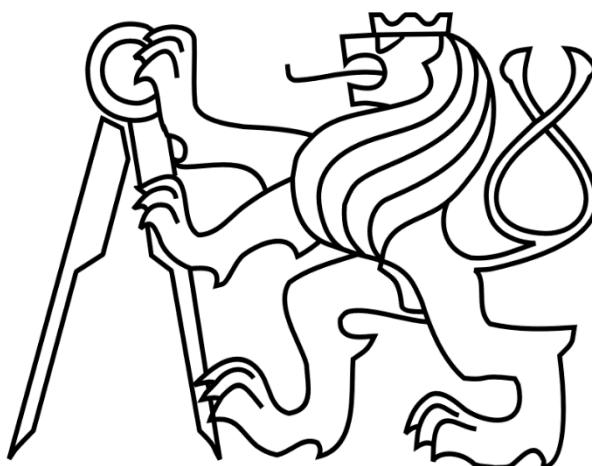


ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ

FAKULTA STROJNÍ

Ústav výrobních strojů a zařízení



Bakalářská práce

Konstrukční návrh univerzálního montážního lisu

2022

Ondřej Míka

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Míka** Jméno: **Ondřej** Osobní číslo: **492664**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávající katedra/ústav: **Ústav výrobních strojů a zařízení**
Studijní program: **Teoretický základ strojního inženýrství**
Studijní obor: **bez oboru**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Konstrukční návrh univerzálního montážního lisu

Název bakalářské práce anglicky:

Design of a universal assembly press

Pokyny pro vypracování:

Popis tématu: Konstrukční návrh univerzálního montážního lisu s hydraulickým pohonem. Zadávací parametry: maximální lisovací síla 300 kN, maximální lisovací rychlost 8 mm/sec, maximální zdvih lineárního hydromotoru 200 mm, výška pracovní plošiny 1000 mm, velikost pracovní plošiny (600 x 600) mm, velikost pracovního prostoru (600 x 600 x 500) mm, snadný přístup do pracovního prostoru, ruční ovládání posuvné části při zakládání lisované součásti (dvě pracovní polohy), koncepční stanovení vhodného lineárního hydromotoru (konstrukce), návrh hydraulického obvodu a přiřazení hydraulického agregátu. Osnova práce: Uvedení do řešené problematiky; provedení rešerše; návrh řešení; návrhové výpočty; zhodnocení. Rozsah grafické části: Potřebné obr., tab., graf., 3D modely, výkres sestavy včetně kusovníků. Rozsah textové části: cca 40 – 60 stran.

Seznam doporučené literatury:

MAŇAS, Miroslav; STANĚK, Michal; MAŇAS, David: Výrobní stroje a zařízení. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2007. ISBN 978-80-7318-596-1.; ČECHURA, Milan; HLAVÁČ, Jan; STANĚK, Jiří: Konstrukce tvářecích strojů, Učební texty pro bakalářské i navazující magisterské studium. Vyd. 1. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, únor 2015. ISBN 978-80-261-0513-8.; NOVOTNÝ, Karel: VÝROBNÍ STROJE A ZAŘÍZENÍ: ČÁST TVÁŘECÍ STROJE. Září 2002. Výukové materiály. Vysoké učení technické v Praze.; ŘEZNÍČEK, Jan; ŘEZNÍČKOVÁ Jitka: Pružnost a pevnost v technické praxi: příklady II. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2006. ISBN 80-010-3584-0.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

doc. Ing. Vladimír Andrlík, CSc. ústav výrobních strojů a zařízení FS

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Ing. Tomáš Krannich, Ph.D. ústav výrobních strojů a zařízení FS

Datum zadání bakalářské práce: **25.03.2022** Termín odevzdání bakalářské práce: **25.07.2022**

Platnost zadání bakalářské práce: **30.09.2022**

doc. Ing. Vladimír Andrlík, CSc.
podpis vedoucí(ho) práce

Ing. Matěj Sulitka, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl v příloženém seznamu veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací, vydaným ČVUT v Praze 1. 7. 2009.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č.121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne 18.7.2022

.....

podpis

Poděkování

Tato práce byla zpracována na Ústavu výrobních strojů a zařízení, Fakultě strojní, ČVUT v Praze.

Rád bych proto poděkoval všem, kteří mi z tohoto ústavu pomáhali s řešením této práce. Z tohoto ústavu bych rád jmenoval vedoucího mé práce doc. Ing. Vladimíra Andrlíka, CSc., který se mnou po celou dobu tvorby bakalářské práce konzultoval a pomáhal mi nacházet nepřesnosti. Další veliký dík patří Ing. Tomášovi Krannichovi, Ph.D., s jehož pomocí jsem celou práci byl schopen vyřešit po odborné stránce. Tento obor mi rozšířil o spoustu znalostí a po technické stránce mi velmi pomohl.

Dále bych chtěl poděkovat Ing. Karlu Vítkovi, CSc. z odboru pružnosti a pevnosti, za konzultaci výpočtů, které jsem v práci prováděl.

V poslední řadě bych rád poděkoval všem členům rodiny včetně přítelkyně a kamarádům, kteří mě po dobu mého studia podporovali a udržovali mě při smyslech. Bez této podpory bych studiem nemohl projít.

Anotace

Autor:	Ondřej Míka
Název BP:	Konstrukční návrh univerzálního montážního lisu
Rozsah práce:	65 str., 48 obr., 3 tab.
Školní rok vyhotovení:	2022
Škola:	České vysoké učení technické v Praze, Fakulta strojní
Ústav:	Ústav výrobních strojů a zařízení
Vedoucí BP:	doc. Ing. Vladimír Andrlík, CSc.
Konzultant:	Ing. Tomáš Krannich, Ph.D.
Zadavatel:	Ing. Peter Madanský pro TC – INFORMATICS a.s.
Využití:	Dvourychlostní hydraulický montážní lis pro dílenské použití
Klíčová slova:	Hydraulický lis, lineární hydromotor, hydraulika, hydraulický generátor, konstrukce lisu, svařovaný rám, svařovaný stůl
Anotace:	Bakalářská práce se zabývá konstrukčním návrhem hydraulického lisu pro dílenské využití. Rešeršní část obsahuje rozebrání druhů lisů a jejich charakteristiku. Mezi hlavní řešené body v praktické části patří navrhnutí hydraulického obvodu včetně hydromotoru, navrhnutí konstrukce lisu, její kontrola v kritických místech a vytvoření vybraných výkresů.

Annotation

Author:	Ondřej Míka
Title of bachelor dissertation:	Design of a universal assembly press
Extent:	61 p., 48 fig., 3 tab.
Academic year:	2022
Univerzity:	Czech technical university in Prague, Faculty of Mechanical engineering
Department:	Department of Production machines
Supervisor:	doc. Ing. Vladimír Andrlík, CSc.
Consultant:	Ing. Tomáš Krannich, Ph.D.
Submitter of the Theme:	Ing. Peter Madanský for TC – INFORMATICS a.s.
Application:	Two-speed hydraulic assembly press for workshop use
Key words:	Hydraulic press, linear hydraulic motor, hydraulics, hydraulic generator, press design, welded frame, welded table
Annotation:	The bachelor's thesis covers the structural design of a hydraulic press for workshop use. The research part contains types of presses and their characteristics. The main topics in the practical part are the design of the hydraulic circuit including the hydraulic motor, the design of the press frame, its stress check in critical locations, and the creation of selected drawings.



Obsah

Čestné prohlášení	2
Poděkování.....	3
Anotace	4
Annotation	5
Obsah	7
Přehled použitých veličin	9
1 Úvod.....	12
2 Cíl práce	12
3 Tvářecí stroje.....	13
3.1 Rozdělení tvářecích strojů s přímočarým pohybem	13
3.2 Pracovní cyklus	14
3.3 Typy rámců tvářecích strojů	14
3.4 Charakteristické parametry tvářecích strojů	16
3.5 Označení strojů	17
3.6 Silové tvářecí stroje	22
3.7 Zdvihové tvářecí stroje	26
3.8 Porovnání parametrů vybraných hydraulických lisů.....	30
4 Návrh konstrukce.....	31
4.1 Navržené typy konstrukce.....	31
4.1.1 Rám typu C.....	31
4.1.2 Rám typu O s kluzným uložením posuvu stolu	32
4.1.3 Rám typu O s odpruženým posuvným stolem.....	33
4.1.4 Rám typu O s posuvným stolem a polohovatelnými ližinami.....	34
4.1.5 Posuvný rám typu O s pevně uchyceným stolem	35
4.1.6 Výběr varianty.....	35
4.2 Návrh hydraulického pohonu dle zadaných parametrů	36
4.3 Konstrukce lineárního hydromotoru.....	44
4.4 Konstrukce lisu	47
4.4.1 Konstrukce svařence stolu	47
4.4.2 Konstrukce svařence rámu	49



4.4.3	Konstrukce nohou lisu	50
4.4.4	Sestava lisu.....	51
4.5	Kontrola pevnosti lisu a porovnání s MKP	53
4.5.1	Výpočet prohnutí rámu při maximálním zatížení	53
4.5.2	Kontrola otláčení stolu při maximálním zatížení	60
4.5.3	Kontrola pevnosti nohou lisu.....	61
5	Závěr	62
Seznamy		63
Seznam použitých zdrojů a literatury		63
Seznam použitých obrázků		66
Seznam použitého softwaru		67
Seznam příloh		67



Přehled použitých veličin

Veličina	Jednotka	Popis
a	[mm]	Výška prutové konstrukce nahrazující rám
A_1	[mm ²]	Dosedací plocha pístu při vysunutí
A_2	[mm ²]	Dosedací plocha pístu při zasunutí
A_{had}	[mm ²]	Plocha hadice pro průtok tekutiny
$A_{mpř}$	[mm ²]	Plocha mezikruží příruby pro přívod tekutiny
A_p	[mm ²]	Skutečná velikost plochy pístu
A_p	[mm ²]	Plocha mezikruží na pístu
A_p^*	[mm ²]	Navrhnutá velikost plochy pístu
b	[mm]	Polovina šířky prutové konstrukce nahrazující rám
b, k	[mm]	Šířka dílčích částí profilu
c	[mm/s]	Rychlost
c_p	[mm/s]	Navrhnutá rychlost proudění kapaliny potrubím
D	[mm]	Průměr pístu
d	[mm]	Průměr pístnice
$d_{k1, k2}$	[mm]	Průměr O – kroužku
DN*	[mm]	Návrhová světlost hadic
$d_{opí}$	[mm]	Průměr osazení pístnice pro usazení pístu
$d_{opř}$	[mm]	Průměr osazení příruby pro přívod tekutiny
D_{p1o}	[mm]	Vnější průměr dosedací plochy při vysunutí
d_{p1o}	[mm]	Vnitřní průměr dosedací plochy při vysunutí
D_{p2o}	[mm]	Vnější průměr dosedací plochy při zasunutí



d_{p2o}	[mm]	Vnitřní průměr dosedací plochy při zasunutí
D_{VN}	[mm]	Vnější průměr válce hydromotoru
d_z	[mm]	Vnější průměr pístnice v místě opěru pístu
$D_{záp}$	[mm]	Průměr zápichu v přírubě pro usazení O – kroužku
E	[N/mm ²]	Youngův modul pružnosti
F	[N]	Maximální síla vyvinutá hydromotorem
F_{max}	[N]	Maximální síla lisu při přetížení
h, l	[mm]	Výška dílčích částí profilu
H_{p-p}	[mm]	Mezera pro usazení O – kroužku mezi pístem a pístnicí
H_{p-v}	[mm]	Mezera pro usazení O – kroužku mezi přírubou a válcem
$J_{z1, z2, z3}$	[mm ⁴]	Kvadratický moment profilu k ose z
k	[-]	Bezpečnost při volbě dovoleného napětí
$K_{0, 1, 2}$	[-]	Konstanty dopočítané z Cramerova pravidla
l_i	[mm]	Délka určitého úseku posunu pístnice
M	[Nmm]	Vnitřní ohybový moment v rámu
N	[N]	Vnitřní síla působící v rámu
p	[bar]	Tlak v hydraulickém obvodu
P_e	[kW]	Potřebný příkon při krátkodobém zatížení
P_{ekv}	[kW]	Potřebný příkon při opakovaném krátkodobém zatížení
P_i	[kW]	Příkon potřebný na posun pístnice po určitém úseku
p_{max}	[bar]	Maximální tlak při přetížení
p_{prac}	[bar]	Pracovní tlak
psk_{p-p}	[%]	Smrštění O – kroužku mezi pístem a pístnicí



p_{skp-v}	[%]	Smrštění O – kroužku mezi přírubou a válcem
Q	[l/m]	Průtok kapaliny hydraulickým obvodem
Q_{max}	[mm ³ /s]	Maximální průtok kapaliny hydraulickým obvodem
R_e	[N/mm ²]	Mez kluzu materiálu
s	[mm]	Tloušťka stěny lineárního hydromotoru
S	[mm ²]	Kontrolovaná plocha proti otláčení
$t_{1,2}$	[mm]	Vzdálenost těžišť dílčích částí profilu
t_D	[mm]	Tloušťka dna lineárního hydromotoru
t_i	[s]	Doba posunu pístnice po určitém úseku
u	[mm]	Posunutí rámu ve směru x v místě zatížení
v	[mm]	Posunutí rámu ve směru y v místě zatížení
$Y_{t1, t2, t3}$	[mm]	Vzdálenost těžiště kvadratického momentu
Z	[kg]	Maximální hmotnost, jaké může lis s dílem dosáhnout
Δd	[mm]	Velikost radiální změny válce hydromotoru
μ	[-]	Účinnost hydraulického okruhu
ν	[-]	Poissonova konstanta pro ocel
σ	[N/mm ²]	Napětí v tahu/tlaku
σ_D	[N/mm ²]	Dovolené napětí v tahu/tlaku
τ_D	[N/mm ²]	Dovolené napětí ve smyku
φ	[°]	Natočení rámu v místě zatížení

1 Úvod

Ve světě průmyslu se v dnešní době setkáváme se spoustou výrobních strojů. Ať už se jedná o obráběcí, tvářecí nebo jiné stroje, vždy je jejich úkolem ze vstupního polotovaru vytvořit požadovaný výstupní díl. Pokud požadujeme změnu tvaru polotovaru, ideální volbou jsou lis. Jsou to stroje, které svou silou dokáží tvarovat zpracovávaný polotovar do potřebného tvaru nebo lze jejich sílu využít například pro sesazování dílů. Lis bude sloužit jako dílenský lis s univerzálním použitím pro více operací.

2 Cíl práce

Cílem práce je navrhnout univerzální hydraulický lis s pracovní silou 300 kN, která bude působit při rychlosti lisování 8 mm/s. Dále jsou zadány rozměry pracovního prostoru, výška stolu nad zemí a zdvih hydromotoru. U lisu je zadán požadavek bezproblémového zavážení pomocí jeřábu, tento požadavek musí být zohledněn při volbě typu konstrukce.

Rešeršní část se bude zabývat přehledem typů tvářecích strojů s lineárním pohybem nástroje, rozebráním jejich konstrukce a druhy pohonů. Jsou zde také rozebrány vlastnosti jednotlivých typů a na závěr porovnány parametry lisů různých výrobců v podobné silové kategorii konstruovaného lisu.

Praktická část se nejprve bude zaměřovat na volbu typu konstrukce se kterým se lis bude vytvářet. Dalším krokem je navrhnutí hydraulického obvodu, u kterého se začíná návrhem a kontrolou hydromotoru. Následně je navrženo samotné schéma motoru a jsou zvoleny ostatní komponenty. Po sestavení hydraulického obvodu je navrhována sestava lisu, skládající se z dílčích komponent – rám, stůl, nohy. Lis je v kritických místech pevnostně zkontrolován. Po návrhu a kontrole bude vytvořena výkresová dokumentace dílčích komponentů.

Závěrem práce bude shrnutí dílčích částí práce a rekapitulace celého návrhu. Výstupem je vytvořený 3D model stroje s výkresy dílčích částí.

3 Tvářecí stroje

Tvářecími stroji označujeme stroje takové, pomocí kterých dokážeme zpracovávat materiál ve formě polotovaru. Tento materiál stroje dokážou zpracovávat buďto za tepla nebo za studena, což rozlišujeme podle toho, zda teplota materiálu je vyšší nebo nižší než rekrytalizační teplota. Platí, že čím má materiál vyšší teplotu, tím je poddajnější.

Při tváření dochází k trvalé přeměně tvaru a rozměrů pomocí působení mechanické energie nebo síly a nedochází k odběru třísek, což je výhodnější než například soustružení a frézování z důvodu, že nevzniká téměř žádný odpadní materiál, avšak nedá se použít pro výrobu všech dílů. Jedná se například o díly složitých tvarů. V mnoha případech může tváření vést i ke zlepšení mechanických vlastností jako například větší tuhosti dílce v porovnání s obrobeným, k čemuž dochází důsledkem pěchování materiálu.

Hlavní význam tvářecích strojů je, že nahrazují práci, kterou by musel vykonat člověk k tomu, aby vyrobil patřičný výrobek. Mnohdy by člověk jako takový nebyl výrobek schopen ani zhotovit, nebo by ho nebylo možné vyrobit v tak krátkém čase s požadovanou kvalitou, jako to dokážou právě stroje. Díky tvářecím strojům jsou firmy schopné mít větší produktivitu, která se nechá ještě dále navyšovat například zautomatizováním výměny hotového výrobku za polotovar. Vyšší produktivita se poté přímo podílí na nižší ceně výrobku, jelikož firmy nemusí vynaložit takové finance na výrobu. [1], [2], [3], [4], [5]

3.1 Rozdělení tvářecích strojů s přímočarým pohybem

Podle hlavní formy využití energie

- Lisy – používají ke tvarování materiálu sílu
- Buchary – používají ke tvarování materiálu energii uchovanou v beranu – posuvné části lisu, předávající energii tvářenému materiálu.

Podle druhu použitého mechanismu

- Mechanické
- Hydraulické
- Parní a pneumatické

Podle druhu technologického určení

- Pro plošné tváření
- Pro objemové tváření
- Pro stříhání a dělení materiálu

Podle pracovního rozsahu

- Univerzální – lze použít pro různé velikosti a tvary materiálu
- Speciální – požadovaného výsledku lze dosáhnout jedinou operací
- Jednoúčelové – použití pro jednu konkrétní operaci a stejný polotovár

[1], [4]

3.2 Pracovní cyklus

Za pracovní cyklus se u tvářecích strojů označuje soubor všech operací v dané časové posloupnosti, které je nutné vykonat k tomu, aby byla vyrobena jedna součást. Tím je myšleno umístění polotovaru do stroje, samotný pohyb nástroje a poté vyjmutí hotového dílce. Pracovní cyklus můžeme rozdělit na přerušovaný a trvalý.

Přerušovaný cyklus

Na konci svého cyklu se beran na určitou dobu zastaví. Poté, co dojde k ustálení sil, se beran zvedne do horní pozice.

Trvalý cyklus

Pracovní cyklus se neustále opakuje a po každém zopakování je vyroben jeden dílec.

[1], [3], [4], [6]

3.3 Typy rámců tvářecích strojů

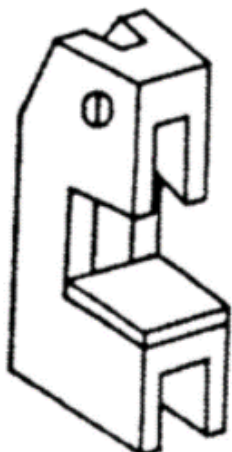
Rámy otevřené – typ C

- S pevným stolem *obr. 3-1*
- S přenastavitelným stolem *obr. 3-2*
- Naklápěcí *obr. 3-3*
- Široký stojan *obr. 3-4*
- Šikmý stojan *obr. 3-5*
- Horizontální *obr. 3-6*

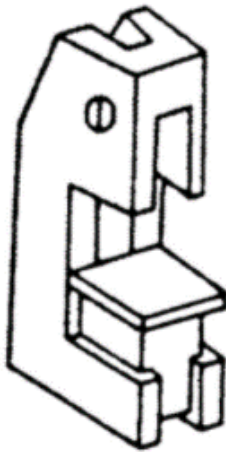
Rámy uzavřené – typ O

- Skříňové *obr. 3-7*
- Sloupové *obr. 3-8*

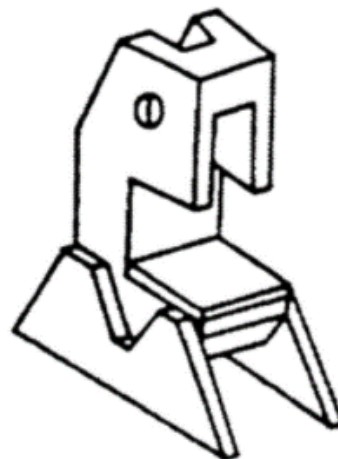
[1], [3], [4]



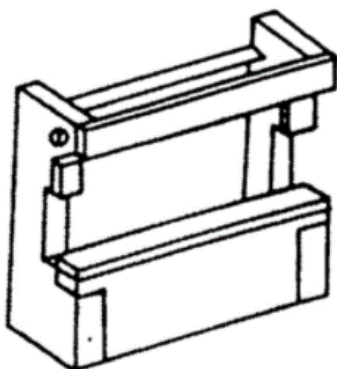
Obrázek 3-1 - Otevřený rám s
pevným stolem [4]



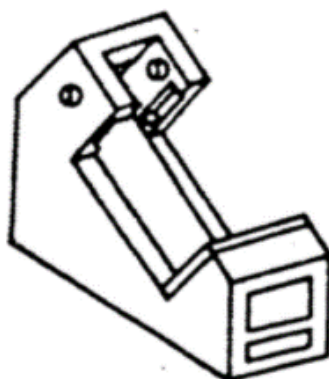
Obrázek 3-2 - Otevřený rám s
přenastavitelným stolem [4]



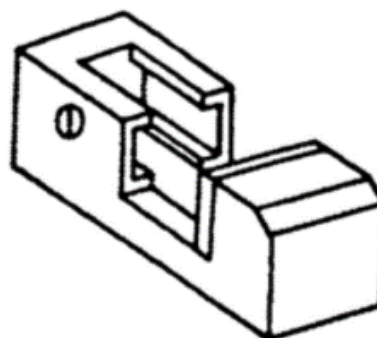
Obrázek 3-3 - Otevřený naklápěcí rám [4]



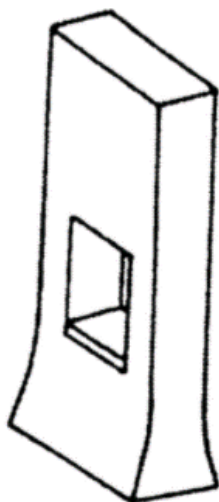
Obrázek 3-4 - Široký stojan [4]



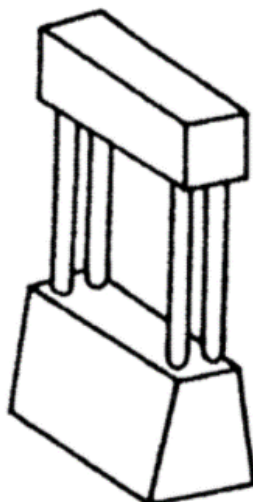
Obrázek 3-5 - Otevřený šikmý rám
[4]



Obrázek 3-6 - Otevřený horizontální rám
[4]



Obrázek 3-7 - Uzavřený skříňový
rám [4]



Obrázek 3-8 - Uzavřený sloupový
rám [4]

3.4 Charakteristické parametry tvářecích strojů

Jmenovitá energie

Jmenovitá energie je hlavní technický parametr popisující buchary, jelikož buchar je stroj, který ke tváření předává právě energii, která je uchovaná v beranu. [1], [3], [4]

Jmenovitá síla

Jmenovitá síla je největší síla, kterou buchar dokáže vyvinout. Jedná se tedy o největší sílu, jakou může tvářený materiál klást odpor vůči beranu. V případě, že by tato síla byla překročena, může docházet k trvalému poškození stroje. Průběh síly je závislý na druhu stroje, kdy síla může mít buďto konstantní průběh, nebo se v průběhu cyklu může měnit. [1], [3], [4]

Celkový, jmenovitý, užitečný a pracovní zdvih

Celkový zdvih pracovního stroje je definován jako dráha, kterou beran urazí mezi horní a dolní úvratí. *Jmenovitý zdvih* popisuje vzdálenost, na které je lis konstrukčně stavěný k lisování. Jedná se tedy o maximální tloušťku materiálu, jakou lis je schopný tvářet jmenovitou silou, na kterou je dimenzován.

Užitečný zdvih odpovídá dráze, kterou beran urazí během kontaktu s materiálem. U lisování je to tedy vzdálenost, o kterou je materiál deformován a u stříhání se jedná o tloušťku stříhaného materiálu.

Pokud ke vzdálenosti užitečného zdvihu bude přičteno i případné rozevření stroje vlivem deformování rámu, se dráha je nazývána *pracovním zdvihem*. [1], [3], [4]

Jmenovitá práce, přetvárná práce

Jmenovitou prací je nazýváno největší množství práce, kterou je konkrétní stroj schopný za jeden cyklus předat tvářenému materiálu. Jedná se o jmenovitou sílu působící na dráze jmenovitého zdvihu.

Přetvárná práce je poté jmenovitá síla působící na pracovním zdvihem. [3], [6]

Jmenovitá rychlost

Jmenovitá rychlost je teoretická rychlost beranu na počátku jmenovitého zdvihu při chodu naprázdno. [3], [6]

Přesnost práce tvářecích strojů

Přesnost práce tvářecích strojů je dána přesností rozměrů a tvarů jednotlivých výrobků a dále přesností vzájemných poloh několika ploch. Přesnost práce tvářecích strojů je v zásadě dána přesností rozměrů a přesností tvarů. [1], [3], [6]

Tuhost pracovního prostoru

Tuhostí pracovního prostoru se rozumí relativní statická tuhost výstupních členů tvářecího stroje. Vyjadřuje odpor proti pružným deformacím a je vyjádřena poměrem elementární síly dF působící ve směru geometrické osy výstupních členů a elementární deformace, která odpovídá této síle ve stejném směru měření.

Dílčími tuhostmi nazýváme tuhosti jednotlivých součástí stroje jako např. ojnice, hřídele, stojanu atd. Celková tuhost vyjadřuje pak tuhost soustavy všech součástí navzájem spolu spojených.

Dle způsobů zatížení rozdělujeme tuhost na *statickou* – s konstantním silovým působením a *dynamickou* – se silou periodickou o určité frekvenci a namáhání či tuhosti v ohybu, tahu či tlaku a krutu. [3], [6]

3.5 Označení strojů

Při označování stroje se používají různá písmena, která vždy značí, o jaký druh stroje se jedná a do jaké skupiny výrobních strojů ho zařadit. Dále je v označení použito číslo, které určuje základní technický parametr stroje (velikost, síla, energie, ...). Další písmena poté blíže specifikují stroj podle technologického určení a druhu pohonu stroje.

Typové označení je v České republice normalizováno v ČSN 20 0400 až 200490 a v ČSN 21 0200. [4]

Silové stroje – hydraulické lisy

Hydraulické lisy se označují typovým písmenem C. Další písmena označují druh hydraulického lisu. Základním technickým parametrem u hydraulických nůžek je šířka plechu ke stříhání. Příkladný hydraulický lis od výrobce HŠV Polička je vyobrazen na obr. 3-9. Jedná se o univerzální lis s rámem typu C, který se vyrábí v různých silových variantách od 6,3 t do 100 t. Každá varianta má jiné charakteristické rozměry. [4], [21]

- CB hydraulické lisy na plasty
- CD montážní dílenské hydraulické lisy
- CL stroj na lidí kovů pod tlakem
- CP paketovací a briketovací hydraulické lisy
- CZ zápustkové hydraulické lisy
- CN hydraulické nůžky
- CT tažné lisy
- CU hydraulické lisy univerzální



Obrázek 3-9 - Hydraulický lis HŠV Polička - CUPS xx DEU [21]

Zdvihové stroje – mechanické lisy

Mechanické lisy se označují typovým písmenem L. Další písmena označují druh mechanického lisu, kdy základními technickými parametry jsou jmenovitá síla a zdvih. Na obr. 3-10 je zobrazen příklad klikového lisu od výrobce Šmeral Brno. Jedná se o kovací lis se silou 1600 t s celkovým instalovaným výkonem 75 kW. [4], [11]

- LE mechanické lisy výstředníkové
- LEN mechanické lisy výstředníkové naklápěcí
- LK mechanické lisy klikové
- LL mechanické lisy kolenové
- LT mechanické lisy tažné
- LU mechanické lisy univerzální



Obrázek 3-10 - Kovací klikový lis Šmeral Brno - LMZ 1600 A/S [11]

Energetické stroje – buchary

Buchary se označují typovým písmenem K. Další písmena označují druh bucharu. Základním technickým parametrem je jmenovitá energie při úderu. Na *obr. 3-11* je zobrazen pneumaticko-hydraulický buchar od firmy Šmeral Brno, se jmenovitou energií 80 kJ a instalovaným výkonem 110 kW. [4], [10]

- KP padací buchary
- KD parní buchary
- KE elektrické buchary
- KJ a KK protiúderové buchary
- KA pružinové buchary
- KB kompresorové buchary
- KH hydraulické buchary



Obrázek 3-11 - Pneumaticko-hydraulický buchar Šmeral Brno - KHZ 8A [10]

Mechanické nůžky

Mechanické nůžky se označují typovým písmenem N. Další písmena označují druh nůžek. Základními technickými parametry jsou šířka plechu pro tabulové nůžky a pro kotoučové je to tloušťka plechu. Vzhled tabulových nůžek lze vidět na *obr. 3-12*. Jedná se o nůžky výrobce Pochman s pracovní délkou 1030 mm pro maximální tloušťku plechu 2,5 mm při pevnosti 400 N/mm^2 . [4], [12]

- NT tabulové nůžky
- NO kotoučové nůžky a podobné



Obrázek 3-12 - Ruční tabulové nůžky Pochman - NTM 1000/2,5B [12]

Ohýbací stroje

Ohýbací stroje se označují typovým písmenem X. Základními technickými parametry jsou šířka ohýbaného plechu pro ohýbací stroj a pro rovnací stroj je to průměr tyče. Na *obr. 3-13* lze vidět ohýbačku od firmy MSW určenou k ohýbání plechů do tloušťky 2 mm. Pracovní šířka je až do 1270 mm a ohýbací úhel 0–135°. [4], [14]



Obrázek 3-13 - Ohýbačka plechu MSW-PBR-1270 [14]

3.6 Silové tvářecí stroje

Základním parametrem silového tvářecího stroje je síla F , kterou beran deformuje polotovár. Příkladným strojem v této kategorii je hydraulický lis. Hydraulický lis využívá principu šíření tlaku kapalinou dle Pascalova zákona, který uvádí, že ve všech místech kapaliny se tlak šíří rovnoměrně. Touto kapalinou bývá z pravidla hydraulický olej, kterým je vyplněný celý hydraulický systém. Tlakový olej je posléze připojen k lineárnímu hydromotoru, který pohání. Platí, že čím větší je obsah plochy válce, tím větší sílu je píst schopen vyvinout. Tento fakt vyplývá ze vzorce pro výpočet tlaku:

$$p = \frac{F}{A} [Pa] \rightarrow F = p \cdot A [N] \quad [3.1]$$

P – tlak v potrubí [Pa]

F – síla od kapaliny působící na píst [N]

A – plocha válce [m²]

Čím větší obsah plochy válce je, tím pomaleji se však píst pohybuje. Vyplývá to z rovnice kontinuity popisující chování kapaliny.

$$c_2 = \frac{A_1}{A_2} \cdot c_1 [m/s] \quad [3.2]$$

c_1 – rychlost proudění kapaliny v potrubí [m/s]

c_2 – rychlost kapaliny v hydraulickém válci = rychlost pohybu pístu [m/s]

S_1 – obsah plochy potrubí [m²]

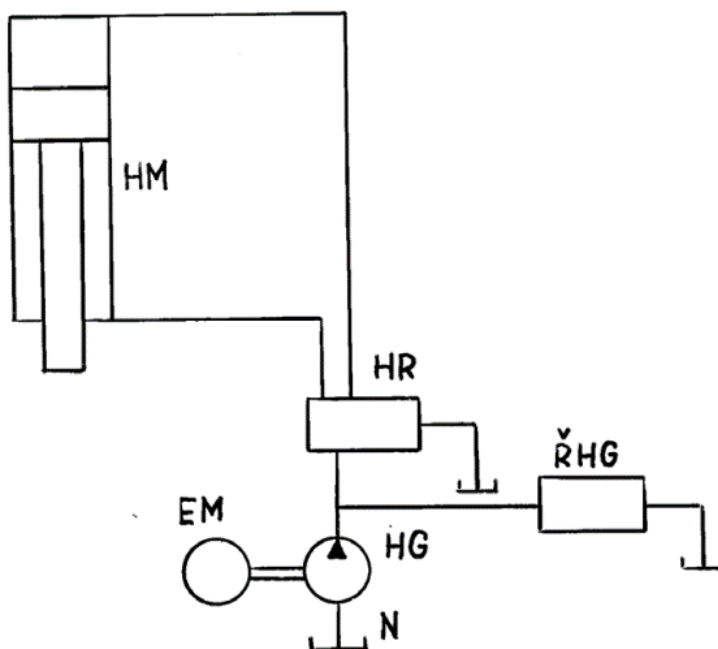
S_2 – plocha válce [m²]

[4], [6], [9]

Druhy pohonů

- **Přímý pohon**

Jedná se o pohon, kde zdrojem tlaku je vysokotlaký rotační hydrogenerátor, který je dimenzovaný na maximální sílu, kterou je lis specifikovaný. Tlak v pracovní kapalině se odvíjí od odporu, který píst klade při lisování, avšak změna tlaku se nepromítne do rychlosti vysouvání pístu. Rychlost pracovního pístu je dána průtokem kapaliny, kterou dodávají hydrogenerátory, což znamená, že když hydrogenerátory konstantně dodávají stejný průtok, píst se pohybuje konstantní rychlostí. Účinnost takového druhu pohonu se pohybuje od 0,6 do 0,8. Na obr. 3-14 je zobrazeno blokové schéma přímého pohonu lineárního hydromotoru. Přímý pohon je vhodné používat pro plošné tváření, vytlačování, rovnání, paktování nebo stříhání kovového odpadu a izostatické tváření prášků. [4], [23]

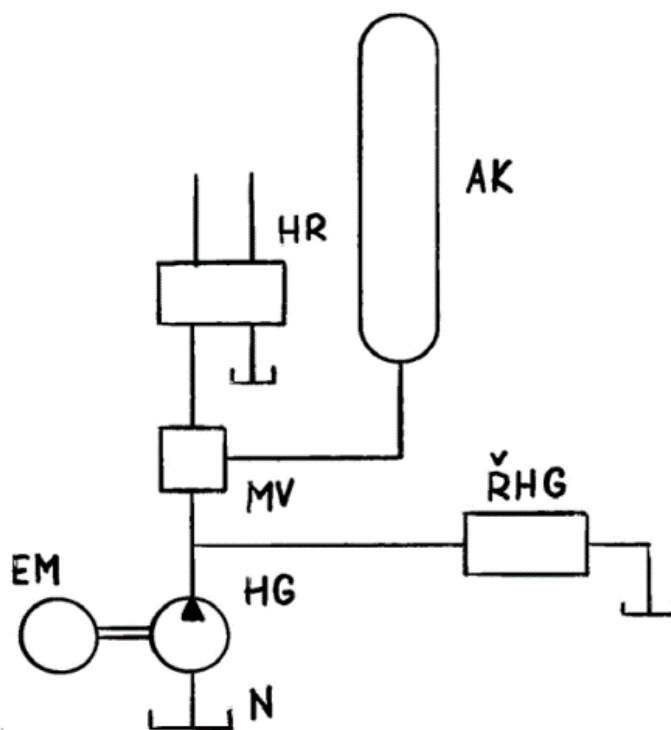


Obrázek 3-14 - Přímý pohon (blokové schéma) [4]

HM – lineární hydromotor, HR – hydraulický rozvaděč, EM – elektromotor,
HG – hydrogenerátor, N – nádrž, ŘHG – redukční ventil

- **Nepřímý pohon**

Nepřímý pohon je konstrukčně velmi podobný přímému, ale má o jeden prvek navíc, který znatelně ovlivňuje chování celého mechanismu. Jedná se o akumulátor. Akumulátor do rozvodu řadíme mezi hydrogenerátor a hlavní rozvod. Jeho hlavní funkcí, jak už z názvu vypovídá, je akumulovat energii, která je poté dále distribuována pro pohyb hydromotorem. Hydrogenerátor udržuje v akumulátoru stálý tlak, což znamená, že v celém úseku mezi těmito dvěma součástmi je tlak konstantní. Rychlost pístu u takového pohonu je dána tím, jak velký je na píst kladený odpor, což znamená, že čím je odpor větší, tím je rychlost menší. Výkon čerpadel u akumulátorových pohonů se stanovuje podle průměrného výkonu stroje při souhrnu všech operací, které vykonává. Účinnost nepřímého pohonu je přibližně 0,5 – 0,6. V porovnání účinností, je tedy oproti přímému pohonu účinnost nižší, a to především z důvodu, že čerpadlo musí běžet neustále i přesto, že tlak z akumulátoru zrovna není distribuován a dochází v tu chvíli k velikým ztrátám. Blokové schéma nepřímého pohonu je zobrazeno na *obr. 3-15*, kde je patrné zapojení akumulátoru v obvodu, na tomto schématu není zobrazen žádný hydromotor. [4]

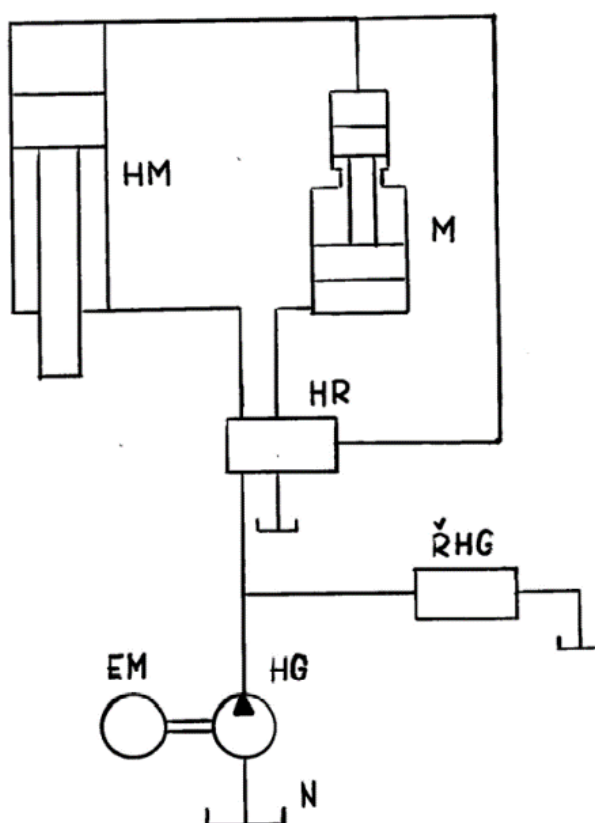


Obrázek 3-15 - Blokové schéma nepřímého pohonu (akumulátorového) [4]

HR – hydraulický rozvaděč, EM – elektromotor, HG – hydrogenerátor, N – nádrž,
MV – minimální ventil, ŘHG – přepouštěcí ventil

- **Multiplikátorový pohon**

Multiplikátor se skládá z obvodu, ve kterém jsou zapojeny dva hydraulické válce, kdy jeden válec má za úkol generovat vysoký tlak, který obsluhuje větší válec. Metoda je založena na tom, že samotný multiplikátor obsahuje dva písty různých průměrů. Na větší průměr působí tlak generovaný čerpadlem a menší průměr poté generuje vysoký tlak do hydromotoru. Blokové schéma multiplikátorového pohonu je zobrazeno na obr. 3-16, tlakový olej nejprve pohání multiplikátor, který dále zvyšuje tlak, který pohání hydromotor. [4]



Obrázek 3-16 - Blokové schéma hydraulického obvodu s multiplikátorem [4]

HM – hydromotor, HR – hydraulický rozvaděč, M – multiplikátor, EM – elektromotor,
HG – hydrogenerátor, N – nádrž, ŘHG – přepouštěcí ventil

- **Kombinovaný pohon**

Kombinovaný se nazývá takový pohon, který slučuje předchozí zapojení tak, aby to bylo co nejvýhodnější pro požadované použití. Například proto, aby příjezd k lisovanému dílci byl co nejrychlejší, samotné lisování využívalo co největší sílu a odjezd byl opět rychlý. Kombinovaný hydraulický pohon je použit pro technologie, které vyžadují velkou jmenovitou sílu lisu při vysokých rychlostech tváření materiálu. [4], [23]

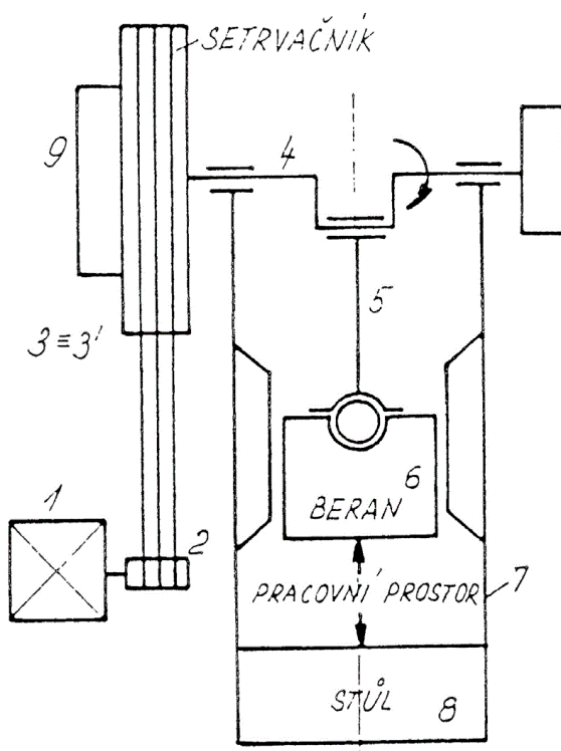
3.7 Zdvihové tvářecí stroje

Mezi hlavní zastoupení zdvihových strojů patří mechanické lisy, které jsou jedny z nepoužívanější tvářecích strojů obecně. Jak již je z názvu patrné, u těchto strojů slouží k přenosu energie různé mechanické převodové systémy. Základní přenosový systém je klikový, ostatní mechanismy vychází z tohoto základního provedení, nebo jsou kombinované s jinými. Mechanické lisy dokážou lisovat velikou silou, avšak tuto sílu stroj nedokáže distribuovat rovnoměrně. Největší sílu má lis ve chvíli, kdy se klika přibližuje k horní nebo dolní úvratí. [2], [3], [4], [6], [13]

Dělení mechanických lisů podle druhu převodového systému

- **Klikové**

Hlavním principem fungování je otáčení klikového mechanismu, kdy při pohybu kliky směrem do dolní úvratě se celý beran pohybuje stejným směrem. Klikový lis má pevně daný zdvih, který nelze přenastavit. Schéma pohonu klikového lisu je zobrazeno na obr. 3-17.

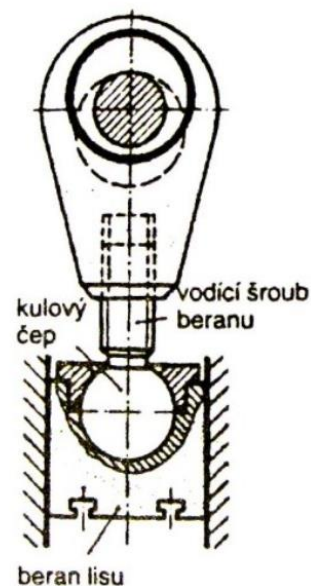


Obrázek 3-17 - Schéma klikového lisu [4]

1 – elektromotor, 2 – řemenice, 3 – řemenový převod,
4 – klikový křídel, 5 – ojnice, 6 – beran, 7 – rám, 8 – šabota,
9 - setrvačnick

- **Výstředníkové**

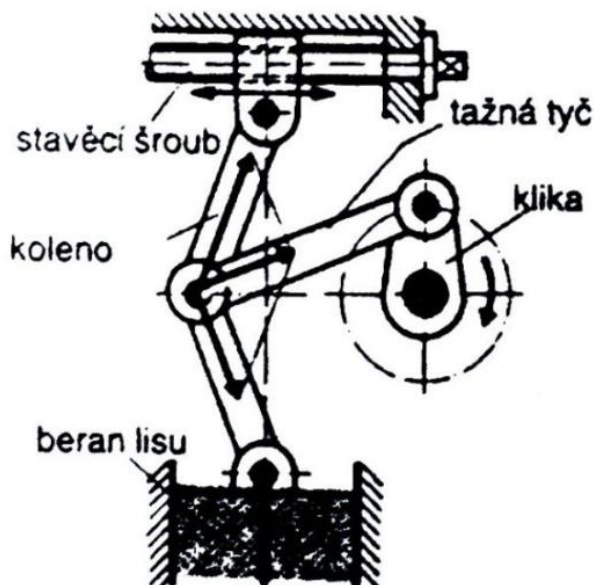
K přenosu síly využívají výstředníkový mechanismus. Jedná se o mechanismus, který je velmi podobný klasickému klikovému mechanismu, jediný rozdíl je zde výstředník, kde se pomocí natáčení jeho pouzdra dokáže upravovat zdvih beranu. Se zdvihem beranu se změní i průběh síly a lisovací rychlost. Schéma výstředníkového lisu je totožné s klikovým *obr. 3-18*. Jediný rozdíl mezi těmito konstrukcemi je, že klika je u výstředníkového lisu nahrazena výstředníkem viz *obr. 18*, kdy výstředník je nasazen na hřídel a ojnice se otáčí na kluzném pouzdře.



Obrázek 3-18 – Výstředníkový mechanismus [26]

- **Kolenové**

Síla je přenášena pomocí klikového mechanismu, u kterého ve většině případů nejde přenastavit zdvih, avšak existují případy viz *obr. 3-19*, kdy pomocí stavěcího šroubu zdvih lze nastavovat. Největší výhodou kolenových lisů je, že dokážou sílu dobře převodovat a dosáhnout tak několikanásobně větší síly než klikové.

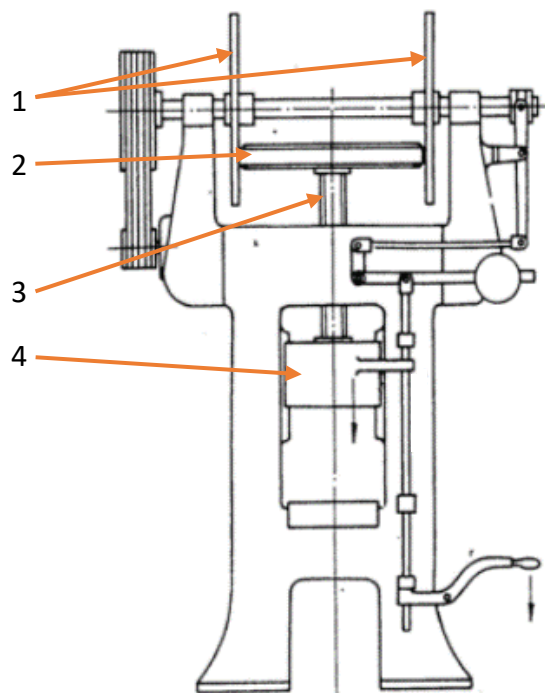


Obrázek 3-19 - Schéma kolenového mechanismu [26]

- **Šroubové**

Kotoučové provedení – Beran takového lisu je uchycen k hřídeli se závitem, na konci kterého je umístěn kotouč, jenž funguje jako setrvačnick. Zvedání a spouštění lisu je realizováno dalšími kotouči, které třecím převodem roztáčí setrvačnick, který je připevněný k závitovému hřídeli, a tak pohybuje i beranem. Čím blíže je setrvačnick ke středu poháněného kotouče, tím větší převodový poměr mezi sebou mají, tím pomaleji se otáčí a naopak. Kotoučové provedení bývá obvykle realizováno dvěma kotouči, kdy jeden vykonává pohyb do dolní úvratě a druhý do horní úvratě. Toho může být docíleno i s více kotouči, díky kterým se během zdvihu různě mění rychlost otáčení setrvačnicku. Toto provedení je ukázáno na obr. 3-20.

Ruční provedení – princip shodný s kotoučovým, ale místo setrvačnicku je umístěna klika, kterou se s lisem pohybuje manuálně. Jedná se o lis pro malé síly kvůli ruční obsluze.

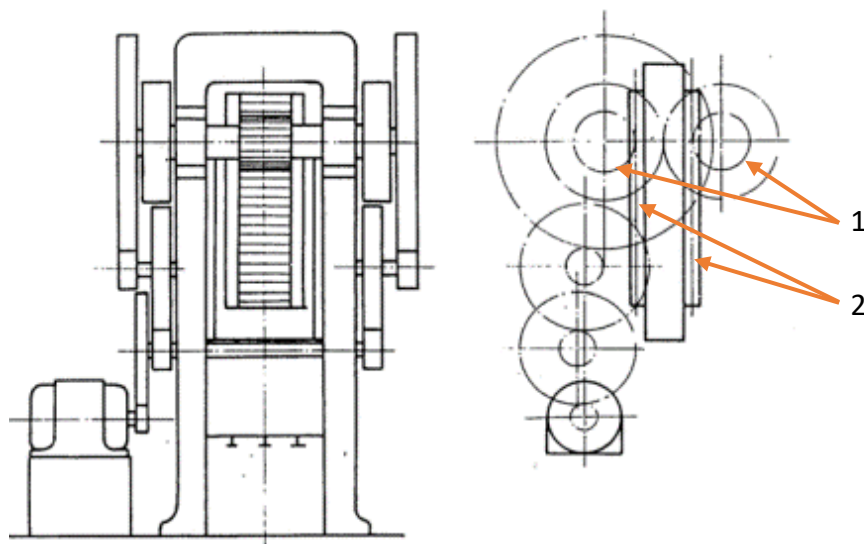


Obrázek 3-20 - Dvoukotoučový šroubový lis [2]

1 – kotouče pro roztáčení setrvačnicku, 2 – setrvačnick,
3 – hřídel se závitem, 4 – beran

- **Hřebenové**

Principem tohoto typu lisů, je umístění hřebenu na beran. Tento beran je poté poháněn pomocí pastorků, které zabírají o ozubení na hřebenu. Toto provedení může být ruční nebo mechanické. Na *obr. 3-21* lze vidět příklad mechanického provedení, kdy pomocí ozubených kol je síla nejprve zpřevodována a následně pastorky přenesena na ozubené hřebeny.



Obrázek 3-21 - Mechanické provedení hřebenového lisu [4]

1 – pastorky, 2 – ozubené hřebeny

3.8 Porovnání parametrů vybraných hydraulických lisů

V tabulkách 1 a 2 jsou uvedeny vybrané modely hydraulických lisů od různých světových výrobců. Parametry jsou uvedeny pro porovnání technických vlastností lisů podobné kategorie ke konstruovanému

Tabulka 1 - Porovnání parametrů vybraných hydraulických lisů od různých výrobců v podobné silové kategorii

Výrobce	MODEL	SÍLA [t]	RYCHLOST [mm/s]		
			PŘIBLIŽENÍ	LISOVÁNÍ	NÁVRAT
H.P.SINGH MACHINERY PVT. LTD.	4-HPS-25	25	84	8	177
H.P.SINGH MACHINERY PVT. LTD.	4-HPS-40	40	77	7	180
H.P.SINGH MACHINERY PVT. LTD.	C-HPS-25	25	84	8	177
H.P.SINGH MACHINERY PVT. LTD.	C-HPS-40	40	77	7	180
DIGITALPRESS INC	PM-40	40	195,57	109,22	251,46
GOODSJACK MACHINERY	DSB-20	20	130	20	130
Unicraft Werkstatttechnik	WPP 30 E	30			
ELMAG	HPC 50	50			419
HŠC Polička	CUPS 25 DEU	25	90/60/25	25/15/8	35/25/10
HŠC Polička	CUPS 40 DEU	40	65/45/20	25/15/8	40/25/10
HŠC Polička	CMS 25 D1V	25		0 – 30	60
HŠC Polička	CMS 40 D1V	40		0 – 25	70
HiDROLIKSAN	CFSS 30	30	100	10	150
AFE OLGUNLAR	HCP200	200	300	13 – 25	380

Tabulka 2 - pokračování k tabulce 1

MODEL	ZDVIH [mm]	ROZEVŘENÍ [mm]	VYLOŽENÍ [mm]	SEVŘENÍ [mm]	VÝKON [kW]	TLAK [bar]
4-HPS-25	300	450	140	150	3,7	
4-HPS-40	300	450	184	150	5,6	
C-HPS-25	250	500	200	250	3,7	
C-HPS-40	250	500	225	250	3,7	
PM-40	304,8	1320			15	195
DSB-20	300	450		150	3	130
WPP 30 E	150	150 - 1030		0 - 890		7,5 – 8,5
HPC 50	250				4	
CUPS 25 DEU	250	400	250	150	6	
CUPS 40 DEU	250	450	315	200	8	
CMS 25 D1V	350	500	250	150	6	
CMS 40 D1V	350	550	315	200	8	
CFSS 30	400	500		100	7,5	
HCP200	350	600		250	22	285

[15], [16], [17], [18], [19], [20], [21], [22]

4 Návrh konstrukce

4.1 Navržené typy konstrukce

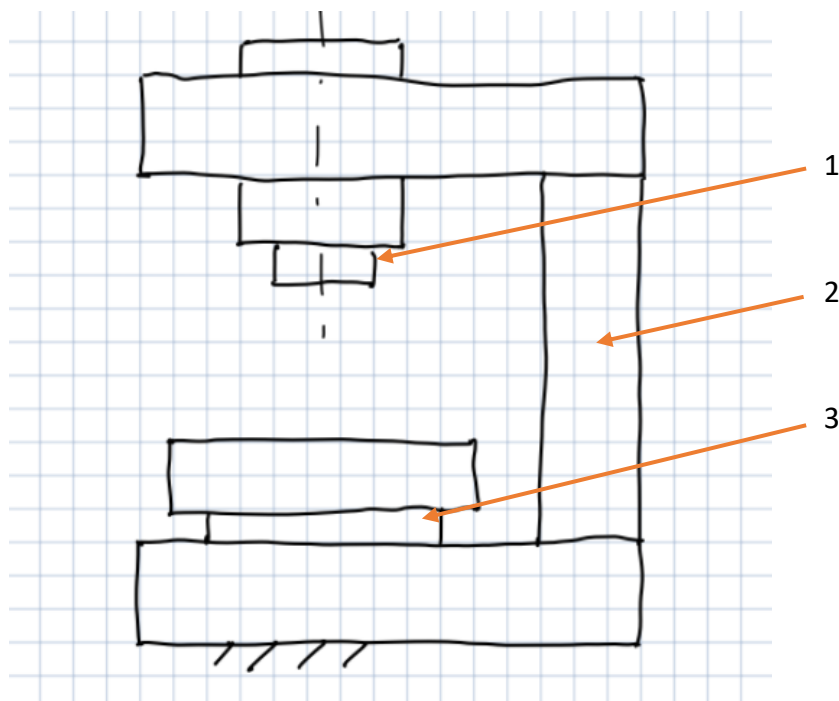
Prvním krokem při konstruování lisu bylo nutno vytvořit několik koncepčních návrhů. Ty byly vytvořeny za účelem porovnání jejich výhod a nevýhod a následného zvolení nejjednodušší verze pro dané použití. S ohledem k zadání bylo navrženo 5 různých variant, přičemž v jejich zastoupení se nacházejí různé druhy rámců.

4.1.1 Rám typu C

První koncepcí je otevřený rám typu C, který je pevně ukotven pomocí šroubů a je bez možnosti polohování stolu, zobrazeno na *obr. 4-1*.

Tento rám je výhodný z několika důvodů, a to zejména díky jeho jednoduché konstrukci a možnosti přístupu k pracovnímu prostoru z více stran. Další výhodou, která přímo souvisí s předchozí, je ta, že lis s tímto typem rámu nepotřebuje posuvný stůl, jelikož lze do pracovního prostoru bez větších problémů umísťovat polotovary z čela, případně i ze strany lisu.

S tímto typem se ovšem potýkají i nevýhody. Jelikož není rám uzavřený, síla se nerozloží do více podpěr a z toho důvodu bude velmi namáhaný. Z tohoto důvodu musí být v tomto případě použity profily větších průřezů než například u typu O, kde se síla lépe rozloží a rám má obecně větší tuhost. Mezi další velikou nevýhodou patří, že do takového typu lisu není možnost umísťovat díly pomocí jeřábu. Pro umísťování dílů pomocí jeřábu by bylo nutné použití speciálního přípravku pro zavážení dílů z boku.



Obrázek 4-1 - Koncepce rámu typu C

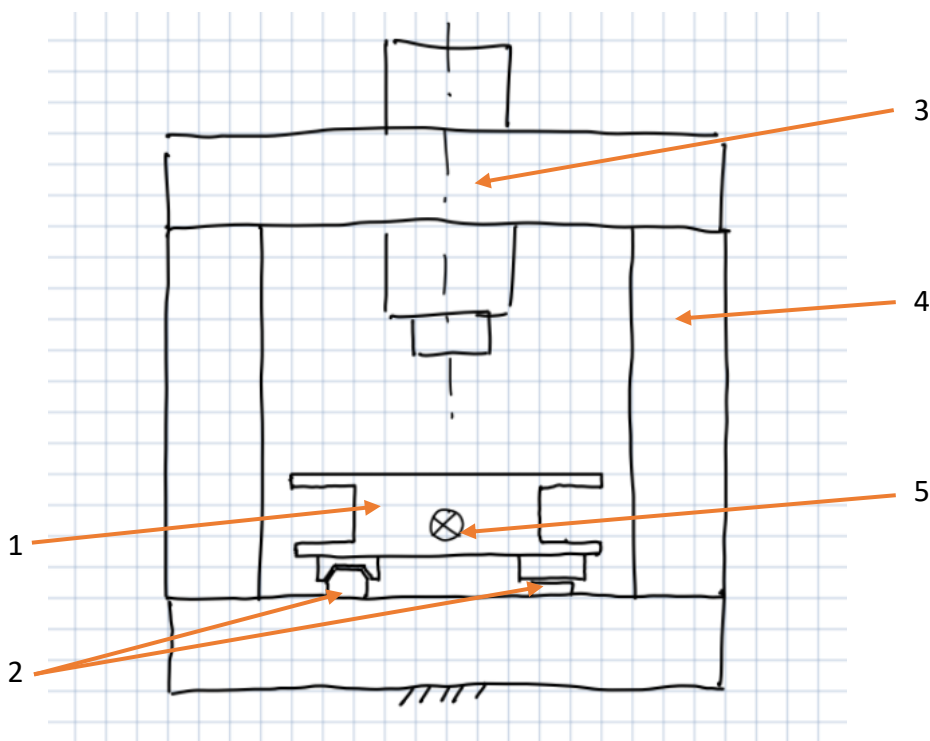
1 – lineární hydromotor, 2 – rám, 3 – Stůl

4.1.2 Rám typu O s kluzným uložením posuvu stolu

Druhou koncepcí, je uzavřený rám typu O, který je šrouby pevně uchycen k zemi. Má polohovatelný stůl s kluzným uložením, pomocí kterého se může pohybovat. Zobrazení koncepce tohoto rámu je k nahlédnutí na *obr. 4-2*.

Mezi výhody tohoto rámu jde převážně zařadit to, že rám je uzavřený. V porovnání s předchozím případem, proto u této koncepce pro zachování stejné tuhosti budou potřeba profily menších průřezů, což se pojí i s menší výrobní cenou. Za další výhodu lze označit samotné kluzné uložení stolu, jelikož takovýto druh uložení vykazuje vysokou tuhost v porovnání s jinými druhy posuvného uložení. Oproti předchozí variantě je i další výhoda, že pokud je stůl vysunutý mimo rám v tzv. zavázeční poloze, lze na něj umisťovat i dílce pomocí jeřábu bez speciálnějších přípravků.

Nevýhodou této koncepce je nemožnost posuvu stolem bez pomoci převodového mechanismu. Na jednu stranu to může být zařazeno jako výhoda, jelikož stůl nemusí být zajišťován ani při zavážení, ani v pracovní poloze z důvodu, že v samotném uložení je relativně veliké tření. Pokud je převodový mechanismus samosvorný, funguje také jako aretace. Se stolem by bylo nutno manipulovat buďto pomocí elektrického posuvu nebo pomocí kliky, což by bylo velmi neefektivní a pomalé.



Obrázek 4-2 – Koncepce rámu typu O s kluzným uložením stolu

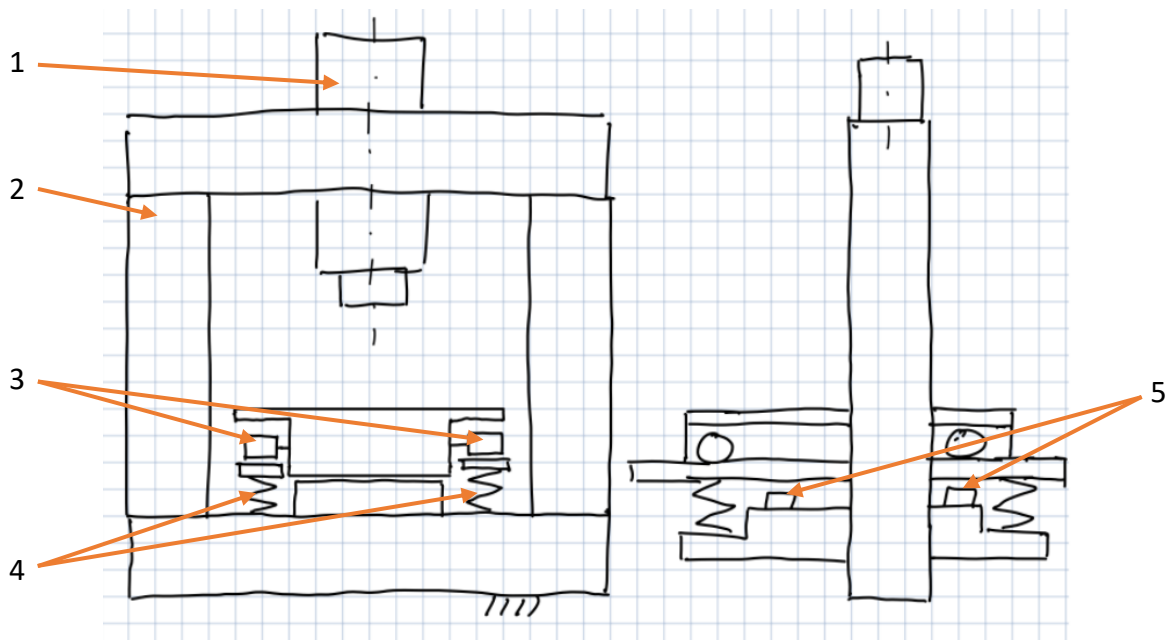
1 – stůl, 2 – lineární vedení, 3 – lineární hydromotor,
4 – rám, 5 – posuv

4.1.3 Rám typu O s odpruženým posuvným stolem

Třetí návrh je uzavřený rám O pomocí šroubů pevně uchycený k zemi. V rámu je umístěný posuvný stůl, který se pohybuje pomocí pojezdových kol po ližinách k tomu určených, jež jsou umístěny na pružinách. V momentě, kdy dochází k lisování a nástroj se dotkne dílce, celý stůl se nejprve zmáčkne na pružinách na tuhý doraz a poté dochází k samotnému lisování. Celá tato komplikace s pružinami je zde z jediného důvodu, aby při lisování nebyla síla působící na stůl přenášena pomocí pojezdových kol, ale byla přenášena přímo do rámu. Tento koncept je zobrazen na *obr. 4-3*.

Výhody tohoto konceptu jsou podobné jako u předchozího případu. Rám je uzavřený, tedy tužší oproti otevřenému. Při lisování je stůl díky pružinám dosednutý na tuhém dorazu, což znamená, že problém s tuhostí stroje v tomto případě také nebude a opět jako v předchozím případě se snadno zaváže jeřábem.

Toto řešení se však potýká s řadou nevýhod, jako například ta, že pružiny musí být dimenzovány na tíhu stolu a dílce, který bude lisován. V opačném případě by totiž stůl mohl s příliš těžkým dílcem dosednout už při ukotvení obrobku a nedalo by se se stolem manipulovat. Naopak s lehkým dílcem by stůl vyžadoval větší sílu přítlaku a mohlo by docházet k nepřesnému lisování při pohybu stolu. Podobně by to bylo i s umístěním, kdy by se díl vždy musel umístit do stejného místa, aby byly pružiny rovnoměrně zatíženy.



Obrázek 4-3 - Koncepte rámu typu O s odpruženým posuvným stolem

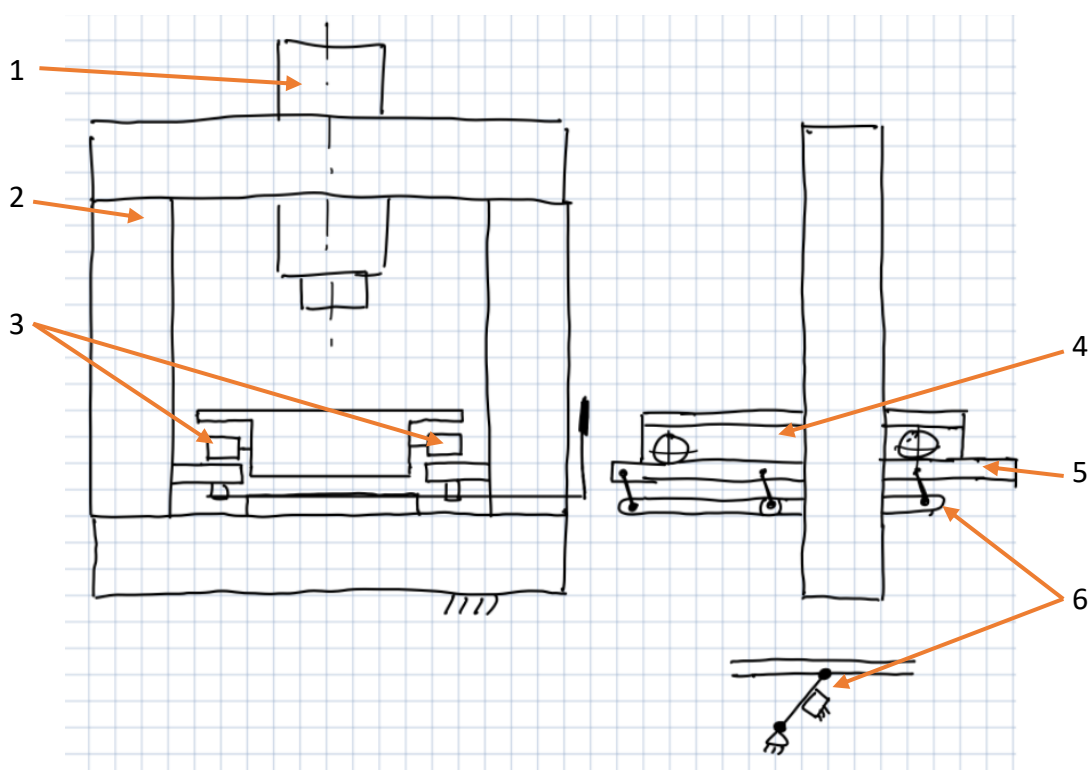
1 – lineární hydromotor, 2 – rám, 3 – pojezdové rolny,
4 – odpružení pojezdových ližin, 5 - doraz

4.1.4 Rám typu O s posuvným stolem a polohovatelnými ližinami

U čtvrtého návrhu *obr. 4-4* je rám opět pevně uchycený šrouby k zemi a má posuvný stůl. V tomto případě se stůl posouvá po ližinách, které lze spustit, když je stůl v lisovací poloze, a stůl dosedne na doraz. Poté je při lisování veškerá síla přenášena rovnou do rámu.

Tento koncept víceméně kombinuje všechny přednosti předchozích návrhů. Při lisování má dobrou tuhost, při zvednutých ližinách s ním lze manipulovat manuálně, je dobře přístupný jeřábem.

Mezi nevýhody však lze zařadit relativně složitou konstrukci zvedání ližin, která se promítne na ceně lisu.



Obrázek 4-4 – Koncepte rámu typu O s posuvným stolem a polohovatelnými ližinami

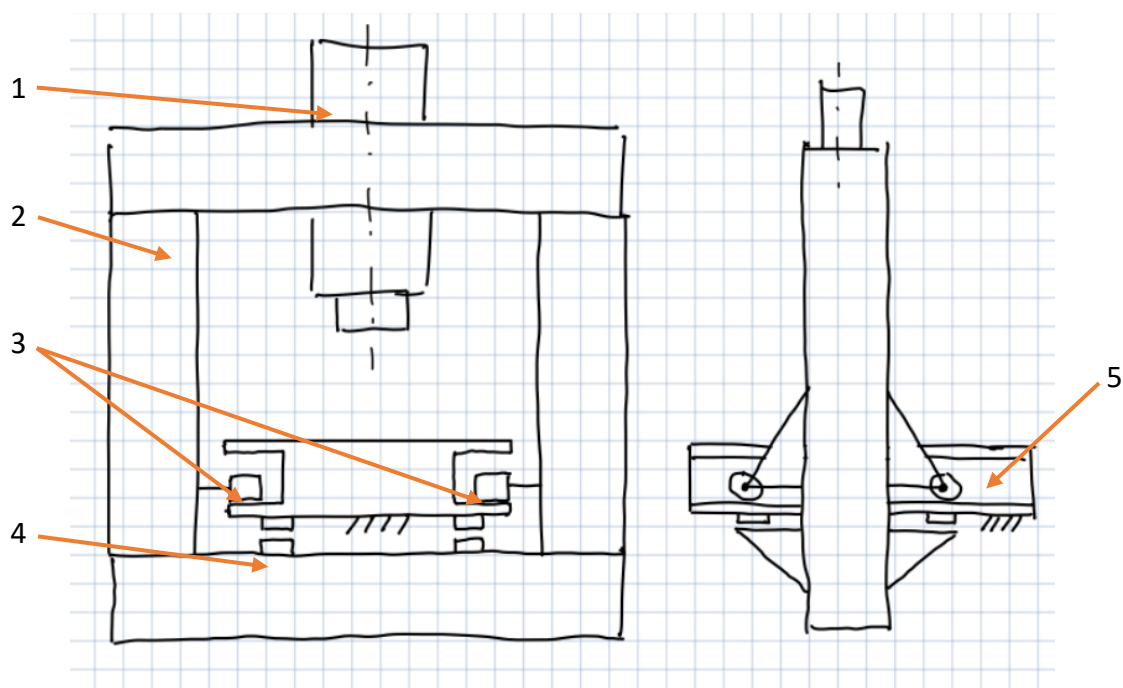
1 – lineární hydromotor, 2 – rám, 3 – pojezdové rolny,
4 – stůl, 5 – posuvné ližiny, 6 – zvedací mechanismus

4.1.5 Posuvný rám typu O s pevně uchyceným stolem

Pátý návrh je koncepčně odlišný od předchozích tím, že v tomto případě se nepohybuje stůl, který je v tomto případě pevně uchycený k zemi, ale samotný rám viz *obr. 4-5*. Princip fungování spočívá v tom, že rám má dvě polohy, a to zavážecí a pracovní, mezi kterými se pohybuje pojezdem po ližinách připevněných ke stolu. Ve chvíli, kdy je lis ve fázi lisování, se nástroj nejprve opře o výrobek, následně se celý rám přizvedne a opře se zesponu o stůl, který je pevně uchycený k zemi a poté dochází k samotnému lisování.

Tento koncept podobně jako předchozí příklad je kombinací vlastností všech předtím zmíněných lisů. Tuhý je dostatečně z důvodu, že při lisování se veškerá síla přenáší přímo do rámu. V zavážecí poloze se nechá zavážet jeřábem a lze s ním posuvem manipulovat ručně.

Mezi nevýhody tohoto lisu patří to, že při začátku lisování, než se rám opře zesponu stolu, je celá soustava nestabilní, jelikož rám se opírá pouze o výrobek.



Obrázek 4-5 – Koncepce posuvného rámu typu O s pevně uchyceným stolem

1 – lineární hydromotor, 2 – rám, 3 – pojezdové rolny,
4 – doraz, 5 – stůl

4.1.6 Výběr varianty

Každý z rámu představuje klady a zápory, které byly prokonzultovány se zadavatelem. Bylo rozhodnuto, že varianta, která se bude nadále konstruovat je posuvný rám typu O s pevně uchyceným stolem, protože pro použití ve firmě je nejvýhodnější. Jelikož se jedná o hydraulický dílenský lis se silou 30 t, bude tento lis dle normy pojmenován CD30.

4.2 Návrh hydraulického pohonu dle zadaných parametrů

Při konstrukci hydromotoru bylo vycházeno ze zadaných hodnot. Byla zadána síla 300 kN, pracovní tlak 200 bar (20 MPa), tento tlak je výhodný z důvodu, že ho lze dosáhnout pomocí zubových čerpadel, které se řadí mezi nejlevnější tlaková čerpadla. Dále byla zadána rychlost lisování 8 mm/s a pracovní zdvih se předpokládá mezi 50 – 100 mm, kdy 100 mm se rovná největšímu rozměru lisovaného dílu a je to tedy největší vzdálenost, po které lis dokáže využít sílu 300 kN.

Volba průměru pístu

$$A_p^* = \frac{F}{p} = \frac{300000}{20} = 15000 \text{ mm}^2 \quad [4.1]$$

$$A_p^* = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \rightarrow D^* = \sqrt{\frac{4 \cdot A_p^*}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 15000}{\pi}} = 138,2 \text{ mm} \rightarrow 140 \text{ mm} \quad [4.2]$$

$$A_p = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{\pi \cdot 140^2}{4} = 15393,8 \text{ mm}^2 \quad [4.3]$$

Na základě spočítaného průměru bylo zvoleno pístní těsnění Hennlich K 753 s průměrem $D = 140 \text{ mm}$ [24]

Volba průměru pístnice

$$d = D \cdot 0,63 = 140 \cdot 0,63 = 88,2 \text{ mm} \rightarrow 90 \text{ mm} \quad [4.4]$$

$$A_p = \frac{\pi \cdot (D^2 - d^2)}{4} = \frac{\pi \cdot (140^2 - 90^2)}{4} = 9032,08 \text{ mm}^2 \quad [4.5]$$

Ze zvoleného vypočítaného průměru pístnice bylo vybráno těsnění Hennlich S 605 s průměrem $d = 90 \text{ mm}$ [25]

Stanovení tloušťky stěny

Válec hydromotoru byl konstruován z oceli 11523, pro kterou ze strojírenských tabulek bylo zjištěno maximální dovolené napětí pro míjivé zatížení $\sigma_D = 90 \text{ MPa}$, pracovní tlak motoru byl roven $p_{prac} = 200 \text{ bar}$, maximální tlak při přetížení poté stanoven na $p_{max} = 220 \text{ bar}$.

$$s = \frac{D}{2} \left(\sqrt{\frac{\sigma_D + 0,4 \cdot p_{max}}{\sigma_D - 1,3 \cdot p_{max}}} - 1 \right) = \frac{140}{2} \left(\sqrt{\frac{90 + 0,4 \cdot 22}{90 - 1,3 \cdot 22}} - 1 \right) = 18,8 \rightarrow 20 \text{ mm} \quad [4.6]$$

Tloušťka stěny byla spočítána a zvolena jako 20 mm.

Kontrola napětí ve stěně válce HM

$$D_{VN} = D + 2 \cdot s = 140 + 2 \cdot 20 = 180 \text{ mm} \quad [4.7]$$

$$\sigma = p_{max} \cdot \frac{1,3 \cdot D_{VN}^2 + 0,4 \cdot D^2}{D_{VN}^2 - D^2} \leq \sigma_D \quad [4.8]$$

$$\sigma = 22 \cdot \frac{1,3 \cdot 180^2 + 0,4 \cdot 140^2}{180^2 - 140^2} = 85,9 \leq 90 \text{ N/mm}^2 \quad [4.9]$$

Napětí ve stěně po kontrole vyšlo menší než napětí dovolené – vyhovuje.

Stanovení tloušťky dna HM

$$t_D = 0,433 \cdot D \cdot \sqrt{\frac{p_{max}}{\sigma_D}} = 0,433 \cdot 140 \cdot \sqrt{\frac{22}{90}} = 29,97 \rightarrow 30 \text{ mm} \quad [4.10]$$

Tloušťka dna hydromotoru byla spočítána a následně zvolena jako 30 mm.

Stanovení velikosti radiální změny vnitřního průměru válce HM

$$\Delta d = \frac{D + s}{E \cdot s} \cdot p_{max} \cdot D \cdot (0,5 - 0,25 \cdot \vartheta) \quad [4.11]$$

$$\Delta d = \frac{140 + 20}{2,1 \cdot 10^6 \cdot 20} \cdot 22 \cdot 140 \cdot (0,5 - 0,25 \cdot 0,3) = 0,005 \text{ mm} \quad [4.12]$$

Při maximálním zatížení 220 bar se vnitřní průměr zvětší o 0,005 mm.

Definování pracovního cyklu

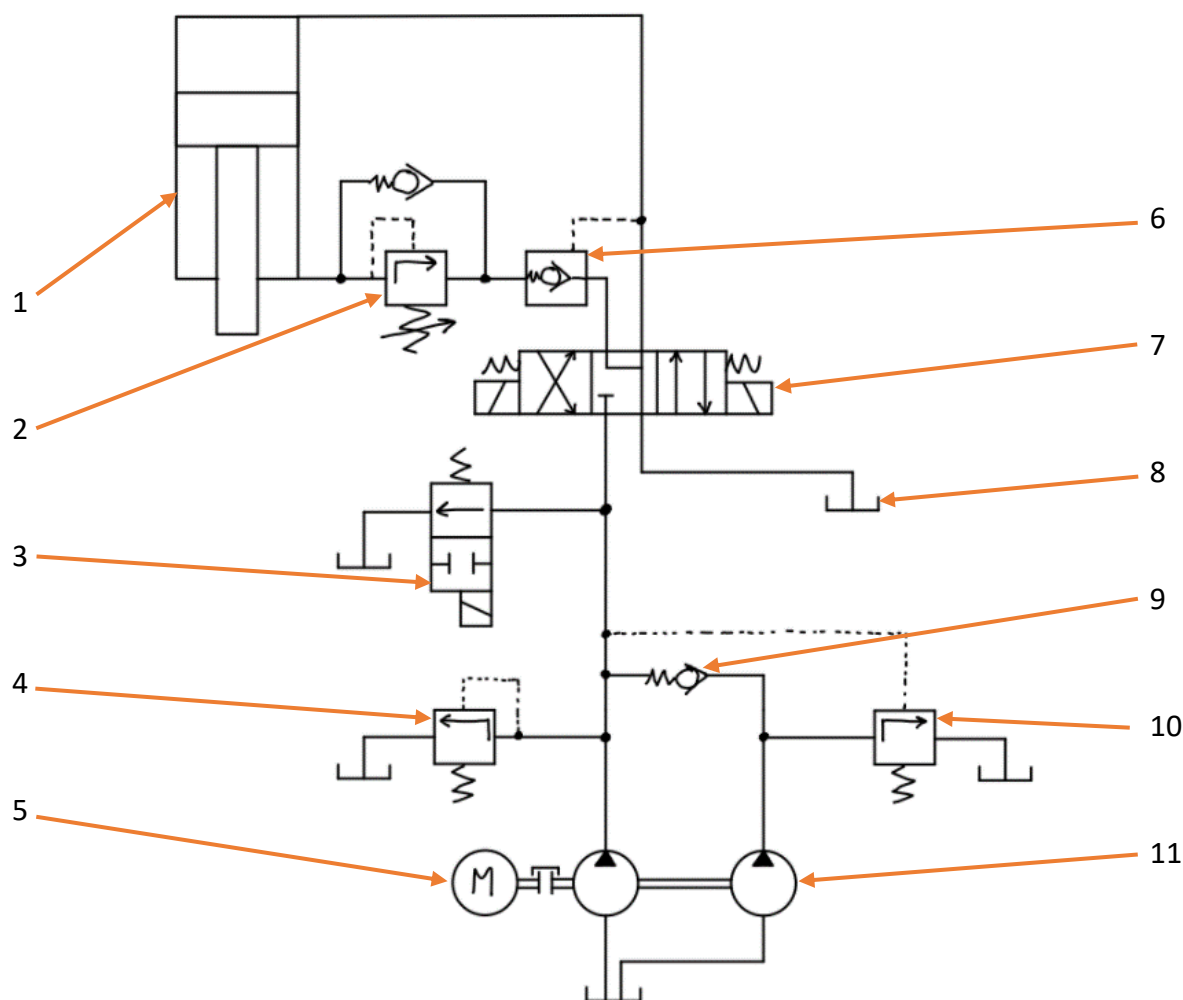
Pracovní cyklus se dělí na čtyři úkony viz *tab. 3*. První úkon je přiblížení – hydromotor se bez zatížení přibližuje k lisovanému dílu. Druhý úkon je zátěž – hydromotor se vysouvá pracovní rychlostí, v obvodu vzroste tlak a sníží se průtok oleje. Po zátěži následuje výdrž – hydromotor zůstane vysunutý, aby došlo k ustálení sil při tváření. Čtvrtý úkon oddálení – hydromotor se vrací při maximálním průtoku do zasunuté polohy.

Tabulka 3 - Navrhnuté parametry pracovního cyklu

Úkon	Rychlost c [mm/s]	Průtok Q [l/min]	Tlak p [bar]
Pohyb naprázdno	39,9	36,84	40
Pohyb pracovní	8	7,38	200
Výdrž pod tlakem	0	0	0
Zpětný pohyb	67,98	36,84	40

Návrh hydraulického obvodu

Hydraulický okruh viz obr. 4-6 je navrhovaný pro dvě tandemově zapojená čerpadla. Princip fungování je následující. Čerpadla při vysouvání naprázdno dodávají potřebný průtok pro rychlé vysouvání hydromotoru. Při do sedu lisovacího nástroje na lisovaný materiál v obvodu vzroste tlak, což zapříčiní, že čerpadlo regulované na vyšší tlak zavře jednosměrný ventil a druhé čerpadlo se odpojí přes tlakový ventil do nádrže. Po odpojení bude celkový průtok i tlak obstarávat pouze jedno čerpadlo při menším průtoku, ale vyšším tlaku. Celý hydraulický agregát bude umístěn na zemi vedle lisu, aby nebylo s rámem na lisu obtížné manipulovat a nepřidával na něj hmotnost. Hydraulické hadice budou od agregátu k lisu vedené uvnitř ochranné spirály pro hydraulické hadice, aby při posouvání lisu nedocházelo k jejich prodření.



Obrázek 4-6 - Schéma hydraulického obvodu lisu

- 1 – lineární hydromotor, 2 – tlakový ventil proti pohybujícím se hmotám,
3 – rozběhový rozvaděč, 4 – tlakový ventil (200 bar),
5 – elektromotor Siemens Simotics GP 1LE1003-1AB5, 6 – hydraulický zámek,
7 – hydraulický rozvaděč, 8 – nádrž na olej, 9 – zpětný ventil,
10 – tlakový ventil (36,8 bar), 11 – Tandemové čerpadlo Roquet 1LM9-27DR23S

Návrh typu a velikosti hydrogenerátoru

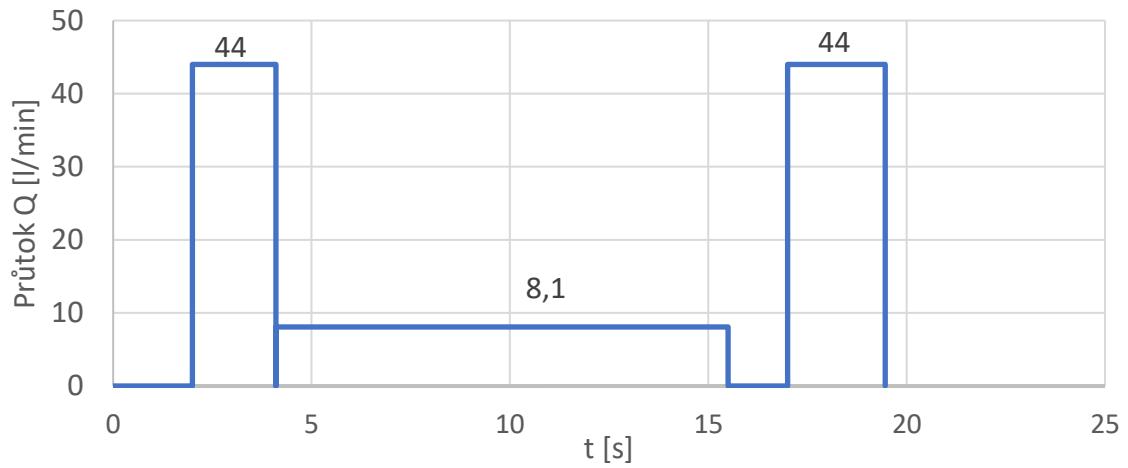
Bylo zvoleno čerpadlo Roquet 1LM9-35DR23S [27] viz *obr. 4-7*, které je připojeno na elektromotor s 1500 ot/min. Jedná se o tandemové zubové čerpadlo se dvěma segmenty, které bude zapojené na motor. První sekce je čerpadlo s průtokem 9 l/min. Toto čerpadlo je schopné dosáhnout tlaku 275 bar, avšak bude tlakovým ventilem omezeno na 200 bar. Při tomto tlaku je výrobcem udávaná průtoková účinnost čerpadla 90 %, což znamená, že reálný průtok bude přibližně 8,1 l/min. Druhá sekce je čerpadlo s průtokem 35 l/m s maximálním tlakem 180 bar. Toto čerpadlo bude omezeno na tlak 36,8 bar. Při takovémto tlaku je účinnost čerpadla téměř 100 % a přepočít lze tedy zanedbat.

Pro zvolené čerpadlo byly sestaveny pracovní grafy v závislosti na čase. Na *grafu 1* lze vidět časový průběh objemového průtoku v jednotlivých pracovních fázích. Na *grafu 2* je poté za stejného časového průběhu vidět tlak v obvodu. Poslední *graf 3* zobrazuje výkon, který v daný okamžik obvod odebírá. Jak je z posledního grafu patrné, obvod je navrhován způsobem, aby při pohybu hydromotoru byl výkon konstantní.



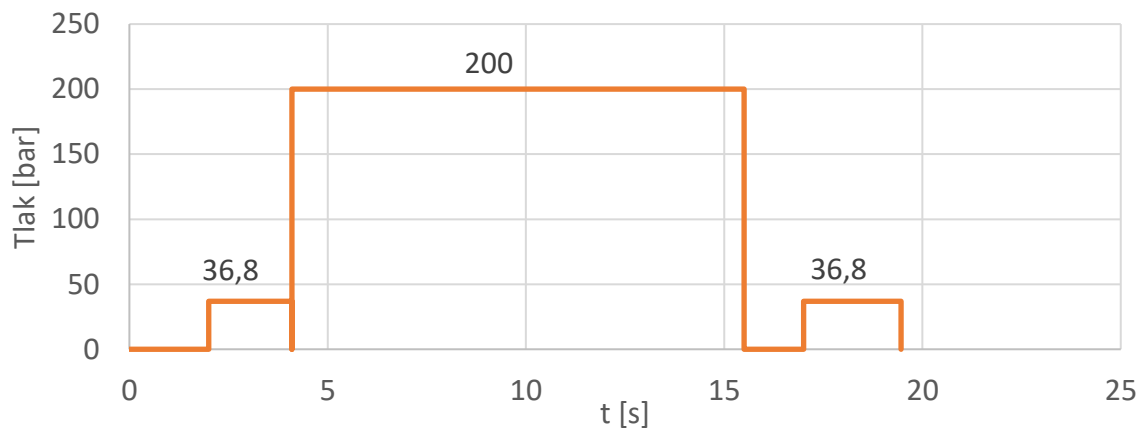
Obrázek 4-7 - Tandemové čerpadlo Roquet [27]

Průtok v závislosti na čase



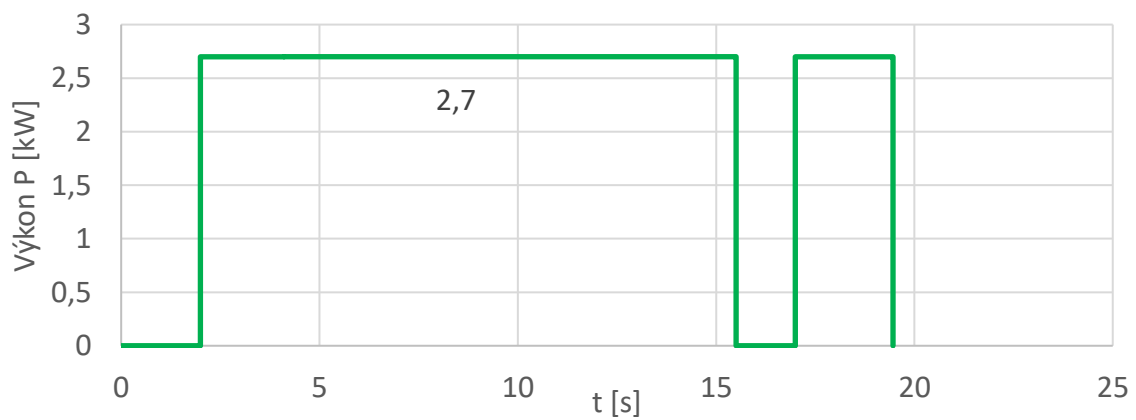
Graf 1 - Závislost průtoku na čase v jednom cyklu

Průběh tlaku v závislosti na čase



Graf 2 - Závislost tlaku na čase v jednom pracovním cyklu

Průběh výkonu v závislosti na čase

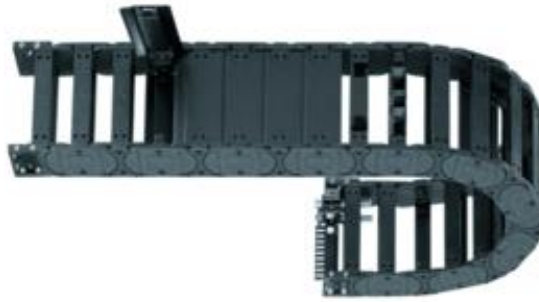


Graf 3 - Závislost výkonu v závislosti na čase

Návrh světlosti hadic pro tlakové vedení

$$DN^* = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_{MAX}}{\pi \cdot c_p}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 44000000/60}{\pi \cdot 4000}} = 15,28 \text{ mm} \rightarrow DN16$$

Na základě výpočtu byla zvolena hadice 2SN – DN16 – 2500/DKOS M24x1,5. Pro tuto hadici byl zvolen přenos energetickým řetězem Hennlich R4.32 – 50 x 73 – 250 - 1850 viz obr. 4-8.



Obrázek 4-8 - Energetický řetěz Hennlich R4.32 [28]

Stanovení příkonu hydrogenerátoru

Pro stanovení příkonu hydrogenerátoru potřebujeme porovnat, zda je potřeba větší příkon na krátkodobé zatížení, nebo pro opakované krátkodobé zatížení, kdy koeficient přetížitelnosti je roven 2.

Krátkodobé zatížení

$$P_e = \frac{P_{MAX}}{\mu \cdot k_p} = \frac{2,7}{0,8 \cdot 2} = 1,69 \text{ kW}$$

Opakované krátkodobé zatížení

Pro krátkodobé zatížení byla sestavena tab. 4, která obsahuje výkonové zatížení lisu při všech pracovních operacích po dobu působení jejich času.

Tabulka 4 - Stanovení příkonu hydrogenerátoru při opakovaném krátkodobém zatížení

	l_i	t_i	μ	P_i	P_i/μ	$(P_i/\mu)^2 \cdot t_i$
1	100 mm	2,1 s	0,85	2,7 kW	3,18 kW	21,24 kW ² /s
2	100 mm	11,4 s	0,85	2,7 kW	3,18 kW	115,28 kW ² /s
	0	2 s	x	x	x	x
3	200 mm	2,46 s	0,85	2,7 kW	3,18 kW	24,88 kW ² /s
Σ		17,96 s				161,4 kW ² /s

$$P_{ekv} = \sqrt{\frac{\Sigma(P_i/\mu)^2 \cdot t_i}{\Sigma t_i}} = \sqrt{\frac{161,4}{17,96}} = 3,0 \text{ kW} \quad [4.13]$$

Při porovnání vypočítaných výkonů bylo zjištěno, že největší potřebný příkon P_e jsou 3 kW a z tohoto důvodu bude volen pro pohon čerpadla elektromotor s tímto výkonem.

Volba elektromotoru

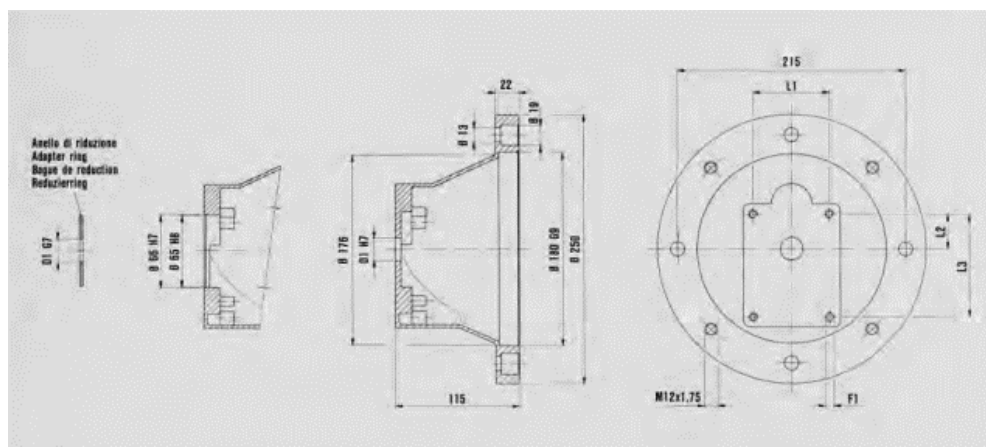
Pro pohon čerpadla byl zvolen elektromotor Siemens Simotics GP 1LE1003-1AB5. [29] Vzhled této řady motorů lze vidět na *obr. 4-9*. Jedná se o 4 pólový motor s 1500 otáčkami za minutu a výkonem 3 kW. Hřídel motoru a čerpadla je propojena pružnou spojkou Softex A/A 24/28 Alu [30] zobrazenou na *obr. 4-10*. Vzájemné propojení čerpadla a motoru je provedeno přírubou Hydroma HLB17L [31] viz *obr. 4-11*.



Obrázek 4-9 - Elektromotory Siemens řady 1LE10 s přírubou (nalevo) a bez příruba (napravo) [29]



Obrázek 4-10 - Pružná spojka Softex [30]



Obrázek 4-11 - Katalogový pohled na přírubu řady HLB [31]

4.3 Konstrukce lineárního hydromotoru

Následující kapitola se zabývá dokončením konstrukce hydromotoru. Jedná se o stanovení rozměrových veličin, které doposud nebyly počítány a doplnění stacionárního těsnění.

Výpočet průměru osazení pístnice

Jedná se o osazení na pístnici, na kterém bude nasazen píst, jenž zde bude zajištěn pomocí matice.

$$\sqrt{d_z^2 - \frac{4 \cdot F}{\sigma_D \cdot \pi}} \geq d_{opí} \rightarrow \sqrt{87^2 - \frac{4 \cdot 300000}{90 \cdot \pi}} = 57,66 \rightarrow d_{opí} = 55 \text{ mm} \quad [4.14]$$

Výpočet průměru osazení na přírubě pro dostatečný průtok kapaliny

$$A_{had} = \frac{\pi \cdot DN^2}{4} = \frac{\pi \cdot 16^2}{4} = 201,1 \text{ mm} \quad [4.15]$$

$$A_{mpř} = \frac{\pi \cdot (D^2 - d_{opř}^2)}{4} \quad [4.16]$$

$$A_{had} \geq A_{mpř} \quad [4.17]$$

$$d_{opř} = \sqrt{D^2 - \frac{4 \cdot A}{\pi}} = \sqrt{140^2 - \frac{4 \cdot 201,1}{\pi}} = 139,1 \text{ mm} \rightarrow 138 \text{ mm} \quad [4.18]$$

Volba O-kroužku mezi přírubou a válcem

Byl vybrán kroužek 130x5,5 od výrobce Hennlich. Materiál kroužku byl zvolen ISO 1629 NBR 80. Tento materiál je vhodný pro použití tlaků do 200 bar, což přesně odpovídá použitému tlaku.

$$D_{záp} = 130 \text{ mm}$$

$$D = 140 \text{ mm}$$

Procentuální smrštění kroužku:

[4.19]

$$H_{p-v} = (d_{záp} - d_{opí})/2 = (140 - 130)/2 = 5 \text{ mm}$$

$$psk_{p-v} = (1 - H_{p-v}/d_{k1}) \cdot 100 = (1 - 5/5,5) \cdot 100 = 9,09 \% \quad [4.20]$$

Volba O-kroužku mezi pístem a pístnicí

Byl vybrán normalizovaný kroužek 53x5,3 od výrobce Hennlich. Materiál kroužku byl zvolen stejný jako u prvního kroužku ISO 1629 NBR 80.

$$d_{opi} = 55 \text{ mm}$$

$$d_{záp} = 64 \text{ mm}$$

Procentuální smrštění kroužku

$$H_{p-p} = (d_{záp} - d_{opi})/2 = (64 - 55)/2 = 4,5 \text{ mm} \quad [4.21]$$

$$psk_{p-p} = (1 - H_{p-p}/d_{k2}) \cdot 100 = (1 - 4,5/5,3) \cdot 100 = 15,09 \% \quad [4.22]$$

Smrštění obou kroužků odpovídá výrobcem doporučenému smrštění mezi 7-18 % pro průměr kroužku ~5,5 mm při tlaku 200 bar.

Kontrola plochy dorazu při vysouvání

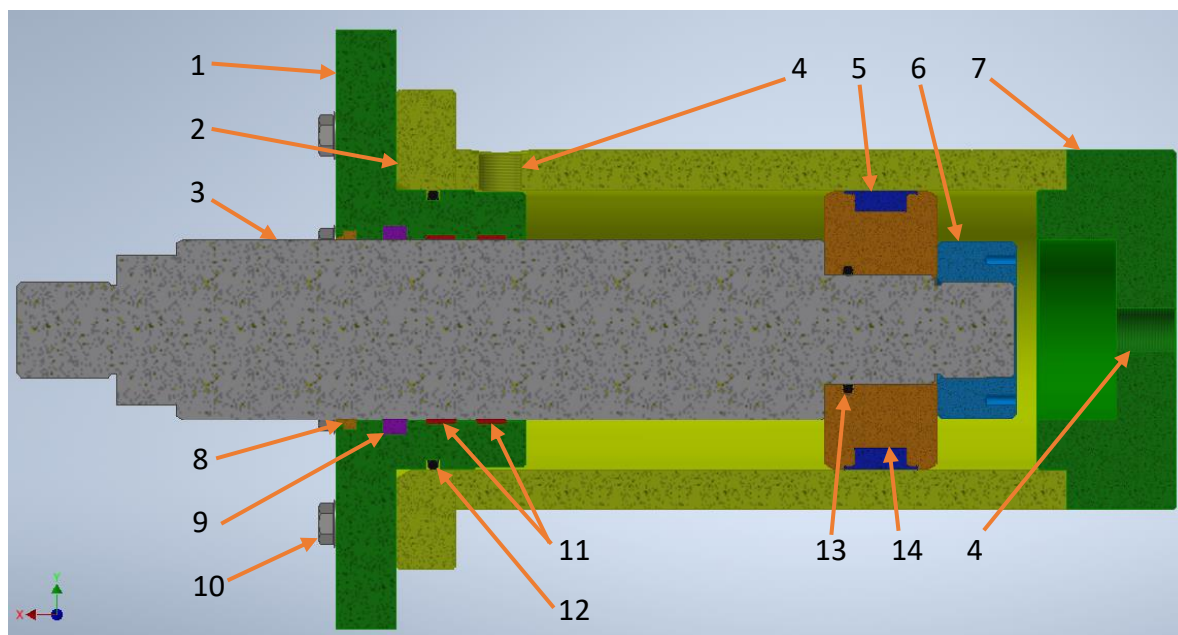
$$\frac{F}{A_1} \leq \sigma_D \rightarrow \frac{p_{max} \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4}}{\frac{\pi \cdot (D_{p10}^2 - d_{p10}^2)}{4}} = \frac{22 \cdot \frac{\pi \cdot 140^2}{4}}{\frac{\pi \cdot (135^2 - 94,5^2)}{4}} = 46,39 < 90 \text{ MPa} \quad [4.23]$$

Kontrola plochy dorazu při zasouvání

$$\frac{F}{A_2} \leq \sigma_D \rightarrow \frac{p_{max} \cdot \frac{\pi \cdot (D^2 - d^2)}{4}}{\frac{\pi \cdot (D_{p20}^2 - d_{p20}^2)}{4}} = \frac{22 \cdot \frac{\pi \cdot (140^2 - 90^2)}{4}}{\frac{\pi \cdot (137^2 - 93^2)}{4}} = 25 < 90 \text{ MPa} \quad [4.24]$$

Řez lineárním hydromotorem

Na obr. 4-12 je zobrazený řez modelem navrhovaného lineárního hydromotoru. Konstrukci tvoří plášť, který je tvořený válcem (2) a dvěma přírubami. První příruba (1) je k válci přichycena pomocí šroubového spoje (10) a má v sobě otvor pro průchod pístnice. Druhá příruba (7) je k válci přivařena pomocí svaru typu V. Pohyblivou část hydromotoru tvoří pístnice (3), ke které je pomocí pojistné matice (6) přichycen píst (14), na který působí tlak z hydraulického okruhu. Konstrukce je dále doplněna o stacionární těsnění, kterými jsou O-kroužky (12, 13), které zajišťují těsnost mezi průchozí přírubou a válcem a mezi pístem a pístnicí. Dále je zde hydraulické těsnění, které zajišťuje těsnost pohyblivých dílů. Jedná se o těsnění mezi pístem a válcem (5) a pístnicí s přírubou (9). V průchozí přírubě jsou umístěné dva vodící pásy, které zachytávají radiální síly působící od pístnice a stírací kroužek.



Obrázek 4-12 - Řez modelem lineárního hydromotoru

1 – příruba, 2 – válec, 3 – pístnice, 4 – díry se závitem pro připojení hydrauliky,
5 – pístní těsnění, 6 – pojistná matice, 7 – přivařená příruba, 8 – stírací kroužek,
9 – pístní těsnění, 10 – šroub s podložkou, 11 – vodící pásy F506, 12, 13 – O-kroužky,
14 – píst

4.4 Konstrukce lisu

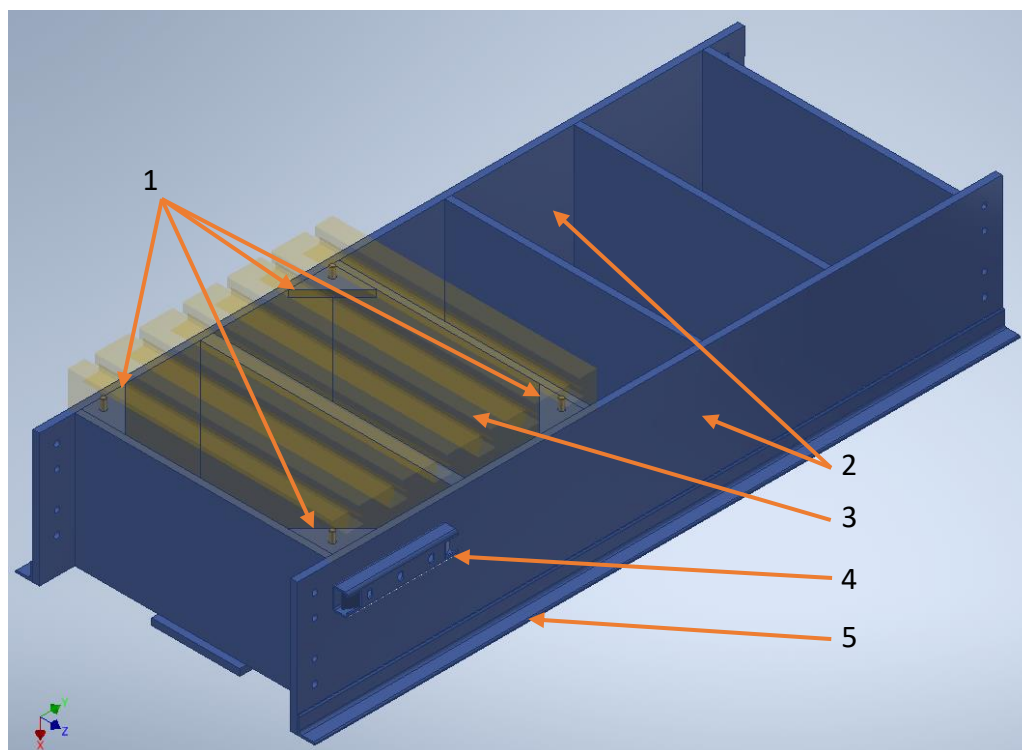
4.4.1 Konstrukce svařence stolu

Konstrukce je zobrazena na *obr. 4-13 a 4-14*. V textu bude odkazováno na jednotlivé části konstrukce. Jako pracovní plocha navrhovaného lisu byla zvolena deska (3) s rozměry 600 x 600 mm a tloušťkou 80 mm. V desce jsou vyfrézovány normalizované T drážky pro uchycení přípravku pro lisování kola a zespodu desky jsou čtyři díry se závitem pro přichycení ke stolu.

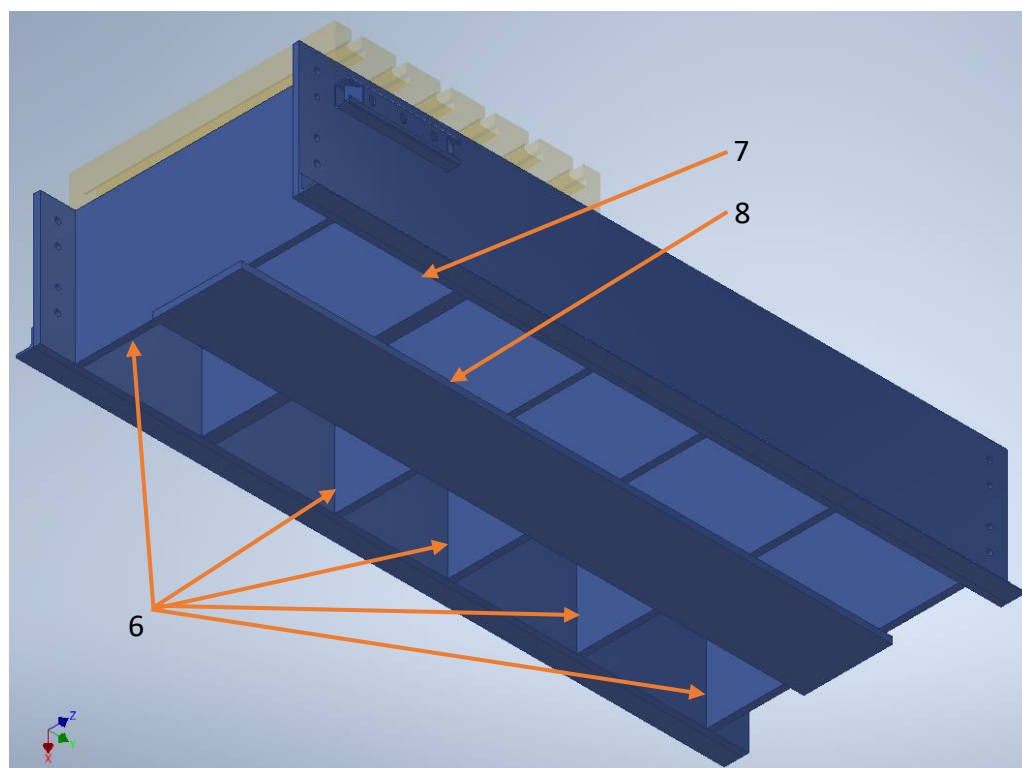
Zmiňovaný stůl je nadále pomocí čtyř šroubů uchycen ke konstrukci, která je svařená z vypálených desek několika velikostí. Boky konstrukce tvoří dvě desky (2) rozměrů 1800 x 300 x 15 mm, které jsou spojeny pomocí pěti desek (6) s rozměry 570 x 300 x 15 mm a jednou (7) s tloušťkou 30 mm, jež tvoří mezi boky žebrovaní. Mezi žebry jsou přivařeny čtyři výpalky tvaru trojúhelníku (1), do kterých jsou umístěny spojovací šrouby. Ve spodní části této konstrukce je nadále přivařena další deska (8) s rozměry 1470 x 200 x 15, o kterou se při lisování bude opírat rám. K bokům jsou dále přivařeny dva válcované L profily ČSN 425541 – 40 x 5 – 1600 (5), které budou sloužit jako kolejnice, po nichž se bude rám pohybovat po rolnách. Všechny tyto desky jsou k sobě svařeny pomocí koutových svarů velikosti a15, L profily jsou přivařeny pomocí koutových svarů velikosti a5.

V deskách tvořících boky stolu byly vyvrtány díry pro čepy a šrouby sloužící k připevnění nohou ke svařenci.

K této konstrukci je nadále z boku přivařena trubka obdélníkového průřezu ČSN 425720 - 50x35x3-100 (4), ve které jsou vyfrézované kapsy, které slouží k zajištění polohy rámu pomocí aretačního čepu. Tato trubka je ke konstrukci přivařena koutovým svarem s velikostí a3.



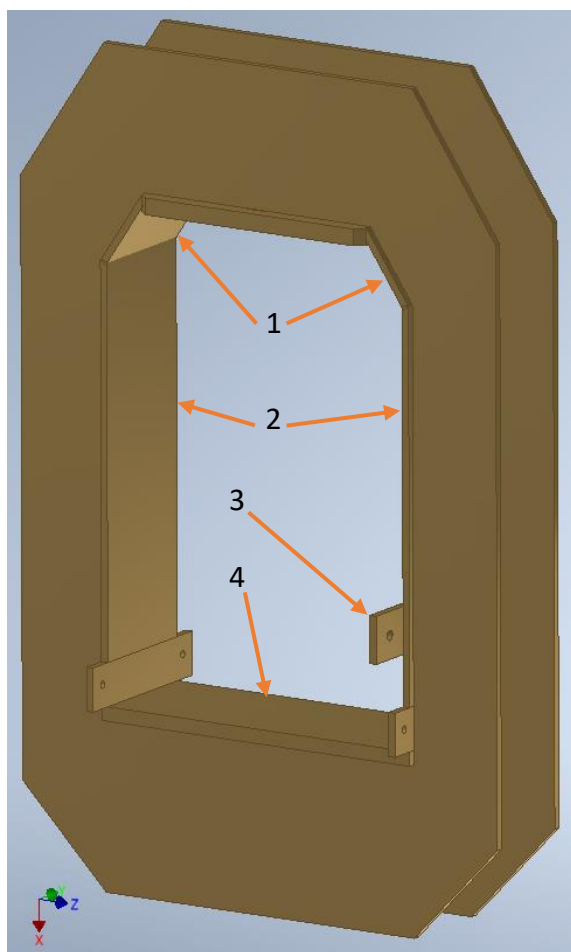
Obrázek 4-13 - Svařenec stolu, pohled shora



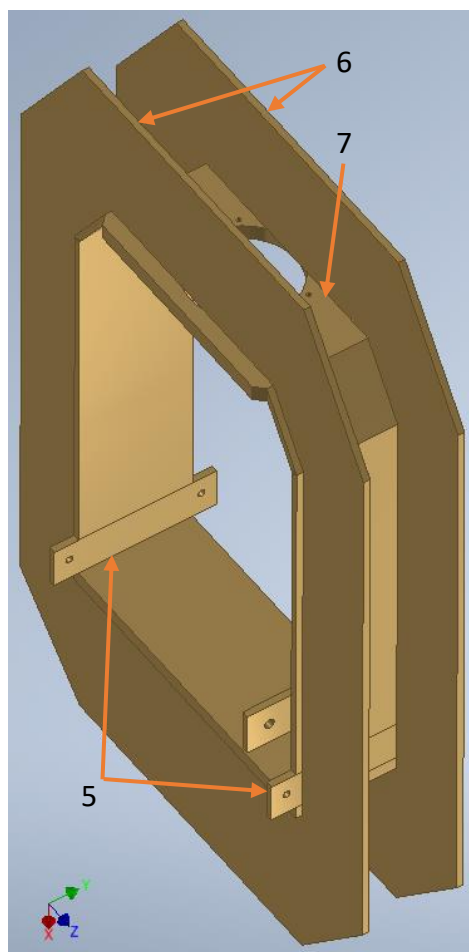
Obrázek 4-14 – Svařenec stolu, pohled zespoda

4.4.2 Konstrukce svařence rámu

Konstrukce je zobrazena na *obr. 4-15 a 4-16*. V textu bude odkazováno na jednotlivé části konstrukce. Hlavní díly rámu tvoří dva symetrické výpalky tvaru O, které jsou vypálené z desek rozměrů 1770 x 1138 x 15 mm (6). Po vnitřní straně je rám pospojovaný pomocí několika desek tak, že celý rám připomíná uzavřený U profil. Na vrchní straně je rám propojený pomocí desky rozměrů 538 x 300 x 35 mm (7), ve které je vyrobena díra o průměru 240 mm, do níž při montáži bude vsazený hydromotor a vyvrtány čtyři díry se závity, do kterých bude motor přišroubován. Na spodní straně je poté deska s rozměry 738 x 260 x 30 mm (4). Vrchní i spodní deska mají větší tloušťku než celý zbytek konstrukce z důvodu, že do celého rámu přenášejí hlavní lisovací sílu. Rám je po stranách svařen pomocí tří dvojic desek – 538 x 300x 30 mm (1), 834 x 260 x 15 mm (2) a 370 x 92 x 15 mm (5), ve kterých jsou v obou deskách vyvrtané díry pro přišroubování pojezdových rolen. Na jedné straně rámu je umístěna deska 200 x 100 x 15 mm (3), ve které je vyvrtaná díra se závitem, do níž je při montáži umístěný aretační čep. Pro svaření rámu jsou použity svary stejného typu i rozměrů jako v případě stolu a to koutové svary velikosti a15.



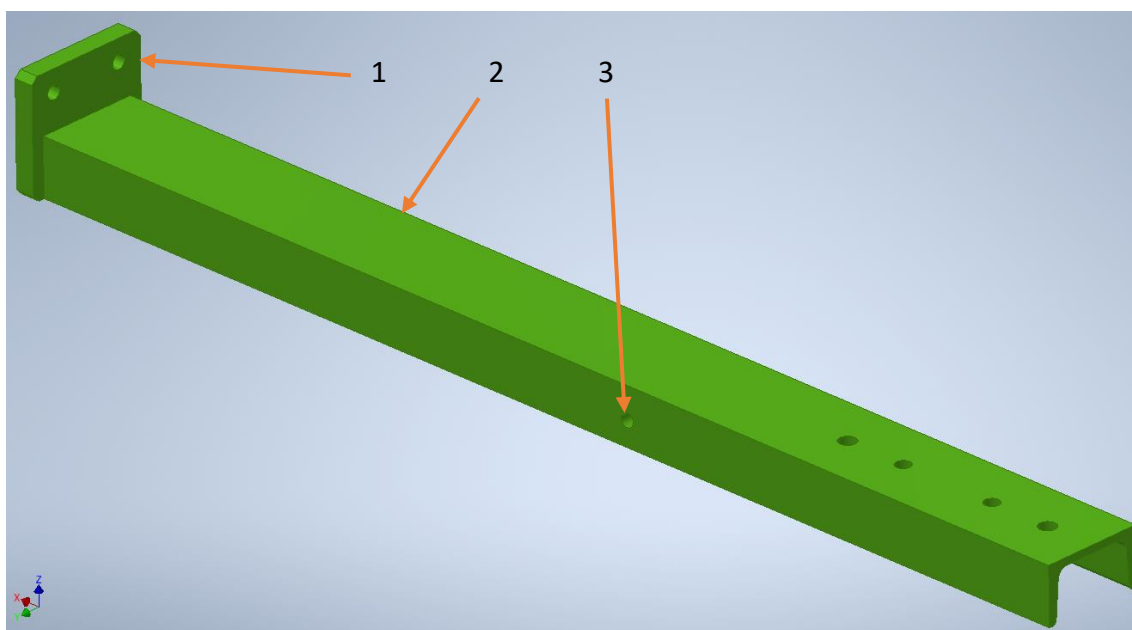
Obrázek 4-15 – Svařenec rámu, pohled 1



Obrázek 4-16 – Svařenec rámu, pohled 2

4.4.3 Konstrukce nohou lisu

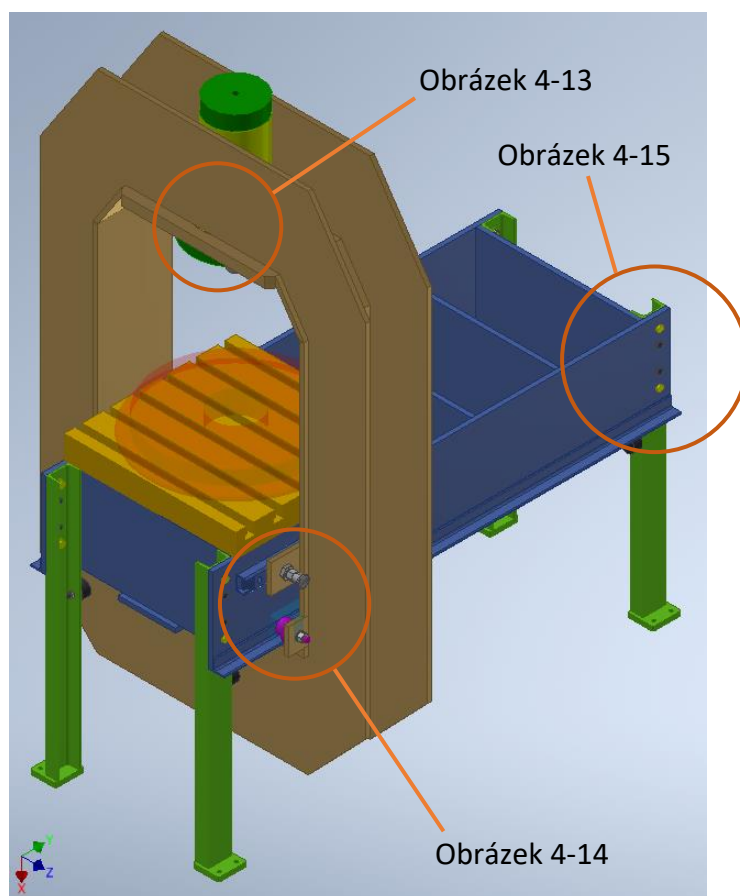
Lis je k zemi ukotven pomocí čtyř nohou viz *obr. 4-17*. Každá noha je tvořena válcovaným profilem typu C ČSN 425570 – 80 – 905 (1), ke kterému je přivařen výpalek z desky rozměrů 100 x 90 x 15 (2), v němž se nachází dvě díry pro ukotvení stolu k podlaze. Na druhé straně nohy je poté vyvrtáno šest děr pro přichycení nohou ke stolu. Dále je v noze z boku vyvrtána díra pro pryžový doraz (3), která je pro dvě nohy vyvrtána z jedné strany a pro další dvě z druhé.



Obrázek 4-17 - Noha stolu s dírou z pravé strany

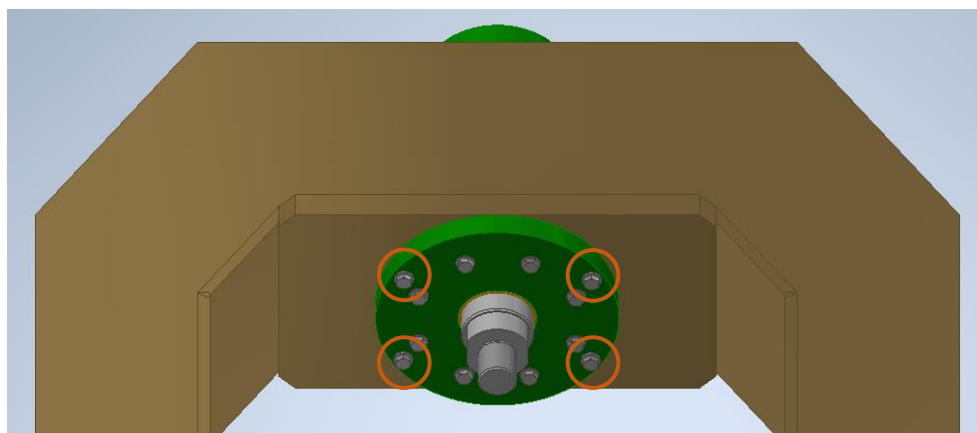
4.4.4 Sestava lisu

Kompletní sestava, kde jsou obsaženy veškeré dílčí části (hydromotor, rám, stůl, nohy), je zobrazena na *obr. 4-18*. Je zde odkazováno na jednotlivé detaily sestavy, které jsou popsány v následujícím textu.



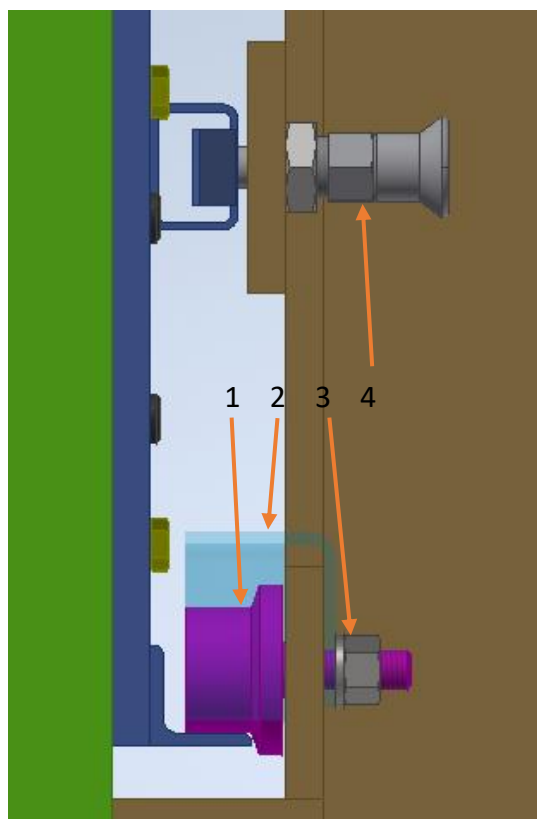
Obrázek 4-18 - Kompletní sestava lisu CD30

Na *obr. 4-19* je zobrazen detail uložení hydromotoru do svařence rámu. Hydromotor lícuje do vyrobené díry a je zde přišroubovaný pomocí čtyř šroubů ČSN EN 24017 – M12 x 65 s podložkami ISO 7089 – 12. Tyto šrouby jsou uchyceny do závitů, které jsou vytvořeny v desce v rámu.

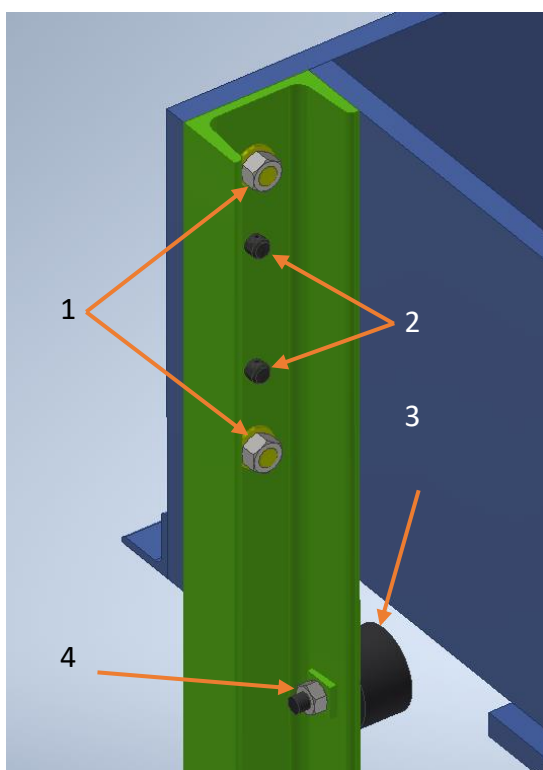


Obrázek 4-19 - Detail uložení hydromotoru v rámu

Do připravených pozic ve svařenci rámu viz *obr. 4-20* jsou umístěné rolny HPJ 50 od výrobce Matic industrial components (1). Pomocí osazení na rolnách je zaručeno, že rám při posuvu z kolejnic nespadne. Převážení rámu kvůli vysoko položenému těžišti nemůže nastat, jelikož v takovém případě by se rám opřel zespodu o stůl, který by převážení zarazil. Rolny jsou schované pomocí krytů (2), jež jsou vyrobeny z vypáleného plechu, který je ohnut do požadovaného tvaru. Následně je nasazen na hřídel rolny a oboje je zajištěno pomocí šestihřanných matic ČSN EN 24032 – M16 s podložkami ISO 8089 – 16 (3). Nad umístěnou rolnou je v detailu vidět umístění aretačního čepu Kipp K0338.02516, který je od výrobce vybaven maticí pro zajištění (4).



Obrázek 4-20 - Detail umístění rolny a aretace



Obrázek 4-21 - Detail umístění nohy, pryžový doraz

Ke stolu jsou přišroubované čtyři nohy viz *obr. 4-21*, kdy každá noha je přichycená pomocí dvou šroubů ČSN EN 24017 – M12 x 35 s podložkami ISO 7089 – 12 a maticemi ČSN EN 24032 – M12 (1). V každé noze jsou dány dva čepy DIN EN 22341 B B – 30 (2). K nohám jsou dále přišroubovány silentbloky Kipp K0571.05003055 (3) s tuhostí pružiny 354 N/mm pomocí matic ČSN EN 24032 – M10 a podložek ISO 7089 – 10 (4).

4.5 Kontrola pevnosti lisu a porovnání s MKP

Volba materiálu

Pro konstrukci lisu byla zvolena ocel ČSN 11523 neboli EN 10027-1 S35530. Jedná se o svařitelnou konstrukční ocel s mezí pevnosti v tahu $R_m 510 - 680 \text{ N/mm}^2$ po normalizačním žihání. Její mez kluzu R_e je 355 N/mm^2 .

Bezpečnost pro konstruování byla zvolena $k = 1,5$.

$$\sigma_D = \frac{R_e}{k} = \frac{355}{1,5} = 236 \text{ N/mm}^2 \quad [4.25]$$

4.5.1 Výpočet prohnutí rámu při maximálním zatížení

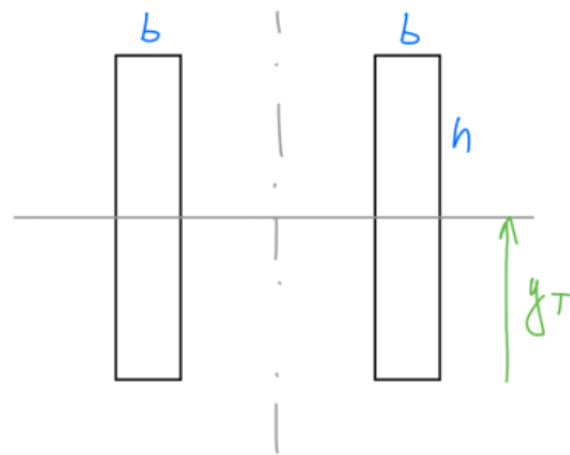
Při počítání průhybu bylo uvažováno tvarové zjednodušení rámu, aby výpočty nebyly příliš komplikované. To znamená, že celý rám pro výpočet byl nahrazen uzavřeným křivým prutem ve tvaru obdélníku zobrazeno na *obr. 4-22*. Výpočet se poté zabývá protažením rámu při plném zatížení ve směru působení síly F .

Výpočet kvadratických momentů v ohybu jednotlivých částí rámu

Nejprve byl spočítán kvadratický moment pro část rámu s umístěným hydromotorem viz *obr. 4-22* v místě A. Jelikož v místě příčného řezu je vytvořena díra pro uchycení, je proto počítán moment v části s nejmenším průřezem. Pro zjednodušení je průřez uvažován jako dva souběžné plechy umístěné vedle sebe viz *obr. 4-23*.



Obrázek 4-22 - schéma zjednodušení rámu

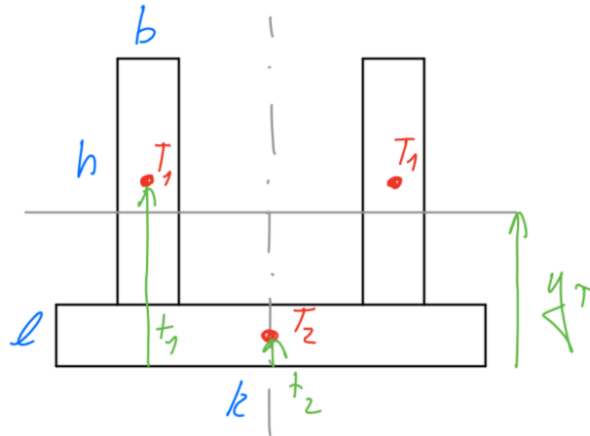


Obrázek 4-23 - Průřez rámem v oblasti umístění hydromotoru

$$Y_{t1} = \frac{h}{2} = 167,5 \text{ mm} \quad [4.26]$$

$$J_{z1} = 2 \cdot \frac{bh^3}{12} = 2 \cdot \frac{15 \cdot 335^3}{12} = 46994219 \text{ mm}^4 \quad [4.27]$$

Pro zbývající dva průřezy v místě B a C na *obr. 4-22* byl kvadratický moment počítán z jejich plného materiálu. Tvar průřezu je znázorněn a okótován na *obr. 4-24*. Nejprve bylo nutné vypočítat polohu ohybové osy, ke které se následně vztahuje výsledný kvadratický moment.



Obrázek 4-24 - Průřez rámem

$$Y_t = \frac{2hb \cdot \left(\frac{h}{2} + l\right) + kl \cdot \frac{l}{2}}{2hb + kl} \quad [4.28]$$

$$Y_{t2} = \frac{2 \cdot 200 \cdot 15 \cdot \left(\frac{200}{2} + 15\right) + 260 \cdot 15 \cdot \frac{15}{2}}{2 \cdot 200 \cdot 15 + 260 \cdot 15} = 72,65 \text{ mm} \quad [4.29]$$

$$Y_{t3} = \frac{2 \cdot 360 \cdot 15 \cdot \left(\frac{360}{2} + 30\right) + 260 \cdot 30 \cdot \frac{30}{2}}{2 \cdot 360 \cdot 15 + 260 \cdot 30} = 151,22 \text{ mm} \quad [4.30]$$

$$J_z = 2 \cdot \left(\frac{bh^3}{12} + bh \cdot (t_1 - Y_t)^2 \right) + \frac{kl^3}{12} + kl \cdot (Y_t - t_2)^2 \quad [4.31]$$

$$J_{z2} = 2 \cdot \left(\frac{15 \cdot 200^3}{12} + 15 \cdot 200 \cdot \left(\frac{200}{2} + 15 - 72,65 \right)^2 \right) + \frac{260 \cdot 15^3}{12} + 260 \cdot 15 \cdot \left(72,65 - \frac{15}{2} \right)^2 \quad [4.32]$$

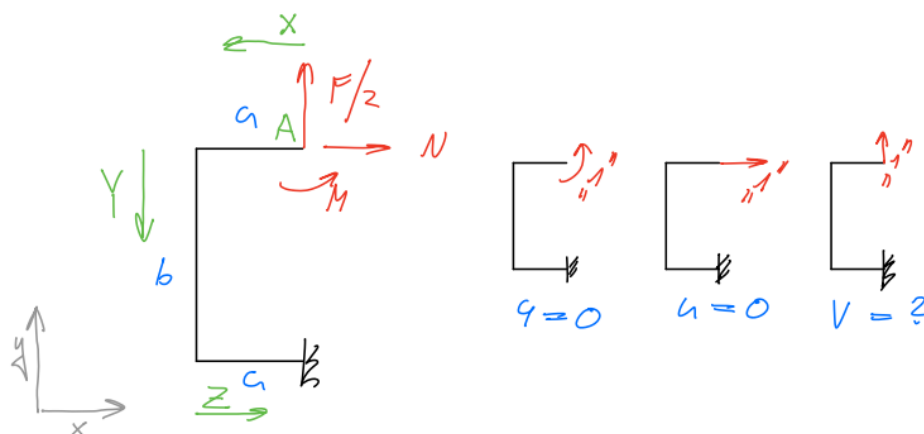
$$J_{z2} = 47387898 \text{ mm}^4 \quad [4.33]$$

$$J_{z3} = 2 \cdot \left(\frac{15 \cdot 360^3}{12} + 15 \cdot 360 \cdot \left(\frac{360}{2} + 30 - 151,22 \right)^2 \right) + \frac{260 \cdot 30^3}{12} + 260 \cdot 30 \cdot \left(151,22 - \frac{30}{2} \right)^2 \quad [4.34]$$

$$J_{z3} = 299275884 \text{ mm}^4 \quad [4.35]$$

Výpočet protažení rámu při zatížení

Dalším krokem bylo spočítání protažení rámu při maximálním zatížení. Pro spočítání byla použita analytická metoda přes Mohrův integrál. Rám byl nejprve uvolněn viz *obr. 4-25*, kdy bylo využito symetrie rámu, tudíž stačilo počítat pouze s jeho polovinou. Bylo zjištěno, že úloha je po uvolnění 2x staticky neurčitá. Což znamená, že po uvolnění byly v soustavě dvě neznámé veličiny, a to vnitřní moment a normálová síla v místě řezu rámu, které se musely dopočítat. Byly proto stanoveny počáteční podmínky, že v místě A je natočení rámu „ φ “ rovné 0° a posunutí „ u “ v ose x je zde také nulové. Na základě těchto podmínek byla vytvořena rovnice pro natočení a posunutí v ose x , které se položily rovno 0. Z těchto rovnic byl vyjádřen neznámý vnitřní moment M a normálová síla N .



Obrázek 4-25 - Uvolnění rámu pro výpočet natažení

$$\begin{aligned} \varphi = 0 = & \frac{1}{EJ_{z1}} \int_0^a \left(M + \frac{F}{2}x \right) dx + \frac{1}{EJ_{z2}} \int_0^b \left(M + \frac{F}{2}a - Ny \right) dy \\ & + \frac{1}{EJ_{z3}} \int_0^a \left(M - Nb + \frac{F}{2}(a - z) \right) dz \end{aligned} \quad [4.36]$$

$$\begin{aligned} 0 = & \frac{1}{EJ_{z1}} \left(Ma + \frac{F}{4}a^2 \right) + \frac{1}{EJ_{z2}} \left(Mb + \frac{F}{2}ab - \frac{N}{2}b^2 \right) \\ & + \frac{1}{EJ_{z3}} \left(Ma - Nba + \frac{F}{2}a^2 - \frac{F}{4}a^2 \right) \quad / \cdot E \end{aligned} \quad [4.37]$$

$$0 = M \left(\frac{a}{J_{z1}} + \frac{b}{J_{z2}} + \frac{a}{J_{z3}} \right) + N \left(-\frac{b^2}{2J_{z2}} - \frac{ab}{J_{z3}} \right) + F \left(\frac{a^2}{4J_{z1}} + \frac{ab}{2J_{z2}} + \frac{a^2}{2J_{z3}} - \frac{a^2}{4J_{z3}} \right) \quad [4.38]$$

$$u = 0 = \frac{1}{EJ_{z2}} \int_0^b \left(M + \frac{F}{2}a - Ny \right) (-y) dy + \frac{1}{EJ_{z3}} \int_0^a \left(M - Nb + \frac{F}{2}(a-z) \right) (-b) dz \quad [4.39]$$

$$0 = \frac{1}{EJ_{z2}} \int_0^b \left(-My - \frac{F}{2}ay - Ny^2 \right) dy + \frac{1}{EJ_{z3}} \int_0^a \left(-Mb + Nb^2 - \frac{F}{2}ba + \frac{F}{2}bz \right) dz \quad [4.40]$$

$$0 = \frac{1}{EJ_{z2}} \left(-\frac{M}{2}b^2 - \frac{F}{4}ab^2 + \frac{N}{3}b^3 \right) + \frac{1}{EJ_{z3}} \left(-Mba + Nab^2 - \frac{F}{2}ba^2 + \frac{F}{4}ba^2 \right) \quad / \cdot E \quad [4.41]$$

$$0 = M \left(-\frac{b^2}{2J_{z2}} - \frac{ab}{J_{z3}} \right) + N \left(\frac{b^3}{3J_{z2}} + \frac{ab^2}{J_{z3}} \right) + F \left(-\frac{ab^2}{4J_{z2}} - \frac{a^2b}{2J_{z3}} + \frac{a^2b}{4J_{z2}} \right) \quad [4.42]$$

Výpočet soustavy dvou rovnic byl proveden pomocí Cramerova pravidla. Jednotlivé meze integrálu byly zjištěny z výkresové dokumentace, kdy vzdálenost „a“ je rovna vzdálenosti ohybové osy profilu 2 k ose symetrie rámu. Vzdálenost „b“ je rovna vzdálenosti os symetrie profilu 1 a 3.

$$a = 427 \text{ mm}$$

$$b = 1360 \text{ mm}$$

$$\begin{matrix} \varphi \\ v \end{matrix} \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} M \\ N \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} \quad [4.43]$$

$$\begin{matrix} \varphi \\ u \end{matrix} \begin{bmatrix} \frac{a}{J_{z1}} + \frac{b}{J_{z2}} + \frac{a}{J_{z3}} & -\frac{b^2}{2J_{z2}} - \frac{ab}{J_{z3}} \\ -\frac{b^2}{2J_{z2}} - \frac{ab}{J_{z3}} & \frac{b^3}{3J_{z2}} + \frac{ab^2}{J_{z3}} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} M \\ N \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} F \left(-\frac{a^2}{4J_{z1}} - \frac{ab}{2J_{z2}} - \frac{a^2}{2J_{z3}} + \frac{a^2}{4J_{z3}} \right) \\ F \left(\frac{ab^2}{4J_{z2}} + \frac{a^2b}{2J_{z3}} - \frac{a^2b}{4J_{z2}} \right) \end{bmatrix} \quad [4.44]$$

$$\begin{matrix} \varphi \\ u \end{matrix} \begin{bmatrix} 3,92123 \cdot 10^{-5} & -0,0214559 \\ -0,0214559 & 20,33305 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} M \\ N \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} -2174,86970 \\ 981799,73253 \end{bmatrix} \quad [4.45]$$

$$K_0 = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{vmatrix} = 3,92123 \cdot 10^{-5} \cdot 20,33305 - (-0,0214559)^2 \quad [4.46]$$

$$K_0 = 0,00033695 \quad [4.47]$$

$$K_1 = \begin{vmatrix} b_1 & a_{12} \\ b_2 & a_{22} \end{vmatrix} = (-2174,86970) \cdot 20,33305 - (-0,0214559) \cdot 981799,73253 \quad [4.48]$$

$$K_1 = -23145,33757025 \quad [4.49]$$

$$K_2 = \begin{vmatrix} a_{11} & b_1 \\ a_{21} & b_2 \end{vmatrix} = 3,92123 \cdot 10^{-5} \cdot 981799,73253 - (-2174,86970)(-0,0214559) \quad [4.50]$$

$$K_2 = -9,165160 \quad [4.51]$$

$$M = \frac{K_1}{K_0} = \frac{-23145,33757025}{0,00033695} = -68723363 \text{ Nmm} \quad [4.52]$$

$$N = \frac{K_2}{K_0} = \frac{-9,165160}{0,00033695} = -24232,56 \text{ N} \quad [4.53]$$

Výpočet protažení rámu ve směru y

Po dopočítání velikosti neznámých hodnot po uvolnění byl sestaven Mohrův integrál pro posunutí „ v “ ve směru y , které vyjadřuje protažení celého rámu při plném zatížení lisu.

$$v = \frac{1}{EJ_{z1}} \int_0^a \left(\frac{F}{2}x + M \right) x \cdot dx + \frac{1}{EJ_{z2}} \int_0^b \left(\frac{F}{2}a + M - Ny \right) a \cdot dy$$

$$+ \frac{1}{EJ_{z3}} \int_0^a \left(\frac{F}{2}(a-z) + M - Nb \right) (a-z) \cdot dz$$
[4.54]

$$v = \frac{1}{EJ_{z1}} \int_0^a \left(\frac{F}{2}x^2 + Mx \right) dx + \frac{1}{EJ_{z2}} \int_0^b \left(\frac{F}{2}a^2 + Ma - Nay \right) dy$$

$$+ \frac{1}{EJ_{z3}} \int_0^a \left(\frac{F}{2}a^2 - Faz + \frac{F}{2}z^2 + Ma - Mz - Nab + Nbz \right) dz$$
[4.55]

$$v = \frac{1}{EJ_{z1}} \left(\frac{F}{6}a^3 + \frac{M}{2}a^2 \right) + \frac{1}{EJ_{z2}} \left(\frac{F}{2}a^2b + Mab - \frac{N}{2}ab^2 \right)$$

$$+ \frac{1}{EJ_{z3}} \left(\frac{F}{2}a^3 - \frac{F}{2}a^3 + \frac{F}{6}a^3 + Ma^2 - \frac{M}{2}a^2 - Na^2b + \frac{N}{2}ba^2 \right)$$
[4.56]

$$v = \frac{1}{2,1 \cdot 10^5 \cdot 46994219} \left(\frac{300000}{6} \cdot 427^3 + \frac{-68723363}{2} \cdot 427^2 \right)$$

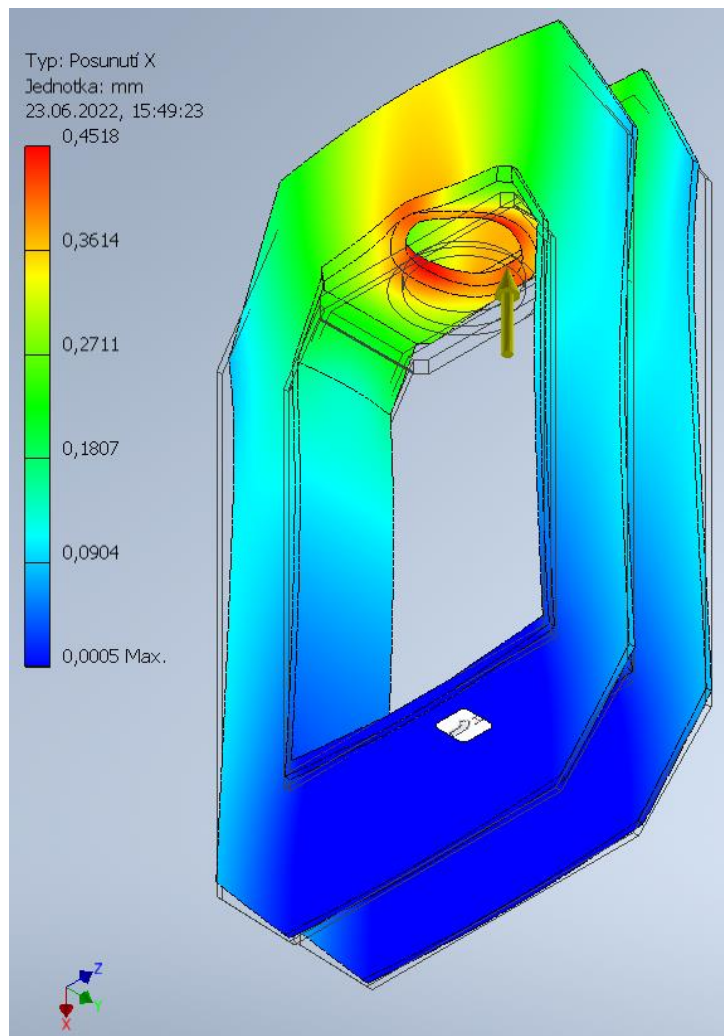
$$+ \frac{1}{2,1 \cdot 10^5 \cdot 47387898} \left(\frac{300000}{2} \cdot 427^2 \cdot 1360 + (-68723363) \cdot 427 \cdot 1360 \right.$$

$$\left. - \frac{300000}{2} \cdot 427 \cdot 1360^2 \right) + \frac{1}{2,1 \cdot 10^5 \cdot 299275884} \left(\frac{300000}{6} \cdot 427^3 + (-68723363) \cdot 427^2 \right.$$

$$\left. - \frac{-68723363}{2} \cdot 427^2 - (-24232,56) \cdot 427^2 \cdot 1360 + \frac{-24232,56}{2} \cdot 1360 \cdot 427^2 \right)$$
[4.57]

$$v = 0,459 \text{ mm}$$
[4.58]

Bylo spočítáno, že rám se při plném zatížení protáhne o 0,459 mm, což při porovnání se simulací viz *obr. 4-26*, kde maximální prodloužení vychází 0,452 mm vychází téměř totožně a výsledek tedy bude podobný realitě. Na obrázku simulace platí, že čím je barva více do červena, tím je v daném místě posunutí větší, a čím blíže k modré, tím menší. Simulace byla brána pouze jako kontrola pro porovnání s výpočtem.



Obrázek 4-26 - Simulace protažení rámu

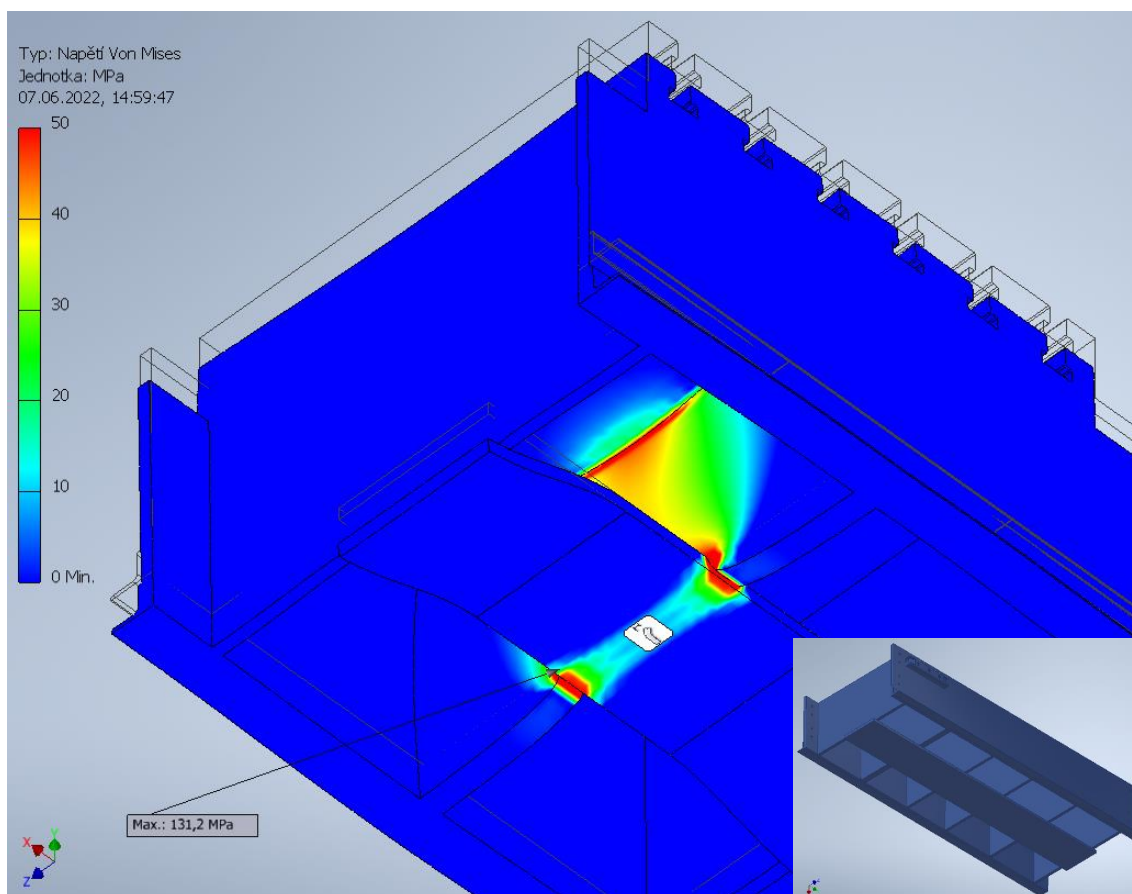
4.5.2 Kontrola otlacení stolu při maximálním zatížení

U svařence stolu se předpokládá, že bude nejvíce namáhaný na otlacení v oblasti doteku žebra, které je umístěné přímo uprostřed stolu s opěrnou deskou, jež je umístěna pod celým stolem. Namáhané žebro je z tohoto důvodu zesíleno.

$$\sigma_D \geq \frac{F}{S_{otl}} = \frac{300000}{200 \cdot 15} = 100 \text{ N/mm}^2 < 236 \text{ N/mm}^2 \quad [4.59]$$

Z výpočtu je patrné, že při maximálním zatížení bude největší napětí v rovno 100 N/mm^2 , což je menší než maximální dovolené napětí a rám toto zatížení vydrží.

Čistě pro porovnání s výpočtem byla vytvořena MKP analýza viz *obr. 4-27*, na které lze vidět, že předpoklad, že stůl bude nejvíce namáhaný na otlacení na prostředním žebro, byl správný a síla je distribuována převážně přes něj. Platí, že červená barva značí maximální napětí a modrá barva značí místa s minimálním napětím viz barevná škála na obrázku. Stejně jako v předchozím případě byla simulace vytvořena pouze pro porovnání výsledků s výpočtem.



Obrázek 4-27 - MKP analýza stolu lisu při maximálním zatížení s orientačním pohledem na model

4.5.3 Kontrola pevnosti nohou lisu

Nohy stolu jsou kontrolovány na otláčení v místě, kde jsou spojeny pomocí čepů, jelikož se jedná o nejvíce zatížené místo a poté jsou v tomto místě čepy kontrolovány na stříh. Je počítáno s tím, že celý rám je posunut v pracovní poloze s lisovacím nástrojem a na stole je umístěn obráběný díl. Znamená to, že jelikož je těžiště umístěné v jedné části stolu, uvažuje se, že budou v tomto případě zatěžovány dvě nohy celkovou hmotností maximálně 3 tuny, což odpovídá celkové hmotnosti nástroje a dílce do 1,5 tuny.

σ_D pro ocel 11 523, ze které jsou konstruovány nohy je 236 MPa.

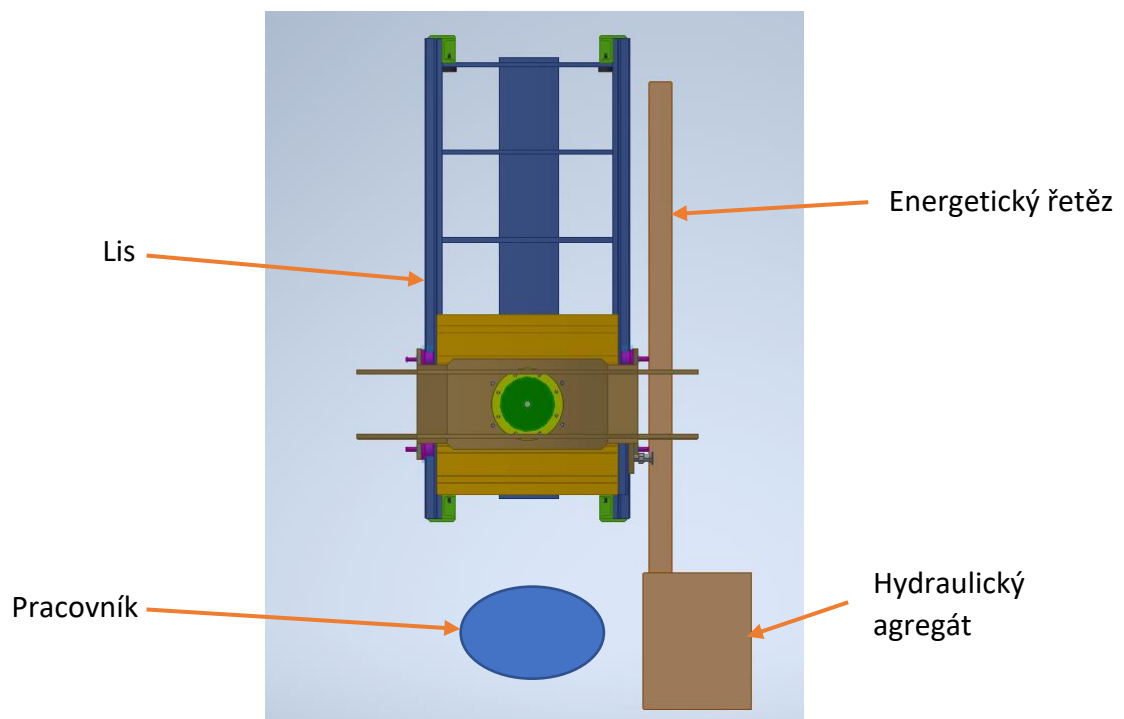
τ_D pro automatovou ocel 11 110, ze které jsou čepy je 149 MPa.

$$\sigma_D \geq \frac{Z \cdot g}{4 \cdot D_{\check{c}} \cdot T} = \frac{3000 \cdot 9,81}{4 \cdot 12 \cdot 6} = 102,19 \text{ N/mm}^2 < 236 \text{ N/mm}^2 \quad [4.60]$$

$$\tau_D \geq \frac{Z \cdot g}{4 \cdot \frac{\pi \cdot D_{\check{c}}^2}{4}} = \frac{3000 \cdot 9,81}{4 \cdot \frac{\pi \cdot 12^2}{4}} = 65,05 \text{ N/mm}^2 < 149 \text{ N/mm}^2 \quad [4.61]$$

Pohled na pracoviště

Na obr. 4-28 lze vidět pohled shora na návrh rozmístění pracoviště. Pracovník stojí v čele lisu a po jeho pravé straně je umístěný hydraulický agregát, na kterém se nachází ovládání lisu. K agregátu je připojený zvolený energetický řetěz, v němž vedou hydraulické hadice. Řetěz je připojen k rámu hydraulického lisu.



Obrázek 4-28 - Pohled na pracoviště shora

5 Závěr

V rámci této práce bylo cílem dosáhnout koncepčního návrhu univerzálního montážního lisu s hydraulickým pohonem. Byly zadány vstupní parametry mezi které patřila lisovací síla a rychlost, maximální pracovní zdvih lineárního hydromotoru a velikost pracovního prostoru. Dále byly uvedeny podmínky, jakým způsobem má být lis obsluhován. Na základě vstupních parametrů bylo navrženo pět typů konstrukce, z nichž byl po následné konzultaci s firmou zvolen jeden, který nejvíce vyhovoval jejím požadavkům.

Byla sepsána rešeršní část, kde došlo k seznámení s jednotlivými druhy tvářecích strojů s přímočarým pohybem nástroje a s jakými cykly tyto stroje pracují. Dále byly popsány typy rámu, které se při výrobě používají. Vysvětlené byly charakteristické parametry ať už rozměrové, nebo veličiny, se kterými pracují. V rešerši bylo dále zmíněno normované značení. Pro silové (hydraulické) stroje bylo seznámeno s druhy pohonů, jež mohou být použity. Na závěr rešerše byly do tabulky uvedeny hydraulické lisy v podobné kategorii, jako je konstruovaný lis s jejich parametry.

Po provedení rešerše bylo navrženo pět druhů konstrukce, z nichž byla následně zvolena jedna varianta, která byla zpracovaná. Pro tuto variantu je velmi jednoduché lis zavázat, jelikož v zavázací pozici lze na stůl pokládat díly pomocí jeřábu, díky volnému přístupu ke stolu ze shora je volný.

První navrhovanou částí byl hydromotor, u kterého byly provedeny návrhové a kontrolní výpočty a následně byl definován pracovní cyklus s navrhnutými parametry.

Vzhledem k návrhovým výpočtům hydromotoru byl navrhnout hydraulický obvod s jednotlivými komponenty a zvoleno tandemové hydraulické čerpadlo pro jeho pohon. Na základě zvoleného čerpadla byl vypočítán skutečný průtok, tlak a výkon v závislosti na čase, ze kterých byl následně spočítán potřebný příkon elektromotoru pro pohon. Následně byl navrhnutý hydromotor doplněn o těsnění a vodící pásy.

Po navrhnutí hydromotoru s hydraulickým obvodem byla sestrojena samotná konstrukce lisu skládající se z tří hlavních částí. První částí byl svařenec rámu, dále byla navrhnutá taktéž svařovaná konstrukce stolu a poslední svařenec byly čtyři nohy. Sestava těchto komponentů byla poté doplněna o nakoupené spojovací materiály a ostatní potřebné díly. Rám, stůl i nohy byly v kritických místech zkontrolovány výpočtem a porovnány se simulací. Byl vytvořen 3D model sestavy v programu Autodesk Inventor a k dílčím částem sestavy byla vypracovaná výkresová dokumentace.

Lis byl dle normy pojmenován označením CD30.

U práce nebyla řešena bezpečnost a proto lis není určený pro uvedení do výroby, jelikož nespĺňuje bezpečnostní legislativu a jedná se tak pouze o konstrukční návrh.

Seznamy

Seznam použitých zdrojů a literatury

- [1] MAŇAS, Miroslav; Jozef HELŠTÝN: *Výrobní stroje a zařízení, Určeno pro posl. fak. Technologické, Díl 2., Gumárenské a plastikářské stroje*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 1990. ISBN 80-214-0213-X.
- [2] NOVOTNÝ, Karel: *Výrobní stroje a zařízení, část tvářecí stroje*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Zář 2002. Výukové materiály.
- [3] POKORNÝ, Přemysl: *VÝROBNÍ STROJE II.: MECHANICKÉ LISY*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 1998. Výukové materiály.
- [4] MAŇAS, Stanislav: *Výrobní stroje a zařízení, část: Tvářecí stroje. Poznámky k přednáškám* Praha: České vysoké učení technické, 2006/2007.
- [5] MAŇAS, Stanislav. *Hydraulické mechanismy strojů a zařízení*. Praha: České vysoké učení technické, 1991. ISBN 80-01-00689-1.
- [6] ČECHURA, Milan, Jan HLAVÁČ, Jiří STANĚK: *Konstrukce tvářecích strojů, Učební texty pro bakalářské i navazující magisterské studium*. Vyd. 1. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, únor 2015. ISBN 978-80-261-0513-8.
- [7] LEINVEBER, Jiří, Pavel VÁVRA: *Strojnické tabulky: Pomocná učebnice pro školy technického zaměření*. 5., upravené vydání. Úvaly: Albra, 2011. ISBN 978-80-7361-081-4.
- [9] Jak funguje hydraulický lis. Harsle [online]. 2022 [cit. 19-01-2022]. Dostupné z: <https://cs.harsle.com/Jak-funguje-hydraulický-lis-id3472255.html>
- [10] Šmeral KHZ 8A. Šmeral - Tvářecí stroje [online]. 2000 [cit. 19-01-2022]. Dostupné z: <https://www.smeral.cz/cs/product/55/khz-8a>
- [11] Šmeral LMZ 1600 A/S. Šmeral - Tvářecí stroje [online]. 2000 [cit. 19-01-2022]. Dostupné z: <https://www.smeral.cz/cs/product/14/lmz-1600-a-s>
- [12] Ruční tabulové nůžky NTM 1000/2,5B. Pochman profesionální stroje [online]. 2022 [cit. 19-01-2022]. Dostupné z: <http://www.pochman.eu/shop/rucni-tabulove-nuzky-ntm-1000-2-5b.html#.YefeG6aZND8>
- [13] Ověření shody provedení strojního zařízení s pořadavky. QMprofi [online]. 2009 [cit. 15-02-2022]. Dostupné z: <https://www.qmprofi.cz/33/csn-en-692-a1-2009-mechanicke-lisy-uniqueidmRRWSbk196FNf8-jVUh4EvD6cPpZTsNIvfA4oAXzn4w/>
- [14] Ohýbačka plechu MSW-PBR-1270. Expondo [online]. 2022 [cit. 19.01.2022]. Dostupné z: <https://www.expondo.cz/msw-ohybacka-plechu-1-270-mm-0-az-1350-manualni-nozni-pedal-10061179>

- [15] Hydraulic Presses. H.P. SINGH MACHINERY PVT. LTD. [online]. 2016 [cit. 10-03-2022]. Dostupné z: <https://hpsmachines.com/hydraulic-presses/>
- [16] Hydraulic Powder Press Specifications. DIGITALPRESS INC [online]. 2020 [10-03-2022] Dostupné z: <https://digitalpressusa.com/specifications/>
- [17] Single Cylinder Hydraulic Press. GoodsJack Machinery [online]. 2019 [cit. 10-03-2022]. Dostupné z: <https://www.goodsjack.com/Single-Cylinder-Hydraulic-Press.html>
- [18] Hydraulický lis Unicraft WPP 30 E. BOUKAL [online]. 2022 [cit. 10-03-2022]. Dostupné z: <https://www.boukal.cz/hydraulicky-lis-unicraft-wpp-30-e/6035/produkt>
- [19] Hydraulický lis ELMAG C-FRAME, PREMIUM HPC 50, 81830. PROFISHOP [online]. 2022 [cit. 10-03-2022]. Dostupné z: https://www.profishop.com/cz/hydraulick-lis-elmag-c-frame-premium-hpc-50-81830?number=EL0-533&gclid=CjwKCAiAvaGRBhBIEiwAiY-yMNQNcqny4sOdeiYsfCSct0zRYTnycr-SmyNfldNrzcVrWC7AD02bxoCWsEQAvD_BwE
- [20] Montážní hydraulické lisy jednoválcové. HŠV Polička [online]. 2022 [cit. 10-03-2022]. Dostupné z: <https://hsvpolicka.cz/cs/lisy/montazni-hydraulicke-lisy-jednovalcove>
- [21] Univerzální hydraulické lisy. HŠV Polička [online]. 2022 [cit. 10-03-2022]. Dostupné z: <http://www.hsvpolicka.cz/cs/lisy/univerzalni-hydraulicke-lisy>
- [22] CFSS C FRAME SINLGE ACTION PRESSES. HiDROLiKSAN [online]. 2019 [cit. 10-03-2022]. Dostupné z: http://www.hidroliksan.com/en/product-55/production_presses-212/cfss-241.html
- [23] ŽĐAS [online]. Hydraulické lisy [cit. 10-03-2022]. Dostupné z: <https://www.industry-eu.cz/files/companies/890388.pdf>
- [24] HENNLICH [online]. Pístní těsnění K 753. 2022 [cit. 12-03-2022] Dostupné z: https://www.hennlich.cz//fileadmin/user_upload/H CZ/Home/Tesneni/Produktové_listy/K_753.pdf
- [25] HENNLICH [online]. Pístnicová těsnění typ S 605. 2022 [cit. 12-03-2022]. Dostupné z: https://www.hennlich.cz//fileadmin/user_upload/H CZ/Home/Tesneni/Produktové_listy/S_605.pdf
- [26] POLEHŇA, Vladimír: *Zvyšování kvality výuky technických oborů, Inovace a zkvalitnění výuky směřující k rozvoji odborných kompetencí žáků středních škol: Svářečská a karosářská odbornost, Kapitola 16, Vybavení pracoviště – karosárna*. 2012. Výukové materiály.
- [27] Roquet [online]. Gear pumps. 2022 [cit. 25-06-2022]. https://www.eurofluid.cz/static/_dokumenty/6/6/0/6/D_1L_1LS_1LM-hydraulic-gear-pumps-bombas_en.pdf
- [28] SÉRIE E4.32 / H4.32 / R4.32. HENNLICH. [online]. 2022 [cit. 25-06-2022]. Dostupné z: <https://www.hennlich.cz/produkty/energeticke-retezy-flexibilni-kabely-energeticke-retezy-vysoka-zatizeni-e41-13757/serie-e432-h432-r432.html>

[29] Elektromotor Simotics GP – hliník 1LE1003-1AB5. KDRIVES. [online]. 2022 [cit. 25-06-2022]. Dostupné z: <https://www.elektromotory.cz/goods/index/id/1813>

[30] SOFTEX [online]. SOFTEX couplings. 2022 [cit. 25-06-2022]. https://www.hydropress.cz/cs/index.php?controller=attachment&id_attachment=204&gl=1*971owy*_up*MQ..&gclid=CjwKCAjwzeqVBhAoEiwAOrEmzWi3dYkGGjczkTMu3AomAllrHtSaiLwZayCBcMVfFdfowecTGzI5ShoC1k8QAvD_BwE

[31] HYDROMA [online]. Hydroma hydraulické systémy. 2022 [25-06-2022]. <https://www.hydroma.cz/files/product/9/44/22197/data/003-10059.pdf>

Seznam použitých obrázků

Obrázek 3-1 - Otevřený rám s pevným stolem [4].....	15
Obrázek 3-2 - Otevřený rám s přenastavitelným stolem [4]	15
Obrázek 3-3 - Otevřený naklápací rám [4].....	15
Obrázek 3-4 - Široký stojan [4].....	15
Obrázek 3-5 - Otevřený šikmý rám [4].....	15
Obrázek 3-6 - Otevřený horizontální rám [4]	15
Obrázek 3-7 - Uzavřený skříňový rám [4]	15
Obrázek 3-8 - Uzavřený sloupový rám [4]	15
Obrázek 3-9 - Hydraulický lis HŠV Polička - CUPS xx DEU [21]	18
Obrázek 3-10 - Kovací klikový lis Šmeral Brno - LMZ 1600 A/S [11].....	19
Obrázek 3-11 - Pneumatiko-hydraulický buchar Šmeral Brno - KHZ 8A [10]	20
Obrázek 3-12 - Ruční tabulové nůžky Pochman - NTM 1000/2,5B [12].....	21
Obrázek 3-13 - Ohýbačka plechu MSW-PBR-1270 [14].....	21
Obrázek 3-14 - Přímý pohon (blokové schéma) [4]	23
Obrázek 3-15 - Blokové schéma nepřímého pohonu (akumulátorového) [4]	24
Obrázek 3-16 - Blokové schéma hydraulického obvodu s multiplikátorem [4]	25
Obrázek 3-17 - Schéma klikového lisu [4].....	26
Obrázek 3-18 – Výstředníkový mechanismus [26]	27
Obrázek 3-19 - Schéma kolenového mechanismu [26].....	27
Obrázek 3-20 - Dvoukotoučový šroubový lis [2].....	28
Obrázek 3-21 - Mechanické provedení hřebenového lisu [4]	29
Obrázek 4-1 - Koncepce rámu typu C	31
Obrázek 4-2 – Koncepce rámu typu O s kluzným uložením stolu	32
Obrázek 4-3 - Koncepce rámu typu O s odpruženým posuvným stolem	33
Obrázek 4-4 – Koncepce rámu typu O s posuvným stolem a polohovatelnými ližinami	34
Obrázek 4-5 – Koncepce posuvného rámu typu O s pevně uchyceným stolem	35
Obrázek 4-6 - Schéma hydraulického obvodu lisu.....	39
Obrázek 4-7 - Tandemové čerpadlo Roquet [27]	40
Obrázek 4-8 - Energetický řetěz Hennlich R4.32 [28].....	42
Obrázek 4-9 - Elektromotory Siemens řady 1LE10 s přírubou (nalevo) a bez příruby (napravo) [29].....	43
Obrázek 4-10 - Pružná spojka Softex [30].....	43
Obrázek 4-11 - Katalogový pohled na přírubu řady HLB [31].....	43
Obrázek 4-12 - Řez modelem lineárního hydromotoru.....	46
Obrázek 4-13 - Svařenec stolu, pohled shora	47
Obrázek 4-14 – Svařenec stolu, pohled zespoda	48
Obrázek 4-15 – Svařenec rámu, pohled 1.....	49
Obrázek 4-16 – Svařenec rámu, pohled 2.....	49
Obrázek 4-17 - Noha stolu s dírou z pravé strany	50
Obrázek 4-18 - Kompletní sestava lisu CD30	51
Obrázek 4-19 - Detail uložení hydromotoru v rámu.....	51

Obrázek 4-20 - Detail umístění rolny a aretace	52
Obrázek 4-21 - Detail umístění nohy, pryžový doraz.....	52
Obrázek 4-22 - schéma zjednodušení rámu	53
Obrázek 4-23 - Průřez rámem v oblasti umístění hydromotoru	53
Obrázek 4-24 - Průřez rámem.....	54
Obrázek 4-25 - Uvolnění rámu pro výpočet natažení.....	55
Obrázek 4-26 - Simulace protažení rámu	59
Obrázek 4-27 - MKP analýza stolu lisu při maximálním zatížení s orientačním pohledem na model	60
Obrázek 4-28 - Pohled na pracoviště shora.....	61

Seznam použitého softwaru

- Autodesk Inventor Professional 2022
- Microsoft Office 365
- Notability

Seznam příloh

Výkresová dokumentace

- Výkres sestavy: S-BP0284-00
- Výkres podsestavy rámu: BP0284-00-01
- Výkres podsestavy stolu: BP0284-00-02
- Výkres podsestavy nohy: BP2084-00-03

Elektronické přílohy

- Soubor Lis – obsahuje 3D CAD model sestavy hydraulického montážního lisu v programu Autodesk Inventor Professional 2022 ve formátu .iam a jednotlivých dílčích komponentů v .ipt.
- Soubor Hydromotor – obsahuje 3D CAD model sestavy hydromotoru v programu Autodesk Inventor Professional 2022 ve formátu .iam a jednotlivých dílčích komponentů v .ipt.
- Soubor MKP – obsahuje modely rámu a stolu, na kterých byla prováděna MKP analýza ve formátu .ipt.
- Soubor Výkresy – obsahuje výkresovou dokumentaci ve formátu .pdf a .idw
- Textová část bakalářské práce ve formátu .docx a .pdf
- Prezentaci bakalářské práce ve formátu .docx a .pdf