



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

NÁVRH PNEUMATICKO - HYDRAULICKÉHO LISU

DESIGN OF PNEUMATIC - HYDRAULIC PRESS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Vladimír Tůma

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jan Pavlík, Ph.D.

BRNO 2019

Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Student:	Vladimír Tůma
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Stavba strojů a zařízení
Vedoucí práce:	Ing. Jan Pavlík, Ph.D.
Akademický rok:	2019/20

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:

Návrh pneumaticko – hydraulického lisu

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Navrhněte a konstrukčně zpracujte řešení pneumaticko – hydraulického lisu s max. pracovní silou cca 600 kN, rozsah pracovního prostoru v rozmezí 120 – 1000 mm.

Cíle bakalářské práce:

Rozbor současného stavu vědy a techniky u řešené problematiky.

Návrh a zdůvodnění zvoleného způsobu řešení zadaného úkolu.

Návrh variant řešení a zdůvodnění výběru konkrétního řešení.

Konstrukční návrh zvolené varianty – 3D model.

Výpočtová zpráva.

Výkresová dokumentace vybraných uzlů.

Závěr a doporučení pro praxi.

Seznam doporučené literatury:

SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R MISCHKE a Richard G BUDYNAS, VLK, Miloš, ed. Konstruování strojních součástí. Přeložil Martin HARTL. V Brně: VUTIUM, 2010. Překlady vysokoškolských učebnic. ISBN 978-80-214-2629-0.

KAMELANDER, Ivan. Tvářecí stroje. 2. opr. vyd. Brno: Vysoké učení technické, 1982.

ČECHURA, Milan a Jiří STANĚK. Tvářecí stroje: hydraulické lisy. Plzeň: Západočeská univerzita, 1999. ISBN 80-7082-480-8.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2019/20

V Brně, dne

L. S.

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

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

ABSTRAKT

Cílem této bakalářské práce je návrh malého pneumaticko - hydraulického lisu pro co možná nejširší dílenské a autoservisní využití. Začátek práce je věnován obecným faktům a dalším užitečným informacím k danému tématu, principům hydrauliky a průzkumu současného tuzemského i zahraničního trhu. V hlavní části práce je vyzdviženo několik možných variant řešení a samotný návrh lisu s požadovanými parametry včetně výpočtové a výkresové dokumentace. V práci je zahrnut postup výroby, montáže a celkového zprovoznění stroje.

ABSTRACT

The goal of this bachelor thesis is to design a small pneumatic-hydraulic press for the widest possible workshop and car repair shop usage. The beginning of the paper is devoted to general facts and other useful information regarding the topic, the principles of hydraulics and a research of the current domestic as well as foreign market. In the main part of the paper, several possibilities of solutions as well as the design of the press itself with all required parameters including the computational and drawing documentation are discussed. The processes of production, assembly and overall commissioning of the machine are also incorporated in the paper.

KLÍČOVÁ SLOVA

Hydraulický lis, hydraulika, konstrukce, výpočetní zpráva

KEYWORDS

Hydraulic press, hydraulics, construction, computational documentation

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

TŮMA, Vladimír. *Návrh pneumaticko - hydraulického lisu*. Brno, 2020. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/124084>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky. Vedoucí práce Jan Pavlík.

PODĚKOVÁNÍ

Největší poděkování patří panu Ing. Janu Pavlíkovi, Ph.D za jeho vedení a důležité rady v průběhu vypracování této bakalářské práce. Zejména za e-mailové konzultace v době pandemie, kdy nebyly možné osobní konzultace a za jeho rychlé odpovědi kterýkoli den v týdnu.

Dále bych rád poděkoval rodině za podporu v průběhu celého studia, které bylo zejména ve zkouškovém období náročné.

Nemohu vynechat ani poděkování mé přítelkyni za trpělivost při dopisování jednotlivých odstavců bakalářské práce.

V neposlední řadě děkuji všem zaměstnancům a studentům VUT FSI za vědomostní základ pro tvorbu této práce.

Závěrem děkuji i mým čtyřnohým přátelům za doplňování pozitivní energie při venkovních procházkách potřebné pro kompletaci práce.

ČESTNÉ PROHLÁŠ ENÍ

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

V Brně dne 26. června

.....

Vladimír Tůma

OBSAH

1	ÚVOD	11
2	HISTORIE	12
2.1	Historické objevy	12
2.2	Historické lisy	12
3	HYDRAULICKÉ LISY	13
3.1	Základní princip činnosti	13
3.2	Rozdělení hydraulických lisů	13
3.3	Základní součásti hydraulických obvodů	14
3.3.1	Oleje pro hydraulická zařízení	14
3.3.2	Zdroj tlakové energie	15
3.3.3	Rozvaděče	17
3.3.4	Přímočaré hydromotory	17
4	PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ	19
4.1	Výběr nového hydraulického lisu	19
4.1	Pracovní stůl	19
4.2	Příčník s hydraulickým válcem	20
4.3	Vracení pístu do výchozí polohy	20
4.4	Bezpečnost	21
5	NÁVRH VARIANT ŘEŠENÍ A ZDŮVODNĚNÍ VÝBĚRU KONKRÉTNÍHO ŘEŠENÍ	22
5.1	Varianta 1 - Zdvihačí zařízení	22
5.2	Varianta 2 – Přímočarý motor s plunžrem	22
5.3	Varianta 3 – Přímočarý motor s diferenciálním pístem	22
5.4	Multikriteriální metoda výběru	23
6	NÁVRH A ZDŮVODNĚNÍ ZVOLENÉHO ZPŮSOBU ŘEŠENÍ ZADANÉHO ÚKOLU	24
6.1	Základní předpoklady pro navrhovaný lis	24
6.2	Návrh hydraulického obvodu	25
6.2.1	Návrh hydraulického válce	25
6.2.2	Návrh pneumaticko – hydraulického agregátu	33
6.2.3	Návrh hydraulické hadice	33
6.3	Návrh rámu	34
6.3.1	Základna	35
6.3.2	Sloupy	35
6.3.3	Příčník	37
6.4	Návrh stolu	38
6.4.1	Návrh kladkového mechanismu	41
6.5	Porovnání bezpečností	43
6.6	Porovnání výpočtové zprávy s výsledky MKP	44
7	MONTÁŽ A OBSLUHA	46
7.1	Montáž konstrukce rámu	46
7.2	Montáž hydraulického válce	47
7.3	Montáž hydraulického okruhu	48
7.4	Obsluha	49
7.5	Technické údaje	49

8	ZÁVĚR.....	51
9	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....	54
10	SEZNAM TABULEK A OBRÁZKŮ.....	55
10.1	Seznam tabulek.....	55
10.2	Seznam obrázků.....	55
11	SEZNAM PŘÍLOH.....	56

1 ÚVOD

Vývoj hydrauliky značně napomohl k velkému technologickému posunu lidstva. Dnes se s hydraulickými zařízeními setkáváme každý den. Zejména v situacích, kdy je zapotřebí vyvinout mnohonásobně větší sílu, než jaké jsme sami schopni. Tuto potřebu můžeme sledovat v několika průmyslových odvětvích, jako například:

- automobilový průmysl při používání hydraulických brzd vozidel
- stavební průmysl při používání hydraulických výložníků stavební techniky
- strojný průmysl využívající právě tvářecích strojů, mezi které řadíme i hydraulické lisu.

Cílem této práce je zpracovat kompletní návrh konstrukce hydraulického lisu s pneumaticko – hydraulickým pohonem pracovního válce, který může mít široké spektrum využití. Bude zapotřebí ověřit správnost volených materiálů zpracováním výpočtové zprávy použitých materiálů. Výsledky konstrukčních výpočtů odhalí případné nedostatky konstrukce a dávají možnost tyto nedostatky odstranit. Po zjištění vhodných rozměrů materiálů je užitečné vytvořit 3D model lisu. 3D model je možné využít k vizualizaci pro koncového zákazníka i pro kontrolu analytických výpočtů pomocí metody konečných prvků (MKP).

2 HISTORIE

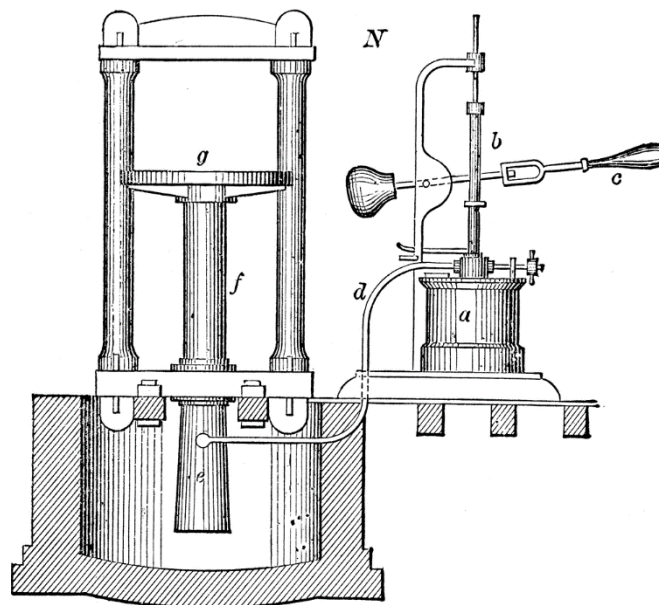
2.1 Historické objevy

Lidé využívali energii kapalin k vlastnímu užitku již v minulosti. Zpočátku se budovaly kanály pro zavlažování hospodářské půdy v Mezopotámii. Dále jednoduchá vodní čerpadla a kovací kladiva v Řecku, až po vodní kola v Anglii, která poháněla velké vodní mlýny, pily a železárenské závody. [1] Za jednoho z předních průkopníků hydrauliky je považován Archimédes. Vydal spis „*O tělesech plovoucích*“, jenž je považován za první odborný text této vědecké disciplíny. Dalším člověkem, který zajisté přispěl k rozvoji hydraulických zařízení, byl Blaise Pascal. V roce 1660 vyslovil stejnojmenný zákon o rovnoměrném šíření tlaku v kapalinách, na jehož základě stojí celá funkce novodobých hydraulických zařízení. [2]

2.2 Historické lisy

Prvním lisem, ve kterém bylo užito principu ručního hydraulického čerpadla, se stal hydraulický lis od Josepha Bramaha (viz. Obr. 1), který si jej nechal v roce 1795 patentovat. Tento patent můžeme vyhledat v Anglii pod číslem 2405. Koncepční uspořádání zůstalo neměnné a dalo podobu jeho nástupcům až do 19. století. [1]

Na přelomu 19. a 20. století se dostavil velký rozmach hydraulických lisů. Především díky nutnosti zpracování velkých kusů oceli s hmotností až 300 tun. Tyto kusy se pomocí lisů kovaly na požadovaný tvar, aby se co nejvíce podobaly finálnímu stavu. K takovým potřebám bylo nutné sestavit vysoký lis o velké síle. To se povedlo v roce 1928, kdy Firma Krupp v Německu postavila největší hydraulický lis na světě. Se třemi pracovními válci mohl pracovat silou až 150 MN, rovnající se hmotnosti 15 000 tun. Tento lis byl překonán až o 20 let později, kdy byla sestrojena 5 krát silnější varianta. [1]



Obr. 1) Hydraulický lis od Josepha Bramaha [10]

3 HYDRAULICKÉ LISY

3.1 Základní princip činnosti

Hydraulický lis, stejně jako všechna další hydraulická zařízení, funguje na principu Pascalova zákona (viz. rov. 1) - tedy na principu rovnoměrného šíření změny tlaku v kapalině. Změna tlaku je vyvozena působící vnější silou na kapalinu, která je v uzavřené nádobě. Uzavřenou nádobu může reprezentovat i soustava (minimálně dvou) spojených hydraulických válců. Válce obsahují písty s různou účinnou plochou. Pokud na jeden z nich začneme působit vnější konstantní silou, přeneše se síla kapalinou k druhému pístu. Tato síla je zvětšena (nebo zmenšena) dle potřeby o poměr ploch pístů. Tomuto nárůstu (nebo poklesu) se říká hydraulický převod (viz. rov. 2). [1]

$$p = p_x = p_y = p_z \quad (1)$$

Kde p je celkový tlak vyvolaný v kapalině a p_x , p_y a p_z jsou tlaky v jednotlivých osách souřadného systému.

$$F_2 = F_1 * \frac{S_2}{S_1} \quad (2)$$

Kde F_1 a F_2 jsou síly vyvinuté na jednotlivé písty. S_1 a S_2 jsou účinné plochy těchto pístů.

3.2 Rozdělení hydraulických lisů

Hydraulické lisy se odlišují od dalších tvářecích strojů (bucharů) tím, že při jejich činnosti je využíváno konstantního tlaku a rychlost práce obvykle nepřekročí 1 m/s. [1]

Lisy můžeme dělit z mnoha hledisek. Prvním z nich může být technologická operace, kterou lis provádí. Touto operací je myšleno například volné nebo zápusťkové kování, rovnání, pakětování, popřípadě vytlačování a další operace spojené s tvářením materiálu. [1]

Následným rozdělovacím parametrem je například tvar a konstrukce rámu nebo stojanu. Jejich konstrukce byla vyvinuta na základě požadavků obslužnosti. Jednostojanový, otevřený rám typu „C“ (viz. Obr. 2) má nejlepší přístupnost do pracovního prostoru stroje. Hlavní výhodou je vstup do volného prostoru ze všech tří stran. Dále se dělí na dvoustojanové otevřené „CC“, popř. dvoustojanové uzavřené „O“ nebo „A“, skříňové nebo sloupové (viz. Obr. 3). [1]

V neposlední řadě se lisy dělí podle způsobu, kterým vyvozují pracovní sílu. Nejjednodušším konstrukčním typem jsou lisy mechanické, které pracují na základě pohybových šroubů, klikových mechanismů nebo ozubených hřebenů a kol. Tento typ lisů však závisí převážně na fyzické síle obsluhy. Jejich obsluha může být tím pádem při delším užívání značně fyzicky namáhavá. Nejčastějším typem v běžné praxi jsou lisy hydraulické. Jejich hnacím mechanismem mohou být ruční hydrogenerátory, popř. hydrogenerátory poháněny asynchronním třífázovým elektromotorem nebo pneumatickým agregátem. [1]

Dalším hlediskem dělení lisů může být horizontální nebo vertikální provedení, počet pracovních válců, popřípadě varianta přímočarého hydromotoru.



Obr. 2) Jednostojanový otevřený rám typu "C"[11]



Obr. 3) Sloupový rám [12]

3.3 Základní součásti hydraulických obvodů

Nejjednodušší hydraulický obvod je tvořen součástmi, jejichž společným jmenovatelem je příslušná hydraulická kapalina - nejčastěji to bývá hydraulický olej, zdroj tlakové energie – hydrogenerátor, rozvaděč a hydromotor.

3.3.1 Oleje pro hydraulická zařízení

Hydraulická kapalina je základním stavebním kamenem každého hydraulického stroje. „Nejčastěji se jedná o oleje hydraulické, které jsou zařazovány do skupin olejů průmyslových.“ [3]. Spolu s motorovými oleji se řadí na přední příčky nejvíce využívaných skupin maziv. Jejich hlavním úkolem je přenos výkonu. Lépe řečeno přenos energie od zdroje tlakové energie (viz. kap. 3.3.2) k pracovnímu válci s co nejmenšími možnými ztrátami. [4]

Ztráty tlaku jsou způsobeny zejména třením oleje o stěny hydraulických hadic, popř. potrubí. Ztráty třením lze snížit co nejkratší průtočnou cestou od zdroje tlakové energie k pracovnímu válci, popř. snížením viskozity používaného oleje. Viskozita při 40 °C je charakteristickým ukazatelem při volbě oleje a často se objevuje již v názvu hydraulického oleje (např. PARAMOL HM 32, MOGUL HM 46, a další příklady uvedené v Tab 1) . K dalším ztrátám tlaku dochází v místech, kde jsou šroubení, kolena a další hydraulické prvky, které mění velikost průřezu průtočné plochy nebo směr rychlosti. Tyto ztráty jsou pouze lokální a jsou definovány pro každý hydraulický prvek experimentálně. [3]

Při volbě oleje je vhodné zohlednit jeho další vlastnosti jako je dobrá antikorozi ochrana, mazání pohyblivých částí, vysoká životnost a v neposlední řadě odvod tepla.

Tab 1) Příklady často používaných hydraulických olejů [3]

Název oleje	viskozita při 40 °C	viskozita při 100 °C	viskozitní index	bod vzplanutí	bod tuhnutí	klasifikace dle	
	[mm ² .s ⁻¹]	[mm ² .s ⁻¹]	[-]	[°C]	[°C]	ISO 6743	DIN 51524
PARAMOL HM 32	32	5,11	110	210	-40	HM	č.2, HLP
PARAMOL HM 46	46	6,44	110	220	-34	HM	č.2, HLP
PARAMOL HM 68	68	8,31	110	240	-30	HM	č.2, HLP
PARAMOL HV 32	32	6,05	170	210	-40	HV	č.3,HLPV
PARAMOL HV 46	46	8,5	165	220	-38	HV	č.3,HLPV
PARAMOL HV 68	68	10	160	220	-38	HV	č.3,HLPV
PARAMOL OLN-J 46 ¹⁾	46	--	95	220	-35	HH	--
MOGUL HM 32	32			205	-40	HM	č.2, HLP
MOGUL HM 46	46			220	-36	HM	č.2, HLP
MOGUL HM 68	68			225	-32	HM	č.2, HLP
MOGUL HV 32	32			195	-48	HV	č.3,HLPV
MOGUL HV 46	46			215	-40	HV	č.3,HLPV

3.3.2 Zdroj tlakové energie

Zdrojem tlakové energie rozumíme zařízení, které je schopno přeměnit dodávanou energii provozovatelem na tlakovou energii hydraulického oleje. V široké veřejnosti známé jako čerpadlo. V odborné terminologii taková zařízení nazýváme hydrogenerátory.

Nejjednodušší a také nejlevnější variantou hydrogenerátoru je ruční hydraulická pumpa. Funguje na principu stlačování malého pístku pomocí páky a tím je docíleno čerpání hydraulického oleje z nádrže do pracovního válce. Tato varianta je pro časté lisování v průběhu pracovní doby velmi neefektivní a proto se přistupuje k elektro - popřípadě pneumaticko - hydraulickým agregátům. Jejich nespornou výhodou je jejich pohodlnější obsluha a zrychlení pracovního procesu.

Hnací silou elektro - hydraulických agregátů (viz. Obr. 4) je třífázový elektromotor. Jeho výstupní hřídel je spojen s hnacím kolem nejčastěji zubového čerpadla, které je tvořeno jedním párem ozubených kol, mezi kterými proudí konkrétní kapalina. Tím je zajištěn kontinuální přísun hydraulického oleje pomocí hydraulických hadic do pracovního válce.



Obr. 4) Elektro – hydraulický agregát [13]

Pneumaticko – hydraulická varianta agregátu (viz. Obr. 5) využívá ke své činnosti přívod stlačeného vzduchu z kompresoru, který je převáděn na tlakový hydraulický tok kapaliny pomocí multiplikátoru. Pro správnou funkci je třeba dodávat kvalitní vzduch k tomuto určení. To znamená, že přiváděný vzduch musí být odkalený (zbaven kondenzované kapaliny) a mírně přimazávaný olejem pro pneumatická zařízení. Pokud by toto nebylo splněno, mohlo by docházet ke korozi, zadírání pohyblivých částí, vnikání a shromažďování hrubých nečistot uvnitř agregátu. Následkem by mohlo dojít k jeho poškození popř. úplnému zničení.

K této úpravě slouží jednotky na úpravu vzduchu (viz. Obr. 6) a skládají se z:

- Filtru - Měl by být v okruhu řazen jako první před ostatními pneumatickými prvky. Variabilně může být osazen redukčním ventilem a manometrem pro nastavení vhodného tlaku vzduchu, který vstupuje do zařízení. Nečistoty se kumulují ve vyjímatelné nádobce, kterou lze vyjmout a vyčistit.
- Maznice - Slouží k zásobě pneumatického oleje, určeného pro mazání zařízení olejovou mlhou. [8]



Obr. 5) Pneumaticko – hydraulický agregát [8]



Obr. 6) Úpravná jednotka vzduchu [9]

3.3.3 Rozvaděče

Rozvaděče tvoří hlavní řídicí prvek toku kapaliny a rozvádí ji do větví hydraulického okruhu. Nejrozšířenějším typem u strojů jsou rozvaděče s přímočarým šoupátkem. Mají nejširší spektrum využití v technické praxi. U velkých hydraulických lisů se používají ventilové rozvaděče, protože mají velmi dobré těsnící vlastnosti a dokážou přehradit velké průtoky. Naopak pro malé průtoky s velmi vysokým tlakem jsou vhodné sedlové rozvaděče s kuličkou. [3]

Dle české technické normy rozdělujeme šoupátkové rozvaděče do 3 skupin podle jejich parametrů - počet poloh, počet cest a způsob ovládání rozvaděče. [3]

3.3.4 Přímočaré hydromotory

Přímočaré hydromotory (někdy známé jako hydraulické válce) vyvozují přímočarý (translační) pohyb. Na rozdíl od rotačních hydromotorů neprodukují žádný točivý moment. V širokém spektru využití hydraulických válců je možné vidět jednočinné i dvojčinné válce s jednostrannou i průběžnou pístní tyčí. [3]

Nejběžnějším přímočarým hydromotorem, který se vyskytuje u hydraulických lisů, je dvojčinný přímočarý hydromotor s jednostrannou pístní tyčí. Výhodou je její hydraulické vysouvání i zasouvání. Je nutné si uvědomit, že v prostoru nad pístem, je větší plocha než pod ním, kde je plocha zmenšena o průřez pístní tyče. Z toho vyplývá, že se musí počítat s pomalejším zasouváním pístní tyče a to v poměru horní a dolní plochy pístu. [3]

„Přímočaré hydromotory se vyrábějí v širokém sortimentu, téměř v nepřeborném množství, velikostí, a to jak průměrů, tak i zdvihů. Jejich velmi dobré průtokové účinnosti (při dobrém těsnění prakticky jedna), jednoduchá konstrukce a spolehlivost je řadí k nejčastěji používaným hydromotorům. Svoje použití našly jak u stacionární tak i mobilní techniky v řadě odvětví strojírenské výroby.“ [3]

Další popis je uveden v kapitolách 5.1, 5.2 a 5.3.

4 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ

Na dnešním trhu se vyskytuje mnoho konstrukčních provedení hydraulických lisů. Pro použití v běžné dílenské a autoservisní praxi postačují stroje s lisovací silou do 1000 kN, což je ekvivalentní tíže do 100 tun. Jejich konstrukce je zejména svařovaná a sešroubovaná pomocí normalizovaných šroubových spojů. Můžeme u nich pozorovat široké spektrum servisních a výrobních operací. Využívají se na vylisování nebo naopak nalisování ložisek všech rozměrových řad, hřídelů, čepů, nábojů a dalších strojních součástí, kde je potřebný lisovaný spoj. Nejvíce rozšířenou variantou jsou dvou až čtyř sloupcové hydraulické lisy ve dvou výškových provedení podle velikosti pracovního prostoru. Nízké provedení se vyrábí zpravidla do 300 – 400 kN a je možno jej umístit na desku dílenského stolu. Naopak vysoká provedení jsou umísťována na podlahu a zajištěna pomocí kotevních šroubů. Předchází se tak nežádoucím pohybům vlivem vibrací. [5]

4.1 Výběr nového hydraulického lisu

Při výběru nového stroje je kladen velký význam zejména na 3 základní faktory. Prvním z nich je rozsah pracovního prostoru. K tomu je nutné znát technologické operace, které mají být na daném stroji prováděny. Druhým faktorem je lisovací síla a posledním je samozřejmě pořizovací cena zařízení. Zde je pneumaticko – hydraulická varianta „zlatou střední cestou“ mezi náklady vloženými do investice a návratností v podobě pracovní rychlosti. Pokud jsou cenově porovnány 500 kN hydraulické lisy OMCN, původem z Itálie, s různými variantami agregátů, je zjištěno, že pneumaticko – hydraulická varianta lisu je nepatrně dražší než ruční a výrazně levnější než s elektrickým agregátem. U dovozových strojů by měl být zohledněn možný problém s případným servisem, popř. dodáním náhradních dílů v případě poruchy. [6]

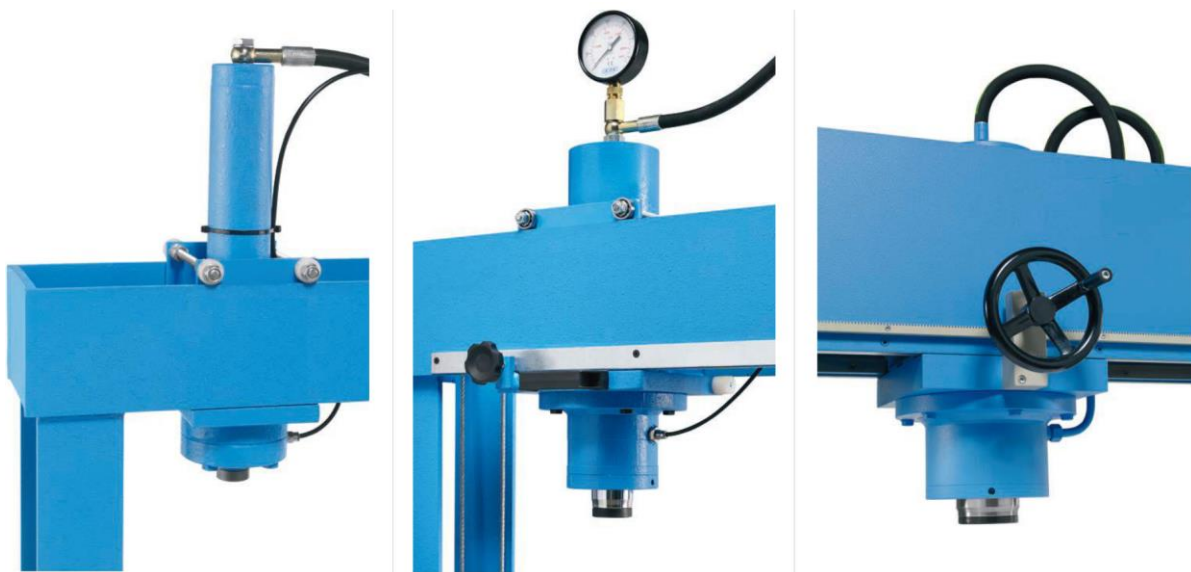
4.1 Pracovní stůl

Pracovní stůl bývá navržen tak, aby odolal tíhové síle lisovaného produktu i síle vyvinuté pracovním hydraulickým válcem. Z toho plyne, že musí být velmi masivní, aby tyto velké síly pojal bez výrazných tvarových deformací a předal je ideálně do celého rámu. Manipulace se stolem může být těžká a obtížná, zejména v případech, kdy je často výškově nastavován. Na trhu se objevuje několik provedení.

Pro nízká provedení lisů (kde nemusí být stoly tak masivní) může být stůl ustavován do požadované výšky manuálně. U vysokých provedení je nutné stůl zvedat pomocí mechanismů z důvodu velké hmotnosti. Levnější variantou je zvedání stolu pomocí řetězů. Řetězy se připevňují na pístní tyč pracovního válce. Vzdálenost, o kterou se stůl zvedne, musí být přímo úměrná zdvihu pístu. Tento způsob není vhodný na velký rozsah zvedání z důvodu velkého rozsahu pracovního stolu a poměrně nízkého zdvihu pístu. Řetězy je zapotřebí několikrát za sebou převázat. Tento způsob se vyskytuje hlavně u elektro – hydraulických lisů. Fyzicky náročnější variantou je zvedání stolu pomocí kladkového mechanismu. Díky ručnímu navijáku, ocelovému lanu a soustavě kladek je umožněno zvedat pracovní stůl do požadované výšky. Lano je navíjeno rotačním pohybem kliky, která je pevně spojena s navíjecím bubnem. Ten je umístěn pevně na rámu lisu. [6]

4.2 Příčník s hydraulickým válcem

U většiny konstrukcí hydraulických lisů se objevuje příčník (někdy nazývaný jako portál) s fixním hydraulickým válcem. Lisovací síla působí pouze ve svislé ose rámu lisu. Další možností (většinou příplatkovou) je bočně nastavitelný pojezd s hydraulickým válcem (viz. Obr. 7), který pojíždí po příčníku. Slouží hlavně k přenosu lisovací síly mimo svislou osu celého rámu. Funguje na principu zatížení a odlehčení pístu. Při zatížení se pojezd zapře o horní rám lisu. Síly se proto mohou rozložit do celého rámu. Zajišťuje se tím dostatečná pevnost a tuhost při pracovní činnosti. Během odlehčení se mezi příčníkem a pojezdem vyskytne vůle. Pojezd při tom dosedne na pojezdová kola a může pojíždět do obou směrů ve vodorovné rovině. [6]



Obr. 7) Bočně nastavitelné pojezdy hydraulických válců [6]

4.3 Vracení pístu do výchozí polohy

Při vertikální poloze pracovního válce je potřeba zajistit i reverzaci pístu. Ta slouží ke zpětnému pohybu pístu do výchozí polohy. Hlavní lisovací síla působí ve stejném směru jako síla tíhová. Není možné, aby se píst vrátil do výchozí polohy pouze vlastní tíhou, jako tomu je například u některých hydraulických zvedáků.

Řešením může být přidání minimálně jedné vratné tažné (nebo tlačné) pružiny umístěné vně (nebo uvnitř) pracovního hydraulického válce. Pružina se při lisování natahuje (nebo stlačuje) a minimálně oslabuje lisovací sílu, která je několikanásobně větší než síla od pružiny. Po přerušení dodávky tlakového hydraulického oleje a současného otevření vratné větve hydraulického okruhu se začíná olej ve válci vytlačovat zpět do nádrže. Vratná pružina má prostor vracet píst do výchozí pozice, kde je připraven pro další lisování.

U dalších lisů je vracení pístu zařízeno pneumaticky. Stlačený vzduch zajišťuje nejen hydraulický tlak kapaliny, ale i vracení pístu. Jakmile je přerušena dodávka hydraulického tlaku oleje a současného otevření vratné větve hydraulického okruhu, je vhnán stlačený vzduch do prostoru pod píst. To způsobí větší tlak v prostoru pod pístem. Hydraulický olej je vrácen z hydraulického válce zpět do nádrže a píst stoupá do výchozí pozice.

Zpravidla u elektro - hydraulických strojů je píst vracen pomocí dvojčinného pístu. Olej je směřován rozvaděčem do prostoru nad nebo pod píst. Současně musí být vratná větev hydraulického okruhu otevřená, aby mohl olej unikat z válce do nádrže.

U velkých lisů s jednočinným válcem a lisovací silou řádově několik tisíc kN je vracení pístu náročné vzhledem k masivní hmotnosti pracovního mechanismu. Je možné se setkat s pohyblivými traverzami. Z vrchní strany traverzy působí hlavní hydraulický válec a provádí technologickou operaci působením velké síly. Proti hlavnímu hydraulickému válci na spodní straně traverzy působí další rozměrově menší hydraulické válce, které slouží pouze k reverzaci pístní tyče hlavního hydraulického válce. [1]

4.4 Bezpečnost

Dnes je v rámci malých i velkých firem kladen důraz na bezpečnost a zdraví pracovníků. Pro tyto účely byly zkonstruovány různé bezpečnostní prvky. Ty zasáhly rovněž do konstrukce hydraulických lisů. Všechny bezpečnostní prvky jsou konstruované tak, aby v případě nedodržení bezpečnostních předpisů stroj v co nejkratší možné době zastavily nebo znemožnily uvedení stroje do provozu. Předchází se tak riziku ohrožení života nebo zdraví. Tímto se zabývá norma ČSN 21 0700 již od roku 1988. Bezpečný chod stroje pro člověka může být zajišťován pomocí tlakových spínačů na končetiny, na kterých musí obsluha stát, popř. je držet ve stlačené poloze (viz. Obr. 2). Dále se můžeme setkat s hrazdami, zábranami nebo ocelovými sítěmi, aby nedocházelo ke vstupu do pracovního prostoru, popřípadě plexisklo proti odlétávajícím částem z lisovaného kusu. Běžnou praxí je, že lidé si často neuvědomují míru rizika spojenou s používáním stroje. Často je rychlost a usnadnění práce upřednostňována před bezpečností a i kvůli tomu jsou v mnoha případech svépomocí vyřazovány nebo obcházeny zásadní bezpečnostní prvky. [7]

5 NÁVRH VARIANT ŘEŠENÍ A ZDŮVODNĚNÍ VÝBĚRU KONKRÉTNÍHO ŘEŠENÍ

Na základě získaných poznatků z rešeršní části jsou navrženy varianty řešení hydraulického válce a pomocí multikriteriální metody vybrána ta nejvhodnější.

5.1 Varianta 1 - Zdvihací zařízení

Jednou z variant řešení konstrukce je nákup již hotové hydraulické soustavy. Místo vyrobeného hydraulického válce použijeme pneumático – hydraulické zdvihací zařízení - někdy známé jako panenka. Je to kompaktní zařízení. Nevýhodou je její malý zdvih. Ten se zpravidla kompenzuje několika nástavci, které prodlužují pracovní výšku zdvihu. Vracení je realizováno vlastní tíhou břemene a následně pomocí vnějších pružin. Dalším omezením je nedostatečná zvedací síla pro použití na 600 kN lisu.

Dnes je možno zakoupit panenku, která využívá teleskopického pracovního pístu. Hydraulický zdvih je více než dostatečný. Potýká se ale s problémem postupného zmenšování průměru jednotlivých pístů, které do sebe zapadají. Čím více pístů je vysunuto, tím menší je zvedací síla - v našem případě lisovací síla. Proto je dostupná lisovací síla pouze na $\frac{1}{4}$ celkového zdvihu. Tato varianta je navíc výrazně finančně náročnější na nákup a přizpůsobení konstrukce lisu.

5.2 Varianta 2 – Přímočarý motor s plunžrem

Výrobně jednodušší i cenově levnější je varianta bezpístového řešení. Zde je použit přímočarý hydromotor s plunžrem. Nespornou výhodou plunžru je jeho antikoroziční ochrana. Ve výchozí pozici je celý potopen v oleji, který ho chrání před přístupem korozních vlivů. Hydraulický válec je utěsněn pomocí ucpávek. Velikost a počet ucpávek je stanoven dle pracovního tlaku a průměru plunžru. [1] Na rozdíl od varianty s diferenciálním pístem (uvedené v kap. 5.3) je znemožněno vracení plunžru do výchozí polohy pomocí stlačeného vzduchu. Řešením by bylo přidání vratných pružin.

5.3 Varianta 3 – Přímočarý motor s diferenciálním pístem

Výrobně složitější variantou je užití přímočarého hydromotoru s diferenciálním pístem. Hydromotor tvoří píst a pístní tyč. Píst zajišťuje svojí plochou dostatečnou lisovací sílu, kterou vytlačuje pístní tyč ven z hydraulického válce. Pístní tyč je při funkci namáhána na tlak a vzpěr. Velkou výhodou je možnost libovolné reverzace pístu. Z tohoto důvodu je pro správnou činnost nutno těsnit jak píst, tak pístní tyč.

5.4 Multikriteriální metoda výběru

Pro výběr varianty je použita multikriteriální metoda, ve které jsou zohledněna kritéria cenové dostupnosti, možnosti reverzace pístnice, zástavbové rozměry a ovladatelnost. Bodové hodnocení je zadáno od 1 do 5, kde 5 je nejlepší hodnocení. Největší váha kritéria je dána výrobním nákladům a času pracovního cyklu, protože jsou důležité pro konečného zákazníka.

Tab 2) Multikriteriální metoda výběru

	Výrobní náklady	Servisní náklady	Možnost přestavby	Náročnost montáže	Čas jednoho cyklu	Reverzace pístnice	Součet
Váha kritéria	3	1	1	1	3	2	
Varianta 1	1	3	2	3	4	3	29
Varianta 2	5	5	4	5	4	2	45
Varianta 3	3	4	4	4	5	5	46

Dle Tab 2) nejlépe vychází Varianta 3 – Přímočarý motor s diferenciálním pístem s dosaženým bodovým součtem 46. Tento součet je dosažen zejména širokými možnostmi reverzace pístnice a času jednoho plného zdvihu a vrácení pístnice zpět. V porovnání s plunžrem je výrobně náročnější.

6 NÁVRH A ZDŮVODNĚNÍ ZVOLENÉHO ZPŮSOBU ŘEŠENÍ ZADANÉHO ÚKOLU

Na základě volby řešení hydraulického válce je přistupováno k celkovému návrhu způsobu řešení. V následujících podkapitolách jsou rozepsány jednotlivé komponenty lisu – popis součástí, technické parametry a vymodelovaný obrázek z 3D modelu. Pro přehlednost je k počítaným součástem přiložen i výtah z výpočtové zprávy, kde jsou popsány jednotlivé veličiny.

6.1 Základní předpoklady pro navrhovaný lis

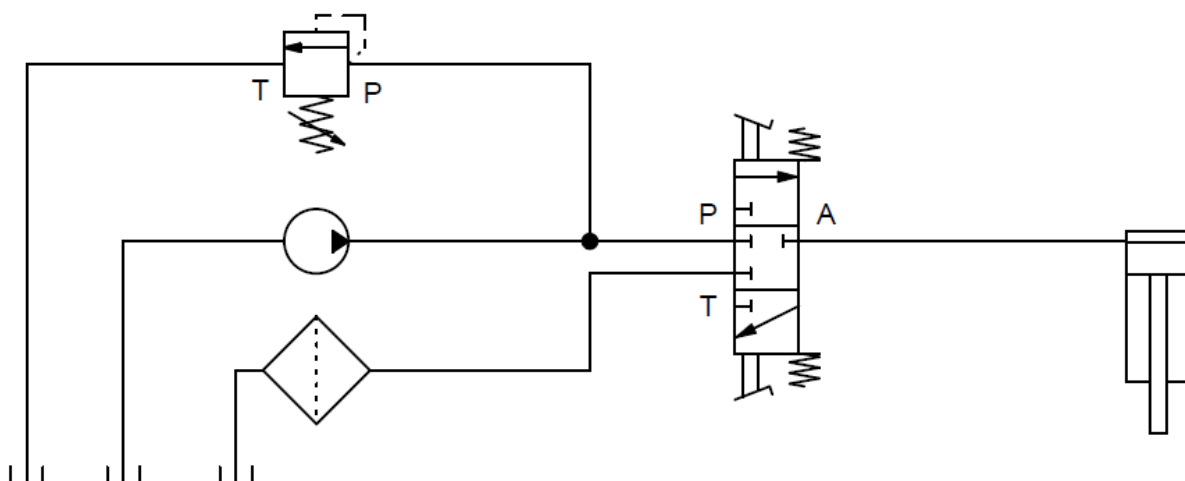
Nejprve je podstatné zvolit základní předpoklady pro navrhovaný lis. Pneumaticko – hydraulický agregát musí být schopen dodávat dostatečné množství oleje o dostatečném tlaku do hydraulického válce. Pracovní síla by měla být přibližně 600 kN. Aby bylo takové síly dosaženo, závisí pracovní tlak na účinné ploše pístu. Přesněji na jeho průměru - dle Pascalova zákona. Na lis bude kladen požadavek co největší univerzality pro dílenské a autoservisní využití s velikostí pracovního prostoru 120 – 1000 mm. Jeho konstrukce bude zhotovena pomocí normalizovaných profilů z konstrukční oceli. Důvodem jsou jejich dobré mechanické vlastnosti i relativně snadný nákup a dostupnost na trhu.

Vstupní parametry:

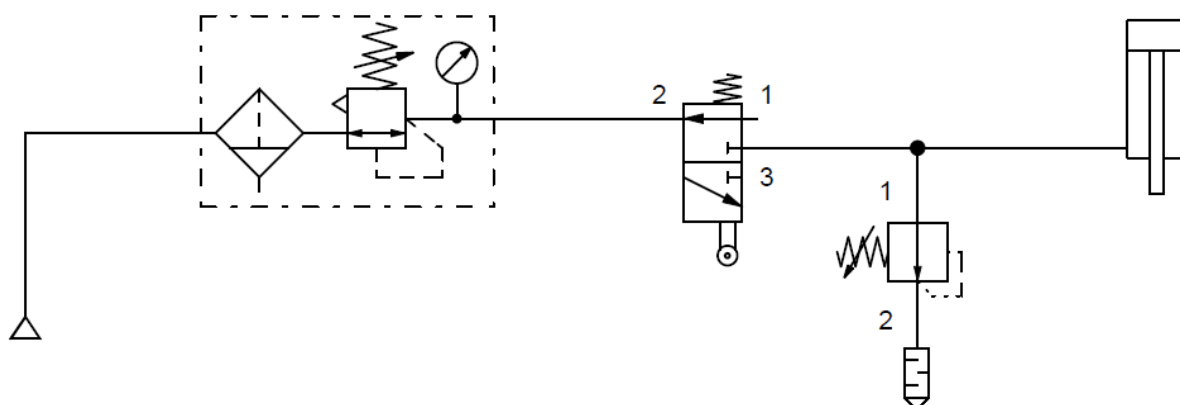
$F_{\text{lis}} := 600\text{kN} = 6 \times 10^5 \text{N}$	lisovací síla
$\eta := 0.9$	účinnost lisu
hydrogenerátor UPF 505:	
$P_{\text{max}} := 40\text{MPa}$	maximální tlak hydrogenerátoru
$V_n := 4.2\text{l} = 4.2 \times 10^{-3} \cdot \text{m}^3$	pracovní objem nádrže
$Q_h := 2.1 \frac{1}{\text{min}}$	dodávaný průtok hydrogenerátoru

6.2 Návrh hydraulického obvodu

Hydraulický obvod je složen z pneumaticko – hydraulického agregátu, hydraulické hadice, hydraulického válce, hydraulického a pneumatického šroubení s dalším potřebným spojovacím materiálem. Komponenty jsou zapojeny dle hydraulického a pneumatického schématu (viz. Obr. 8) a Obr. 9).



Obr. 8) Hydraulické schéma

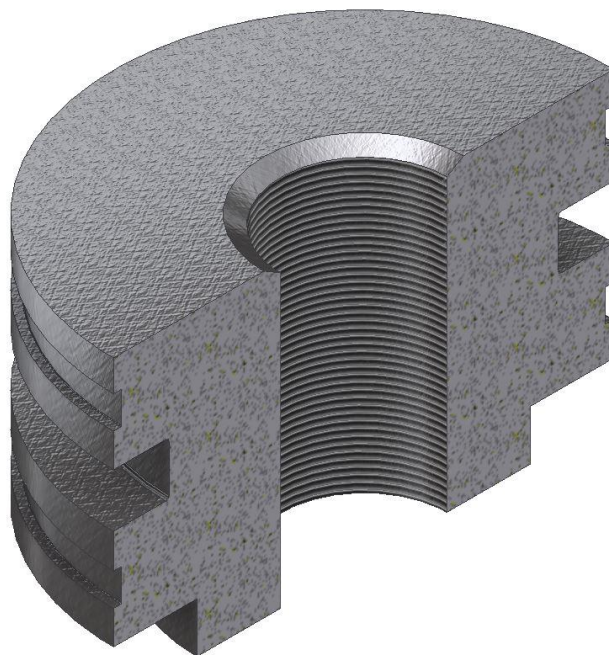


Obr. 9) Pneumatické schéma

6.2.1 Návrh hydraulického válce

Kompletní hydraulický válec (viz. Obr. 28) je složen z diferenciálního pístu s pístní tyčí, horního a spodního víka a přesné hydraulické trubky.

Píst (viz. Obr. 10) je vyroben z polotovaru kruhové tyče $\varnothing 160-92$. Obrobek je soustružen. Obsahuje tři zápichy pro vodící pásky a těsnící manžetu dle rozměrů a tolerancí uváděných výrobcem. Osou obrobku je vedena díra se závitem M50x2, kterým se spojí píst s pístní tyčí. Závít má jemné stoupání z důvodu jeho větší únosnosti. Tento závít je po zašroubování pístní tyče zalepen, aby nedošlo k jeho uvolnění a vypadnutí pístní tyče. Ve spodní části je vysoustruženo odsazení, aby při maximálním zdvihu nedošlo k zaslepení otvoru otočného kola. To by mohlo způsobit špatný přístup vzduchu a následné špatné vrácení do výchozí polohy.



Obr. 10) Řez pístem

Výpočet pístu:

$$D_{1\min} := \sqrt{\frac{F_{\text{lis}} \cdot 4}{\pi \cdot P_{\max}}} = 138.198 \cdot \text{mm}$$

minimální průměr pístu

$$D_1 := 150 \text{ mm}$$

zvolená hodnota průměru pístu

$$F_{1\text{skut}} := P_{\max} \cdot \frac{\pi D_1^2}{4} \cdot \eta = 636.173 \cdot \text{kN}$$

skutečná lisovací síla

$$P_{1\text{skut}} := \frac{F_{1\text{skut}}}{\left(\frac{\pi \cdot D_1^2}{4}\right)} = 36 \cdot \text{MPa}$$

skutečný tlak

materiál pístu: 11 523

Při výpočtu byl na základě lisovací síly a maximálního tlaku vypočítán minimální průměr pístu 138,2 mm. Dle katalogu hotových, normalizovaných, přesných, ocelových trubek je zvolen větší průměr pístu než minimální. Skutečná síla proto vyjde o něco vyšší. Ta se dá ale jednoduše optimalizovat nastavením redukčního ventilu v agregátu.

Chromovaná **pístní tyč** (někdy známá jako pístnice) (viz. Obr. 11) je vyrobena z vanadiové oceli s lepší svařitelností a obrobitelností. Pro výrobu je zvolena nakupovaná chromovaná tyč o rozměrech Ø80-405 mm. Na jedné straně je vyroben vnější závit M50x2 pro našroubování pístu. Na opačném konci je normalizovaný závit M20x2,5 pro vyměnitelné lisovací nástavce. Lisovací nástavec musí být opřen o celou plochu mezikruží na pístní tyči. Vnější průměr pístní tyče na této straně je zkosen kvůli lepšímu náběhu skrz těsnění ve spodním víku.



Obr. 11) Pístní tyč

Výpočet pístní tyče:

$$F_{zpet} := F_{lis} \cdot \frac{1}{80} = 7.5 \cdot \text{kN}$$

zvolená zpětná síla válce

$$P_{zpet} := 0.6 \text{ MPa}$$

vstupní tlak stlačeného vzduchu

$$d_{2min} := \sqrt{D_1^2 - \frac{4 \cdot F_{zpet}}{P_{zpet} \cdot \pi}} = 81.145 \cdot \text{mm}$$

maximální průměr pístní tyče

materiál pístní tyče: 13 220

$$R_{m2} := 700 \text{ MPa}$$

mez pevnosti pístní tyče

$$R_{e2} := 390 \text{ MPa}$$

mez kluzu pístní tyče

$$k_2 := 2$$

zvolená bezpečnost

$$\sigma_{dov2} := \frac{R_{e2}}{k_2} = 195 \cdot \text{MPa}$$

maximální dovolené napětí pístní tyče

$$d_{dov2} := \sqrt{\frac{4 \cdot F_{1skut}}{\pi \cdot \sigma_{dov2}}} = 64.45 \cdot \text{mm}$$

nejmenší dovolený průměr pístní tyče

$$d_2 := 80 \text{ mm}$$

zvolená hodnota pístnice

KONTROLA NA TAHA TLAK

$$d_2 > d_{dov2} = 1$$

VYHOVUJE

$$\sigma_{tlak2} := \frac{F_{lis}}{\frac{\pi \cdot d_2^2}{4}} = 119.366 \cdot \text{MPa}$$

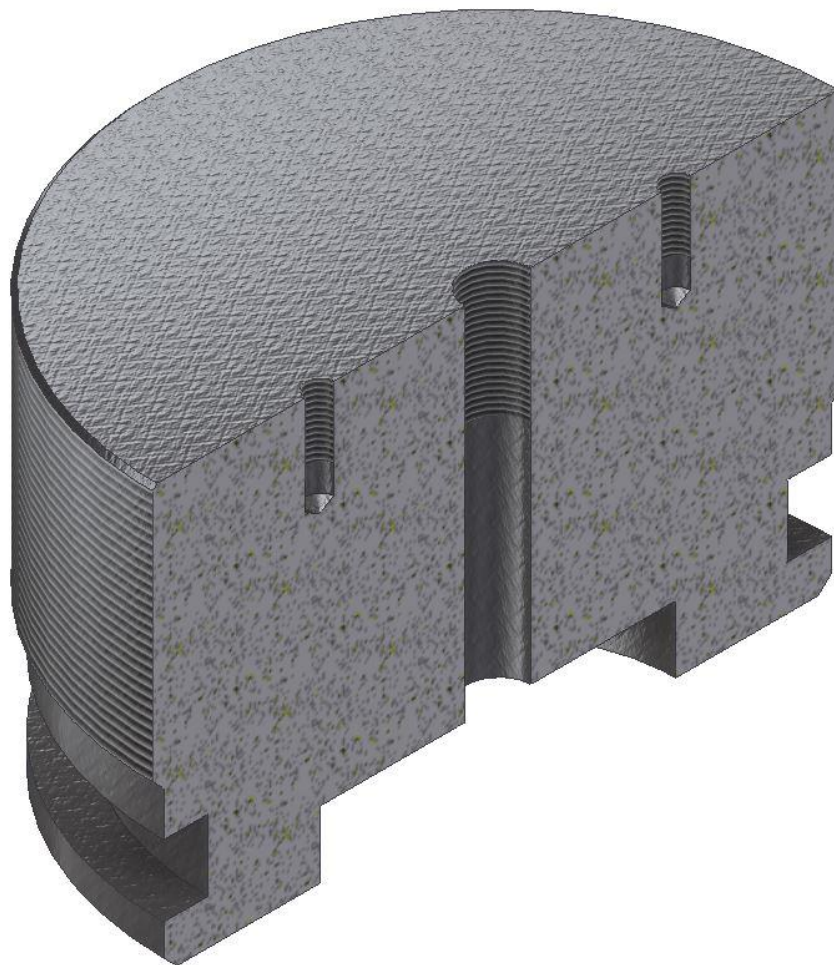
skutečné tlakové napětí

KONTROLA MEZNÍHO STAVU VZPĚRNÉ STABILITY

$\alpha_2 := 2 \cdot \pi$	koeficient uložení pístnice
$E_2 := 220 \text{ GPa}$	Yungův modul pružnosti
$J_2 := \frac{\pi \cdot d_2^4}{64} = 2.011 \times 10^6 \cdot \text{mm}^4$	kvadratický moment průřezu
$S_2 := \frac{\pi \cdot d_2^2}{4} = 5.027 \times 10^3 \cdot \text{mm}^2$	plocha průřezu
$l_2 := 340 \text{ mm}$	délka pístnice
$\lambda_2 := \frac{l_2}{\sqrt{\frac{J_2}{S_2}}} = 17$	štíhlost pístnice
$\lambda_{\text{krit}2} := \alpha_2 \cdot \sqrt{\frac{E_2}{R_{e2}}} = 149.231$	kritická štíhlost pístnice
$\lambda_2 < \lambda_{\text{krit}2} = 1$	VYHOVUJE

Při výpočtu byla zvolena zpětná síla, která zajišťuje posuv pístnice z maximálního zdvihu do minimálního. Přitom musí být zvolena tak, aby byla větší než tíhová síla pístu s pístní tyčí a veškerým hydraulickým olejem v prostoru nad nimi. Hydraulický olej se navíc musí vytlačit hydraulickou hadicí o výrazně menším průměru než je průměr hydraulického válce. Maximální průměr pístnice při běžném tlaku v rozvodu vzduchu odpovídá (kde je brána minimální hodnota 0,6 MPa) zvolenému průměru. Při kontrole mezního stavu vzpěrné stability je na základě štíhlosti pístní tyče zjištěno, že vzpěr nenastane a rozhodující je v tomto případě mezní stav pružnosti.

Horní víko (viz. Obr. 12) je vyrobeno z kruhové ocelové tyče $\text{Ø}155\text{-}96$ mm. Na vnějším průměru je normalizovaný závit M155x2. Pomocí tohoto závitu lze spojit víko s válcem. Utažením velkého množství závitů je zajištěno víko ve válci. Spoj musí být rozebíratelný z důvodu možnosti výměny těsnící manžety. Pod závitem se nachází zápich pro hydraulickou těsnící manžetu uvedenou v Tab 4) . Aby při montáži nedošlo k poškození této manžety o závit vyrobený ve válci, má víko zkosení pro snadnější náběh do válce. V ose horního víka je průchozí díra s trubkovým závitem pro přípojný hydraulický šroubení G3/8, na které se připojí hydraulická hadice z kapitoly 6.2.3. Dvě díry se závitem M8 slouží pouze jako montážní otvory a umožňují snadnější zašroubování, popřípadě vyšroubování, celého víka do, popřípadě z, válce.



Obr. 12) Řez horního víka

Variabilně je možné zapojit i kontrolní manometr, pokud je potřeba znát, jakou lisovací sílu lis vyvozuje. Přibližné hodnoty přepočtu lisovací síly a tlaku jsou uvedeny v Tab 3) . Tabulka může být umístěna přímo na lisu, popřípadě je možné tuto lineární závislost vynést do přehledného grafu.

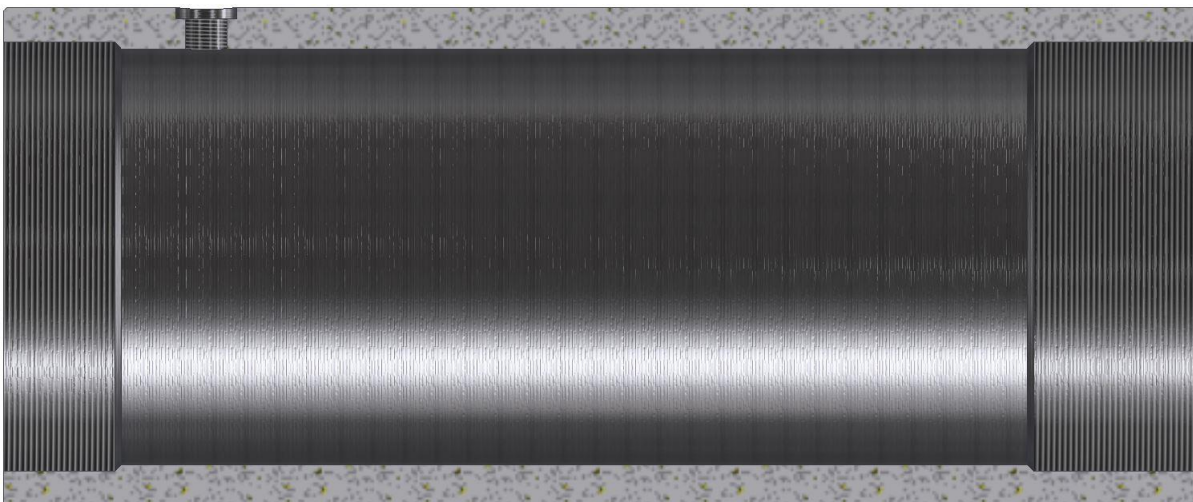
Tab 3) Přepočet tlaku a lisovací síly.

Tlak [MPa]	5	10	15	20	25	30	35	40
Síla [kN]	80	160	240	320	400	480	560	640

Tab 4) Seznam těsnících prvků

Součást	Počet kusů	Typ těsnění	Označení	Číslo
Spodní víko	1	Stírací kroužek	A31 80 x 92.2 x 7.1/12	1
	2	Vodící pásek	F87 9,7x2,50 Pístnice 80	2
	1	Manžeta	PS1 80 x 92 x 9.5 B0 - pneumatická	3
	1	Manžeta	PK3 150 x 135 x 10	4
Píst	2	Vodící pásek	F87 9,7x2,50 Píst 150	5
	1	Manžeta	K 735 - 150 x 127 x 16	6
Horní víko	1	Manžeta	K 606 - 150 x 130 x 16	7

Hydraulický válec (viz. Obr. 13) je vyroben z přesné bezešvé trubky o rozměrech 180x150x15-431 mm, kde 180 mm značí vnější průměr, 150 mm vnitřní průměr a 15 mm šířku stěny. Velkým požadavkem na tyto přesné trubky je jejich tolerance přímosti, kruhovitosti a drsnost vnitřního průměru. Pro zlepšení drsnosti vnitřního průměru je nakupovaná trubka ve výrobě válečkována. Při této dokončovací operaci se již neodebírá žádná tříska, ale pouze se přetváří povrch. Hlavním důvodem této operace je životnost použitých těsnících prvků a funkčnost válce. Na obou koncích je zhotoven závit M155x2 s náběhy pro těsnění. Ve stěně válce je třeba zhotovit díru se zahloubením a trubkovým závitem G3/8 pro nástrčné otočné koleno. To slouží pro připojení pneumatické hadice na zpětný pohyb pístu.



Obr. 13) Řez hydraulickým válcem

Výpočet válce:

$$d_v := 150\text{mm}$$

$$D_v := 180\text{mm}$$

$$t_v := 15\text{mm}$$

$$R_{mv} := 590\text{MPa}$$

$$R_{ev} := 450\text{MPa}$$

$$k_v := 2$$

vnitřní průměr trubky

vnější průměr trubky

tloušťka stěny

mez pevnosti válce

mez kluzu válce

zvolená bezpečnost

$$t_{\min} := \frac{P_{1skut} \cdot k_v \cdot d_v}{2 \cdot R_{ev}} = 12 \cdot \text{mm}$$

minimální tloušťka stěny
válce

$$t_{\min} < t_v = 1$$

VYHOVUJE

$$\sigma_{dovv} := \frac{R_{ev}}{k_v} = 225 \cdot \text{MPa}$$

maximální dovolené napětí uvnitř
válce

$$\sigma_o := \frac{P_{1skut} \cdot d_v^2}{D_v^2 - d_v^2} = 81.818 \cdot \text{MPa}$$

napětí působící na dno
válce

$$\sigma_r := -P_{1skut} = -36 \cdot \text{MPa}$$

radiální napětí ve válci na vnitřní
průměru

$$\tau_r := 2 \cdot \sigma_o + P_{1skut} = 199.636 \cdot \text{MPa}$$

tečné napětí ve válci na vnitřním
průměru

$$\sigma_R := 0\text{MPa}$$

radiální napětí vně válce na vnějším
průměru

$$\tau_R := 2 \cdot \sigma_o = 163.636 \cdot \text{MPa}$$

tečné napětí ve válci na vnějším
průměru

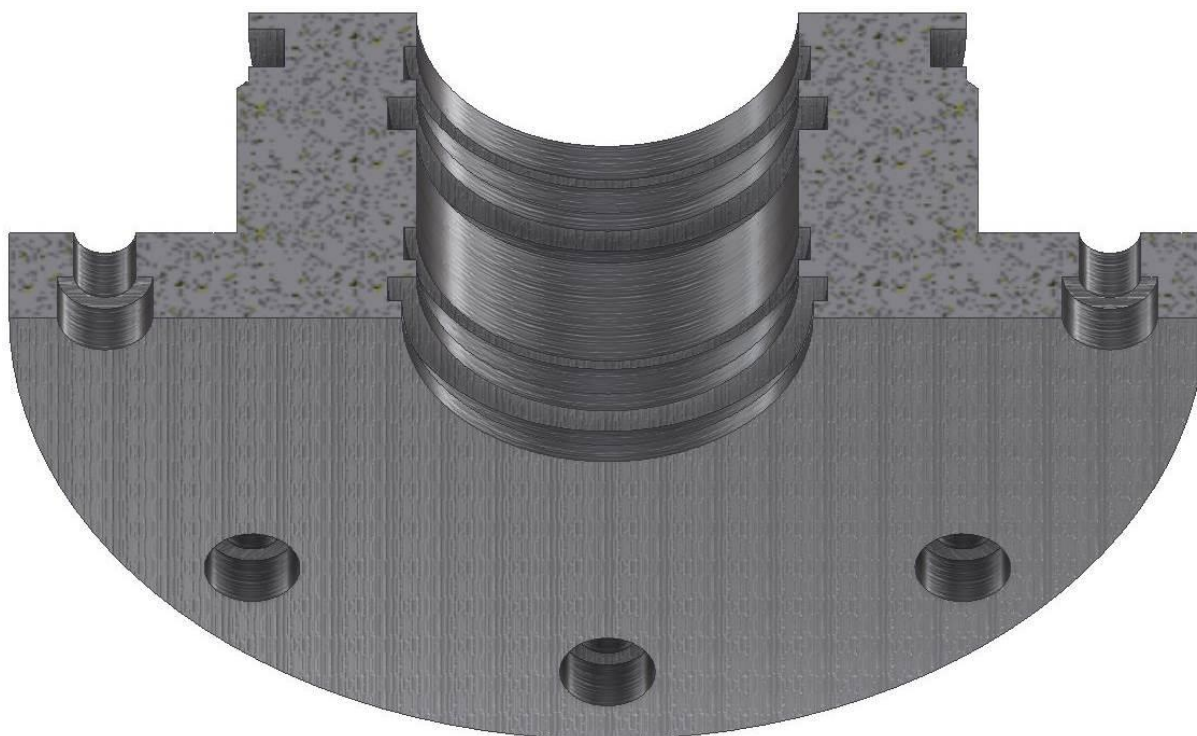
$$\sigma_{MAX} := \max(\sigma_o, \sigma_r, \tau_r, \sigma_R, \tau_R) = 199.636 \cdot \text{MPa}$$

maximální napětí ve
válci

$$\sigma_{MAX} < \sigma_{dovv} = 1$$

VYHOVUJE

Ve **spodním víku** (viz. Obr. 14) hydraulického válce jsou vysoustruženy zápichy pro stírací kroužek, manžetu a vodící pásy uvedené v Tab 4) . Tyto zápichy jsou umístěny na obou koncích víka pro pohodlnější montáž těsnění. Stírací kroužek zabraňuje vnikání nečistot usazených na povrchu pístnice do prostoru hydraulického válce a chrání tím i následné těsnění. Manžeta slouží k utěsnění prostoru pod pístem, kam je vháněn stlačený vzduch a vodící páska zabraňuje zadírání pístnice o víko. Na vnějším průměru je víko zatěsněno pomocí pneumatického těsnění. Z toho důvodu je nutný zápich na venkovním průměru spodního víka spolu se zkosením a metrickým závitem M155x2. Příruba přenáší hlavní lisovací sílu do rámu konstrukce osazením a kruhovým polem průchozích děr pro šrouby M12 s válcovou hlavou.

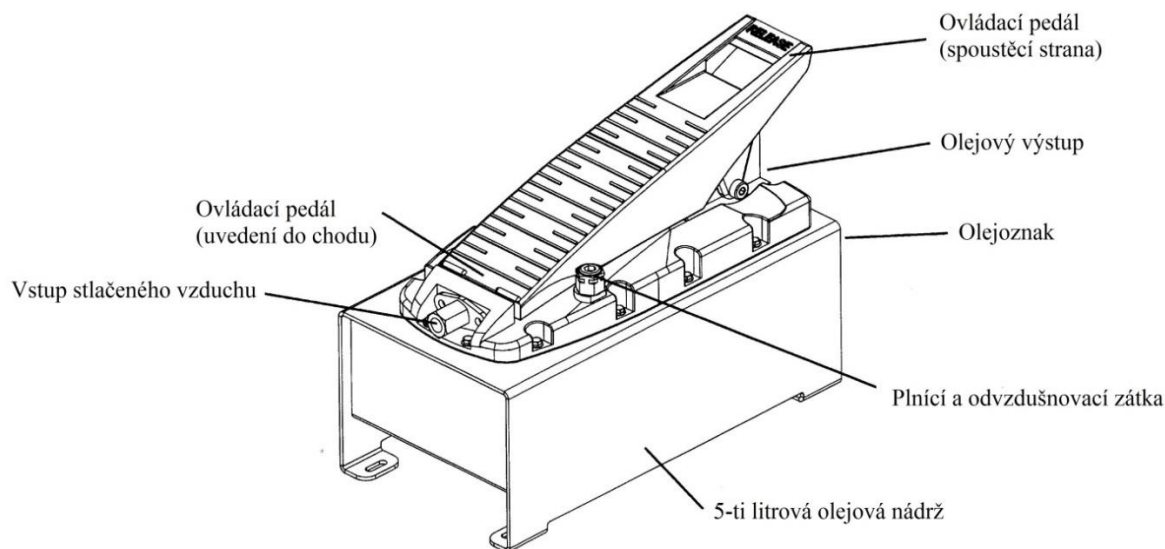


Obr. 14) Řez spodním víkem

6.2.2 Návrh pneumaticko – hydraulického agregátu

Pneumaticko – hydraulický agregát je zvolen na základě výpočtové zprávy. Pro lepší obsluhu hydraulického lisu je zvolena varianta s nožním ovládním. Obsluha má tak obě ruce volné a po lisování předmětu může plynule uchopit další, zatímco se pístní tyč pohybuje zpět do výchozí polohy. Součástí agregátu je integrovaný rozvaděč ovládaný nožním pedálem.

Pro potřeby této bakalářské práce vyhovuje pneumaticko – hydraulický agregát UPF 505 italské výroby (viz. Obr. 15). Pracuje se vstupním tlakem stlačeného vzduchu 0.3 - 1 MPa. Agregát dodává pracovní tlak hydraulické kapaliny až 50 MPa. Pro optimalizaci pracovní síly a omezení namáhání součástí vysokým tlakem bude pracovní tlak zmenšen pomocí nastavení redukčního ventilu na 36 MPa. K dispozici je dostatečná zásoba oleje HM 46 o objemu 5 litrů a maximální dodávaný průtok 2,1 l/min. [14] Pracovní objem nádrže se však pohybuje okolo 4,2 litrů. To je nezbytné mít na paměti - aby objem pracovního prostoru nad válcem nebyl větší než tato hodnota. Způsobilo by to zavzdušnění celého systému a tím i nesprávnou funkci lisu.



Obr. 15) Pneumaticko – hydraulický agregát UPF 505 [14]

6.2.3 Návrh hydraulické hadice

Hydraulická hadice je spojovací prvek, kterou proudí hydraulický olej z/do nádrže do/z hydraulického válce. Na základě rešeršní části bakalářské práce, malých požadavků na bezpečnost a minimalizaci ztrát třením je volena co nejkratší hydraulická hadice. Pneumaticko – hydraulický agregát a lis budou v těsné blízkosti. Dle skutečného pracovního tlaku ve výpočtové zprávě je zvolena spirálová hydraulická hadice s označením 4 SP DIN EN 856 (viz. Obr. 16) s vnitřním průměrem 10 mm, pracovním tlakem 44,5 MPa a destrukčním tlakem 178 MPa. Pracovní tlak hadice je o 8,5 MPa vyšší a destrukční tlak dokonce 4,8 krát vyšší než skutečný tlak v okruhu. [15]



Obr. 16) Hydraulická hadice[15]

6.3 Návrh rámu

Pro nosný rám bylo vybráno čtyřsloupové provedení zejména z důvodu možného přístupu k pracovnímu prostoru lisu ze všech 4 stran a jednoduchosti výroby. Je však zapotřebí si uvědomit, že přístup bude do jisté míry z bočních stran omezen nosným lanem stolu (kap. 6.3.2). Tato skutečnost je vykompenzována dostatečným přístupem z přední a zadní strany rámu a umožňuje tak pohodlnou manipulaci s lisovaným předmětem. Součástí rámu tvoří:

- spodní základna, která umožňuje kotvení stroje do země
- čtyři sloupy, jejichž součástí je několik průchozích děr pro čepy
- systém navijecího bubnu a kladek pro zvedání a spouštění stolu
- příčník, do kterého je umístěn pracovní válec

Výpočet konstrukce:

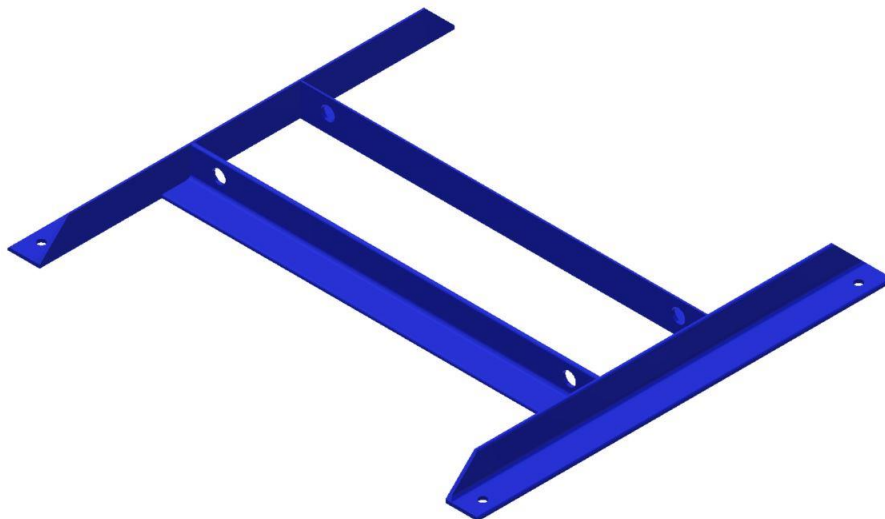
$k_k := 1.2$	zvolená bezpečnost konstrukce
$F_{vyp} := F_{lis} \cdot k_k = 720 \cdot \text{kN}$	výpočtová lisovací síla
$\sigma_{N11523} := 255 \text{MPa}$	mez únavy oceli 11 523
$\sigma_{N16220} := 485 \text{MPa}$	mez únavy oceli 16 220
$N_f := 250000$	počet cyklů do lomu

Při výpočtu je zvolena minimální bezpečnost konstrukce 1,2. V průběhu výpočtu se uvažuje působící výpočtová síla 720 kN. Konstrukce je tedy dimenzována na sílu o více než 200 kN vyšší než skutečná lisovací síla. Lis splňuje lisovací požadavky s rezervou. Vzhledem ke způsobu cyklického zatížení lisu je konstrukce kontrolována na mezní stav únavy.

Použitá hodnota meze únavy oceli 11 523 je odečtena z grafu a odpovídá hodnotě cca 250 000 cyklů při maximální lisovací síle 600 kN. Při menších lisovacích silách se počet cyklů do lomu součástí zvyšuje dle Wöhlerovy křivky.[16]

6.3.1 Základna

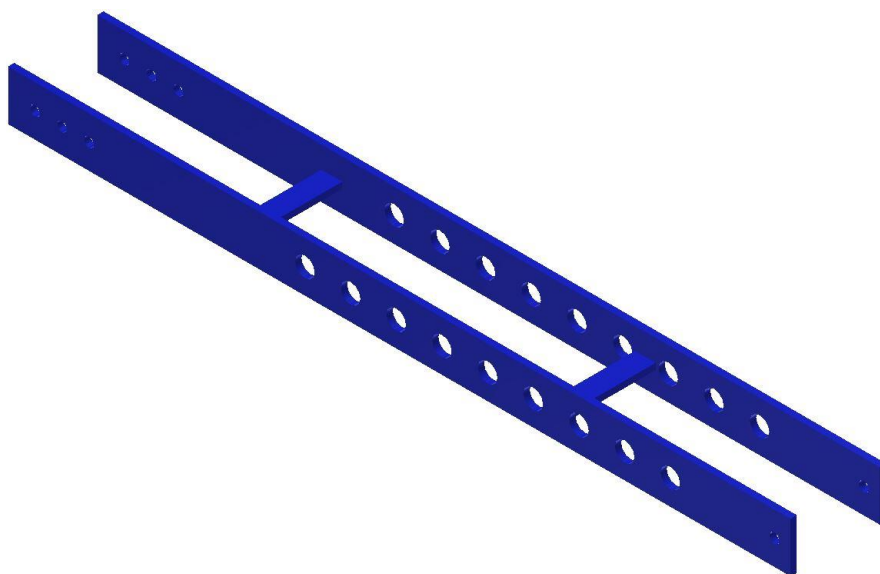
Základna (viz. Obr. 17) je svařenec z normalizovaných, rovnoramenných profilů L70. Celková zástavbová plocha činí 1020 x 900 mm. Základna dává celému stroji dostatečnou stabilitu díky svým rozměrům a kotvicím otvorům.



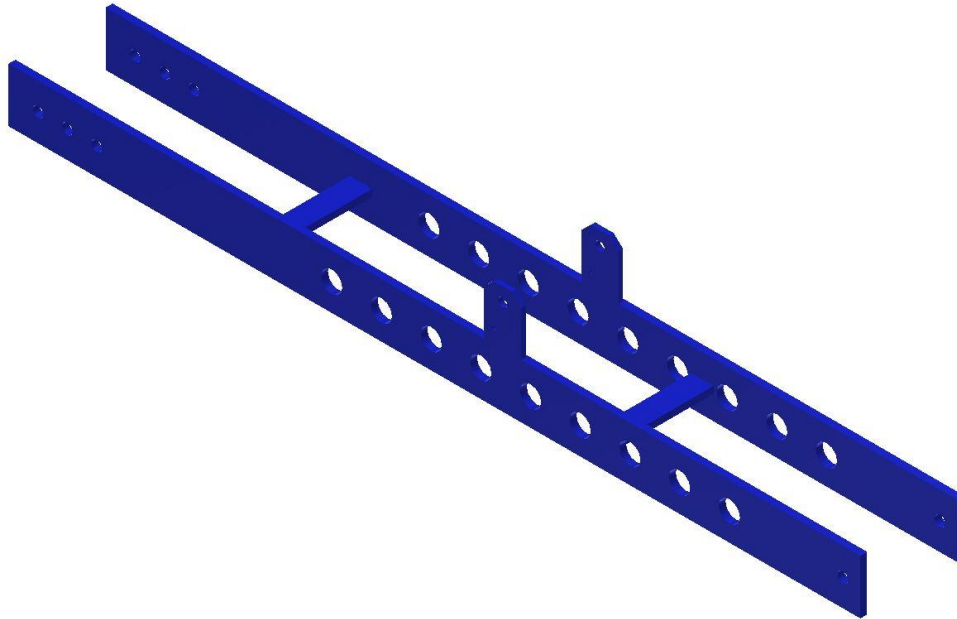
Obr. 17) Spodní základna

6.3.2 Sloupy

Sloupy jsou řešeny dvěma ocelovými, plochými tyčemi o rozměrech 120x15-1885 mm svařených dohromady pomocí dvou výztuh PLO 50x15-200 mm. Do sloupu jsou vyvrtány 4 průchozí díry pro šrouby M24 pro konstrukci a 9 průchozích děr pro čepy stolu. Sloupy musí být vrtány současně. Zaručí se tím souosost průchozích děr a tím i bezproblémové vložení čepu. Čepy jsou uloženy s vůlí, aby bylo zaručeno jejich snadné vyjmutí v případě změny polohy stolu. Pro kladkový mechanismus musí být sloupy vyrobeny ve dvou provedeních - jedno bez navařeného držáku bubnu kladkostroje (viz Obr. 18) a jedno s navařeným držákem bubnu kladkostroje (viz Obr. 19).



Obr. 18) sloup bez držáku bubnu



Obr. 19) sloup s držákem bubnu

Výpočet sloupu obdélníkového průřezu

$$t_s := 15\text{mm}$$

zvolená tloušťka sloupu

$$\xi_s := 120\text{mm}$$

zvolená šířka sloupu

$$d_s := d_c + 2\text{mm} = 47\text{mm}$$

průměr otvoru pro čep

$$T_s := \frac{1}{4} \cdot F_{\text{vyp}} = 1.8 \times 10^5 \cdot \text{N}$$

maximální tlaková síla na sloup

$$S_s := (\xi_s - d_s) \cdot t_s = 1.095 \times 10^3 \cdot \text{mm}^2$$

plocha průřezu sloupu v otvoru pro čep

$$\sigma_{T_s} := \frac{T_s}{S_s} = 164.384 \cdot \text{MPa}$$

maximální napětí sloupu v otvoru pro čep

$$\sigma_{\text{sdov}} := \frac{\sigma_{\text{N11523}}}{k_k} = 212.5 \cdot \text{MPa}$$

dovolené napětí v sloupu

$$k_{\text{sskut}} := \frac{\sigma_{\text{sdov}}}{\sigma_{T_s}} = 1.293$$

skutečná bezpečnost

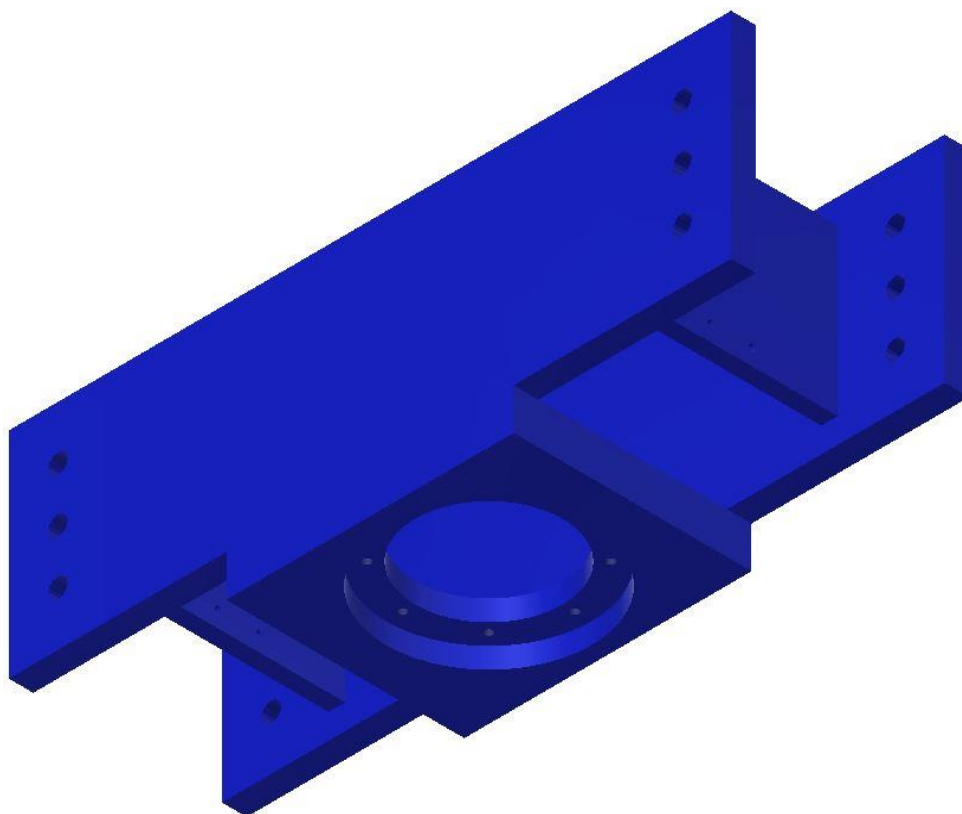
$$\sigma_{\text{sdov}} > \sigma_{T_s} = 1$$

SPLNĚNO

Vzhledem k velkému množství průchozích děr je nutné počítat s tvarovým součinitelem vrubu. Celý sloup je počítán v jeho nejnebezpečnějším místě. V tomto případě je to největší průchozí díra - otvor pro čep. Pokud napětí splňuje dovolenou mez v tomto otvoru, pak tuto mez nepřesáhne v celé délce sloupu.

6.3.3 Příčník

Příčník (viz. Obr. 20) slouží jako horní spojovací prvek všech sloupů a také hlavní nosič hydraulického válce. K upevnění příčníku ke sloupům slouží 6 párů šroubových spojů M24-90 pevnostní třídy 8.8. Příčník tvoří dva vypalované polotovary o rozměrech 30x260-880 mm, svařené dohromady dvěma výztuhami 20x200-230 mm. V ose spodní části příčníku je navařen držák hydraulického válce. Je to ocelová deska o rozměrech 50x350-290 mm s průchozí dírou a osazením pro přírubu spodního víka včetně 8 děr se závity M12.



Obr. 20) Příčník

Výpočet příčnicku:

$r_{pr} := 380\text{mm}$	rameno síly působící na příčnick od osy k ose šroubu
$M_{opr} := \frac{1}{4} \cdot F_{vyp} \cdot r_{pr} = 6.84 \times 10^7 \cdot \text{N} \cdot \text{mm}$	maximální ohybový moment příčnicku
$h_{pr} := 30\text{mm}$	zvolený tloušťka příčnicku
$b_{pr} := 260\text{mm}$	zvolená výška příčnicku
$W_{opr} := \frac{1}{6} \cdot h_{pr} \cdot b_{pr}^2 = 3.38 \times 10^5 \cdot \text{mm}^3$	modul průřezu v ohybu
$\sigma_{pr} := \frac{M_{opr}}{W_{opr}} = 202.367 \cdot \text{MPa}$	maximální napětí v příčnicku
$\sigma_{prdov} := \frac{\sigma_{N11523}}{k_k} = 212.5 \cdot \text{MPa}$	dovolené napětí v příčnicku
$k_{prskut} := \frac{\sigma_{prdov}}{\sigma_{pr}} = 1.05$	skutečná bezpečnost
$\sigma_{prdov} > \sigma_{pr} = 1$	SPLNĚNO

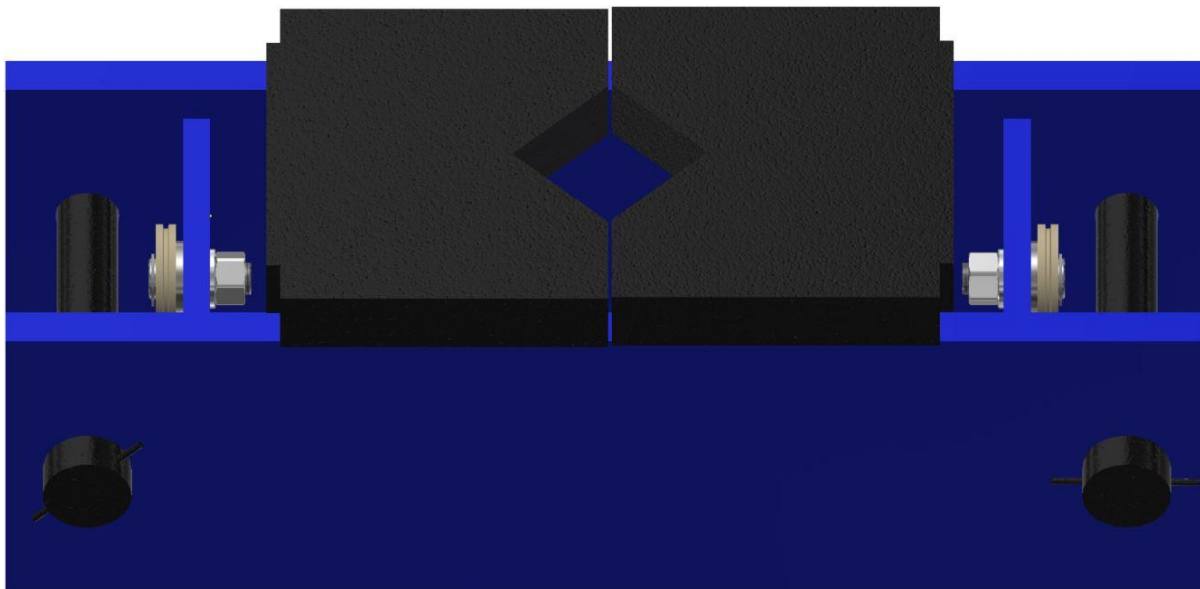
6.4 Návrh stolu

Stůl musí být navržen tak, aby byl co nejlehčí a zároveň byla zachována dostatečná tuhost pro správné fungování lisu. Při špatné volbě rozměrů a vlastností materiálu může dojít k velkému deformačnímu průhybu. V krajním případě i k meznímu stavu a porušení jednotného tvaru stolu. Při lisovací síle 600 kN bude velmi obtížné zvedat tento stůl pomocí vlastní síly obsluhy. Proto je zvolena varianta kladkového mechanismu, který je podrobněji popisován v kapitole 6.4.1.

Stůl (viz. Obr. 21) je vyroben ze dvou vypalovaných kusů PLO 30x260-880 mm spojenými dvěma výztuhami o rozměrech 20x200-230 mm. Z toho plyne, že polotovary jsou totožné s příčnickem, což může usnadnit nákup materiálu. Na obou koncích stolu jsou vyvrtány průchozí díry pro čepy, kterými se stůl umísťuje do jednotlivých poloh na sloupech. To znamená, že je možné stůl ustavit celkem v 9 pozicích dle rozměrů lisovaného předmětu. Na vzpěry se montují kladky, které jsou opásány ocelovým lanem pro zvedání a spouštění. Lisovací desky se používají pro lepší rozložení celkové síly na větší plochu stolu a stabilní umístění lisovaného předmětu. V případě dalšího vývoje stolu lisu je možné vyrobiť lisovací desku s T-drážkou dle normy DIN 605, která se používá pro upnutí obrobků na obráběcích strojích.

Čepy (viz. Obr. 22) slouží k zajištění stolu v požadované poloze. Vzhledem k jejich způsobu namáhání je nutné zvolit pro jejich výrobu materiál 16 220. Tento materiál je doporučen pro namáhané čepy z důvodu možnosti jej cementovat, následně povrchově kalit a zlepšit tím jeho mechanické vlastnosti. Čep je vysoustružen z kruhové ocelové tyče Ø65-360 mm. Pro jednodušší vyjmutí ze stolu mají nalisovanou tyč Ø10 mm, umístěnou kolmo k ose čepu. Naopak ke snadnějšímu vložení do rámu je čep opatřen zkosením náběhové strany. Po dostatečném vložení se čep zastaví o osazení.

Druhou variantou zvýšení bezpečnosti čepu stolu je možné jej vyrobit z materiálu používaným na výrobu pístních tyčí. Zušlechtná slitinová ocel je zakalena a popouštěna v lázni. Dodavatel materiálu udává mez kluzu této oceli na 650 MPa, to je o 150 MPa více než má ocel 16 220. Při zachování stejného průměru čepu se bezpečnost vyšplhá na hodnotu 1,6. Kritériem výběru je porovnání poměru pořizovací ceny materiálu a hodnoty bezpečnosti.



Obr. 21) Kompletní stůl s čepu a lisovacími deskami



Obr. 22) Čep stolu

Výpočet stolu:

$r_{st} := 250\text{mm}$ rameno síly působící od osy lisovací desky
k ose čepu

$M_{ost} := \frac{1}{4} \cdot F_{vyp} \cdot r_{st} = 4.5 \times 10^7 \cdot \text{N} \cdot \text{mm}$ maximální ohybový moment stolu

$h_{st} := 30\text{mm}$ zvolená tloušťka stolu

$b_{st} := 260\text{mm}$ zvolená výška stolu

$W_{ost} := \frac{1}{6} \cdot h_{st} \cdot b_{st}^2 = 3.38 \times 10^5 \cdot \text{mm}^3$ modul průřezu v ohybu

$\sigma_{st} := \frac{M_{ost}}{W_{ost}} = 133.136 \cdot \text{MPa}$ maximální napětí ve stolu

$\sigma_{stdov} := \frac{\sigma_{N11523}}{k_k} = 212.5 \cdot \text{MPa}$ dovolené napětí stolu

$k_{stskut} := \frac{\sigma_{stdov}}{\sigma_{st}} = 1.596$ skutečná bezpečnost

$\sigma_{stdov} > \sigma_{st} = 1$

SPLNĚNO

Výpočet čepu stolu:

$d_c := 45\text{mm}$ zvolený průměr čepu

$r_c := 17\text{mm}$ rameno síly působící na čep

$M_{oc} := \frac{1}{4} \cdot F_{vyp} \cdot r_c = 3.06 \times 10^6 \cdot \text{N} \cdot \text{mm}$ maximální ohybový moment na čep

$W_{oc} := 0.1 \cdot d_c^3 = 9.112 \times 10^3 \cdot \text{mm}^3$ modul průřezu v ohybu

$\sigma_{oc} := \frac{M_{oc}}{W_{oc}} = 335.802 \cdot \text{MPa}$ maximální napětí v čepu

$\sigma_{cdov} := \frac{\sigma_{N16220}}{k_k} = 404.167 \cdot \text{MPa}$ dovolené napětí v čepu

$k_{cskut} := \frac{\sigma_{cdov}}{\sigma_{oc}} = 1.204$ skutečná bezpečnost

$\sigma_{cdov} > \sigma_{oc} = 1$

SPLNĚNO

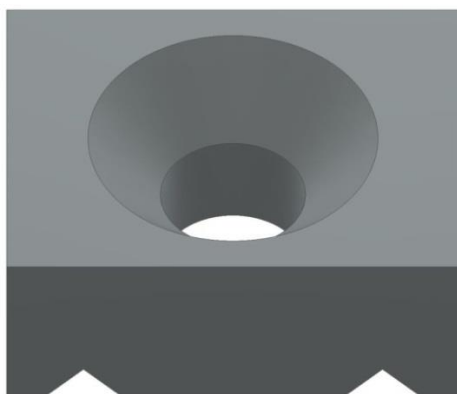
Dle spočítaných bezpečností je viditelné, že stůl je předimenzován a dostatečně tuhý pro lisovací operace a umístění lisovaného předmětu. Čep je naopak počítán tak, aby splnil požadované nároky, nebyl příliš velký a masivní z hlediska snadné manipulace. Jak je psáno v kap. 6.3, je počítáno s výpočtovou silou 720 kN a výsledná bezpečnost je s ohledem na tuto výpočtovou sílu, která se v lisu nevyskytne. Pokud je brána v úvahu lisovací síla 600 kN, výsledek bezpečnosti je 1,4. Z tohoto důvodu je tato bezpečnost zvolena za dostačující. V případě porušení jednotného tvaru čepu je stůl navíc proti pádu zajištěn ocelovým lanem.

6.4.1 Návrh kladkového mechanismu

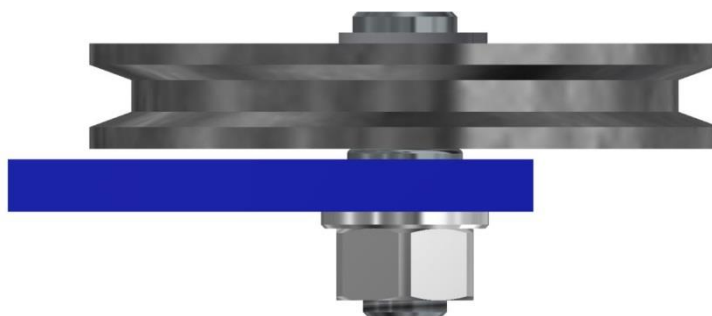
Systém kladkového mechanismu pro zvedání a spouštění stolu se skládá ze soustavy kladek na stole a příčniku (viz. Obr. 25), navíjecího bubnu s rohatkou a západkou, ocelového lana a napínací závitové tyče.

Ocelové lano je namáháno primárně tahem. Z důvodu úspory místa je kladen důraz na návrh lana o co nejmenším průměru. Z toho vyplývá, že lano je dimenzováno pouze na samotnou vlastní tíhu stolu. Nikoli na zvedání stolu, lisovacích desek a lisovaného předmětu zároveň. Současně s tím lano není voleno na to, aby vydrželo zátěž od stolu, pokud na něm bude lisován požadovaný předmět. K tomu jsou určeny čepy, kterými se zajistí stůl k nosnému rámu.

Lano je uchyceno na jedné straně příčniku pomocí lanových svorek DIN EN 741. Odtud vede ke kladce umístěné na boku stolu. Zde změní svůj směr díky úhlu opásání o velikosti π radiánů a vrací se zpět k příčniku. U příčniku je umístěna další kladka. Díky ní je možné lano vést směrem k navíjecímu bubnu, kde je smyčkou přitlačeno pomocí svorky (viz. Obr. 23) a šroubu se zápusťnou hlavou. Lano dále pokračuje k příčniku, kde prochází soustavou kladek s držákem (viz. Obr. 24), kolem hydraulického válce ke kladce umístěné na druhé straně stolu. Kladka je opět opásána úhlem π radiánů, lano je uchyceno do závitové tyče s okem a zajištěno lanovými svorkami DIN EN 741.

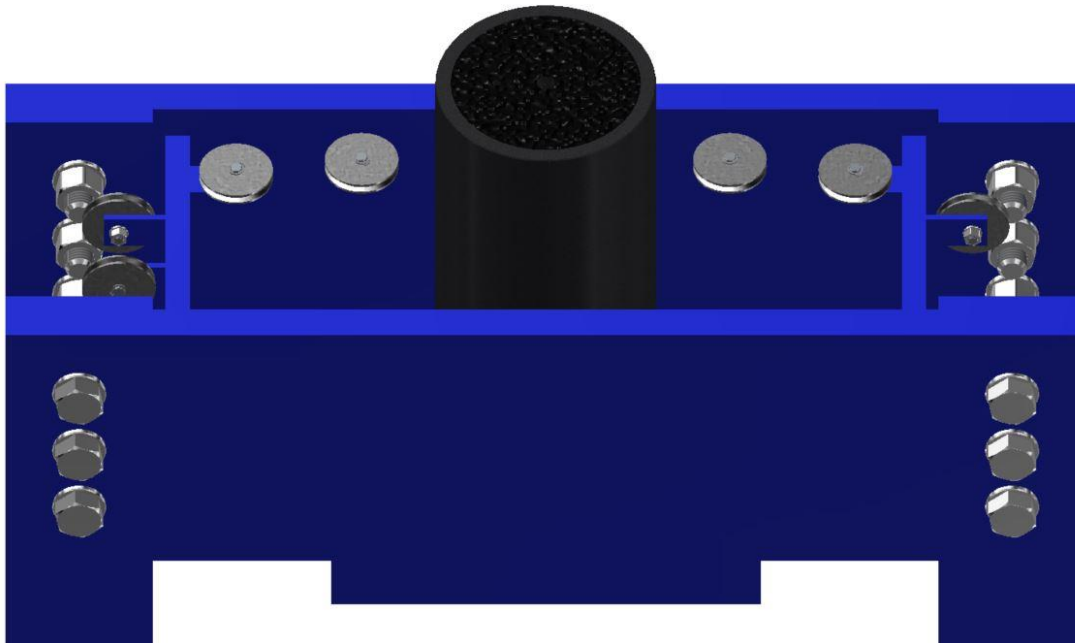


Obr. 23) Svorka bubnu



Obr. 24) Držák kladky

Závitová tyč slouží jako napínací mechanismus lana. Pomocí přitahování matice se závitová tyč posunuje po závitu směrem nahoru a napíná tím celé lano. K zajištění bubnu proti zpětnému otáčení, vlivem tíhové síly stolu, slouží rohátka se západkou. Stůl se po zvednutí do požadované polohy zajistí západkou na dobu potřebnou k vložení nosných čepů stolu.



Obr. 25) Soustava kladek na příčnicku

Výpočet ocelového lana:

$d_l := 3\text{mm}$	zvolený průměr lana
$n_l := 866\text{kg}$	nosnost lana
$n_{\text{vyp}} := 180\text{kg}$	výpočtová nosnost lana
$F_{l\text{vyp}} := n_{\text{vyp}} \cdot g = 1.765 \cdot \text{kN}$	maximální únosnost lana
$d_b := 30\text{mm}$	zvolený průměr bubnu
$r_b := \frac{d_b}{2} + \frac{d_l}{2} = 16.5 \cdot \text{mm}$	rameno působící síly
$M_{lk} := r_b \cdot \frac{F_{l\text{vyp}}}{2} = 1.456 \times 10^4 \cdot \text{N} \cdot \text{mm}$	kroučící moment od lana
$l_k := 200\text{mm}$	zvolená délka kliky
$F_r := \frac{M_{lk}}{l_k} = 72.814 \text{ N}$	nutná síla vyvozená rukou
$F_r < 220\text{N} = 1$	dle nařízení BOZP pro ženy
$F_r < 280\text{N} = 1$	dle nařízení BOZP pro muže

Na základě údajů ze softwaru Autodesk Inventor byla zjištěna váha stolu. Na tomto základě bylo vybráno ocelové lano 1x19 o průměru 3 mm s garantovanou nosností 866 kg. Při tomto výpočtu je pomocí momentové rovnováhy zjišťována i síla, která je nutná ke zvedání stolu. Porovnáním s přípustným hygienickým limitem pro tažné síly při manipulaci s břemenem v nařízení BOZP tento návrh ocelového lana vyhovuje. Nutná síla ke zvedání je zhruba 3-4krát pod nařízeným limitem.

Výpočty vztahující se na hydraulickou soustavu a ocelovou konstrukci byly zpracovány v softwaru Mathcad. Na základě výpočtové zprávy byl zpracován celkový 3D model a výkresová dokumentace. Volby materiálů hlavních součástí jsou zpracovány v Tab 5).

Tab 5) Seznam materiálu

Třída oceli	Součást
11 523	Příčník
	Stůl
	Dolní základna
	Sloupy
	Píst
	Spodní víko
	Horní víko
13 220	Pístnice
ST52.3 BK+S (E355SR)	Válec
16 220	Čep stolu

6.5 Porovnání bezpečností

V Tab 6) je porovnání bezpečností podle výpočtové a skutečné lisovací síly. Z výsledků porovnání je patrné, že většina součástí lisu je předimenzovaná, aby s rezervou splňovala lisovací sílu 600 kN. Předimenzování ale není natolik velké, aby rapidně zvyšovalo pořizovací cenu materiálů.

Tab 6) Porovnání bezpečností

Součást	Výpočtová síla 720 kN	Lisovací síla 600 kN
Čep stolu	1,20	1,44
Sloupy	1,29	1,55
Stůl	1,60	1,92
Příčník	1,05	1,26

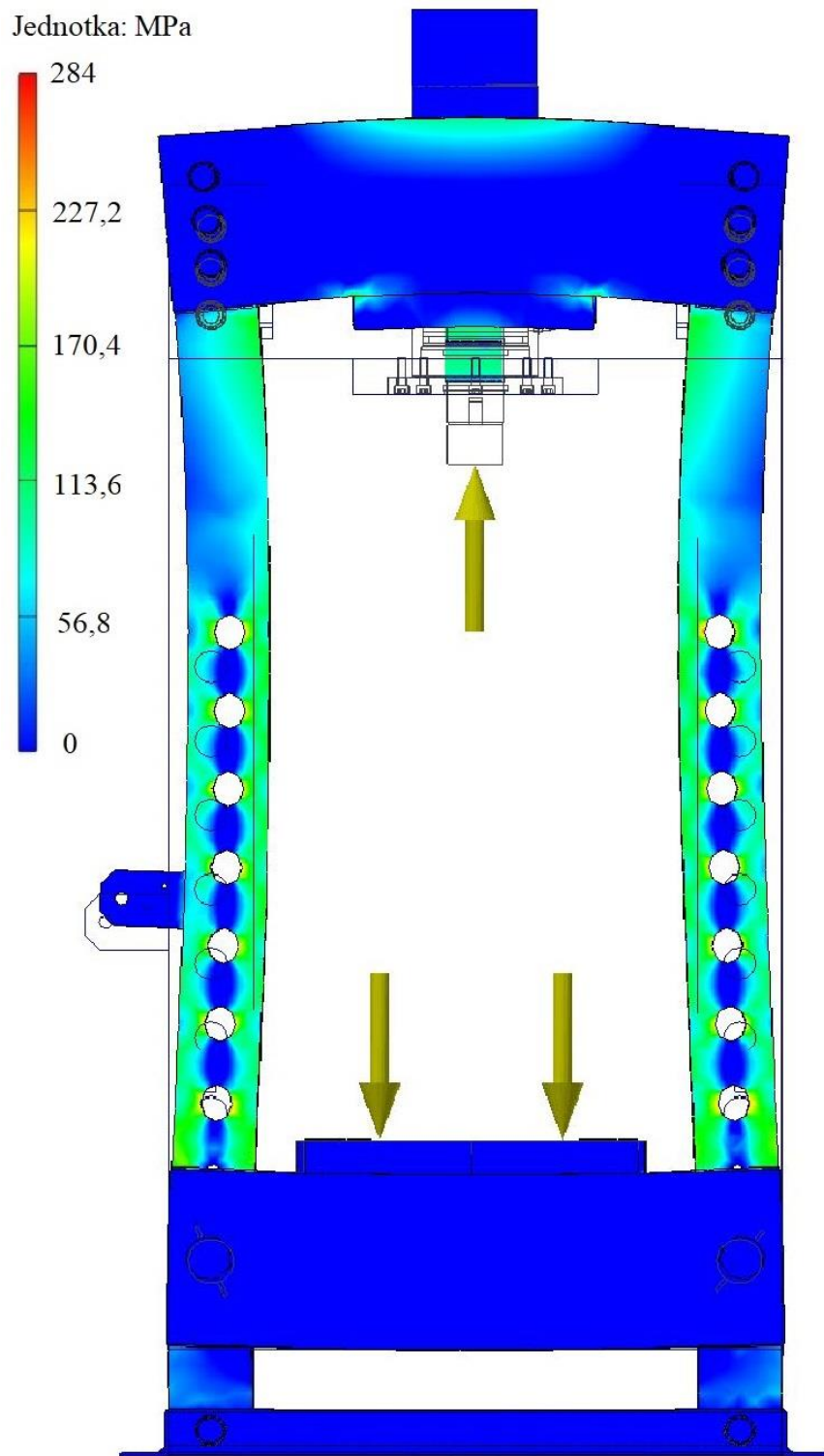
6.6 Porovnání výpočtové zprávy s výsledky MKP

Metoda konečných prvků (MKP), zpracovaných v softwaru Inventor na 3D modelu lisu, orientačně ověřuje správnost volby materiálu a jejich rozměrů. Základ správného vyhodnocení je nastavení fyzikálních charakteristik materiálů jednotlivých součástí lisu.

Nastavení zatížení pevnostní analýzy je simulováno třemi silami. Hlavní výpočtová síla, o velikosti 720 kN, působí na osu lisovacího nástavce. Na základě principu akce a reakce jsou pro simulování rozložení výpočtové síly do rámu lisu zvoleny dvě síly. Každá z nich o velikosti 360 kN. Nositelky těchto sil procházejí svislou osou obou lisovacích desek. Pro usnadnění výpočtové analýzy jsou z 3D modelu vyjmuty všechny díly kladkostroje, které nemají vliv na pevnost konstrukce.

Po správném nastavení a spuštění pevnostní analýzy vyplývá, že nejvíce namáhanými součástmi lisu jsou sloupky s otvory pro čepy stolu. Barevné znázornění působení jednotlivých napětí je možné pozorovat na Obr. 26). V podstatě celý sloupek je zbarven světle zelenou a modrou barvou. Z legendy je možné vyčíst, že se napětí v největší míře pohybuje v intervalu 113 - 170 MPa. Tímto je ověřeno, že analytický výpočet provedený v kap. 6.3.2, je správný. Výsledek v kap. 6.3.2 činí 164 MPa.

Podle očekávání nejkritičtějšími místy sloupků jsou díry pro čepy. Kolem jejich obvodu se koncentruje velké napětí na hranici meze kluzu. Toto tvrzení dokládá i výsledek analýzy napětí, kde je možné pozorovat, že se v bezprostřední blízkosti děr objevuje žlutá až červená barva. Znamená to, že se právě v těchto místech může projevit vliv cyklického zatěžování a iniciovat tím šíření trhliny směrem do oslabeného průřezu stojanu. Tomuto nebezpečí není možné nikdy zcela zamezit a při objevení takové vady je nutné stroj okamžitě odstavit a zjednat jeho opravu.



Obr. 26) Pevnostní analýza rámu lisu pomocí MKP

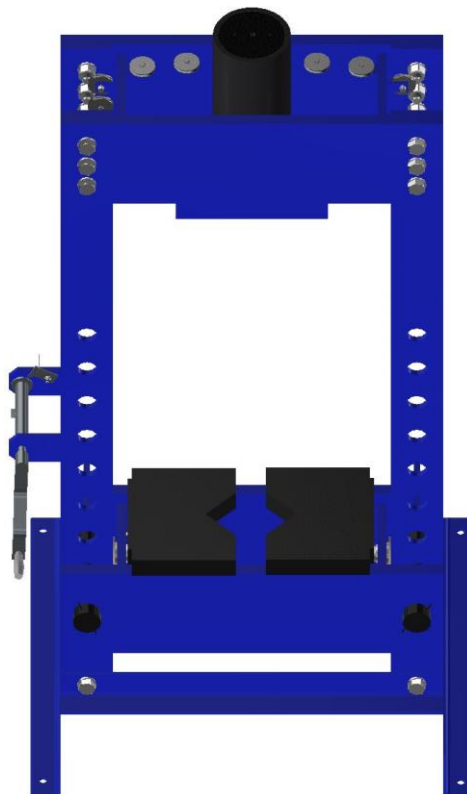
7 MONTÁŽ A OBSLUHA

Po úspěšném návrhu, výrobě a nákupu jednotlivých částí lisu je možné přistoupit k jeho montáži pro konečného spotřebitele. Postupně se zkompletuje konstrukce rámu, hydraulický válec a propojí se hydraulický okruh.

7.1 Montáž konstrukce rámu

Při montáži konstrukce rámu pneumaticko – hydraulického lisu (viz. Obr. 27) je nutné dodržet následující postup:

- Základnu umístit pevně na rovnou podlahu v požadované pozici pracovního prostoru.
- Na základnu svařenou z normalizovaných L profilů namontovat sloupy pomocí šroubů M24-70, matic M24 s pérovými a plochými podložkami.
- Na sloupy nasadit příčník pomocí jeřábu a utáhnout šrouby M24, aby nedošlo k jejich samovolnému uvolnění.
- Do konstrukce usadit stůl na nejnižší pozici pracovního prostoru a zajistit čepy, aby se zabránilo jeho pádu.
- Posledním a nutným bodem konstrukce lisu je provléknutí ocelového lana skrz kladkový mechanismus a jeho napnutí pomocí napínací závitové tyče umístěné z boční strany v příčníku.
- V případě nutnosti je možno celou konstrukci zakotvit do země pomocí chemických kotev, aby vlivem vibrací nedošlo k pohybu stroje nebo k jeho převrácení. Tento úkon se provádí až u konečného spotřebitele.

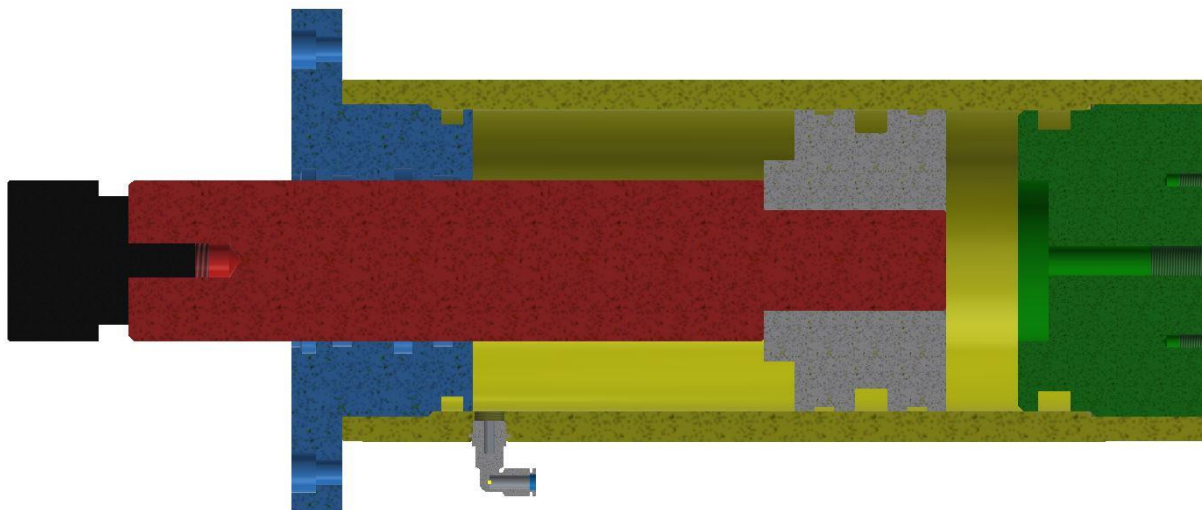


Obr. 27) Konstrukce lisu

7.2 Montáž hydraulického válce

Při montáži hydraulického válce (viz. Obr. 28) je nutné dodržet následující postup:

- Přesvědčit se o čistotě montážního místa i ocelových součástí, aby nedošlo ke znečištění hydraulického okruhu.
- Nasadit všechny potřebné těsnící prvky na patřičné součásti. Při montáži nesmí dojít k poškození nebo proříznutí těsnících prvků uvedených v Tab 4) vlivem špatné manipulace.
- Do hydraulického válce zašroubovat a utáhnout spodní víko. Je vhodné závit před montáží namazat olejem ke snížení součinitele tření, aby nedošlo k zadření závitu.
- Na vnější závit pístní tyče a vnitřní závit pístu nanést vrstvu těsnícího lepidla Loctite (nebo obdobné) a obě součásti do sebe zašroubovat. Celou komponentu vložit do válce a volně zalisovat skrz těsnění ve spodním víku.
- Hydraulický válec poté uzavřeme horním víkem a utáhneme pomocí dvou šroubů M8.

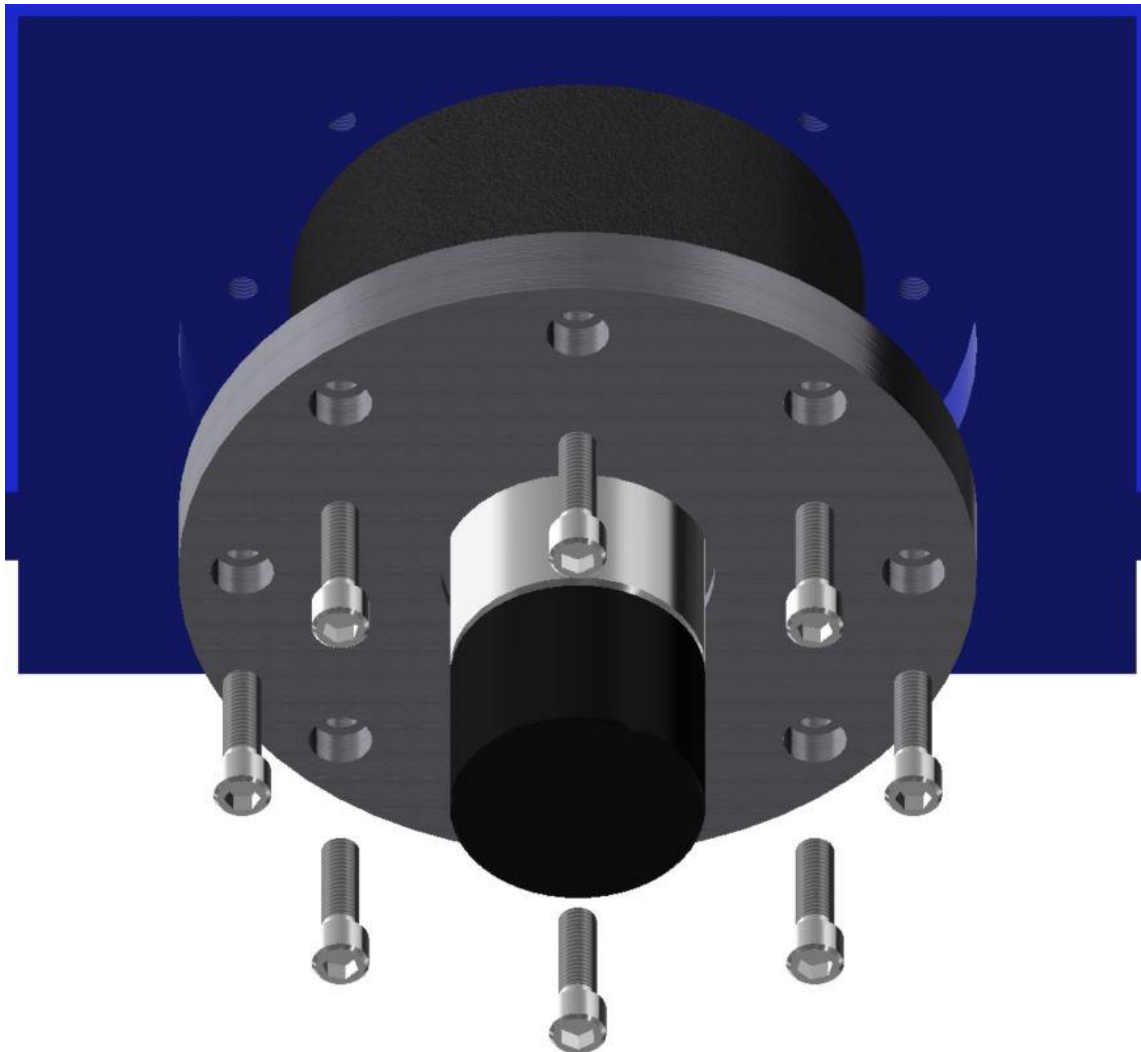


Obr. 28) Řez hydraulickým válcem

7.3 Montáž hydraulického okruhu

Při montáži hydraulického okruhu je nutné dodržet následující postup:

- Kompletní hydraulický válec prostrčit masivní deskou příčnicku do osazení a přišroubovat šrouby M12 (viz. Obr. 29)
- Do hydraulického válce zašroubovat přímé hydraulické šroubení a nástrčné otočné koleno.
- Umístit pneumaticko – hydraulický agregát do požadované pozice. V případě potřeby zakotvit do země.
- Připojit na výstup z agregátu hydraulickou hadicí a druhý konec připojit na šroubení v horním víku hydraulického válce.
- Připojit do otočného kolena na hydraulickém válci pneumatickou hadicí z plastu PUN o průměru 8 mm. Hadici vést souběžně s hydraulickou hadicí až do mechanicky ovládaného rozvaděče s kladkou.
- Připojit krátkou spojovací hadicí z mechanicky ovládaného rozvaděče s kladkou do šroubení tvaru Y na vstupu do agregátu.
- Připojit přívod stlačeného vzduchu do šroubení tvaru Y na vstupu do agregátu.



Obr. 29) Detail usazení hydraulického válce v příčnicku

7.4 Obsluha

Před vlastní prací s lisem je nutné seznámit obsluhu s návodem k obsluze a dodržovat základní postupy.

- Před začátkem práce je nutné provést vizuální kontrolu stroje, zda je v pořádku (unikající olej, porušení hydraulické hadice, materiálové porušení, stav pístní tyče, stav oleje v nádrži).
- Zapnout přívod stlačeného vzduchu do agregátu.
- Vyjmout čepy stolu a otáčením kliky kladkového mechanismu spustit nebo zvednout stůl do výšky podle rozměrů lisovaného předmětu a znovu stůl zajistit čepy.
- Špičkou chodidla stlačit ovládací pedál na straně s nápisem PUMP. Pístní tyč se vysouvá z pracovního válce a začíná lisovací operace.
- Po provedené operaci a uvolnění ovládacího pedálu, zůstane pístní tyč v pracovní poloze díky pojišťovacímu ventilu.
- Stlačením ovládacího pedálu na straně s nápisem RELEASE se uvolní tlak v obvodu. Zároveň pomocí ocelové tyče o průměru 8 mm, zasazené do ovládacího pedálu, dojde k otevření rozvaděče a přeměrování toku vzduchu do prostoru pod píst.
- Pístní tyč se vrací do výchozí polohy.

7.5 Technické údaje

Základní technické údaje zkonstruovaného pneumaticko – hydraulického lisu jsou uvedeny v Tab 7) .

Tab 7) Technické údaje

Parametr	Velikost	Jednotka
Jmenovitá síla:	600	kN
Zdvih:	180	mm
Rozevření:	120 - 1000	mm
Šířka stolu:	300	mm
Rozevření lisovacích desek:	500 - 620	mm
Propad ve stole:	70 x 70	mm
Půdorys základny:	1020 x 900	mm
Výška lisu:	2030	mm
Hmotnost:	560	kg

8 ZÁVĚR

Na začátku této bakalářské práce byla provedena rešeršní část. Okrajově byl zpracován úvod do historie a vývoj hydraulických lisů. Podrobněji byly zpracovány informace, které se následně použily v praktické části – tedy základní princip činnosti, rozdělení lisů a základní součásti hydraulických obvodů.

Byl prováděn průzkum současného tuzemského, zahraničního trhu a konkrétních parametrů, které by autoservisní technici brali v úvahu při nákupu nového hydraulického lisu. Hlavními parametry byly rozsah pracovního prostoru, lisovací síla a cena. Dále musely být zjišťovány možnosti řešení příčnicku s hydromotorem, bezpečnostní prvky, tvary stolů a způsob manipulace s nimi a v neposlední řadě reverzace pístu.

Na základě získaných informací bylo přistoupeno k výběru možných variant řešení hydraulického válce. Nejvhodnějšími variantami byla výroba hydraulického válce s pluzrem, popř. diferenciálním pístem, nebo nákup již hotové hydraulické soustavy v podobě pneumaticko - hydraulického zvedáku. Pomocí multikriteriální metody byla zvolena varianta s diferenciálním pístem. Přesto, že je výrobně náročnější, disponuje výhodou, které byla přiřazena největší váha - jeho snadná reverzace takřka čímkoli (hydraulicky, pneumaticky, pružinou, ...).

Na základě tohoto poznání bylo možné zpracovávat hlavní část práce - tedy samotný návrh pneumaticko - hydraulického lisu o lisovací síle cca 600 kN a rozsahu pracovního prostoru 120 – 1000 mm. Tyto základní cíle byly splněny použitím vhodného průměru pístu, nastavením redukčního ventilu a roztečí jednotlivých průchozích děr pro čepy stolu. K těmto zadaným vstupním parametrům byl přidán pneumaticko – hydraulický agregát UPF 505 italské výroby, který byl pomocí redukčního ventilu nastaven na 36 Mpa. Na tento použitý agregát byl dimenzován výpočet a konstrukce hydraulického válce.

Hydraulický válec s vnitřním průměrem 150 mm s tloušťkou stěny 15 mm byl z obou stran uzavřen odnímatelnými víky se všemi potřebnými těsněními. Mezi víky se pohybuje píst s pístní tyčí. Horní víko funguje zároveň jako vstup kapaliny do válce. Naopak spodní víko má za úkol fixaci celého systému k rámu lisu pomocí příruby a osazení.

Jako spojovací prvek mezi hydromotorem a hydrogenerátorem byla na základě katalogu výrobce hydraulických prvků zvolena hydraulická hadice s pracovním tlakem 44,5 MPa. Byla ponechána rezerva 8,5 MPa oproti skutečnému tlaku oleje v okruhu. Vzhledem k vertikální poloze pracovního válce bylo nutné zajistit i reverzaci pístu. Vzhledem k napájení agregátu a zadání práce jsem zvolil pneumatické vracení. Z toho důvodu je nutné vést k válci, spolu s hydraulickou hadicí, navíc pneumatickou hadicí o průměru 8 mm.

Jakmile byly známy všechny potřebné parametry pracovního hydraulického válce, začala se zpracovávat kompletní konstrukce podložená výpočtovou zprávou. Většina součástí byla pro přehlednost doplněna slovním popisem, obrázkem ze softwaru Autodesk Inventor a následně výtahem z výpočtové zprávy, popř. dalším zdůvodněním a vysvětlením detailů. Tento postup byl vynechán u nakupovaných součástí - zejména u pneumaticko - hydraulického agregátu, hydraulických a pneumatických hadic a těsnění, kde byla vynechána výpočtová zpráva. Nakupované komponenty jsem zvolil na základě nabídkových katalogů jednotlivých dodavatelů.

Konstrukce byla projektována „od podlahy“. Bylo přistoupeno k volbě základny, která byla vyřešena jednoduchým svařencem z L-profilů a několika otvory pro šrouby a kotvy. Sloupy tvoří ploché ocelové tyče s průchozími dírami pro šrouby a čepy stolu. Příčník je z důvodu velké tuhosti a velkému ohybovému momentu přišroubován dvanácti šrouby M24. Součástí je i tvarové osazení pro pevné zasazení hydraulického válce do rámu konstrukce. Stůl je tvořen dvěma vypalovanými plochými tyčemi. Rozměry těchto tyčí jsou totožné s těmi, které jsou použité na konstrukci příčníku. To může usnadnit nákup polotovarů. Stůl se usazuje pomocí čepů do průchozích děr na sloupech. Pro lepší rozložení lisovací síly na co největší plochu stolu slouží lisovací desky. Jsou tvarově přizpůsobené k tomu, že na stole mohou nejen ležet, ale je možné je otočit o 90°. To mohou uvítat provozové např. pro rovnání zdeformovaných předmětů. Těžký stůl je pohodlně vertikálně manipulován pomocí kladkového mechanismu s ocelovým lanem. Síla vynaložená na zvedání stolu je plně v intervalu s hygienickými standardy BOZP.

Z hlediska bezpečnosti nebyly v zadání kladeny žádné požadavky. Konstruován byl funkční lis bez bezpečnostních závor a bran. Lis však neprovádí žádné rychlé posuvy a pohyby, které by obsluhu výrazně ohrozily. Lis byl navržen s nožním ovládním a obsluha musí dbát na svoje bezpečí sama.

Při tvorbě 3D modelu, zejména pro výkresovou dokumentaci a splnění jednoho z cílů této bakalářské práce, byl model využit i k orientační kontrole provedených analytických výpočtů pomocí metody konečných prvků (MKP) v softwaru Autodesk Inventor. Na základě výsledků analýzy odpovídají analytické výpočty simulaci skutečného zatížení rámu lisu. Navržené rozměry jednotlivých součástí ve výpočtové zprávě vyhovují pro konstrukci lisu.

V poslední části byly v bodech rozepsány postupy montáže hydraulického válce, konstrukce rámu a kompletace hydraulického okruhu.

Podle preferencí budoucího zákazníka je možné lis vyrobit v libovolné barevné variantě pro sladění strojů například do firemních barev.

Budoucím rozšířením této práce může být řešení rychloposuvu pro rychlé přiblížení k lisovanému předmětu pomocí akumulátoru. Zvýšení bezpečnosti pomocí opláštění ocelovou sítí, popř. tlakových spínačů nebo optické brány. Pro snížení výrobních nákladů může být naviják pro zvedání stolu nakupovaný. Pořizovací náklady jsou mnohonásobně nižší než výroba celého kladkostroje. Vzhledem k nedostupnosti volně přístupného 3D modelu je pro názornost vymodelován jednoduchý mechanismus.

V průběhu návrhu lisu bylo největší úskalí s náročnou volbou hydraulické trubky, kde byl řešen problém spojení tlakové únosnosti a vlastnostmi nabízených materiálů. Toto úskalí jsem vyřešil zvětšením průměru pístu a zmenšením tlaku v okruhu. Nejvíce výpočetních iterací bylo prováděno na čep stolu, kde stále nevycházela požadovaná bezpečnost. Jakmile bezpečnost překročila požadovanou hodnotu, průměr čepu se stal příliš velký a pro manipulaci nevhodný. Dalším problémem byla návaznost čepu na další součásti lisu, které musely být přizpůsobeny – změna průměru čepu = změna rozměrů sloupu = změna rozměrů příčníku, stolu i základny. Tento problém byl vyřešen volbou jiného materiálu a následnou možností zredukování průměru čepu.

Výsledkem je funkční hydraulický lis s pneumaticko – hydraulickým pohonem se všemi požadovanými parametry. Ke kompletní obsluze lisu postačuje kvalitně upravený stlačený vzduch. Zadané parametry byly splněny. Výrobní cena byla stanovena odhadem na cca 60 000,- Kč. V porovnání s dalšími pneumaticko – hydraulickými lisy je to nepatrně

dražší varianta. Za tuto cenu je možné získat funkční lis, na jehož výrobu dostačují běžně přístupné konvenční stroje. Případné servisní práce hydraulického válce mohou být díky plně rozebíratelné konstrukci prováděny snadněji. Není potřeba řezat svary vík apod. Bezpečnost je podložena výpočtovou zprávou, což zejména pro podnikovou sféru může být směrodatné. K domácímu použití si každý člověk může pořídit jakékoliv zařízení dovezené například z asijských zemí. Nicméně je důležité mít na paměti, že koupě takového hydraulického lisu je ve většině případů nákup konstrukce bez podložených pevnostních výpočtů a jeho uvedení do provozu může být hazardem pro lidské zdraví.

9 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] ČECHURA, Milan a Jiří STANĚK. *Tvářecí stroje: hydraulické lisy*. Plzeň: Západočeská univerzita, 1999. ISBN 80-708-2480-8.
- [2] BÉM, Jiří. *Historická poznámka k úvodu do hydrauliky* [online]. [cit. 2020-02-06]. Dostupné z: http://hydraulika.fsv.cvut.cz/Hydraulika/Hydraulika/Predmety/Hya/ke_stazeni/Historie.pdf
Internetový zdroj
- [3] ŠKOPÁN, M.: *Hydraulické pohony strojů, elektronická skripta VUT v Brně 2009*
- [4] VÁCLAVÍČKOVÁ, Ivana. *Hydraulické kapaliny. Oleje.cz* [online]. [cit. 2020-02-06]. Dostupné z: <https://www.oleje.cz/clanek/Hydraulicke-kapaliny>
- [5] HYDRAULICKÉ LISY. *Industrien* [online]. [cit. 2020-02-07]. Dostupné z: <https://www.industrien.cz/hydraulicke-lisy/>
- [6] *Hydraulické lisy 6 - 300 t* [online]. [cit. 2020-02-07]. Dostupné z: <http://www.technology-garage.cz/hydraulicke-lisy-omcn-6-300-tun>
- [7] ČSN 21 0700 (210700). *Tvářecí stroje. Všeobecné bezpečnostní požadavky na konstrukci tvářecích strojů*. 1988.
- [8] In: *Hydraulic Pump* [online]. 2017 [cit. 2020-03-12]. Dostupné z: <http://hydraulicpumpwopakura.blogspot.com/2017/01/pneumatic-hydraulic-pump.html>
- [9] *Stránský a Petržík* [online]. 2020 [cit. 2020-02-08]. Dostupné z: <https://www.stranskyapetrzik.cz/pneu/uvod/menu/>
- [10] LOSSING, Benson John. *Hydraulic Press. ClipArt ETC* [online]. London, England: Cassell & Company Limited, 1891 [cit. 2020-02-09]. Dostupné z: https://etc.usf.edu/clipart/61400/61439/61439_hydraulic.htm
- [11] *Direct Industry* [online]. [cit. 2020-02-09]. Dostupné z: <https://www.directindustry.es/prod/amob-tube-and-profile-bending-machines/product-61071-1908442.html>
- [12] *Peddy* [online]. [cit. 2020-02-09]. Dostupné z: <https://www.peddy.cz/obrabeni-tvareci-stroje-lisy-hydraulicke/rucni-hydraulicky-lis-metallkraft-wpp-30#box-popis>
- [13] *Agro-centre: Hydraulikaggregate* [online]. [cit. 2020-02-09]. Dostupné z: <https://agrocenter.de/hydraulikaggregate-4-0-kw-hzbagr000070.html>
- [14] UPF 505. *Use and maintenance manual: Návod k obsluze*. 2016.
- [15] *Charvát Hykom, s.r.o.* [online]. [cit. 2020-03-28]. Dostupné z: <https://www.charvat-hykom.cz/>
- [16] KUDELKA, M. *Únavové vlastnosti konstrukční oceli 11 523*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakultastrojního inženýrství, 2012. 35s. Vedoucí bakalářské práce prof. Ing. Stanislav Věchet, CSc.. [online]. [cit. 2020-06-02]. Dostupné z: <https://core.ac.uk/download/pdf/30292831.pdf>

10 SEZNAM TABULEK A OBRÁZKŮ

10.1 Seznam tabulek

TAB 1)	PŘÍKLADY ČASTO POUŽÍVANÝCH HYDRAULICKÝCH OLEJŮ [3] ..15
TAB 2)	MULTIKRITERIÁLNÍ METODA VÝBĚRU23
TAB 3)	PŘEPOČET TLAKU A LISOVACÍ SÍLY.29
TAB 4)	SEZNAM TĚSNÍCÍCH PRVKŮ30
TAB 5)	SEZNAM MATERIÁLU43
TAB 6)	POROVNÁNÍ BEZPEČNOSTÍ43
TAB 7)	TECHNICKÉ ÚDAJE49

10.2 Seznam obrázků

Obr. 1)	Hydraulický lis od Josepha Bramaha [10]12
Obr. 2)	Jednostojanový otevřený rám typu "C"[11]14
Obr. 3)	Sloupový rám [12].....14
Obr. 4)	Elektro – hydraulický agregát [13].....16
Obr. 5)	Pneumaticko – hydraulický agregát [8].....17
Obr. 6)	Úpravná jednotka vzduchu [9]17
Obr. 7)	Bočně nastavitelné pojezdy hydraulických válců [6].....20
Obr. 8)	Hydraulické schéma25
Obr. 9)	Pneumatické schéma25
Obr. 10)	Řez pístem26
Obr. 11)	Pístní tyč27
Obr. 12)	Řez horního víka29
Obr. 13)	Řez hydraulickým válcem30
Obr. 14)	Řez spodním víkem32
Obr. 15)	Pneumaticko – hydraulický agregát UPF 505 [14]33
Obr. 16)	Hydraulická hadice[15]33
Obr. 17)	Spodní základna35
Obr. 18)	sloup bez držáku bubnu35
Obr. 19)	sloup s držákem bubnu36
Obr. 20)	Příčník37
Obr. 21)	Kompletní stůl s čepy a lisovacími deskami39
Obr. 22)	Čep stolu39
Obr. 23)	Svorka bubnu41
Obr. 24)	Držák kladky41
Obr. 25)	Soustava kladek na příčníku42
Obr. 26)	Pevnostní analýza rámu lisu pomocí MKP45
Obr. 27)	Konstrukce lisu46
Obr. 28)	Řez hydraulickým válcem47
Obr. 29)	Detail usazení hydraulického válce v příčníku48

11 SEZNAM PŘÍLOH

VÝKRES SESTAVENÍ - HYDRAULICKÝ LIS - HL-000-0

SEZNAM POLOŽEK – HYDRAULICKÝ LIS – HL-000-0

VÝROBNÍ VÝKRES – PŘÍČNÍK – HL-005-0

VÝROBNÍ VÝKRES – PÍST – HL-006-2

VÝROBNÍ VÝKRES – PÍSTNÍ TYČ – HL-006-3

VÝROBNÍ VÝKRES – DOLNÍ VÍKO – HL-006-4

VÝPOČTOVÁ ZPRÁVA

3D MODEL