52,76 \text{ MPa}$$

$$p_{ph} = 52,76 \text{ MPa}$$

$$p_{ph} < p_D$$

$$52,76 < 67,5 \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Kde $t_{1h} = 3,1 \text{ mm}$, hloubka drážky v náboji u elektromotoru[2];

$l_h = 70 \text{ mm}$, délka pera u elektromotoru[2];

$b_h = 12 \text{ mm}$, šířka pera u elektromotoru[2];

7.6 VÝPOČET MINIMÁLNÍHO PRŮMĚRU TLAKOVÝCH HYDRAULICKÝCH HADIC

Při návrhu hadic hydraulického obvodu je potřeba zvolit takový průměr vedení, aby rychlost proudící kapaliny nebyla příliš vysoká.

Plocha průřezu hadice S_h :

$$S_h = \frac{S_1 \cdot v_d}{v_p \cdot 1000} \quad [mm^2] \quad (40)$$

$$S_h = \frac{31\,415,93 \cdot 42}{6 \cdot 1000} = 219,91 \text{ mm}^2$$

$$S_h = 219,91 \text{ mm}^2$$

Kde $v_p = 6 \text{ m/s}$, maximální rychlost kapaliny v potrubí při tlaku 20MPa[4];

Minimální průměr hadice d_{ha} :

$$d_{ha} = \sqrt{\frac{S_h \cdot 4}{\pi}} \quad [mm] \quad (41)$$

$$d_{ha} = \sqrt{\frac{219,91 \cdot 4}{\pi}} = 16,73 \text{ mm}$$

$$d_{ha} = 16,73 \text{ mm}$$

Dle předchozího výsledku je zvolena hydraulická hadice s průměrem **19 mm (3/4“)**.

7.7 KONTROLA PÍSTNÍ TYČE NA VZPĚŘ

Jelikož společnost DUPLOMATiC dodává ke svým přímočarým hydromotorům podklady pro výpočet vzpěrné stability, bude kontrola vzpěrné stability provedena pomocí těchto podkladů a současně i pomocí obecných vzorců. O výsledku, zda hydromotor vyhovuje, bude rozhodnuto pokud výsledek výpočtu vyhoví oběma kontrolám. Výpočet dle podkladů výrobce je obsahem přílohy P1.

7.7.1 KONTROLA PÍSTNÍ TYČE NA VZPĚR POMOCÍ OBECNÝCH VZORCŮ.

Pístní tyč zvoleného hydromotoru je opatřena vnitřním závitem M100, který zasahuje do více než poloviny celkové délky pístní tyče. Výpočet je proveden tak, jakoby pístní tyč měla tvar mezikruží, kde vnější průměr bude průměr samotné tyče a vnitřní průměr je maximální průměr závitu.

Kritická síla F_{krit} :

$$F_{krit} = \frac{\pi^2 \cdot J_{mk} \cdot E}{4 \cdot Z^2} = \frac{\pi^2 \cdot \frac{\pi(d_t^4 - D^4)}{64} \cdot E}{4 \cdot Z^2} \quad [N] \quad (42)$$

$$F_{krit} = \frac{\pi^2 \cdot \frac{\pi(140^4 - 99,58^4)}{64} \cdot 207000}{4 \cdot 160^2} = 279\,928\,425\,N$$

$$F_{krit} = 279\,928\,425\,N$$

$$F_{krit} \gg F$$

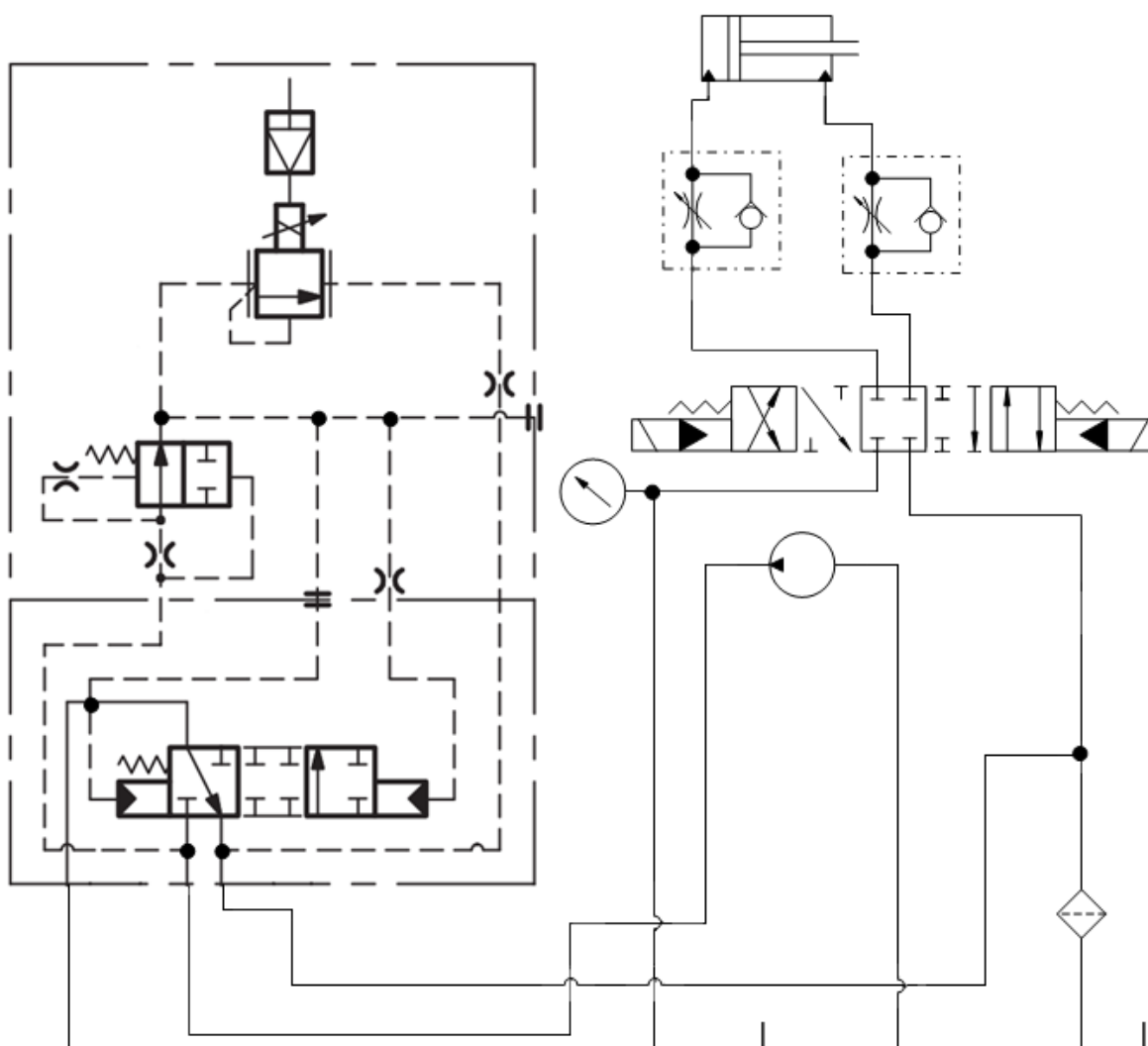
$$279\,928\,425 > 630\,000 \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Kde J_{mk} , kvadratický moment plochy průřezu mezikruží[3];

$D = 99,58$ mm, střední průměr závitu v pístní tyči[6];

Výsledná hodnota kritické síly je menší než hodnota reálné kritické síly díky předpokladu, že je průřez mezikruží v celé délce pístní tyče. Pístní tyč zvoleného hydromotoru i s využitím výše uvedených zjednodušujících předpokladů **vyhověla**.

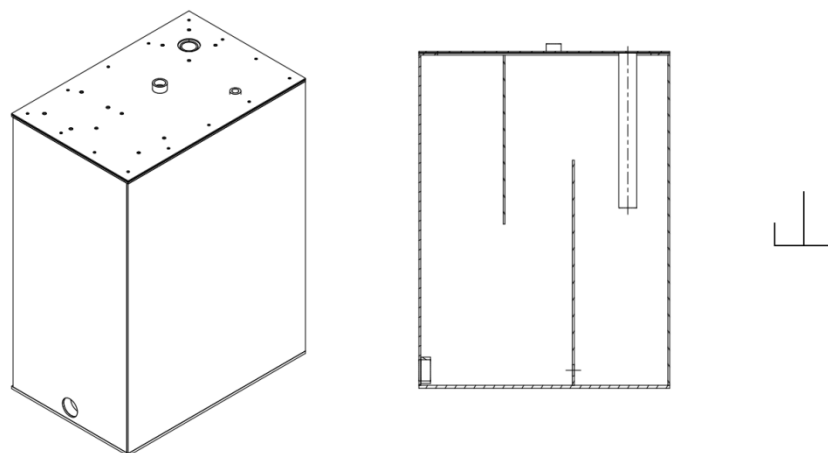
8 NÁVRH HYDRAULICKÉHO OBVODU



Obr. 12: Schéma hydraulického obvodu.

Hydraulický olej je sán hydrogenerátorem s vnitřním ozubením. Z hydrogenerátoru putuje již tlakový olej do proporcionálního tlakového ventilu, který hlídá, aby hodnota tlaku oleje nepřesáhla nastavenou hodnotu z ovládacího panelu a přepouští přebytečnou kapalinu do zpětné větve. Z proporcionálního tlakového ventilu putuje hydraulický olej do elektrohydraulicky ovládaného rozvaděče, který zajišťuje řízení směru pohybu hydromotoru a jeho zastavování. Za rozvaděčem jsou umístěny škrtkové ventily sloužící k nastavení rychlosti pohybu hydromotoru. Olej, který odtéká z hydromotoru, se vrací přes rozvaděč do zpětné větve. Po sloučení obou zpětných větví putuje olej do filtru a z něj následně zpět do nádrže.

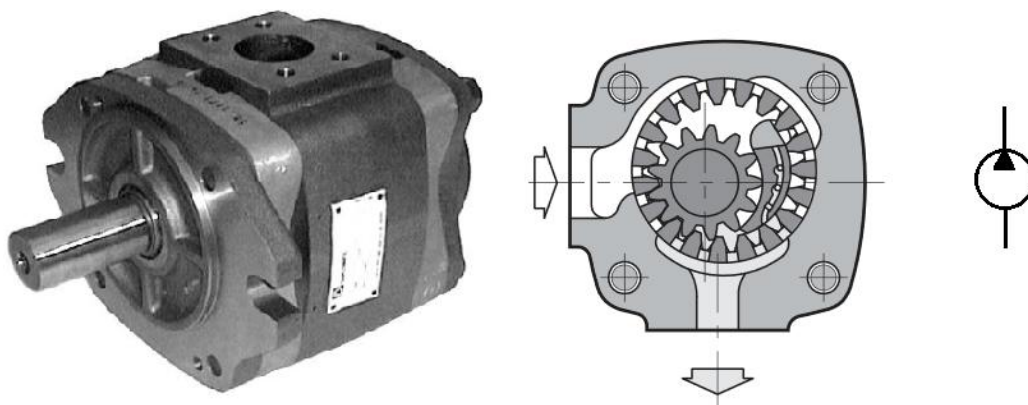
8.1 NÁDRŽ



Obr. 13: Vějšší pohled na nádrž, uzpořádání přepážek a schématická značka nádrže.

Nádrž slouží k uložení zásoby hydraulického oleje v hydraulickém obvodu. Její objem musí být dostatečný tak, aby pokryl změnu hladiny v důsledku změny množství oleje v přímočarém hydromotoru při jeho vysunutí a zasunutí. Nádrž slouží také k odvodu přebytečného tepla z hydraulického oleje, které je vysíláno pomocí jejích stěn. Nádrž je vyrobena ze svařovaných ocelových plechů a ve vnitřní části musí být natřena olejivzornou barvou.

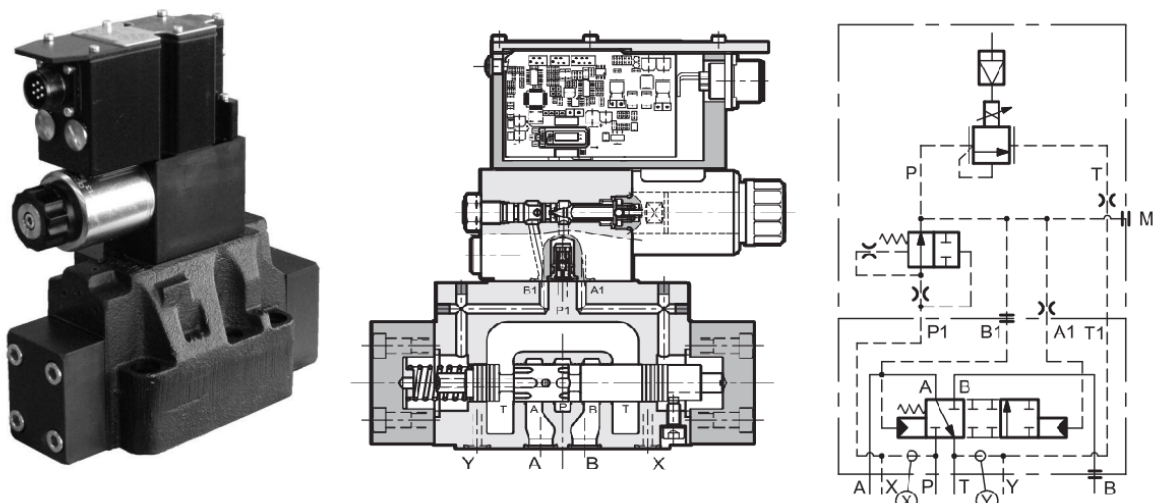
8.2 HYDROGENERÁTOR



Obr. 14: Zvolený hydrogenerátor, jeho vnitřní uspořádání a schématická značka. [10]

Hydrogenerátor je zařízení, které mění mechanickou energii dodávanou elektromotorem na tlakovou a kinetickou energii hydraulického oleje. Princip funkce spočívá v nasávání oleje mezi vnitřním a vnějším ozubením, k čemuž dochází protože se prostor mezi jednotlivými koly zvětšuje a vzniká zde podtlak. Následně jsou od sebe jednotlivé ozubení odděleny vložkou, která zamezí zpětnému toku kapaliny při vytlačování a současně slouží i jako těsnění mezi ozubenými koly. V místě, kde vložka končí se ozubená kola přibližují, zmenšuje se tak prostor pro olej, a jelikož cesta zpět je blokována dalším zubem který je ještě v kontaktu s vložkou, je olej vytlačován výstupním otvorem ven z hydrogenerátoru.

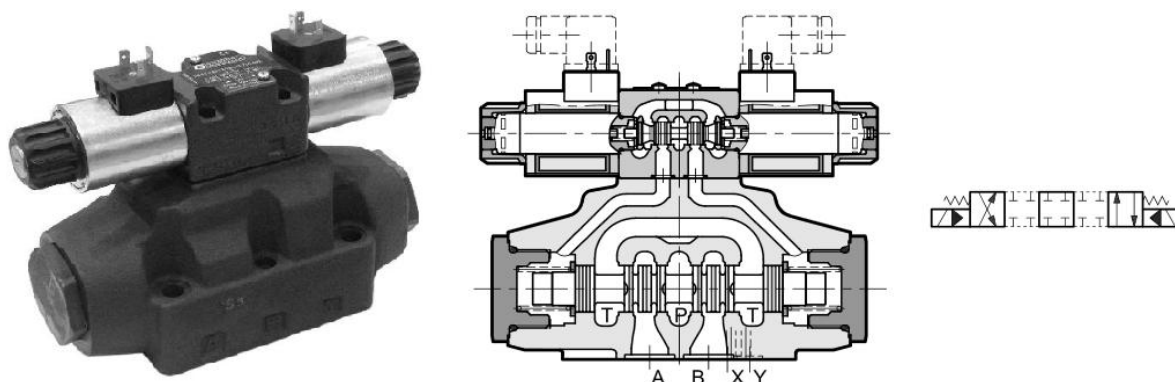
8.3 PROPORCIONÁLNÍ TLAKOVÝ REDUKČÍ VENTIL



Obr. 15: Zvolený ventil, jeho vnitřní uspořádání a schématická značka.[6]

Proporcionální tlakový redukční ventil slouží k nastavení maximálního pracovního tlaku v obvodu a tím nastavení pracovní síly, kterou bude hydromotor působit na rovnanou součást. Je vybaven vestavěným rozvaděčem sloužícím k snížení tlaku v obvodu v případě, že dojde k překročení nastavené hodnoty tlaku, a integrovaným řídicím obvodem který celý ventil ovládá. Do elektroniky ventilu se přivádí pouze signál s údajem o požadovaném tlaku z ovládacího panelu. Toto řešení umožňuje snazší obsluhu lisu, protože obsluze stačí jen zadat hodnotu požadovaného tlaku na ovládacím panelu a nemusí fyzicky s ventilem manipulovat. Další výhodou tohoto řešení je, že ventil nemusí být umístěn v dosahu obsluhy, čím se zlepší uspořádání hydraulických prvků a zmenší se délka potřebných hadic.

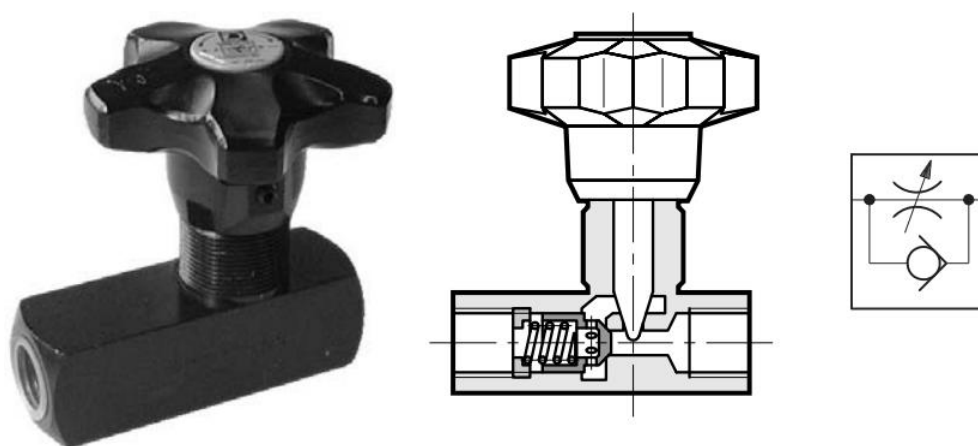
8.4 ELEKTORHYDRAULICKÝ ŠOUPÁTKOVÝ ROZVADĚČ



Obr. 16: Zvolený rozvaděč, jeho vnitřní uspořádání a schématická značka.[5]

Elektrohydraulický šoupátkový rozvaděč slouží v obvodu k řízení směru pohybu pístu přímočarého hydromotoru a k jeho zastavování. Zvolený rozvaděč má 4 kanály sloužící pro přívod a odvod hydraulické kapaliny. Kánálem označeným písmenem P se přivádí tlaková kapalina, kanály A a B slouží pro připojení hydromotoru. Podle toho do kterého kanálu proudí kapalina, tím směrem se pohybuje píst hydromotoru. Poslední kanál T je určen pro odvod kapaliny zpět do nádrže.

8.5 ŠKRTICÍ VENTIL



Obr. 17: Zvolený škrťací ventil, jeho vnitřní uspořádání a schématická značka.[14]

Škrťací ventil je v obvodu použit pro nastavení rychlosti při volném pohybu rovnacího nástroje. Pracuje na principu škrcení průtoku kapaliny tak, že je do průřezu, kterým proudí kapalina zasouváno tělísko, v tomto případě kuželka, která tento průřez zmenšuje, čímž dojde k snížení množství kapaliny protékající průřezem při nastaveném tlaku na proporcionálním ventilu.

ZÁVĚR

Cílem práce bylo navrhnout dle zadaných parametrů hydraulický lis pro rovnání rotačních součástí, jako jsou kruhové tyče, hřídele a rotory elektromotorů. Dále bylo potřeba spočítat návrhové a kontrolní výpočty a vytvořit výkresovou dokumentaci sestavy lisu a zadaných detailních dílů. Navržený lis má jmenovitou sílu 630 kN při tlaku oleje 20 MPa. Rychlost pohybu beranu směrem dolů je 42 mm/s a směrem nahoru je rychlost 112 mm/s. Maximální zdvih beranu je zvolen 160 mm a délka stolu je zvolena 2000 mm.

Začátek práce je rešeršního charakteru a zabývá se parametry ovlivňujícími proces lisování. Dále je zde uveden přehled rámců používaných u hydraulických lisů, druhy lisů, které lze použít pro rovnání součástí. Následně jsou popsány moderní trendy v oblasti konstrukce hydraulických lisů.

Zbytek práce je věnován konstrukci samotného lisu, kde v první části je proveden návrhový výpočet, který je použit pro volbu přímočarého hydromotoru a hydrogenerátoru. Následně byl proveden rozbor možných variant řešení s volbou výsledné varianty řešení. S vybranou variantou řešení se přistoupilo ke kontrolním výpočtům, kde je vypočítána tuhost stroje a maximální průhyb stolu, provedla se kontrola zda nedojde ke vzpěru pístní tyče, otláčení per spojující elektromotor s hydrogenerátorem přes pružnou spojku a zvolil se potřebný průměr hadic. Nakonec se vybraly všechny potřebné hydraulické komponenty a sestavilo se schéma hydraulického obvodu.

POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] ČECHURA, Milan, Jan HLAVÁČ a Jiří STANĚK. *Konstrukce tvářecích strojů*. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2015. ISBN 978-80-261-0513-8.
- [2] SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R. MISCHKE, Richard G. (Richard Gordon) BUDYNAS, Martin HARTL a Miloš VLK. *Konstruování strojních součástí*. V Brně: VUTIUM, 2010, xxv, 1159 s. : il. ; 26 cm. ISBN 978-80-214-2629-0.
- [3] LEINVEBER, Jan, Jaroslav ŘASA a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky*. 3., dopl. vyd. Praha: Scientia, 1999, 985 s. : il. ISBN 80-7183-164-6.
- [4] kolektiv: Příručka hydrauliky, Svazek 2. Mannesmann Rexroth GmbH 1991, ISBN 3-8023-0898-0
- [5] [DSP7]. In: <https://e-konstrukter.partcommunity.com> [online]. Parabiago (MI): DUPLOMATIC OLEODINAMICA, 2018 [cit. 2018-05-06]. Dostupné z: https://e-konstrukter.partcommunity.com/3d-cad-models/FileService/File/diplomatic/04_solenoid_operated_valves/41420/41420_116_english.pdf
- [6] [DZCE*G]. In: <https://e-konstrukter.partcommunity.com> [online]. Parabiago (MI): DUPLOMATIC OLEODINAMICA S.p.A, 2018 [cit. 2018-05-06]. Dostupné z: https://e-konstrukter.partcommunity.com/3d-cad-models/FileService/File/diplomatic/08_proportional_valves/81610/81610english.pdf
- [7] [GE-T]. In: www.teatechnik.cz [online]. Popůvky u Brna: T.E.A. TECHNIK, 2009 [cit. 2018-04-26]. Dostupné z: <https://www.teatechnik.cz/download.php?file=doc%2Fget.pdf&name=get.pdf>
- [8] [HC3]. In: <http://e-konstrukter.partcommunity.com> [online]. Parabiago (MI): DUPLOMATIC OLEODINAMICA, 2018 [cit. 2018-03-15]. Dostupné z: http://e-konstrukter.partcommunity.com/3d-cad-models/FileService/File/diplomatic/07_actuators/71200/71200english.pdf
- [9] Hydraulické lisy. In: www.industry-eu.cz/ [online]. Žďár nad Sázavou: ŽĎAS, 2006 [cit. 2018-02-20]. Dostupné z: www.industry-eu.cz/files/890388.pdf
- [10] [IGP]. In: <http://e-konstrukter.partcommunity.com> [online]. Parabiago (MI): DUPLOMATIC OLEODINAMICA, 2018 [cit. 2018-04-13]. Dostupné z: http://e-konstrukter.partcommunity.com/3d-cad-models/FileService/File/diplomatic/01_pumps/12100/12100english.pdf

- [11] [Lis Hidroliksan HD/600M 2000x700]. In: *Www.nejlepsinaradi.cz* [online]. Litvínov: *www.nejlepsinaradi.cz*, c2011-2018 [cit. 2018-04-05]. Dostupné z: *www.nejlepsinaradi.cz/soubory/produkty/miniatury/HD600.jpg*
- [12] [PROMA HLR 12]. In: *Www.rucni-naradi.cz* [online]. *www.rucni-naradi.cz*, c2003-2018 [cit. 2018-05-05]. Dostupné z: *www.rucni-naradi.cz/img_product/img370x270/proma-hlr-12u-2-rucni-hydraulicky-lis-2.jpg*
- [13] Rexroth IndraDyn A Asynchronous Motors MAD / MAF. In: *Https://md.boschrexroth.com* [online]. Lohr: Bosch Rexroth, c2015 [cit. 2017-11-23]. Dostupné z: *https://md.boschrexroth.com/modules/BRMV2PDFDownload-inter-net.dll/R911295781_09.pdf?db=brmv2&lvid=1202597&mvid=13220&clid=20&sid=38E25E6D4B44A1E4C986DE331C5EDAF6.borex-tc&sch=M&id=13220,20,1202597*
- [14] [RSN6]. In: *Http://e-konstrukter.partcommunity.com* [online]. Parabiago (MI): DUPLOMATIC OLEODINAMICA, 2018 [cit. 2018-04-11]. Dostupné z: *http://e-konstrukter.partcommunity.com/3d-cad-models/FileService/File/duplomatic/03_flow_control_valves/31210/31210english.pdf*
- [15] [SICMI PCL 200 A]. In: *Https://shop.boukal.cz* [online]. Chuděřín: *https://shop.boukal.cz*, c2010-2018 [cit. 2018-05-05]. Dostupné z: *https://shop.boukal.cz/obrazky/1470643625/48973.jpg*
- [16] [CDC 30-S1]. In: *Http://www.tosrakovnik.cz* [online]. Rakovník: Rakovnické tvářecí stroje, c2016 [cit. 2018-05-01]. Dostupné z: *http://www.tosrakovnik.cz/img/cdc30_50_s1_1_400x300.jpg*

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

A	[mm]	Vyložení rámu
a_1	[mm]	Vzdálenost těžiště plochy 1 od okraje
a_2	[mm]	Vzdálenost těžiště plochy 2 od okraje
a_3	[mm]	Vzdálenost těžiště plochy 3 od okraje
b_1	[mm]	Šířka stěny 1
b_2	[mm]	Délka stěny 2
b_3	[mm]	Šířka stěny 3
b_c	[mm]	Celková délka sloupu
b_e	[mm]	Šířka pera u elektromotoru
b_h	[mm]	Šířka pera u hydrogenerátoru
D	[mm]	Střední průměr závitu v pístní tyči
d_e	[mm]	Průměr výstupní hřídele elektromotoru
d_h	[mm]	Průměr výstupní hřídele hydrogenerátoru
d_{ha}	[mm]	Minimální průměr hadice
D_n	[mm]	Předběžný průměr pístu
D_p	[mm]	Průměr pístu hydromotoru
d_t	[mm]	Průměr pístní tyče hydromotoru
e	[mm]	Těžiště plochy průřezu sloupu
E	[GPa]	Modul pružnosti oceli v tahu
F	[N]	Jmenovitá síla
F_{0e}	[N]	Síla ve spoji mezi elektromotorem a spojkou
F_{0h}	[N]	Síla ve spoji mezi hydrogenerátoru a spojkou
F_{krit}	[N]	Kritická síla
h_1	[mm]	Délka stěny 1
h_2	[mm]	Šířka stěny 2
h_3	[mm]	Délka stěny 3
h_c	[mm]	Celková šířka sloupu
J_{mk}	[mm ⁴]	Kvadratický moment plochy průřezu mezikruží
J_{xs}	[mm ⁴]	kvadratická moment plochy průřezu stolu
J_{z1}	[mm ⁴]	Kvadratický moment plochy průřezu 1
J_{z3}	[mm ⁴]	Kvadratický moment plochy průřezu 3

J_{z4}	[mm ⁴]	Kvadratický moment plochy průřezu 4
J_{z5}	[mm ⁴]	Kvadratický moment plochy průřezu 5
J_{zc}	[mm ⁴]	Celkový kvadratický moment plochy průřezu sloupu
k_r	[N/mm]	Tuhost stojanu
L	[mm]	Celková rozevíraná délka při práci
L_0	[mm]	Výška upínací desky nad podlahou
l_e	[mm]	Délka pera u elektromotoru
l_h	[mm]	Délka pera u hydrogenerátoru
l_p	[mm]	převis stolu
L_S	[mm]	Délka stolu
m	[mm]	Poloha neutrální osy
M_k	[Nm]	Krouticí moment působící na spojku
M_{kn}	[Nm]	Maximální krouticí moment který spojka může přenášet
M_o	[N.mm]	Ohybový moment působící na rám
n	[ot/min]	Otáčky elektromotoru
N_h	[kW]	Potřebný příkon pro hydrogenerátor
n_{maxh}	[ot/min]	Maximální otáčky hydrogenerátoru
n_{pd}	[ot/min]	Předběžné otáčky elektromotoru pro dosažení pracovní rychlosti
n_{pz}	[ot/min]	Předběžné otáčky elektromotoru pro dosažení zpětné rychlosti
p	[MPa]	Pracovní tlak
p_0	[MPa]	Základní hodnota dovoleného tlaku pro náboj z litiny
p_D	[MPa]	Dovolený tlak ve spoji
P_e	[kW]	Výkon elektromotoru
P_h	[kW]	Výkon hydrogenerátoru
p_{maxh}	[MPa]	Maximální tlak hydrogenerátoru
p_n	[Mpa]	Předběžný tlak v hydraulickém obvodu při dopředním pohybu
p_{pe}	[MPa]	Tlak ve spoji mezi elektromotorem a spojkou
p_{ph}	[MPa]	Tlak ve spoji mezi hydrogenerátorem a spojkou
Q_v	[dm ³ /min]	Maximální objemový průtok hydrogenerátoru (při 1500to/s)
Q_{vf}	[dm ³ /min]	Výsledný objemový průtok při použití zvoleného hydrogenerátoru a elektromotoru
Q_{vpd}	[dm ³ /min]	Potřebný objemový průtok pro dopředný pohyb
Q_{vpz}	[dm ³ /min]	Potřebný objemový průtok pro zpětný pohyb

S_1	[mm ²]	Plocha sloupu 1
S_2	[mm ²]	Plocha sloupu 2
S_3	[mm ²]	Plocha sloupu 3
S_4	[mm ²]	Plocha sloupu 4
S_5	[mm ²]	Plocha sloupu 5
S_c	[mm ²]	Celková plocha průřezu sloupu
S_h	[mm ²]	Plocha průřezu hadice
S_n	[mm ²]	Předběžná plocha pístu
S_{p1}	[mm ²]	Pracovní plocha při dopředném pohybu
S_{p2}	[mm ²]	Pracovní plocha při zpětném pohybu
t_{1e}	[mm]	Hloubka drážky v náboji u elektromotoru
t_{1h}	[mm]	Hloubka drážky v náboji u hydrogenerátoru
v_d	[mm.s ⁻¹]	Pracovní rychlost
V_g	[cm ³ /ot]	Geometrický objem
v_p	[m/s]	Maximální rychlost kapaliny v potrubí při tlaku 20MPa
v_z	[mm.s ⁻¹]	Zpětná rychlost
y	[mm]	Průhyb stolu
Z	[mm]	Zdvih
γ	[mm]	Celková deformace
η_c	[%]	Celková účinnost hydrogenerátoru
η_v	[%]	Objemová účinnost hydrogenerátoru
ξ	[-]	Součinitel tvaru stojanu
ρ	[mm]	Zakřivení neutrální osy
σ_1	[MPa]	Napětí σ_1
σ_2	[MPa]	Napětí σ_2
σ_t	[MPa]	Napětí σ_t

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P1	Vzpěrná stabilita dle výrobce
Příloha P2	VÝKRES_LIS CTC_63_SESTAVA
Příloha P3	VÝKRES_LIS CTC_63_ODKRYTOVANÉ
Příloha P4	VÝKRES_LIS CTC_63_ODKRYTOVANÉ_KUSOVNÍK
Příloha P5	VÝKRES_RÁM
Příloha P6	VÝKRES_NÁDRŽ_SESTAVA
Příloha P7	VÝKRES_NÁDRŽ_SESTAVA_KUSOVNÍK
Příloha P8	VÝKRES_NÁDRŽ