



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY

INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

## HYDRAULICKÝ TOPNÝ LIS SE JMENOVITOU SILOU 600 KN

HYDRAULIC HEATING PRESS WITH NOMINAL FORCE 600 KN

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Adam Tyburec

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jiří Omes, Ph.D.

BRNO 2018



# Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky  
Student: **Adam Tyburec**  
Studijní program: Strojírenství  
Studijní obor: Základy strojního inženýrství  
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 topný lis se jmenovitou silou 600 kN

### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Hydraulický topný lis je v provedení hornotlakém se čtyřsloupovým rámem, určen k lisování membrán z různých plastických materiálů, které vyžadují pro přetváření a stabilizaci tvaru vyšší teploty (do cca. 250 °C). Elektrické topné desky jsou umístěny na stole a beranu lisu.

### Parametry zařízení:

Maximální síla lisu: 600 kN  
Zdvih: 150 mm  
Rozevření: 200 mm  
Rozměr stolu a beranu: 600 x 400 mm  
Uzavírací rychlost: cca. 5 mm/s

### Cíle bakalářské práce:

- Návrh uspořádání hydraulického lisu.
- Optimalizace rámu lisu.
- Výpočet hydraulického pohonu lisu, blokové schéma.
- Výkres sestavení lisu, hydraulického válce a vybraných detailních výkresů.

### Seznam doporučené literatury:

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

ČECHURA, Milan, Jan HLAVÁČ 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

L. S.

---

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.  
ředitel ústavu

---

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

## **ABSTRAKT**

Tato bakalářská práce obsahuje konstrukční návrh hydraulického lisu s topnými deskami. Je proveden výpočet pohonu lisu, návrh uspořádání lisu, návrh hydraulického obvodu, analytický výpočet hydraulického válce a optimalizace rámu lisu pomocí MKP. Na základě těchto poznatků je vypracován výkres sestavení lisu, výkres sestavení hydraulického válce a detailní výkresy vybraných součástí. Na závěr je navržen zjednodušený plán údržby.

## **ABSTRACT**

This bachelor thesis contains a design of a hydraulic heating press. That includes the calculation of the press drive, the design of the hydraulic circuit, the analytical calculation of the hydraulic cylinder and the optimization of the press frame by FEM. Drawing of a press assembly, drawing of a hydraulic cylinder assembly and detailed drawings of selected components are made based on these results. At the end a simplified maintenance plan is created.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Tváření, hydraulický topný lis, hydraulický pohon lisu, optimalizace rámu, metoda konečných prvků.

## **KEYWORDS**

Forming, hydraulic heating press, hydraulic press drive, frame optimization, finite element method.



## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

TYBUREC, A. *Hydraulický topný lis se jmenovitou silou 600 kN*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2018. 57 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jiří Omes, Ph.D..





## **PODĚKOVÁNÍ**

Rád bych poděkoval vedoucímu bakalářské práce, Ing. Jiřímu Omesovi, Ph.D., za odborné vedení, rady a připomínky při zpracování této práce. Dále bych rád poděkoval konzultantovi, Ing. Martinu Ševčíkovi, MBA, za cenné konzultace a připomínky z praxe.



## **ČESTNÉ PROHLÁŠ ENÍ**

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

V Brně dne 25. 5. 2018

.....

Tyburec Adam



# OBSAH

1	ÚVOD .....	15
1.1	Téma a cíl bakalářské práce .....	15
1.2	Základní charakteristika tvářecích strojů .....	15
1.2.1	Dělení tvářecích strojů .....	15
2	HYDRAULICKÉ LISY .....	17
2.1	Charakteristika .....	17
2.2	Technické parametry hydraulických lisů .....	19
2.3	Hydraulické lisy s topnými deskami .....	20
2.3.1	Nerezové topné desky .....	21
3	STAV VĚDY ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY .....	23
3.1	Prvky hydraulického obvodu .....	23
3.2	Hydraulická těsnění a vodící prvky .....	23
3.2.1	Dynamická těsnost .....	24
3.2.2	Všeobecná doporučení pro montáž .....	24
4	POHON HYDRAULICKÉHO LISU .....	25
4.1	Princip průběhu lisování .....	25
4.2	Mechanismy pohonu hydraulických lisů .....	26
4.3	Hydromotor .....	27
5	NÁVRH ZÁKLADNÍCH PRVKŮ HYDRAULICKÉHO OBVODU .....	29
6	SCHÉMA HYDRAULICKÉHO OBVODU .....	31
6.1	Seznam použitých hydraulických prvků .....	32
6.2	Popis hydraulického obvodu .....	33
7	NÁVRH USPOŘÁDÁNÍ LISU .....	35
8	NÁVRH HYDROMOTORU .....	37
8.1	Výpočet utahovacího momentu pro šroubové spojení dna s pláštěm .....	39
9	RÁM LISU .....	41
9.1	Výpočet minimálního průměru sloupu .....	42
9.2	Návrh beranu a traverz lisu .....	43
9.3	Optimalizace horní a dolní traverzy pomocí MKP .....	44
9.4	Beran hydraulického lisu .....	47
9.5	Předepnutí sloupů lisu .....	47
10	PROVOZ .....	49
10.1	Technické parametry a základní rozměry hydraulického lisu .....	49
10.2	Údržba .....	50
11	ZÁVĚR .....	51
12	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ .....	53
13	SEZNAM TABULEK A OBRÁZKŮ .....	55
13.1	Seznam tabulek .....	55
13.2	Seznam obrázků .....	55
14	SEZNAM PŘÍLOH .....	57



# 1 ÚVOD

## 1.1 Téma a cíl bakalářské práce

Cílem této bakalářské práce je návrh hydraulického topného lisu se jmenovitou silou 600 kN. Součástí návrhu bude výpočet hydraulického pohonu, schéma hydraulického obvodu, optimalizace rámu lisu, návrh uspořádání hydraulického lisu a výkresová dokumentace. Výkresová dokumentace bude obsahovat výkres sestavení hydraulického lisu, výkres sestavení hydraulického válce a detailní výkresy vybraných součástí. Při řešení jednotlivých problémů bude kladen důraz na použití nejvhodnějších možných řešení stejně jako na ekonomickou stránku výroby. Na závěr je práce celkově zhodnocena.

Tato bakalářská práce bude vypracována ve spolupráci s firmou PRESSHYDRAULIKA Opava s.r.o.. Tato firma má dlouholeté zkušenosti s výrobou, rekonstrukcí a servisem hydraulických lisů.

## 1.2 Základní charakteristika tvářecích strojů

Jako tvářecí stroj je popisována uměle vytvořená dynamická soustava. Slouží k realizaci úkonů technologického tvářecího procesu, při kterém dochází ke změně tvaru výchozího materiálu bez odběru tlisky. Energie nutná k přetvoření se přenáší od energetického zdroje, tj. motor nebo akumulátor, do pracovního prostoru pomocí mechanismu, kde se prostřednictvím nástroje přeměňuje na přetvárnou práci a nežádoucí formy energie, např. hluk, teplo, kmitání a jiné. [1]

Mezi hlavní přednosti tvářecího stroje řadíme především vysokou produktivitu a jakost práce. Ostatní přednosti jako provozní spolehlivost, životnost, snadná ovladatelnost a jiné souvisí s těmi hlavními. Produktivita práce je přímo závislá na celkovém času výrobního procesu, který se rovná součtu času strojního a vedlejšího. Jakost práce je ovlivněna přesností dodržení tvaru a rozměru obrobku i kvalitou tvářených ploch v porovnání s předepsanými údaji na výkrese. Závisí na celkové koncepci tvářecího stroje, jeho tuhosti, dynamických vlastnostech, použitém materiálu, ale také na technologii výroby. [1]

### 1.2.1 Dělení tvářecích strojů

Podle převládajícího způsobu průběhu plastického přetvoření se technologie tváření dělí na: [1]

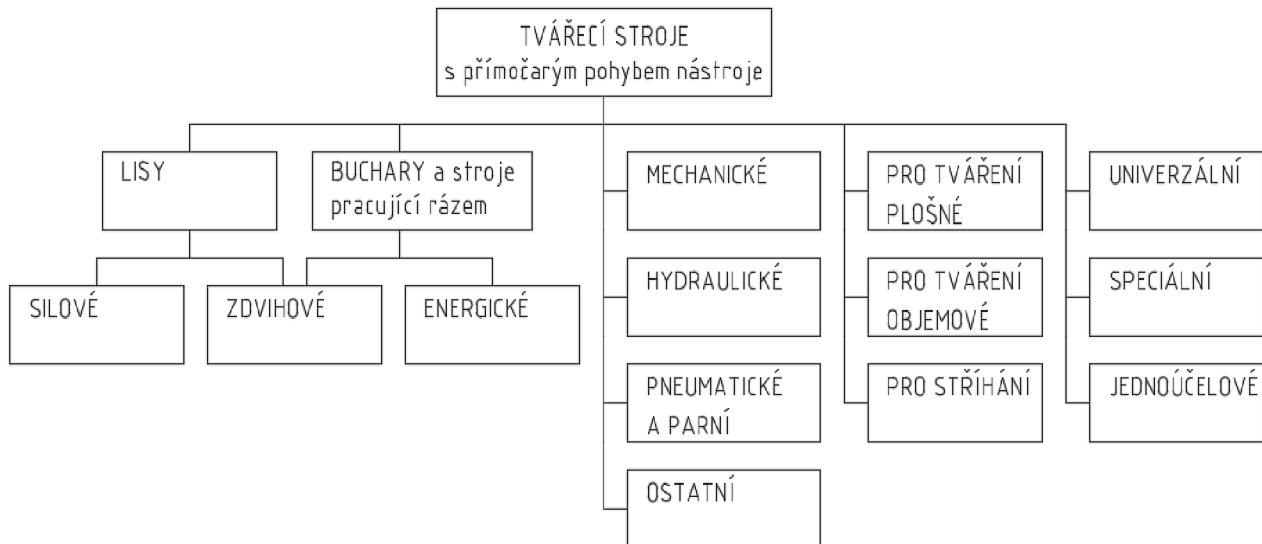
- *Tváření plošné*
- *Tváření objemové*
- *stříhání*

Podle druhu relativního pohybu nástroje k tvářenému materiálu se dělí na: [1]

- *stroje s přímočarým pohybem*
- *stroje s rotačním, případně obecným pohybem nástroje*

Mezi nejrozšířenější patří stroje s přímočarým pohybem. Jejich základní rozdělení se nachází v Tab 1).

Tab 1) Základní třídění tvářecích strojů s přímočarým pohybem nástroje. [1]



Podle druhu hlavní formy využití energie se tvářecí stroje dělí na: [1]

#### a) Tvářecí stroje silové

Mezi tyto stroje patří ty, které k překonání tvářecího odporu využívají především energii potenciální při rychlosti beranu menší než  $0,25 \text{ m.s}^{-1}$ . Typickým představitelem je hydraulický lis. Výhodou tohoto tvářecího stroje je, že síla na beranu  $F$  není závislá na jeho zdvihu. Základním parametrem silového tvářecího stroje je síla  $F$  na beranu.

#### b) Tvářecí stroje energetické

K překonání přetvárného odporu využívají především energii potenciální. Do této skupiny řadíme buchary. Rychlost beranu stroje je zpravidla větší než  $5 \text{ m.s}^{-1}$ . Dynamické síly, vznikající při přeměně kinetické energie na přetvárnou práci, jsou většinou zachyceny tvářecím tělesem. Přenos energie je při tváření přerušen a tím je pohon chráněn proti poškození. Základním parametrem energetického tvářecího stroje je kinetická energie.

#### c) Tvářecí stroje zdvihové

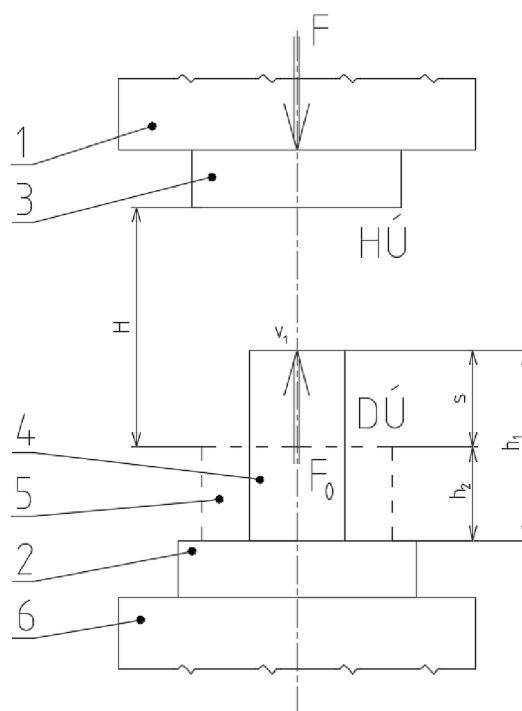
Tyto stroje využívají jak energii potenciální tak kinetickou. Nejrozšířenějším představitelem je klikový lis. Síla a rychlost na beranu je přímo závislá na jeho zdvihu  $h$ . Základním parametrem zdvihového tvářecího stroje je síla  $F$  na beranu a dráha  $h$ , na které může tato síla působit.



## 2 HYDRAULICKÉ LISY

### 2.1 Charakteristika

Hydraulické lisy se řadí do skupiny tvářecích strojů s přímočarým pohybem a podskupiny tvářecích strojů silových. Je to elektrohydraulicky ovládané zařízení. Jeho podstatou je rám s vestavěným hydraulickým válcem, který vyvozuje pomocí hydraulického rozvodu lisovací sílu působící ve směru proti upínací desce stolu. Hydraulický rozvod je tvořen tlakovým zdrojem, hydraulickým válcem, ovládacím blokem, filtrem. Vzájemné propojení je provedeno trubkovým nebo hadicovým rozvodem. Tlakovým zdrojem hydraulického rozvodu je čerpadlo poháněné přes spojku elektromotorem. [2]



Obr. 1) Základní uspořádání nástroje tvářecího stroje s přímočarým pohybem. [1]

Přímočarý pohyb koná beran lisy (1) mezi horní (HÚ) a dolní (DÚ) úvratí. Výchozí materiál (4) se nachází mezi jednotlivými pracovními nástroji (2 a 3), které jsou upevněny na stole (6) a beranu lisy (1). Beran spolu s nástrojem se pohybuje z počáteční polohy rychlostí  $v_0$ . V okamžiku kontaktu se hovoří o rychlosti  $v_1$ . Síla  $F$  na beranu překonává tvářecí sílu  $F_0$  a způsobuje trvalou plastickou deformaci materiálu (5). [1]

Hydraulické mechanismy nacházejí uplatnění v celé škále pohonů, tedy i pohonech hydraulických lisů. Vyjdeme-li ze zkrácené Bernoulliho rovnice (1),

$$p + \delta \frac{v^2}{2} = konst. \quad (1)$$

pak můžeme tyto mechanismy rozdělit na hydrostatické a hydrodynamické. Hydraulické lisy využívají prvního členu této rovnice, tudíž se řadí mezi hydrostatické. To znamená, že pracují na základě Pascalova zákona, tj. tlak vyvolaný vnější silou, která působí na kapalinu v uzavřené nádobě, je ve všech místech kapaliny stejný. [2]

V porovnání s mechanickými lisy jsou jejich výhody následující: [1]

- Možnost dosažení velmi vysokých sil.
- Velikost pracovního zdvihu je libovolná, je omezená pouze konstrukcí lisu.
- Rychlost pohybu beranu je nastavitelná.
- Regulace pracovní rychlosti nebo tlaku je plynulá.
- Jednoduchá a velmi rychlá reversace pohybu.
- Poměrně jednoduchá možnost automatizace celého procesu.
- Možnost nastavení maximální síly zdvihu v libovolném místě zdvihu.
- Snadné dosažení konstantního tlaku a rychlosti při tvářecím procesu.

Mezi jejich nevýhody řadíme: [1]

- Menší účinnost.
- Složitá a nákladná konstrukce pohonu a s tím související náročnější údržba.
- Nižší rychlost beranu.
- Obtížnější hledání poruchy.

U moderních konstrukcí hydraulických tvářecích lisů se daří tyto nevýhody eliminovat, proto se jejich podíl na trhu neustále zvětšuje. Hydraulické lisy lze rozdělit podle celé řady kritérií. Rozdělení podle způsobu použití se nachází v Tab 2). [1]

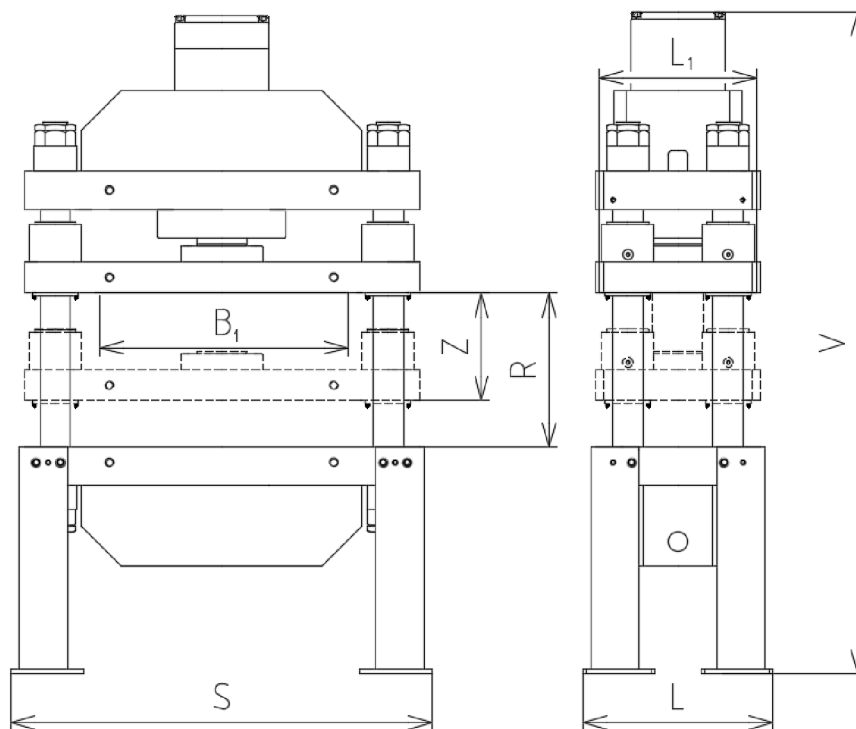
Tab 2) Rozdělení hydraulických lisů podle způsobu použití. [1]



## 2.2 Technické parametry hydraulických lisů

Technické parametry hydraulického lisu určují hlavní rozměry a pracovní rozsah stroje. Lze je rozdělit na: [1]

- **Rozměrové parametry**
- **Výkonové parametry**



Obr. 2) Rozměrové parametry hydraulických lisů.

Mezi základní rozměrové parametry patří: [1]

- **Rozevření  $R$  [mm]**
- **Zdvih  $Z$  [mm]**
- **Upínací plocha  $L_1 \times B_1$  [mm]**
- **Délka lisu  $L$  [mm]**
- **Šířka lisu  $S$  [mm]**
- **Výška lisu  $V$  [mm]**
- **Hmotnost stroje [kg]**

Mezi základní výkonové parametry řadíme například: [1]

- **Maximální lisovací síla [N]**
- **Zpětná síla [N]**
- **Lisovací rychlost [mm/s]**
- **Zpětná rychlost [mm/s]**

Zadanými hodnotami pro řešený návrh hydraulického lisu s topnými deskami jsou rozevření, zdvih, upínací plocha, maximální lisovací síla a lisovací rychlost. Ostatní parametry volíme s ohledem na celkovou funkčnost a výrobitelnost zařízení.

### 2.3 Hydraulické lisy s topnými deskami

Tyto lisy jsou nejčastěji používány v gumárenském průmyslu. Jsou konstruovány jako jednoúčelové zařízení, které jsou osazeny topnými deskami. Řídicí systém pak zajišťuje přesné řízení všech potřebných veličin lisovacího procesu jako například síla, čas, teplota apod.. Ukázka topného lisu se nachází na Obr. 3) a 4).



Obr. 3) *Hydraulický lis s topnými deskami prodáváný firmou PRESSHYDRAULIKA Opava. [3]*

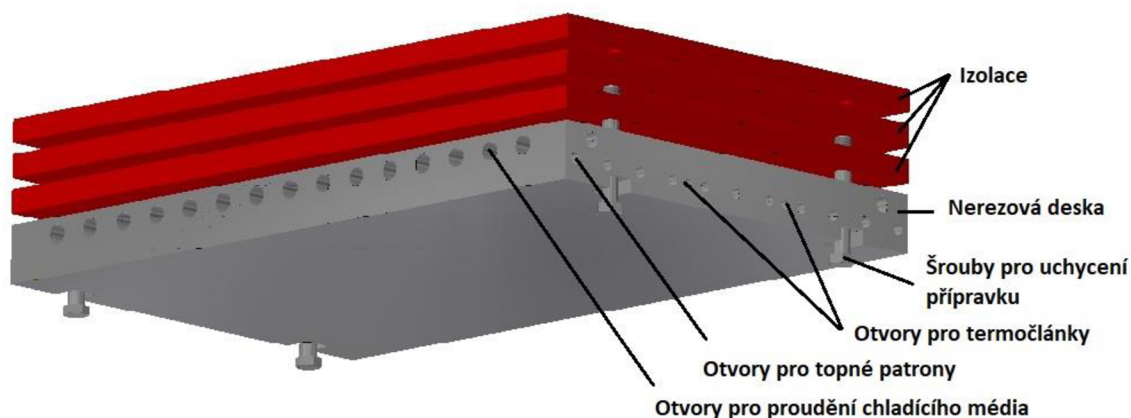
Běžný režim laminace spočívá ve vyhřátí lisovacích desek na požadovanou teplotu, vložení pomocných lisovacích desek s připraveným „sendvičem“ tvářeného materiálu. Předehřev tvářeného materiálu, tepelné zalisování za tlaku a následné vychlazení za tlaku. [4]



Obr. 4) *Hydraulický lis s topnými deskami vyráběný firmou OMC Machinery. [5]*

### 2.3.1 Nerezové topné desky

Na horní traverze rámu a na beranu jsou připevněny topné desky, které nahřívají a následně ochlazují lisovaný materiál. Jejich zjednodušený model se nachází na Obr. 5).



Obr. 5) Nerezové topné desky.

Vybrané topné desky mají rozměr 650x400x91,5, kdy pracovní plocha je 600x400 a jsou konstruovány na max. teplotu 250°C. Desky jsou složeny z těchto vrstev:

- **Nerezová deska** - pevnost 490-685 MPa, tloušťka 50mm
- **Vrstvy izolačních desek materiálu MONOLUX** - tloušťka 41,5 mm

MONOLUX jsou jemně porézní, velkorozměrné desky s vysokou pevností v ohybu i v tlaku. Velmi jemná a homogenní struktura na bázi kalcium silikátu bez azbestu vytváří základ pro výhodnou kombinaci tepelných a izolačních vlastností. Materiál je nesmáčivý neželeznými kovy, což předurčuje jeho hlavní použití, tj. v tavicích a slévárenských systémech slitin kovů: Al, Zn, Sn, Pb, Mg, apod. [4]

V nerezové desce jsou uloženy nerezové odporové topné patrony. Pro lepší přenos tepla mezi topnou patronou a nerezovou deskou je použita teplosměnná pasta. Kabeláž topných patron je vyvedena opacněrovanou hadicí. V nerezové desce jsou pak umístěné dva termočlánky, kdy jeden slouží k regulaci teploty desky a druhý snímač je kontrolní.

V nerezové desce jsou pak také vrtány kanálky pro ochlazování topné desky. Pro chlazení vyšších teplot se používá jako chladicí médium vzduch. Na dochlazování se používá jako médium voda. Na vstupech médií do desky jsou umístěné elektricky ovládané přípojovací ventily a na vstupu vody je ještě přidán elektricky ovládaný regulační ventil pro regulování rychlosti ochlazování topných desek. [3]

Ovládaní a nastavování příslušných hodnot (teplot, rychlost ochlazování) se provádí z klávesnice ovládacího panelu stroje.



## 3 STAV VĚDY ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

Základní principy fungování hydraulických lisů se nemění, ale v dnešní době je kladen důraz na automatizaci celého tvářecího procesu, zlepšování vlastností použitých materiálů a optimalizaci výrobních nákladů stroje za účelem maximálního zisku. S automatizací výrobního procesu souvisí zlepšení elektronického řízení stroje a uzpůsobení hydraulických lisů pro použití robotických manipulátorů.

### 3.1 Prvky hydraulického obvodu

S rozvojem hydraulických prvků, zejména proporcionální techniky s integrovanou elektronikou došlo k výraznému zkrácení časové náročnosti seřizování lisů. Tyto ventily nám umožňují řídit velikost tlaku a průtoku pracovní kapaliny úměrně velikosti elektrického řídicího signálu. Řídicí signál může být napěťový nebo proudový. Touto technologií můžou být vybaveny jak tlakové ventily tak rozvaděče. Výsledkem je zkrácení celkového času celého výrobního procesu. Příklad proporcionálního ventilu od společnosti PARKER se nachází na Obr. 6). [6]



Obr. 6) *Proporcionální ventil od společnosti PARKER. [6]*

### 3.2 Hydraulická těsnění a vodící prvky

Pro správnou funkci a provozní bezpečnost hydraulických válců je nutno vhodně zvolit těsnící a vodící prvky. Mezi hlavní požadavky patří především: [7]

- *Těsnost*
- *Dlouhá životnost*
- *Minimální otěr, nízké tření*
- *Dobrá elasticita při vysokých i nízkých teplotách*
- *Funkční bezpečnost*
- *Snášlivost s tlakovými kapalinami*
- *Jednoduchá montáž*
- *Cenově výhodná konstrukce*

Jako hlavní dodavatel byla zvolena společnost HENNLICH s. r. o. Tato společnost má mnoholetou zkušenost s utěšňováním kapalin a dlouhodobými zkouškami hydraulických těsnění.

### 3.2.1 Dynamická těsnost

Cílem správně zvoleného těsnění je tzv. dynamická těsnost. Tento jev popisuje proces, při kterém je olejový film přečerpán zpátky do tlakového prostoru posuvným pohybem pístnice. Tento olejový film, jehož tloušťka má velikost tisíců mikrometru, je závislý na zvoleném materiálu a jakosti povrchu ocelových částí, viskozitě tlakového média a relativní rychlosti mezi těsněním a kluznou plochou. Následkem nesprávně zvoleného těsnění je průsak, respektive „chod na sucho“ a tím i způsobené předčasné opotřebení hydraulických těsnění a vodících prvků. Pro správnou jakost povrchu kovových součástí je vhodné zvolit broušení nebo leštění jako způsob opracování. [7]

### 3.2.2 Všeobecná doporučení pro montáž

Splnění všech těchto doporučení nám zaručí správnou funkčnost použitých těsnících a vodících prvků. Kromě těchto zásad je potřeba dodržovat pravidla montáže jednotlivých prvků podle konkrétního doporučení pro každý prvek zvlášť. [7]

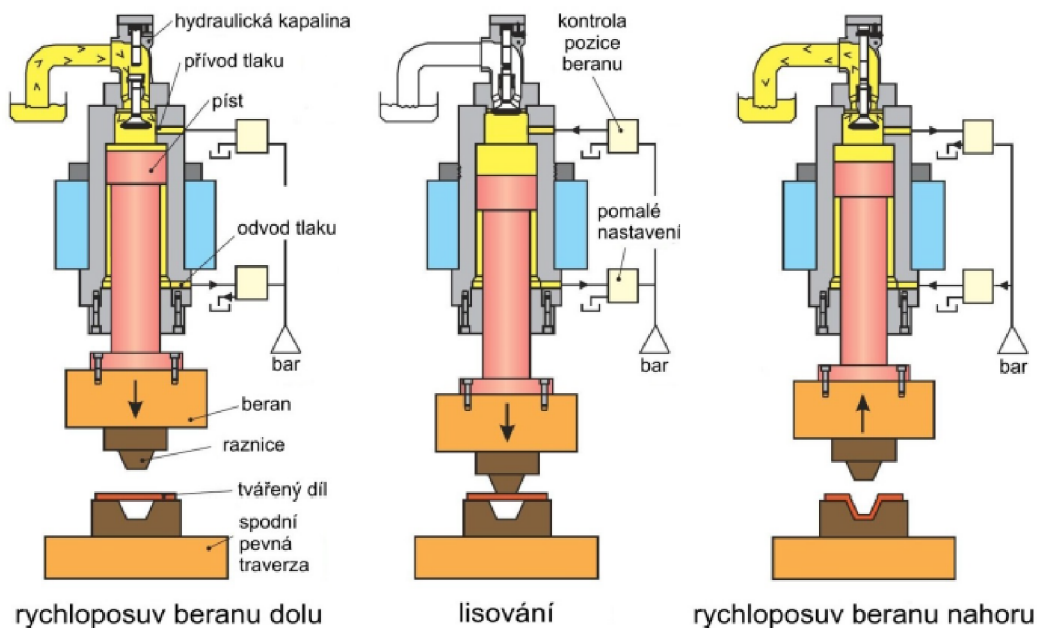
- Pístová a pístnicová vedení musí být dostatečným způsobem dimenzována. V opačném případě může dojít k poškození těchto součástí.
- Všechny hrany, které při montáži přichází do styku s těsněním, musí být bez otřepů a zaobleny.
- Montážní prostor musí být řádně očištěn od zbytků kovů a jiných nečistot. Zároveň nesmí jevit žádné známky poškození, jehož následkem by mohly vzniknout netěsnost hydraulického válce.
- V případě montáže prvku přes závit je vhodné použít ochranu nebo nástroj, který zabrání jeho poškození.
- Pomocné nářadí používané při montáži musí být hladké, bez ostrých hran a záseku, tak aby nedošlo k poškození kovových povrchů nebo jednotlivých vodících a těsnících prvků.
- Těsnící a vodící prvky musí být správně skladovány. Jejich vyjmutí z ochranného obalu se doporučuje až těsně před montáží.
- Kluzné plochy, těsnící a vodící prvky je vhodné před montáží řádně promazat.
- V případě montáži těsnících a vodících prvků v nízkých teplotách je vhodné je předeřhát na teplotu cca. 25 °C.
- Celý hydraulický obvod je nutné řádně vyčistit před uvedením do provozu. Většina poruch je způsobena nečistotami v hydraulické kapalině.



## 4 POHON HYDRAULICKÉHO LISU

### 4.1 Princip průběhu lisování

Základní princip průběhu lisování je zobrazen na Obr. 7). Celý cyklus lisování lze rozdělit na tři části. První je rychloposuv beranu do pracovní polohy, pak následuje samotné lisování a nakonec se beran vrací rychloposuvem do výchozí polohy. Tento cyklus se následně opakuje.



Obr. 7) Cyklus lisování pro hornotlaké provedení lisu. [8]

Tlak, který je vyvozený čerpadlem, působí na plochu pístu. Následkem je vznik síly, která se pomocí pístnice přenáší na beran. Beran se pohybuje velkou rychlostí do pracovní polohy. Během samotného lisování, kdy dochází k přetváření materiálu, se rychlost zmenší úměrně tomu, jak velkou odporovou sílu musí nástroj překonat. Poslední fáze je návrat beranu do výchozí polohy. To je dosaženo přivedením hydraulické kapaliny do prostoru mezikruží mezi pístem a pístnicí. [8]

## 4.2 Mechanismy pohonu hydraulických lisů

Základní zdroj energie v hydraulických lisech je tlaková energie kapaliny. Nejčastější používané hodnoty tlaku pracovní kapaliny jsou v intervalu od 20 do 40 MPa, ale v extrémních případech může tlak dosahovat až 120 MPa. Hydraulický pohon nám umožňuje nastavovat velikost sil, rychlost a pohyb pracovních mechanismů. [1]

Mechanismy pohonu hydraulických lisů lze rozdělit do tří základních skupin: [1]

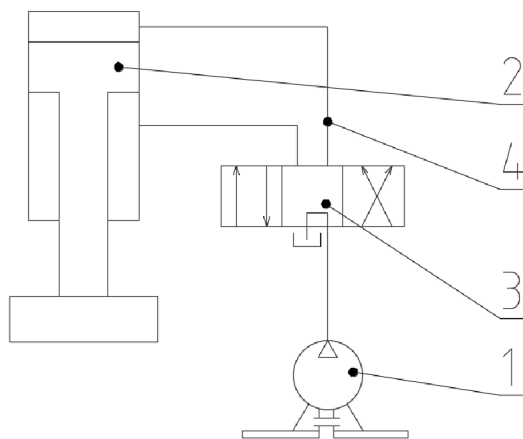
*a) Mechanismy s přímým pohonem (generátor)*

*b) Mechanismy s nepřímým pohonem (generátor a akumulátor)*

*c) Mechanismy s kombinovaným pohonem (kombinace dvou předchozích)*

Jako tlakové médium se dříve používala voda, dnes jsou to převážně emulze a hydraulické minerální oleje. Emulzní kapaliny jsou dostupné a nehořlavé. Různé hydraulické minerální oleje jsou naproti tomu dražší, ale mají výhodu, že fungují také jako mazivo. Dobré mazací vlastnosti mají rovněž příznivý vliv na životnost těsnění a ventilů. [1]

Ukázkové schéma pohonu hydraulického lisu se nachází na Obr. 8). Skládá se z čerpadla (1), hydraulického válce (2), rozdělovacího a regulačního zařízení (3), potrubí (4) a pomocných mechanismů.



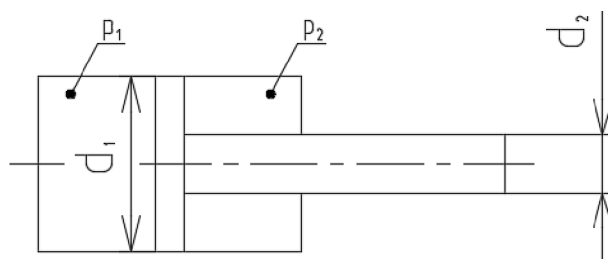
Obr. 8) Schéma pohonu hydraulického lisu. [1]

### 4.3 Hydromotor

Hydromotor je nezbytná součást každého hydraulického lisu. Podle normy ČSN 11900 je hydromotor zařazen do skupiny převodníků. To znamená, že je definován jako hydraulický prvek sloužící k převodu energie ze sloupce kapaliny na pevné části. Jinými slovy přeměňuje vstupní tlakovou energii na energii mechanickou. [2]

Velikost přenášeného výkonu závisí na součinu vstupního proudu a tlaku. U hydraulických lisů se téměř výhradně používají hydromotory s přímočarým pohybem, které mají charakter silových motorů. Podle způsobu zátěže převažuje buď řízení proudové nebo tlakové. [2]

Na následujícím obrázku Obr. 9) je znázorněné uspořádání hydromotoru s diferenciálním pístem s konstantním objemem. Jedná se o jedno ze dvou základních konstrukčních řešeních hydromotoru u hydraulických lisů. [9]



Obr. 9) Uspořádání hydromotoru s diferenciálním pístem. [3]

Toto uspořádání se vyznačuje dvěma činnými plochy pístu. To znamená možnost reverzního pohybu bez použití dalších pomocných hydromotorů. Nevýhodou je složitější konstrukce a nutnost těsnit jak píst tak pístnice. [9]

Pro návrh lisu je použita právě tato konstrukční varianta. Jako materiál pláště a pístnice je použita nelegovaná konstrukční ocel S355J0.



## 5 NÁVRH ZÁKLADNÍCH PRVKŮ HYDRAULICKÉHO OBVODU

Každý hydraulický mechanismus je složen z těchto hlavních částí: [2]

- a) *Zdroj tlakové energie (generátor)*
- b) *Spotřebiče tlakové energie (hydromotor)*
- c) *Regulátoru tlakové energie (většinou mechanicko-hydraulický převodník)*

### Upřesnění zadání

$F_L = 600 \text{ kN}$	Lisovací síla.
$v_L \cong 5 \text{ mm} * \text{s}^{-1}$	Lisovací rychlost.
$v_Z \cong 2 * v_L \text{ mm} * \text{s}^{-1}$	Zpětná rychlost.

### Volba čerpadla

Na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce bude použito čerpadlo PGH od společnosti Bosch Rexroth AG.

$p = 25 \text{ MPa}$  Navrhovaný tlakový stupeň.

Tyto čerpadla dosahují maximálních hodnot tlaku až 35 MPa. Není vhodné využívat maximálního potenciálu čerpadla, proto volíme pro první iteraci hodnotu pracovního tlaku 25 MPa. Výhodou nižšího tlaku je menší namáhání těsnění, snadnější zamykání tlaku a větší životnost hydraulického obvodu.

### Výpočet lisovacího průměru

Z požadované velikosti lisovací síly a zvoleného tlakového stupně je vypočten průměr pístu.

$$d_{1t} = \sqrt{\frac{F_L * 4}{\pi * p}} = \sqrt{\frac{600000 * 4}{\pi * 25}} = 174,8 \text{ mm} \quad \text{Teoretický průměr pístu.}$$

$$d_1 = 180 \text{ mm} \quad \text{Zvolený průměr pístu.}$$

Zaokrouhlí se na nejbližší vyšší podle typizovaného těsnění.

### Korekce zvoleného tlakového stupně

Pro zvolený průměr pístu je nutno přepočítat navrhovaný tlakový stupeň.

$$p_t = \frac{F_L}{\pi * d_1^2} = \frac{600000}{\pi * 180^2} = 23,58 \text{ MPa} \quad \text{Teoretický tlakový stupeň.}$$

$$p = 23,5 \text{ MPa} \quad \text{Zvolený tlakový stupeň.}$$

### Množství kapaliny dodané čerpadlem

Z požadované velikosti lisovací rychlosti je vypočten ideální průtok dodaný čerpadlem. Podle katalogu je poté vybrána velikost čerpadla splňující naše požadavky.

$$Q_{\text{čt}} = \frac{\pi * d_1^2}{4} * 60 * v_l * 10^{-6} = \frac{\pi * 180^2}{4} * 60 * 5 * 10^{-6}$$

$$Q_{\text{čt}} = 7,63 \text{ dm}^3 * \text{min}^{-1} \quad \text{Teoretické množství dodané čerpadlem.}$$

Dle katalogu volíme čerpadlo Size 6 (PGH series 2X/006..., s geometrickým objemem 6,5 cm<sup>3</sup>/ot).

$$Q_{\dot{c}} = 9,3 \text{ dm}^3 * \text{min}^{-1}$$

Množství dodané čerpadlem dle katalogu.

Předpokládáme použití čtyřpólového asynchronního motoru (cca. 1450 ot/min).

### Skutečná maximální lisovací rychlost

$$v_L = \frac{4 * Q_{\dot{c}} * 10^6}{60 * \pi * d_1^2} = \frac{4 * 9,3 * 10^6}{60 * \pi * 180^2} = 6,09 \text{ mm} * \text{s}^{-1} \quad \text{Skutečná lisovací rychlost.}$$

### Výpočet průměru pístnice

Z požadované velikosti zpětné rychlosti je vypočten průměr pístnice.

$$d_{2t} = \sqrt{d_1^2 - \frac{6,7 * 10^4 * Q_{\dot{c}}}{\pi * 2 * v_L}}$$

$$d_{2t} = \sqrt{180^2 - \frac{6,7 * 10^4 * 9,3}{\pi * 2 * 6,09}} = 126,95 \text{ mm} \quad \text{Teoretický průměr pístnice.}$$

$$d_2 = 125 \text{ mm} \quad \text{Zvolený průměr pístnice.}$$

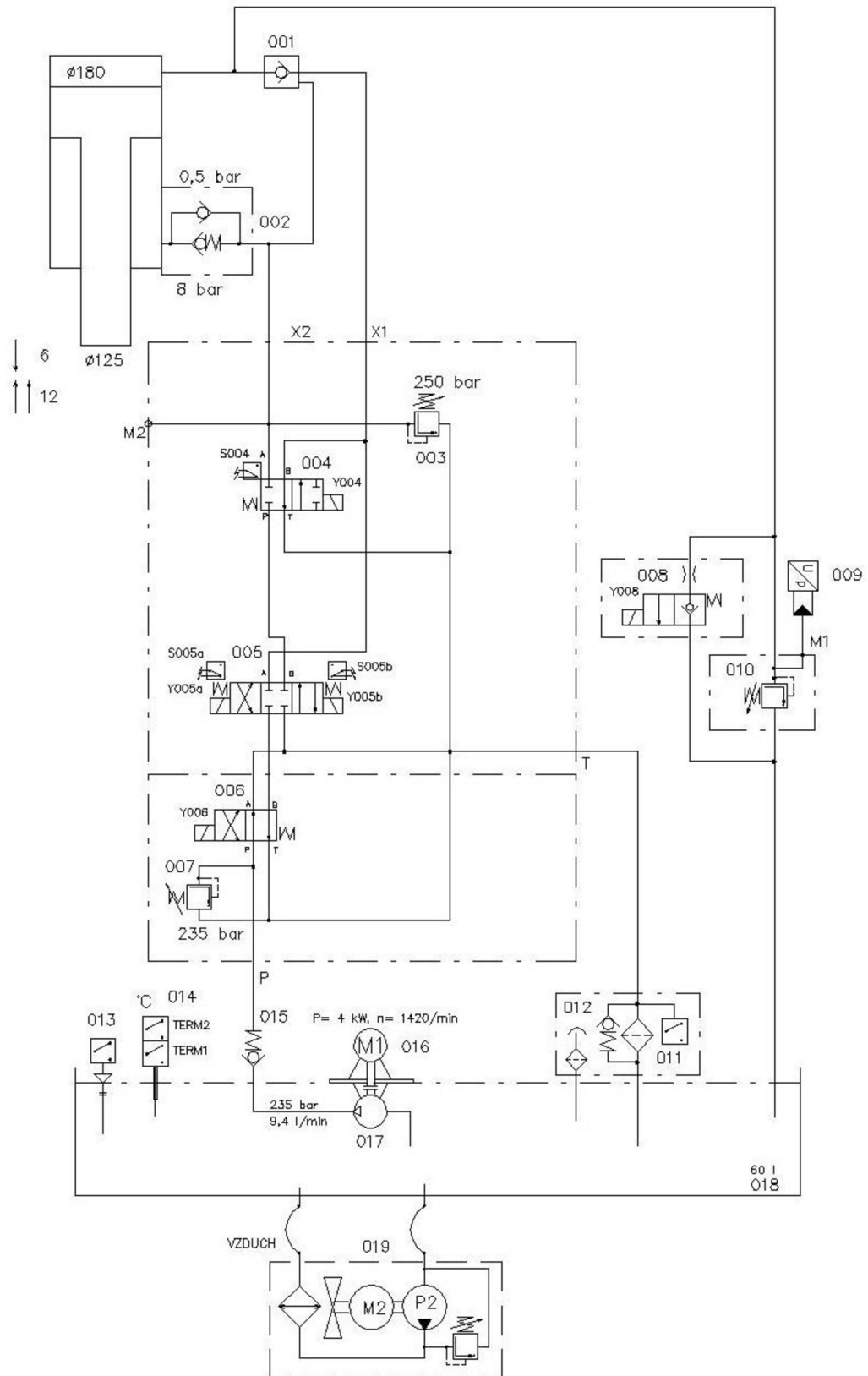
Zaokrouhlí se na nejbližší hodnotu podle typizovaného těsnění.

### Skutečná maximální zpětná rychlost

$$v_z = \frac{4 * Q_{\dot{c}} * 10^6}{60 * \pi * (d_1^2 - d_2^2)}$$

$$v_z = \frac{4 * 9,3 * 10^6}{60 * \pi * (180^2 - 125^2)} = 11,74 \text{ mm} * \text{s}^{-1} \quad \text{Skutečná zpětná rychlost.}$$

## 6 SCHÉMA HYDRAULICKÉHO OBVODU



Obr. 10) Návrh hydraulického obvodu.

## 6.1 Seznam použitých hydraulických prvků

Seznam použitých prvků a jejich funkce se nachází v následující Tab 3).

Tab 3) Použité hydraulické prvky.

Číslo prvku	Název	Funkce
001	Hydraulický zámek	Zamykání tlaku v hydraulickém válci
002	Vyvažovací ventil	Zabraňuje pádu beranu vlivem tíhové síly
003	Pojistný ventil	Zabraňuje multiplikaci tlaku
004	Bezpečnostní ventil s monitorovanou polohou	Nutný bezpečnostní prvek dle normy ČSN EN693 (redundantní zapojení)
005	Směrový ventil s monitorovanou polohou	Řídí směr pohybu beranu
006	Odlehčovací ventil	Zabraňuje zatěžování čerpadla při zapínání
007	Pojistný ventil	Omezuje maximální lisovací tlak
008	Dekompresní ventil s dekompresní clonou	Řízeně snižuje tlak v hydraulickém válci po ukončení lisování
009	Analogový snímač tlaku	Snímá lisovací tlak
010	Tlakový ventil	Nastavení pracovního tlaku
011	Zpětný filtr s indikací zanesení filtrační vložky	Filtrace hydraulického hydraulické kapaliny
012	Vzduchový filtr	Vyrovnávání tlaku v nádrži
013	Hladinoměr	Kontrola úbytku hydraulické kapaliny
014	Termostat	Kontrola teploty hydraulické kapaliny
015	Zpětný ventil	Ochrana čerpadla před případnými rázy
016	Elektromotor	Pohon čerpadla
017	Čerpadlo	Komprese hydraulické kapaliny
018	Nádrž	Zásobník hydraulické kapaliny
019	Vzduchová chladicí jednotka oleje	Chlazení hydraulické kapaliny



## 6.2 Popis hydraulického obvodu

Při zapnutí elektromotoru M1 začne čerpadlo 017 nasávat a dále čerpat kapalinu z nádrže. Ve výchozí poloze ventilu 006 se kapalina vrací přes filtr zpátky. Po sepnutí ventilu 006 kapalina proudí do směrového ventilu 005. V poloze B dále pokračuje přes bezpečnostní ventil 004 do hydraulického válce. Následuje lisovací proces neboli pohyb pístnice směrem dolů. Analogový snímač tlaku 009 a tlakový ventil 010 nám slouží k přesnému nastavení pracovního tlaku. Před zpětným pohybem pístnice je provedena dekomprese pomocí hydraulického ventilu s dekompresní clonou 008. Jakmile je provedena dekomprese, je směrový ventil 005 přepnut do polohy A. Kapalina je přivedena „pod píst“ a dochází k reverznímu pohybu pístnice. Vytlačovaná kapalina z pístu je vždy filtrována a vracena do nádrže, kde je připravena k dalšímu použití. Hydraulické zámky 001 a 015 umožňují udržování potřebného pracovního tlaku, bez nutnosti běžícího pohonu. Vyvažovací zařízení 002 zabraňuje samovolnému pohybu pístnice vlivem gravitační síly působící na pístnici, beran a topnou desku. Pojistné ventily 003 a 007 mají bezpečnostní funkci a to takovou, že zabraňují výskytu vyššího tlaku v hydraulickém obvodu, než je dovolená mez.

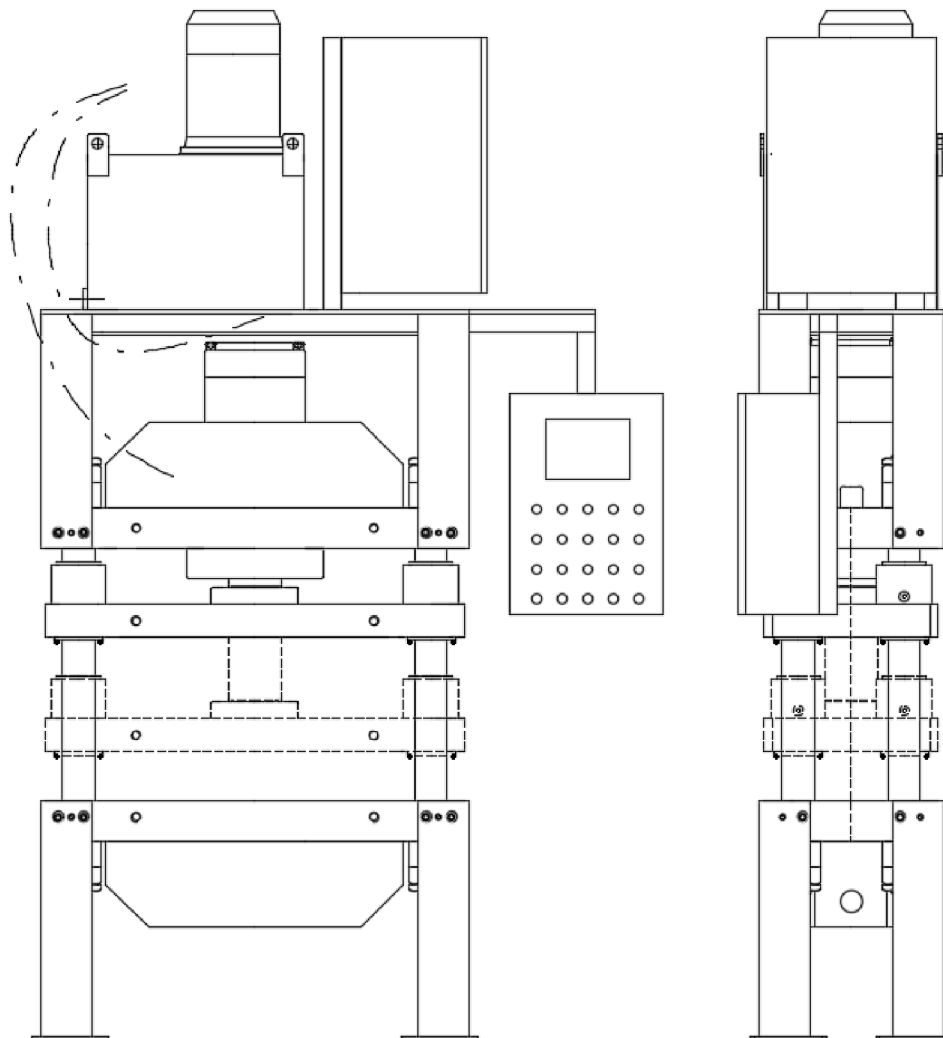
Prvky označené písmenem S (např. S006) jsou bezpečnostní snímače a prvky označené písmenem Y (např. Y006) představují elektromagnety, které způsobují přepínání stavů jednotlivých ventilů. Servisní měřicí místa jsou označena značkou M1 a M2.

Hydraulická nádrž je vybavena hladinoměrem 013, dvěma termostaty 014, chlazením 019 a vzduchovým filtrem 012, který kompenzuje pokles hladiny v nádrži. Při zvýšení teploty je pomocí prvního termostatu sepnuto chlazení. Při překročení kritické teploty, který je signalizován druhým termostatem, je celý hydraulický obvod odstaven. Chlazení je realizováno tepelným výměníkem a elektromotorem M2, jenž pohání čerpadlo P2 a větrák. Do nádrže je chlazení připojeno pomocí hadic.



## 7 NÁVRH USPOŘÁDÁNÍ LISU

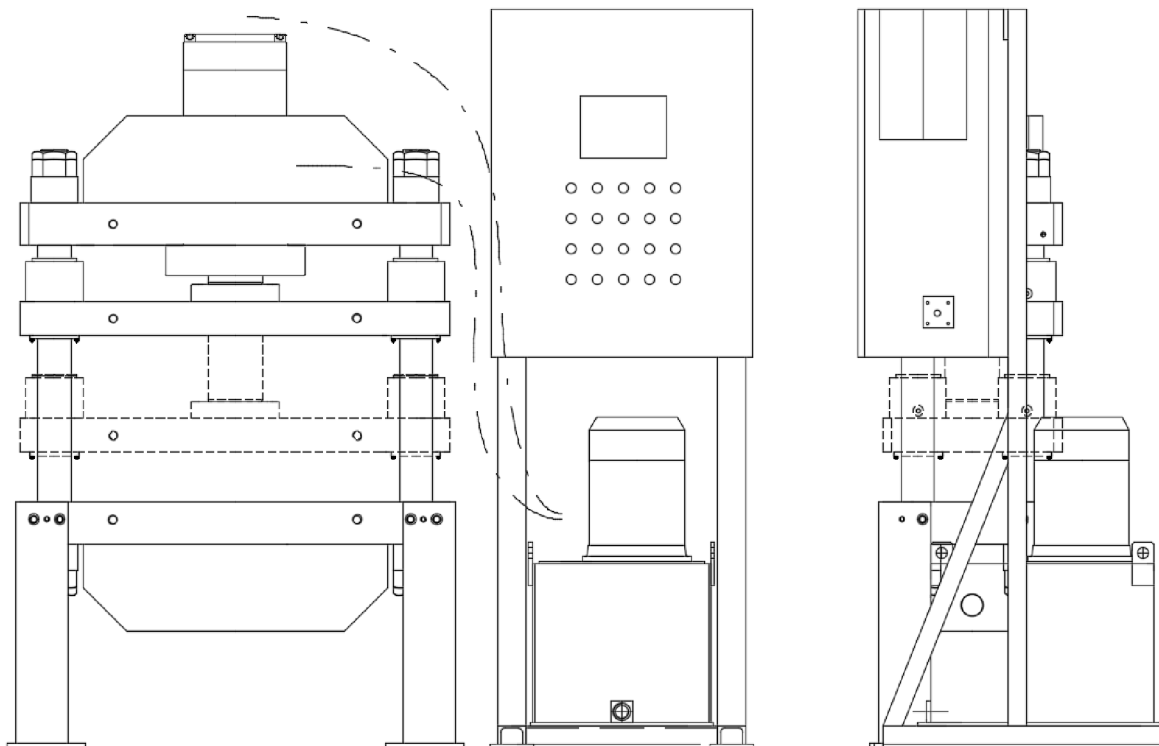
V rámci návrhu uspořádání hydraulického lisu byly zpracovány dvě varianty. Jejich schéma se nachází na Obr. 11) a Obr. 12).



*Obr. 11) První návrh uspořádání hydraulického lisu.*

První varianta Obr. 13) počítá s umístěním hydraulického pohonu a skříně pro elektrický obvod nad lisem. Ovládání je realizováno pomocí samostatného ovládacího panelu, který se nachází na pravé straně lisu. Toto uspořádání je velmi kompaktní a zabírá velmi malý zástavbový prostor.

Druhá varianta se nachází na Obr. 14). Hydraulický pohon je umístěn na pravé straně lisu. Nad ním se nachází skříň pro elektrický obvod s integrovaným ovládacím panelem. Toto uspořádání zabírá větší zástavbový prostor než první varianta. Její značnou výhodou je jednodušší přístup pro údržbu a případný servis hydraulického obvodu a elektroinstalace. Další nezanedbatelnou výhodou je umístění nádrže mimo prostor ohříváný unikajícím teplem z topných desek.



*Obr. 12) Druhý návrh uspořádání hydraulického lisu.*

Obě varianty mají své výhody i nevýhody, ani jedno provedení není nesprávné. Vzhledem k lepšímu přístupu k hydraulickému obvodu a elektroinstalaci a ochraně nádrže před unikajícím teplem je vybrána druhá varianta. Toto hledisko je upřednostněno, protože součástí zadání není omezení zástavbového prostoru.

## 8 NÁVRH HYDROMOTORU

$$F_L = 600 \text{ kN}$$

$$p = 23,5 \text{ MPa}$$

$$R_m = 470 \text{ MPa}$$

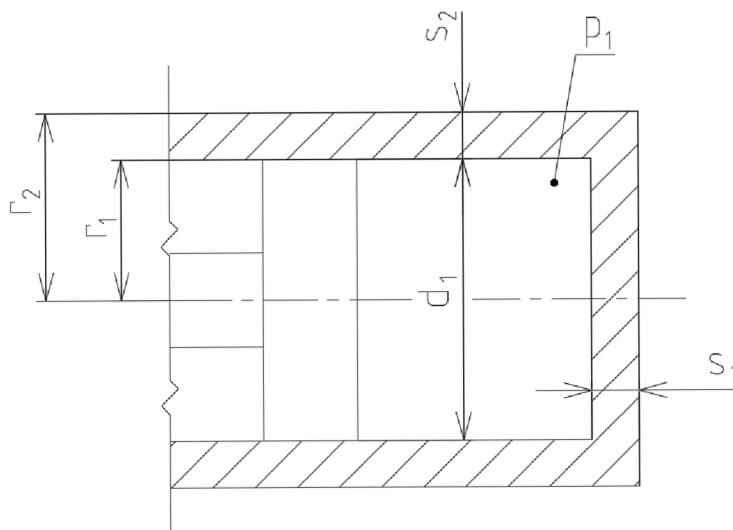
$$R_e = 285 \text{ MPa}$$

Lisovací síla.

Zvolený tlakový stupeň.

Mez pevnosti v tahu pro ocel S355J0.

Mez kluzu pro ocel S355J0.



Obr. 13) Schématické znázornění hydromotoru.

### Výpočet maximálního dovoleného napětí

$$k = 3$$

Zvolená bezpečnost.

$$\sigma_D = \frac{R_e}{k} = \frac{285}{3} = 95 \text{ MPa}$$

Maximální dovolené napětí.

### Výpočet minimální tloušťky stěny pláště

Při návrhu válce je nutno stanovit minimální tloušťku stěny.

$$\frac{r_2}{r_1} > 1,18 \quad (2)$$

Protože poměr (2) splňuje uvedenou podmínku, používáme pro výpočet tloušťky stěny vztah (3). [4]

$$s_2 = \frac{d_1}{2} * \left( \sqrt{\frac{\sigma_D + 0,4 * p}{\sigma_D - 1,3 * p}} - 1 \right) \quad (3)$$

$$\frac{r_2}{r_1} = \sqrt{\frac{\sigma_D + 0,4 * p_{max}}{\sigma_D - 1,3 * p_{max}}} = \sqrt{\frac{95 + 0,4 * 23,5}{95 - 1,3 * 23,5}} = 1,27$$

Vypočtený poměr.

$$s_2 = \frac{180}{2} * \left( \sqrt{\frac{95 + 0,4 * 23,5}{95 - 1,3 * 23,5}} - 1 \right) = 24,54 \text{ mm}$$

Vypočtená minimální tloušťka stěny.

$$s_2 = 28 \text{ mm}$$

Zvolená tloušťka stěny.

### Výpočet minimální tloušťky dna

Počítána jako spojitě zatížená deska, podle vzorce (4). [4]

$$s_1 = 0,405 * d_1 \sqrt{\frac{p}{\sigma_D}} \quad (4)$$

$$s_1 = 0,405 * 180 \sqrt{\frac{23,5}{95}} = \mathbf{36,26 \text{ mm}} \quad \text{Vypočtená minimální tloušťka dna.}$$

$$s_1 = \mathbf{90 \text{ mm}} \quad \text{Zvolená tloušťka dna.}$$

Tloušťka dna je zvolena třikrát větší než minimální možná především proto, že výpočet nepočítá s otvory nutnými pro vedení hydraulické kapaliny a odvzdušnění.

### Kontrola bezpečnosti pístnice

$$d_2 = \mathbf{125 \text{ mm}} \quad \text{Zvolený průměr pístnice.}$$

Pro kruhový průřez platí, že poloměr setrvačnosti je roven vztahu (5). [4]

$$i = \frac{d}{4} \quad (5)$$

$$i = \frac{125}{4} = \mathbf{31,25} \quad \text{Vypočtený poloměr setrvačnosti.}$$

Velikost vzpěrné pevnosti je závislá na hodnotě štíhlostního poměru (6). [4]

$$\lambda = \frac{l_0}{i} \quad (6)$$

$$l_0 = 0,5 * l = 0,5 * 509 = \mathbf{254,5 \text{ mm}} \quad \text{Redukovaná délka pístnice.}$$

$$\lambda = \frac{254,5}{31,25} = \mathbf{8,144} \quad \text{Vypočtený štíhlostní poměr.}$$

Protože štíhlostní poměr  $\lambda \leq 40$  stačí, když provedeme kontrolu na prostý tlak. [4]

$$\sigma_n = \frac{F_L}{\frac{\pi * d^2}{4}} = \frac{600000}{\frac{\pi * 125^2}{4}} = \mathbf{48,89 \text{ MPa}} \quad \text{Nominální napětí na pístnici.}$$

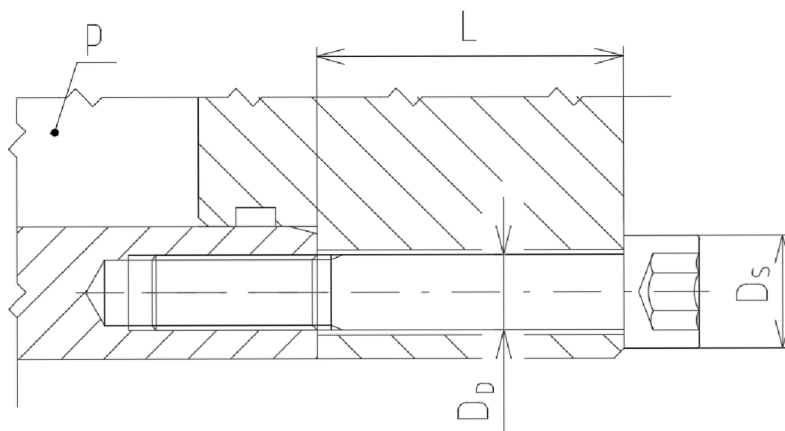
$$k = \frac{\sigma_d}{\sigma_n} = \frac{95}{48,89} = \mathbf{1,94} \quad \text{Vypočtená bezpečnost.}$$

Byl navržený hydromotor s vnitřním průměrem pístu 180 mm, tloušťkou stěny 28 mm, tloušťkou dna 90 mm a průměrem pístnice 125 mm. K horní traverze lisu bude připevněn pomocí 8 šroubů M20x2,5 jakostní třídy 10,9.

## 8.1 Výpočet utahovacího momentu pro šroubové spojení dna s pláštěm

Pro spojení dna s pláštěm hydraulického válce se používají šrouby s předpětím hlavně z důvodu lepšího přenosu cyklického zatížení, ale také proto, aby zatížení nesly všechny šrouby stejnoměrně. Pro toto spojení bylo použito 22 šroubů M16x2 jakostní třídy 10,9.

### Parametry šroubového spoje



Obr. 14) Schématické znázornění počítaného spoje.

$$p = 23,5 \text{ MPa}$$

Tlak působící na dno hydraulického válce.

$$L = 65 \text{ mm}$$

$$D_D = 16 \text{ mm}$$

$$D_S = 24 \text{ mm}$$

$$i = 22$$

Počet použitých šroubů.

$$P = 1 \text{ mm}$$

Stoupání závitu.

$$d_2 = 15,350 \text{ mm}$$

Střední průměr závitu.

$$d_3 = 14,773 \text{ mm}$$

Vnitřní průměr závitu.

$$S_3 = \frac{\pi \cdot d_3^2}{4} = \frac{\pi \cdot 14,773^2}{4} = 171,4 \text{ mm}^2$$

Plocha jádra šroubu.

$$E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ mm}$$

Modul pružnosti v tlaku.

### Tuhost šroubu

$$C_S = \frac{E \cdot S_3}{L} = \frac{2,1 \cdot 10^5 \cdot 171,4}{65} = 5,54 \cdot 10^5 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1}$$

### Tuhost příruby

$$C_P = \frac{E \cdot \pi}{4 \cdot L} \cdot \left[ \left( D_S + \frac{L}{2} \right)^2 - D_D^2 \right] = \frac{2,1 \cdot 10^5 \cdot \pi}{4 \cdot 65} \cdot \left[ \left( 24 + \frac{65}{2} \right)^2 - 16^2 \right] = 74,5 \cdot 10^5 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1}$$

### Síly ve šroubovém spoji

$$F = \frac{\pi}{4} \cdot d_1^2 \cdot p = \frac{\pi}{4} \cdot 180^2 \cdot 23,5 = 598 \text{ kN}$$

Celková síla působící na dno.

$$F_1 = \frac{F}{i} = \frac{598000}{22} = 27,18 \text{ kN}$$

Síla působící na jeden šroub.

$$F_0 = F_1 * \left(0,3 + \frac{C_P}{C_S + C_P}\right) = 27180 * \left(0,3 + \frac{74,5 * 10^5}{5,54 * 10^5 + 74,5 * 10^5}\right)$$

$$F_0 = 33,452 \text{ kN}$$

Potřebné předpětí na jeden šroub

$$\gamma = \tan^{-1}\left(\frac{P}{\pi * d_2}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{1}{\pi * 15,35}\right) = 1,18^\circ$$

Úhel stoupání šroubovice.

$$\varphi = \tan^{-1}\left(\frac{0,15}{\cos\frac{60^\circ}{2}}\right) = 9,83^\circ$$

Třecí úhel.

$$M_U = F_0 * \frac{d_2 * 10^{-3}}{2} * \tan(\gamma + \varphi) = 33452 * \frac{15,35 * 10^{-3}}{2} * \tan(1,18^\circ + 9,83^\circ)$$

$$M_U = 49,95 \text{ N} * m$$

Minimální utahovací moment.

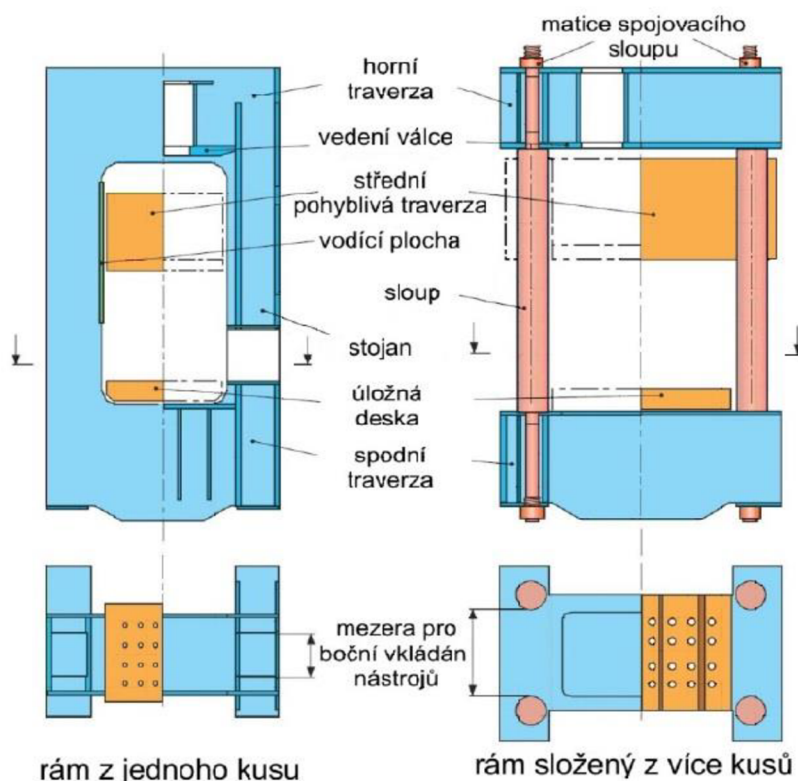
Šrouby spojující dno s pláštěm hydraulického válce je nutné utáhnout utahovacím momentem 50 Nm.



## 9 RÁM LISU

Rám lisu je jedním ze základních stavebních prvků lisů. Vede nebo nese ostatní prvky stroje. Slouží k zachycování sil vznikajících při daném technologickém procesu. Má bezprostřední vliv na rozměrovou a tvarovou přesnost výrobků a celkovou účinnost hydraulického lisu. [9]

Rámy je možno podle provedení rozdělit na otevřené a uzavřené. Otevřené rámy svým tvarem připomínají písmeno „C“. Vyznačují se lepším přístupem do pracovního prostoru, ale nedosahují tuhosti jako rámy uzavřené. Pro velké lisovací síly jsou proto používány lisy uzavřené. [9]



Obr. 15) Varianty uzavřeného rámu lisu. [8]

Na Obr. 15) jsou znázorněny dvě varianty uzavřeného rámu lisu. Rám lisu z jednoho kusu má složitější konstrukci na výrobu. Rám lisu skládaný z více kusů vychází vzhledem k velikosti a přístupu do pracovního prostoru mnohem lépe. Sloupy lisu jsou v tomto případě předepruty. [5]

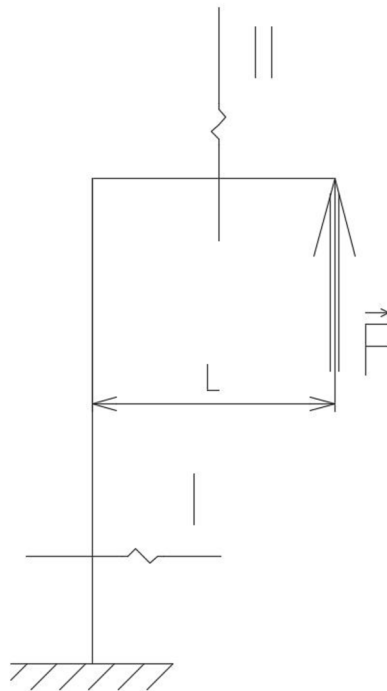
Zadaná varianta neboli vertikální čtyřsloupový rám nám zajišťuje dostatečnou tuhost, jednoduchou konstrukci a dobrý přístup do pracovního prostoru. Pro navrhovaný lis je to ideální varianta.

### Předpoklady výpočtu: [9]

- Sloupy jsou pevně ukotveny v horní a dolní traverze.
- Rám je zatížen osamělými silami působícími v jednotlivých bodech přímo na rámu.
- Neuvažujeme vzniklé napětí způsobené špatnou montáží lisu.
- Horní a dolní traverza jsou uvažovány jako nekonečně tuhé vůči sloupům.
- Excentricita síly působící v podélném směru není uvažována.

## 9.1 Výpočet minimálního průměru sloupu

Výpočet čtyř sloupového rámu je s použitím klasických metod pružnosti a pevnosti 18krát neurčitý. Využitím symetrie lisu dostáváme staticky určitou úlohu, kterou dále řešíme.



Obr. 16) Schématické znázornění zatíženého rámu po zjednodušení.

### Vstupní parametry

$$F = 150 \text{ kN}$$

Síla působící na jeden sloup.

$$L = 415 \text{ mm}$$

$$\sigma_D = 60 \text{ MPa}$$

Maximální dovolené napětí.

$$R_e = 285 \text{ MPa}$$

Mez pružnosti v tahu pro ocel S355J0.

Obvyklá hodnota dovoleného napětí se nachází mezi 80 až 100 MPa. Protože se nejedná o sériový výrobek a vzhledem k celkové ceně lisu, by byla výsledná úspora minimální, jsou sloupy mírně předimenzovány. Výhodou je větší tuhost rámu, lepší odolnost proti únavovému porušení a také vyšší tuhost vedení beranu lisu.

### Návrh průměru sloupu

Pro zjednodušení předpokládáme zatížení pouze tahem.

$$N_{II\max} = F = 150 \text{ kN}$$

Maximální normálová síla.

$$d_t = \sqrt{\frac{4 \cdot N_{II\max}}{\pi \cdot \sigma_D}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 150000}{\pi \cdot 60}} = 56,41 \text{ mm}$$

Teoretický minimální průměr sloupu.

$$d = 64 \text{ mm}$$

Zvolený průměr sloupu.

Tento rozměr je zvolen s ohledem na použitý metrický závit případně jeho výběh, který je určen pro montáž předepínacích matic. Minimální hodnota průměru nesmí být menší než teoretický minimální průměr sloupu.

## Kontrola bezpečnosti pro kombinované zatížení

$$N_{II\max} = F = 150 \text{ kN}$$

Maximální normálová síla.

$$M_{OII\max} = F * L = 62250 \text{ N} * \text{m}$$

Maximální ohybový moment.

$$S = \frac{\pi * d_t^2}{4} = \frac{\pi * 56,41^2}{4} = 2499,2 \text{ mm}^2$$

Obsah průřezu.

$$W_O = \frac{\pi * d_t^3}{32} = \frac{\pi * 56,41^3}{32} = 17622,5 \text{ mm}^3$$

Modul průřezu v ohybu.

$$\sigma_{nom} = \frac{N_{II\max}}{S} + \frac{M_{OII\max}}{W_O}$$

$$\sigma_{nom} = \frac{150000}{2499,2} + \frac{62250}{17622,5} = 63,55 \text{ MPa}$$

Nominální napětí ve sloupu.

$$k_k = \frac{R_e}{\sigma_{nom}} = \frac{285}{63,55} = 4,48$$

Bezpečnost vzhledem k MZP.

Je navrhnut sloup o průměru konců 64 mm. Uprostřed sloupu je osazení, které vymezuje vzdálenost mezi dolním a horním příčnickem.

## 9.2 Návrh beranu a traverz lisu

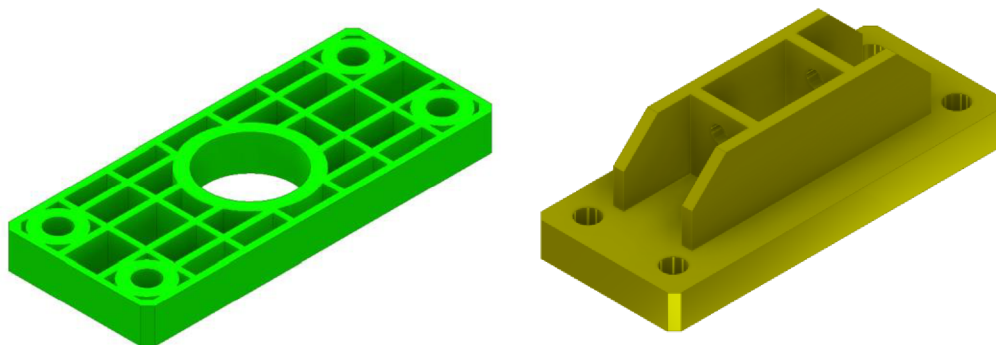
Na výběr máme dvě základní varianty konstrukce traverz a beranu lisu:

### a) Odlitek

Tento způsob výroby je vhodný pro sériovou produkci, protože má vysoké vstupní náklady. Litina velmi dobře pohlcuje vibrace, proto se hodí spíše pro mechanické lisy. V současné době se používá u hydraulických lisů jen velmi výjimečně.

### b) Svařovaná konstrukce

Svařovaná konstrukce je vhodná pro zakázkovou výrobu a v dnešní době je to nejčastěji používaná metoda výroby traverz a beranů pro hydraulické lisy.



Obr. 17) Varianty svařované konstrukce z jednoduchých profilů.

Na Obr. 17) jsou zobrazeny dvě svařované konstrukční řešení traverz a beranu lisu. Odlehčená varianta vlevo se vyznačuje menší hmotností při zachování tuhosti rámu lisu. Nevýhodou je složitější konstrukce a s tím spojená větší výrobní cena. Tato varianta je vhodná pro lisy větších rozměrů, kde úspora hmotnosti je znatelná. Nespornou výhodou varianty vpravo je jednoduchá konstrukce a výroba. Zmenšuje se výrobní čas a výrazně se snižuje riziko objevení vady svaru. Toto řešení nám zároveň zaručí mnohem větší možnosti uchycení přípravku. Mezi nevýhody patří větší hmotnost než u odlehčené varianty.

Vzhledem k tomu, že navrhujeme stacionární hydraulický lis a úspora hmotnosti není naše priorita, je vybrána varianta vpravo tedy jednoduchá plechová deska vyztužená žebry. Na beran lisu je použita pouze plechová deska.

Jako materiál je zvolena nelegovaná konstrukční ocel S235JR. Tato ocel je zaručeně svařitelná a běžně se používá pro výrobu strojních součástí.

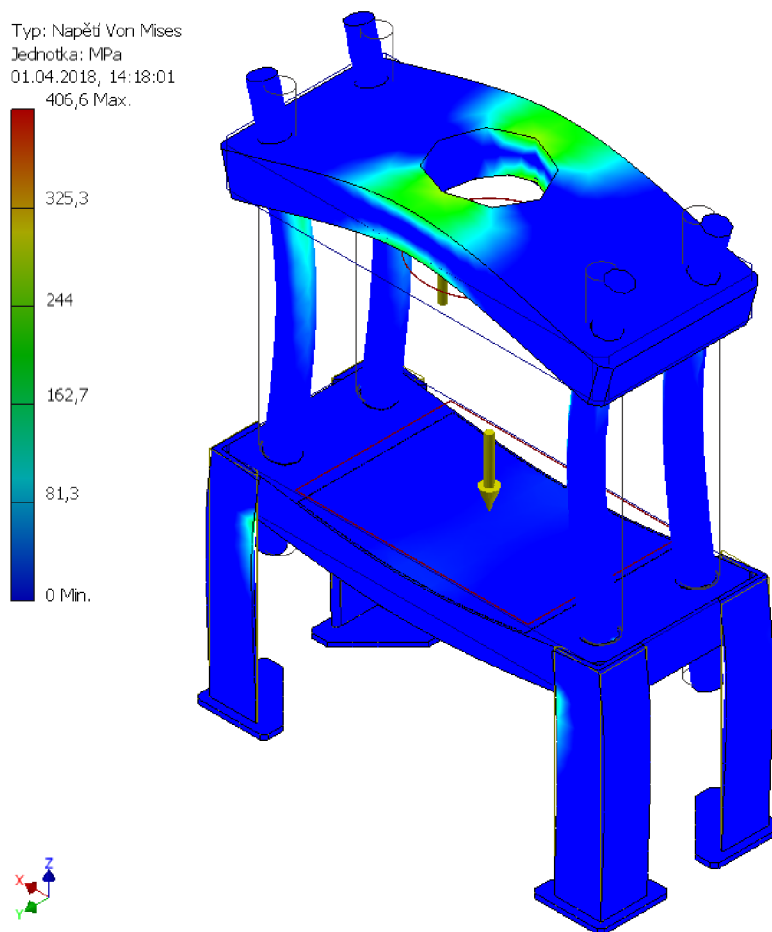
### 9.3 Optimalizace horní a dolní traverzy pomocí MKP

S pomocí programu Autodesk Inventor je proveden návrh a optimalizace horní a dolní traverzy. Je použita tato metoda, protože analytický výpočet pomocí základních metod pružnosti a pevnosti je velmi komplikovaný. Problém je přesně stanovit modul průřezu v ohybu pro jednotlivé profily.

Cílem je tvar profilu, jehož nominální hodnota redukovaného napětí nepřesáhne 80 MPa při maximální lisovací síle. Tento výsledek nám zaručí dostatečnou tuhost a odolnost proti únavovému porušení.

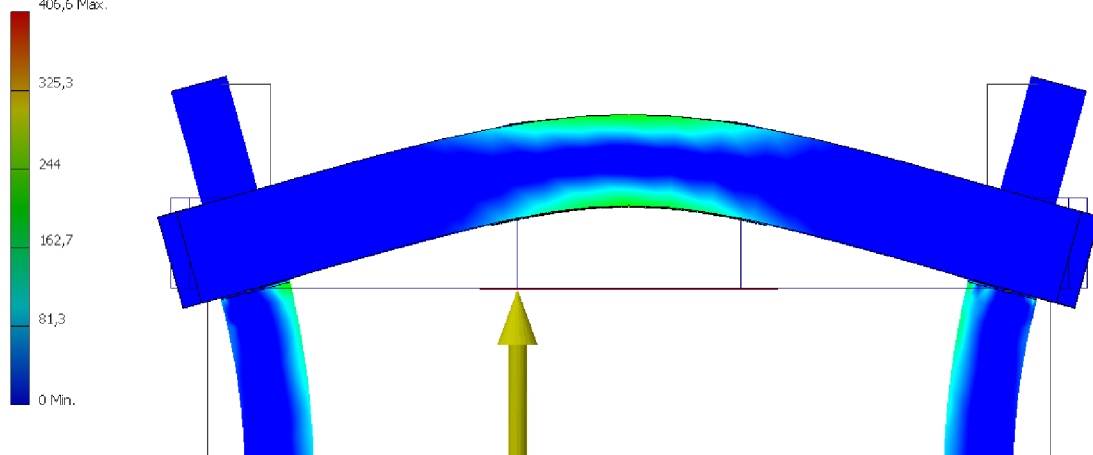
Okrajové podmínky zahrnují ukotvení lisu v podlaze a zatížení horní a dolní traverzy maximální lisovací silou. Tato síla je na obrázcích reprezentována žlutou šipkou.

Pro první návrh je použit polotovár válcované desky o rozměrech 1000x410x100 mm.



Obr. 18) Rozložení redukovaného napětí.

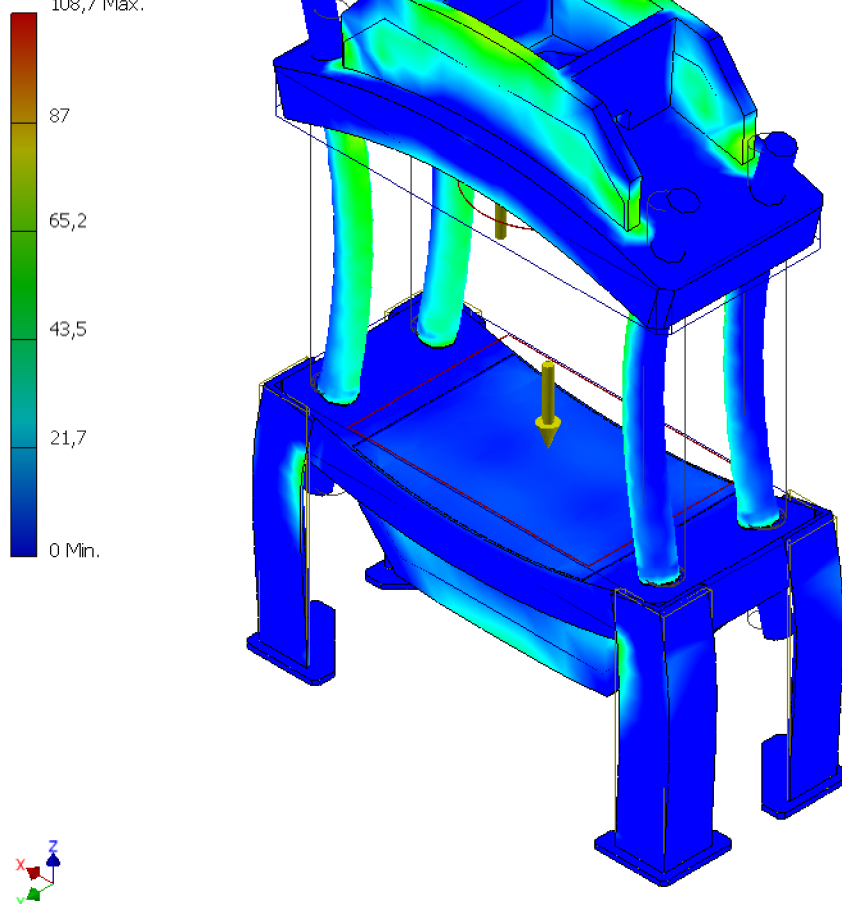
Typ: Napětí Von Mises  
 Jednotka: MPa  
 01.04.2018, 14:18:01  
 406,6 Max.



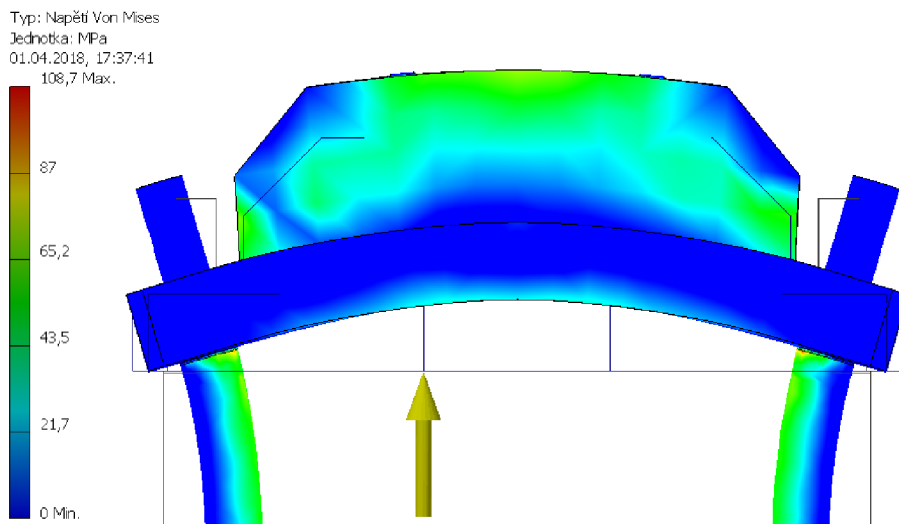
Obr. 19) Rozložení redukovaného napětí v horní traverze lisu.

Podle výsledků výpočtu MKP je redukované napětí větší než dovolená mez. Proto jsou přidány žebra na zpevnění obou traverz.

Typ: Napětí Von Mises  
 Jednotka: MPa  
 01.04.2018, 17:37:41  
 108,7 Max.

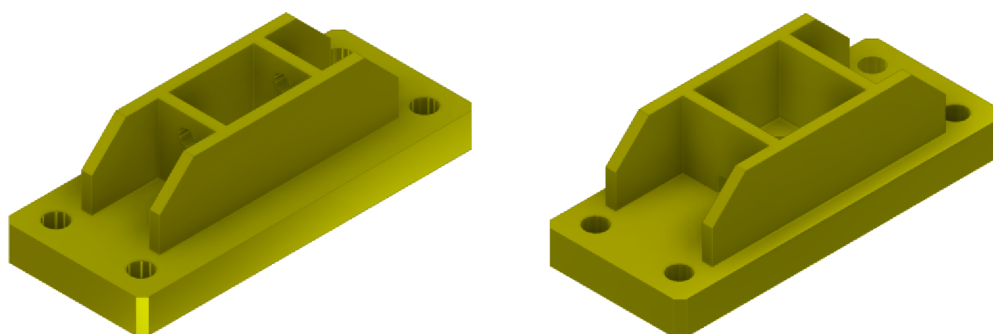


Obr. 20) Rozložení redukovaného napětí.



Obr. 21) Rozložení redukovaného napětí v horní traverze lisu.

Po zpevnění žebry nominální napětí nepřesahuje hodnotu cca 80 MPa. Navrhovaný tvar vyhovuje a zaručí nám dostatečnou tuhost rámu.



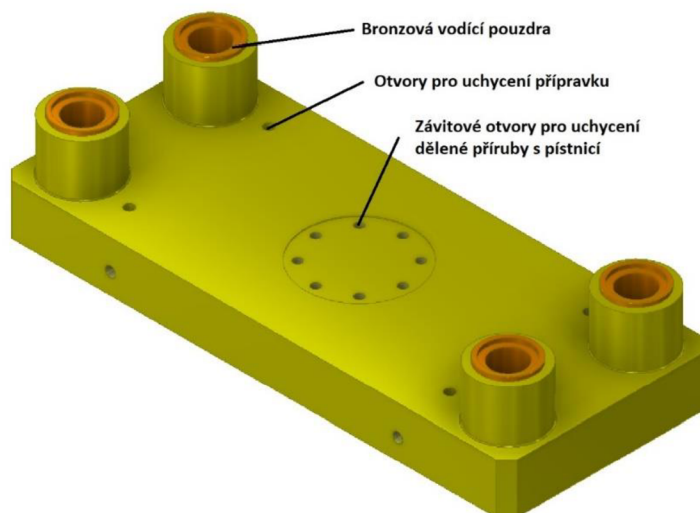
Obr. 22) Finální návrh dolní a horní traverzy.

Horní traverza obsahuje otvor pro průchod hydraulického válce a menší závitové otvory po jeho obvodu, které slouží k uchycení hydromotoru za přírubu pomocí šroubů k rámu lisu. V rozích jsou umístěny čtyři otvory pro průchod sloupů. Celá horní traverza je vyztužena dvěma podélnými a příčnými žebry. Tyto žebra jsou na desku přivařena.

Dolní traverza je stejně jako horní vyztužena žebry stejného tvaru a obsahuje čtyři otvory pro průchod sloupů. Místo otvoru pro hydromotor obsahuje otvory sloužící k uchycení nerezových topných desek včetně izolace. Z boku jsou umístěny závitové otvory pro šrouby, které slouží k montáži jednotlivých nohou lisu.

## 9.4 Beran hydraulického lisu

Beran lisu je pohyblivá část hydraulického lisu. Beran je vyroben z oceli 11375. Stejně jako dolní traverza obsahuje otvory sloužící k uchycení nerezových topných desek včetně izolace. Jeho pohyb je realizován pomocí hydraulického válce, který je upevněn v horním příčniku a jeho pístnice je s beranem spojena pomocí dělené příruby a dvanácti šroubů M16x2,5 jakostní třídy 10,9.



Obr. 23) Model beranu lisu.

V rozích beranu jsou umístěna kruhová bronzová vodící pouzdra, která zajišťují přesné vertikální vedení beranu na sloupech lisu. Pouzdra je nutno v pravidelných intervalech přimazávat tukem, který je na vodící plochy přiváděn pomocí drážek v pouzdrech.

## 9.5 Předepnutí sloupů lisu

K předepnutí sloupů jsou použity více šroubové předepínací matice Superbolt dodané společností NORD-LOCK Group. Tyto matice přímo nahrazují standartní šestihranné matice. Uvnitř matice se nachází závit, který slouží k vymezení polohy na šroubu. Předepínací síla je dosažena utahováním šroubů umístěných po obvodu matice požadovaným utahovacím momentem. Výhodou je jednodušší montáž i demontáž předepínacích matic. Šrouby po obvodu je nutné dotahovat postupně, aby nedošlo k deformaci závitu. [10]



Obr. 24) Více šroubové předepínací matice Superbolt od společnosti NORD-LOCK Group. [10]

### Výpočet utahovacího momentu

$$F = 150 \text{ kN}$$

Síla působící na jeden sloup.

$$p = 2$$

Předepnutí.

### Předepínací matice

$$M16x1,5$$

Závit šroubů.

$$i = 10$$

Počet šroubů předepínací matice.

$$P = 1,5 \text{ mm}$$

Stoupání závitu.

$$d_2 = 15,026 \text{ mm}$$

Střední průměr závitu.

$$\mu = 0,15$$

Součinitel tření.

### Síly ve šroubovém spoji

$$F_1 = \frac{F \cdot p}{i} = \frac{150000 \cdot 2}{10} = 30 \text{ kN}$$

Síla působící na jeden šroub.

$$\gamma = \tan^{-1} \left( \frac{P}{\pi \cdot d_2} \right) = \tan^{-1} \left( \frac{1,5}{\pi \cdot 15,026} \right) = 1,82^\circ$$

Úhel stoupání šroubovice.

$$\varphi = \tan^{-1} \left( \frac{0,15}{\cos \frac{60^\circ}{2}} \right) = 9,83^\circ$$

Třecí úhel.

$$M_U = F_1 \cdot \frac{d_2 \cdot 10^{-3}}{2} \cdot \tan(\gamma + \varphi) = 30000 \cdot \frac{15,026 \cdot 10^{-3}}{2} \cdot \tan(1,82^\circ + 9,83^\circ)$$

$$M_U = 46,47 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Minimální utahovací moment.

Šrouby na obvodu předepínací matice Superbold je nutné dotáhnout utahovacím momentem 47 Nm.



## 10 PROVOZ

Práce na stroji smí provádět jen způsobilé osoby. Tyto osoby musí splňovat zákonem stanovený věk a zdravotní způsobilost, musí být průkazně vyškolené, poučené a provozovatelem určené.

### 10.1 Technické parametry a základní rozměry hydraulického lisu

Jmenovitá lisovací síla	<b>600</b>	<i>kN</i>
Pracovní tlak	<b>23,5</b>	<i>MPa</i>
Hmotnost	<b>1750</b>	<i>kg</i>
Šířka lisu	<b>1765</b>	<i>mm</i>
Hloubka lisu	<b>709</b>	<i>mm</i>
Výška lisu	<b>1786</b>	<i>mm</i>
Výška pracovního prostoru – rozevření	<b>200</b>	<i>mm</i>
Zdvih beranu	<b>150</b>	<i>mm</i>
Velikost pracovního prostoru	<b>400x600</b>	<i>mm</i>
Lisovací rychlost	<b>6</b>	<i>mm/s</i>
Zpětná rychlost	<b>11,7</b>	<i>mm/s</i>

## 10.2 Údržba

Opatření pro údržbu je třeba provádět dnem uvedení stroje do provozu. Pravidelné denní kontroly provádí obsluha stroje při uvedení stroje do provozu. Kontroly v ostatních níže uvedených intervalech provádějí především pracovníci údržby. Zvýšenou pozornost je třeba věnovat kontrole bezpečnostních prvků stroje. Při všech činnostech údržby je nutné dodržovat příslušné bezpečnostní předpisy pro opravy a údržbu.

### NAVRHOVANÝ PLÁN PRŮBĚŽNÝCH KONTROL

#### Denně (8-16 provozních hodin):

- Kontrola bezpečnostních prvků.

#### Týdně (40-80 provozních hodin):

- Kontrola stavu oleje, případné doplnění.
- Kontrola těsnosti hydraulického rozvodu.
- Kontrola stavu elektrické kabeláže (poškození).
- Mazání vybraných prvků.
- Čištění lisu – především vedení beranu a jeho okolí, snímače polohy, ovládače, indikátory.

#### Měsíčně (300-400 provozních hodin):

- Kontrola teploty oleje při lisování.
- Kontrola funkce chlazení.
- Kontrola a dotažení všech mechanických a hydraulických spojů.
- Kontrola vůlí vedení beranu.

#### Ročně:

- Kontrola čistoty oleje.
- Komplexní kontrola funkce lisu a funkce bezpečnostních prvků.

Pro životnost hydraulického obvodu je důležité jeho čištění. Vzduchový a plnicí filtr na víku nádrže je nutno chránit před znečištěním. Při plnění nebo doplňování olejové náplně je vhodné používat plnicí jednotku s filtrační stanicí. Každých cca. 2000 provozních hodin je nutno provést výměnu hydraulického oleje a hydraulických filtrů. V případě používání lisu v prašném prostředí je vhodné provádět výměnu hydraulického oleje častěji.

## 11 ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce byl návrh hydraulického topného lisu se jmenovitou silou 600kN. V teoretické části práce je proveden krátký rozbor problematiky tvářecích strojů a hydraulických lisů. Součástí tohoto rozboru je například jejich členění nebo popis použitých nerezových topných desek pro hydraulické lisy.

V praktické části následuje výběr hydraulického čerpadla a výpočet základních parametrů hydraulického válce. Je navržen hydraulický obvod, který splňuje nejen požadavky na funkčnost, ale také požadavky evropských bezpečnostních norem.

Pro návrh uspořádání hydraulického lisu byly zpracovány dvě varianty. Vybrána byla ta, jejíž výhodou je jednodušší obsluha a případná údržba hydraulického lisu. Důležitým aspektem při výběru byla také nutnost umístit nádrž mimo prostor ohříváný teplem unikajícím z topných desek.

V dalším kroku byl proveden pevnostní analytický výpočet pro hydraulický válec, na jehož základě je vypracována výkresová dokumentace. Součástí návrhu hydraulického válce je provedení výpočtu velikosti utahovacího momentu pro spojení dna hydraulického válce s jeho pláštěm.

Při návrhu rámu hydraulického lisu byl možný výsledek limitován zadáním. Nicméně vybraný čtyřsloupový rám je pro tento typ navrhovaného lisu nejvhodnější. Horní a dolní traverza je navržena jako jednoduchá plechová deska vyztužená žebry především z ekonomických důvodů. V programu Autodesk Inventor proběhla optimalizace těchto součástí pomocí metody konečných prvků. Zvolené rozměry nám zaručí dostatečnou tuhost a životnost rámu. Pro předepnutí sloupů rámu lisu jsou použity speciální matice Superbold. Tyto matice jsou moderním řešením a značným způsobem ulehčí montáž.

V předposledním bodu je navrhnut jednoduchý plán údržby, který nám zaručí bezproblémový provoz lisu. Dalším krokem bylo vypracování výkresové dokumentace sestavení hydraulického lisu.

Navržený hydraulický lis by bylo možné vyrobit a následně prodávat na území Evropské unie po schválení příslušným orgánem. Hydraulické lisy tohoto typu jsou navrhovány specificky pro každého zákazníka, pro kterého bývá dnes hlavním kritériem cena a doba dodání a proto se neklade tak velký důraz na maximální optimalizaci jednotlivých dílů, která by protáhla celkový čas nutný pro zpracování konstrukčního návrhu nebo by výsledkem byla velká pracnost při výrobě.



## 12 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] NOVOTNÝ, Karel. *Výrobní stroje. Část I. - Tváření*. 2. vyd. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 1987.
- [2] RUDOLF, Bedřich a Miloslav KOPECKÝ. *Tvářecí stroje: základy výpočtů a konstrukce: vysokoškolská učebnice*. 2., opr. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1982.
- [3] *Presshydraulika, s.r.o.* [online]. [cit. 2018-05-19]. Dostupné z: <https://www.presshydraulika.cz/>
- [4] ŠEVČÍK, Arnošt. *Postup výpočtu hydraulického lisu*. Opava: Presshydraulika, 2004.
- [5] *Pilart, s.r.o.* [online]. [cit. 2018-05-19]. Dostupné z: <http://www.pilart.cz/>
- [6] *Parker* [online]. [cit. 2018-05-19]. Dostupné z: <http://www.parker.cz/>
- [7] *Hennlich, s.r.o.* [online]. [cit. 2018-05-19]. Dostupné z: <https://www.hennlich.cz/>
- [8] BEZDĚKOVÁ, Jitka. *Konstrukční návrh hydraulického lisu KHL100*. Plzeň, 2013. Diplomová práce. Západočeská univerzita v Plzni. Vedoucí práce Doc. Ing. Martin Hynek, Ph.D.
- [9] ČECHURA, Milan a Jiří STANĚK. *Tvářecí stroje: hydraulické lisy*. Plzeň: Západočeská univerzita, 1999. ISBN 80-7082-480-8.
- [10] *Nord-Lock Group* [online]. [cit. 2018-05-19]. Dostupné z: <http://www.nord-lock.com/cs/>



## 13 SEZNAM TABULEK A OBRÁZKŮ

### 13.1 Seznam tabulek

TAB 1) ZÁKLADNÍ TRŽDĚNÍ TVÁŘECÍCH STROJŮ S PŘÍMOČARÝM POHYBEM NÁSTROJE. [1] .....	16
TAB 2) ROZDĚLENÍ HYDRAULICKÝCH LISŮ PODLE ZPŮSOBU POUŽITÍ. [1].18	
TAB 3) POUŽITÉ HYDRAULICKÉ PRVKY. ....	32

### 13.2 Seznam obrázků

OBR. 1) ZÁKLADNÍ USPOŘÁDÁNÍ NÁSTROJE TVÁŘECÍHO STROJE S PŘÍMOČARÝM POHYBEM. [1].....	17
OBR. 2) ROZMĚROVÉ PARAMETRY HYDRAULICKÝCH LISŮ. ....	19
OBR. 3) HYDRAULICKÝ LIS S TOPNÝMI DESKAMI PRODÁVANÝ FIRMOU PRESSHYDRAULIKA OPAVA. [3] .....	20
OBR. 4) HYDRAULICKÝ LIS S TOPNÝMI DESKAMI VYRÁBĚNÝ FIRMOU OMC MACHINERY. [5] .....	20
OBR. 5) NEREZOVÉ TOPNÉ DESKY. ....	21
OBR. 6) PROPORCIONÁLNÍ VENTIL OD SPOLEČNOSTI PARKER. [6].....	23
OBR. 7) CYKLUS LISOVÁNÍ PRO HORNOTLAKÉ PŘÍMOČARÉ LISY. [8] .....	25
OBR. 8) SCHÉMA POHONU HYDRAULICKÉHO LISU. [1] .....	26
OBR. 9) USPOŘÁDÁNÍ HYDROMOTORU S DIFERENCIÁLNÍM PÍSTEM. [3] .....	27
OBR. 10) NÁVRH HYDRAULICKÉHO OBVODU. ....	31
OBR. 11) PRVNÍ NÁVRH USPOŘÁDÁNÍ HYDRAULICKÉHO LISU. ....	35
OBR. 12) DRUHÝ NÁVRH USPOŘÁDÁNÍ HYDRAULICKÉHO LISU. ....	36
OBR. 13) SCHÉMATICKÉ ZNÁZORNĚNÍ HYDROMOTORU. ....	37
OBR. 14) SCHÉMATICKÉ ZNÁZORNĚNÍ POČÍTANÉHO SPOJE.....	39
OBR. 15) VARIANTY UZAVŘENÉHO RÁMU LISU. [8].....	41
OBR. 16) SCHÉMATICKÉ ZNÁZORNĚNÍ ZATÍŽENÉHO RÁMU PO ZJEDNODUŠENÍ. 42	
OBR. 17) VARIANTY SVAŘOVANÉ KONSTRUKCE Z JEDNODUCHÝCH PROFILŮ.43	
OBR. 18) ROZLOŽENÍ REDUKOVANÉHO NAPĚTÍ. ....	44
OBR. 19) ROZLOŽENÍ REDUKOVANÉHO NAPĚTÍ V HORNÍ TRAVERZE LISU. ....	45
OBR. 20) ROZLOŽENÍ REDUKOVANÉHO NAPĚTÍ. ....	45
OBR. 21) ROZLOŽENÍ REDUKOVANÉHO NAPĚTÍ V HORNÍ TRAVERZE LISU. ....	46
OBR. 22) FINÁLNÍ NÁVRH DOLNÍ A HORNÍ TRAVERZY.....	46
OBR. 23) MODEL BERANU LISU.....	47

*OBR. 24) VÍCE ŠROUBOVÉ PŘEDEPÍNACÍ MATICE SUPERBOLT OD  
SPOLEČNOSTI NORD-LOCK GROUP. [10].....47*



## 14 SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha č.1. – Výkres sestavy hydraulického lisu
- Příloha č.2. – Výkres sestavy rámu hydraulického lisu
- Příloha č.3. – Výkres sestavy hydraulického válce
- Příloha č.4. – Kusovník sestavy hydraulického lisu
- Příloha č.5. – Výkres pláště hydraulického válce
- Příloha č.6. – Výkres pístnice hydraulického válce
- Příloha č.7. – Výkres víka hydraulického válce
- Příloha č.8. – CD s katalogy použitých prvků