

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: B2301 Strojní inženýrství
Studijní zaměření: Stavba výrobních strojů a zařízení

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Stanovení maximálního zatížení
hydraulického lisu

Autor: **Vít Pagač**
Vedoucí práce: **Ing. Václav KUBEC Ph.D.**

Akademický rok 2015/2016

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Vít PAGAČ**
Osobní číslo: **S15B0177K**
Studijní program: **B2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Stavba výrobních strojů a zařízení**
Název tématu: **Stanovení maximálního zatížení hydraulického lisu**
Zadávající katedra: **Katedra konstruování strojů**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Základní požadavky:

Zpracujte rešerši na téma rámy hydraulických kovacích lisů se spodním pohonem. Sestavte numerický model pro výpočet MKP vybraného hydraulického lisu a proveďte analýzu s cílem zjistit maximální tvářecí sílu při centrickém zatížení.

Základní technické údaje:

Technické parametry jsou uvedeny v příloze zadání.

Osnova bakalářské práce:

1. Rešerše na téma rámy hydraulických lisů
2. Sestavení výpočtového modelu
3. Napěťová a deformační analýza hlavních částí
4. Zhodnocení, závěr

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Rozsah kvalifikační práce: **30-40 stran A4**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:

HOSNEDL, S., KRÁTKÝ, J. Příručka strojího inženýra 1. Brno: Computer Press, 1999, ISBN 80-7226-055-3

ČECHURA, M., STANĚK, J. Tvářecí stroje: hydraulické lisy. Plzeň: Západočeská univerzita, 1999, ISBN 80-7082-480-8

STANĚK, J. Základy stavby výrobních strojů: tvářecí stroje. Plzeň: Západočeská univerzita, 2001, ISBN 80-7082-738-6

Podkladový materiál, výkresy, katalogy, apod. poskytnuté zadavatelem úkolu.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Václav Kubec, Ph.D.**
Katedra konstruování strojů
Konzultant bakalářské práce: **Ing. Václav Kubec, Ph.D.**
Katedra konstruování strojů

Datum zadání bakalářské práce: **21. září 2015**
Termín odevzdání bakalářské práce: **20. května 2016**


Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.
děkan




Doc. Ing. Václava Lašová, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 21. září 2015

Prohlášení o autorství

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

V Plzni dne:

.....

podpis

ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ (BAKALÁŘSKÉ) PRÁCE

AUTOR	Příjmení Pagač	Jméno Vít		
STUDIJNÍ OBOR	2301R016 „Stavba výrobních strojů a zařízení“			
VEDOUcí PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Ing. Kubec, PhD.	Jméno Václav		
PRACOVIŠTĚ	ZČU - FST - KKS			
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte	
NÁZEV PRÁCE	Stanovení maximálního zatížení hydraulického lisu			

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KKS	ROK ODEVZD.	2016
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	43	TEXTOVÁ ČÁST	43	GRAFICKÁ ČÁST	0
---------------	----	---------------------	----	----------------------	---

<p style="text-align: center;">STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</p> <p>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</p>	<p>Bakalářská práce obsahuje rešerši na téma rámy hydraulických lisů. Na vymodelovaném hydraulickém lisu je proveden MKP výpočet. Výpočet je zanalyzován a podle něj navrhuta maximální síla, kterou je lis možné zatížit. Výsledky jsou vyhodnoceny.</p>
<p style="text-align: center;">KLÍČOVÁ SLOVA</p> <p style="text-align: center;">ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</p>	<p>Hydraulický lis, MKP výpočet, rámy, analýza výpočtu, centrické zatížení, rešerše, dělení tvářecích strojů</p>

SUMMARY OF DIPLOMA (BACHELOR) SHEET

AUTHOR	Surname Pagač	Name Vít	
FIELD OF STUDY	2301R016 “Machine design“		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Ing. Kubec, PhD.	Name Václav	
INSTITUTION	ZČU - FST - KKS		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Determination of the maximum load of a hydraulic press		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	Machine Design	SUBMITTED IN	2016
----------------	------------------------	-------------------	----------------	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	43	TEXT PART	43	GRAPHICAL PART	0
----------------	----	------------------	----	-----------------------	---

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	Bachelor thesis contains a search on the topic frame hydraulic presses. Modelled on a hydraulic press is made of FEM calculation. The calculation is analyzed and designed according to him, the maximum force that the press can be loaded. The results are evaluated.
KEY WORDS	Hydraulic press, FEM calculation, frames, analysis calculation centric load, search, classification of forming machines

OBSAH

Přehled použitých zkratk a symbolů.....	3
1 Úvod	4
2 Historický vývoj tvářecích strojů	5
3 Tvářecí stroje.....	8
4 Dělení tvářecích strojů.....	8
4.1 Dělení podle druhu relativního pohybu nástroje	8
4.2 Dělení podle způsobu realizace silových a energetických veličin stroje.....	9
4.2.1 Zdvihové stroje.....	9
4.2.2 Silové stroje	9
4.2.3 Stroje využívající pro tvářenání kinetickou energii	10
5 Rámy tvářecích strojů.....	11
5.1 Materiály pro stavbu rámů.....	11
5.2 Dělení rámů tvářecích strojů.....	11
5.2.1 Otevřené rámy „C“	11
5.2.2 Uzavřené rámy „O“.....	12
6 Hydraulické tvářecí stroje.....	13
6.1 Dělení lisů.....	13
6.2 Dělení hydraulických lisů	14
6.2.1 Dělení lisů podle orientace rámu.....	14
6.2.2 Dělení lisů podle umístění pohonu	16
6.3 Princip hydraulického lisu	17
6.4 Pohon hydraulických lisů	18
6.4.1 Hydraulické lisy s přímým pohonem.....	18
6.4.2 Hydraulické lisy s nepřímým pohonem	19
6.4.3 Hydraulické lisy s multiplikátorovým pohonem.....	20
6.5 Základní technické parametry hydraulických lisů	21
7 Hydraulický lis 100[t].....	22
7.1 Charakteristika hydraulického lisu 100[t]	24
7.2 Postup sestavení výpočtového modelu.....	25
7.3 Výpočtový model hydraulického lisu 100[t]	25
7.4 Okrajové podmínky hydraulického lisu 100[t]	28
7.5 Výsledky numerického výpočtu hydraulického lisu 100[t]	30
7.5.1 Průběh napětí.....	30

7.5.2	Průběh deformací.....	33
7.6	Zhodnocení výsledků výpočtu.....	34
8	Návrh maximální síly.....	35
8.1	Průběh napětí.....	35
8.2	Zhodnocení výpočtu.....	37
9	Závěr.....	38
	Použitá literatura.....	39
	Seznam obrázků.....	40

PŘEHLED POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

V práci jsou používány veličiny a jednotky všeobecně známé. Méně známé veličiny jsou vysvětleny v textu.

1 ÚVOD

Hlavním cílem této bakalářské práce je vytvořit 3D model reálného hydraulického lisu 100[t] umístěného v dílně na Západočeské univerzitě v Plzni a následně na tomto modelu provést MKP výpočet.

Před samotným modelováním bude vypracována rešerše na téma rámy hydraulických lisů. Obsahem rešerše bude stručný popis vývoje tvářecích strojů a následně vypracování základního rozdělení současných tvářecích strojů. Dalším krokem bude rozdělení a popis hydraulických tvářecích lisů. Tyto informace budou následně nápomocné ke tvorbě 3D modelu hydraulického tvářecího lisu.

Po zpracování rešerše bude vytvořen 3D model v programu Creo parametric. Modely traverz budou zpracovány podle poskytnutých výkresů. Další části lisu bude nutné naměřit přímo z reálného lisu.

Poté bude na zhotoveném 3D modelu proveden MKP výpočet. Před samotným výpočtem budou provedena na modelu potřebná zjednodušení a zanalyzovány stavy pracovního cyklu pro správné zavedení sítě a okrajových podmínek.

Na základě získaných výsledků bude provedena analýza, z které budu vycházet pro návržení maximální síly při centrickém zatížení, kterou je možné rám hydraulického lisu zatížit.

Výsledky MKP výpočtů budou náležitě okomentovány a zanalyzovány.

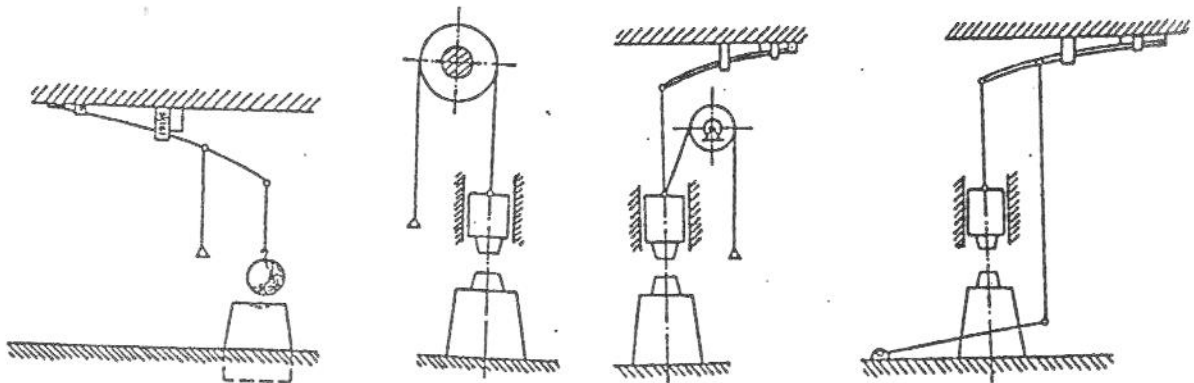
2 HISTORICKÝ VÝVOJ TVÁŘECÍCH STROJŮ

Prvním způsobem, kterým byl kov zpracováván tvářením, bylo kování mezi kovadlinou a kladivem. Při tvářením kladivem se využívala k tvářením materiálu především kinetická energie. Tato energie byla kladivem předávána do výkovku, kde se přeměnila v plastickou deformaci tvářeného kusu.

Člověk se kovááním zabývá již od pravěku pro zhotovování zbraní, zemědělských nástrojů, hospodářských předmětů, ozdob apod.

Vývoj tvářecích strojů je úzce spjat s vývojem poznání lidské společnosti. Vývoj se ubíral od nejjednodušších metod ručního kování přes užívání síly zvířat po moderní tvářecí stroje. Ve středověku je nahrazována fyzická práce lidí a zvířat mechanickou silou, která byla získávána hlavně z vody a větru.

V 9. století jsou využívány ke kování jednoduchá mechanizovaná kladiva.[1]

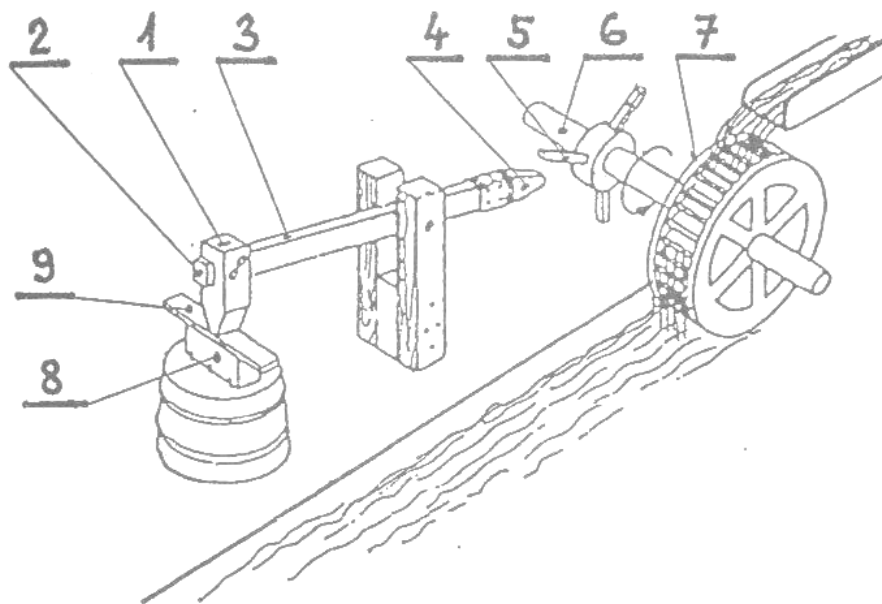


Obrázek 2.1 - Jednoduchá mechanizovaná kladiva[1]

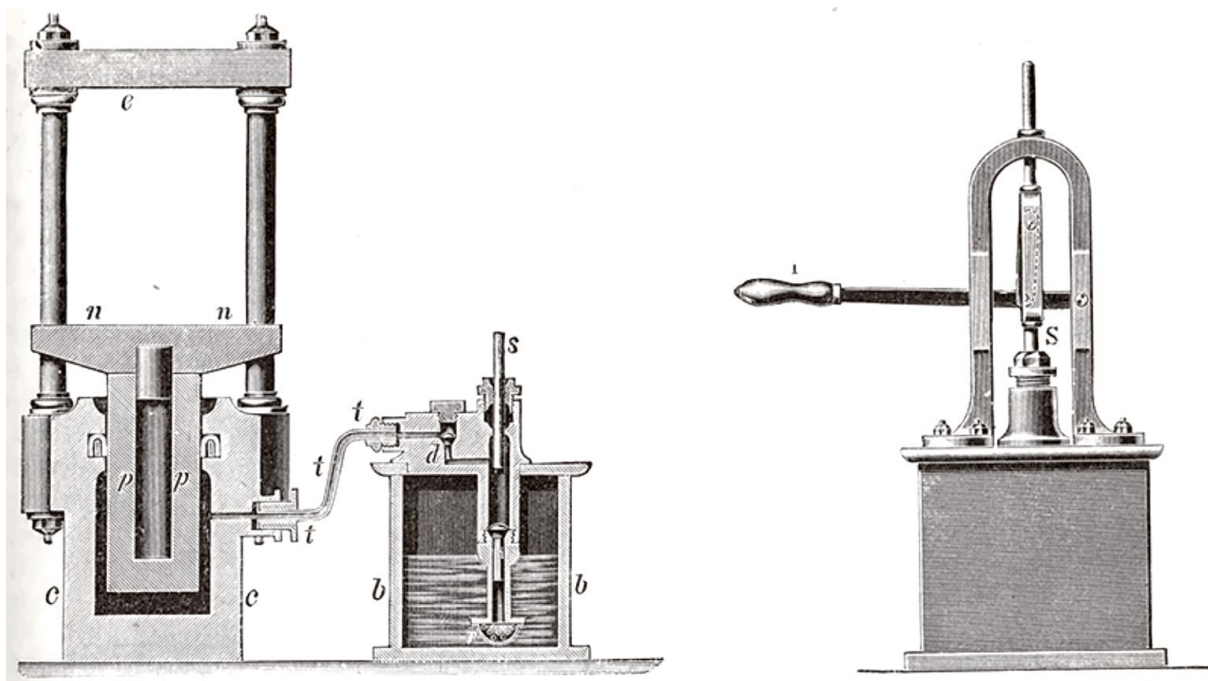
V 11. století ve středověké Anglii se rozvíjí využívání vodní síly. Vodní kola začala pohánět vodní mlýny, železné hamry, pily apod.

V 15. století se začínají objevovat počátky mechanizovaných bucharů poháněných vodou (Obrázek 2.2).

V 18. století bylo pro pohon tvářecích strojů využito hydrauliky. Známý je anglický patent č. 2405 hydraulického lisu od Bramaha, který byl udělen v roce 1795. Jednalo se o hydraulický lis opatřený ručním čerpadlem. Angličan Joseph Bramah vyšel z principu o rovnoměrném šíření tlaku v kapalinách, objeveného Blaisem Pascalem r. 1660, a vynalezl hydraulický lis. Velkou předností těchto hydraulických tlakových zařízení oproti mechanickým pákovým a šroubovým mechanismům je možnost jejich snadného ovládní na dálku. V takovémto, nebo podobném provedení zůstala zachována konstrukce hydraulického lisu až do poloviny 19. století (Obrázek 2.3).[1]

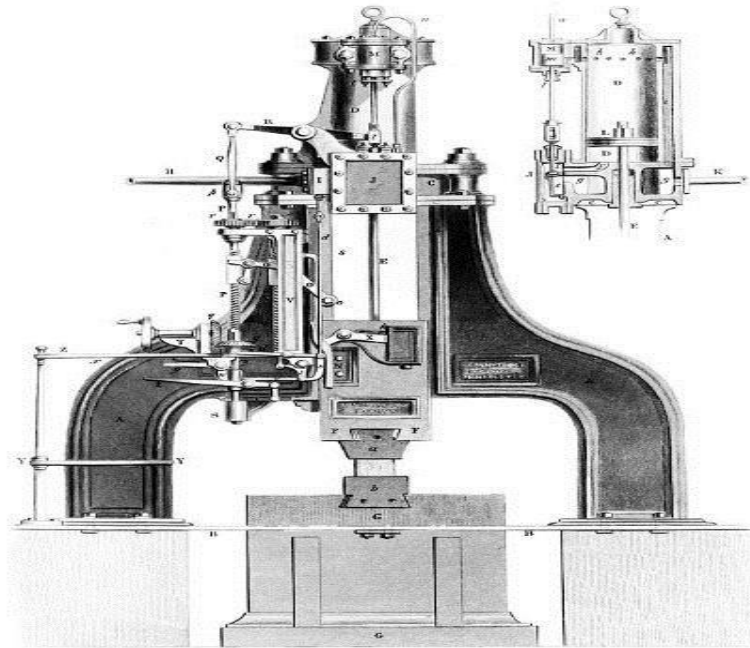


Obrázek 2.2 - Buchar s vodním pohonem – hamr
 1 - beran, 2 - topor, 3 - dvojramenná páka, 5 - rohatky palcového kola, 6 - hřídel, 7 - vodní kolo,
 8 - nepohyblivé kovadlo, 9 - kovaný předmět[2]



Obrázek 2.3 - Hydraulický lis na ruční pohon realizovaný Josephem Bramahem[3]

V roce 1839 byl skotským nástrojařem Jamesem Nasmythem, na základě rozvoje lodní dopravy a potřeby velkých zaoceánských lodí, postaven první silný parní buchar. V ose bucharu se pohyboval mnoho tun vážící beran, který byl zvedán parním strojem a posléze spuštěn na základě vlastní tíhy na tvářený kus. Využití tohoto bucharu mělo největší význam v zápustkovém kování.[1]



Obrázek 2.4 -Nasmythův parní buchar[3]

V roce 1861 Essenský podnikatel Alfred Krupp uvedl do provozu parní buchar, který byl ve své době považován za technický div. Zmíněnému bucharu se přezdívalo Fritz. Beran zvedaný parním mechanismem měl hmotnost 30[t] a v pozdější době dokonce 50[t]. Padajícímu beranu byla pomocí páry dodávána přídatná energie. Stroj byl v provozu kolem 50 let.

Na přelomu 19. a 20. století došlo ke značnému rozvoji konstrukce hydraulických lisů. Roku 1928 byl postaven největší hydraulický kovací lis na světě. Jednalo se o svislý hydraulický kovací lis se třemi pracovními válci umístěnými v horní traverze o síle 15000[t] (150[MN]). Lis byl určen k výrobě vysokotlakých nádob pro chemický průmysl. Stroj byl určen ke zpracování ocelových bloků do hmotnosti 300[t].

V roce 1951 byl postaven v Německu lis o síle 300[MN]. Poté byly provedeny modely lisů o síle 500 a 750[MN].

V letech 1971 až 1973 byl proveden konstrukční návrh lisu o síle 1000[MN] a tlaku 50[MPa]. Tento projekt byl zrealizován na Vysoké škole strojní a elektrotechnické v Plzni ve spolupráci s TS Škoda Plzeň. Tento konstrukční návrh byl realizován firmou Uralmaš v Rusku, avšak s nižšími parametry síly 750[MN] a tlaku 32[MPa] lisu.

V současné době jsou hydraulické lisy v některých technologiích zcela nezastupitelné, zvláště v případě kování velice rozměrných a hmotných výkovků. V současné době není limitující velikost konstrukce a parametrů hydraulických lisů, ale vyrobení dostatečně velkého polotovaru (ingotu), ze kterého musí být výrobek vykován.[1]

3 TVÁŘECÍ STROJE

Hlavním úkolem tvářecích strojů je zpracovávat materiál tvářením a tím přetvářet polotovary na požadovaný tvar výrobku. Tvářecí stroje se využívají také pro dělení materiálu. Tyto procesy jsou prováděny zatepla nebo zastudena. Hlavními zástupci těchto strojů jsou lisovací a bichary, jejichž konstrukce jsou realizovány různou velikostí, provedením a způsobem přenášení síly na tvářený materiál.

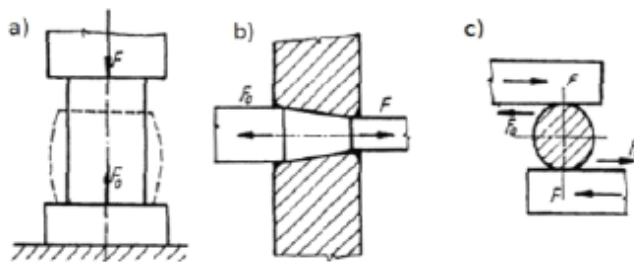
Snahou u tvářecích strojů je dosáhnout co největší účinnosti přenosu energie od motoru na tvářený polotovar. Výhodami tvářecích strojů je jejich nízká poruchovost díky relativně jednoduché konstrukci a také úspora odpadu při tvářením materiálu v porovnání s obráběním.

4 DĚLENÍ TVÁŘECÍCH STROJŮ

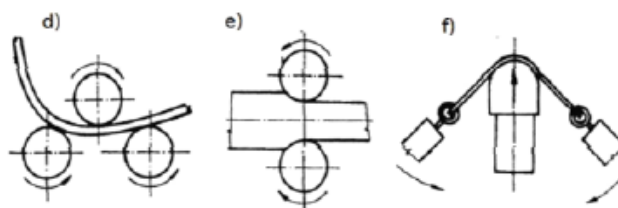
Tvářecí stroje lze dělit podle různých hledisek. Tím základním je dělení podle druhu relativního pohybu výstupního členu tvářecího stroje, dále pak podle způsobu realizace silových a energetických veličin stroje, podle druhu mechanismu použitého k přenosu energie a podle charakteristiky tvářecího pochodu.[4]

4.1 DĚLENÍ PODLE DRUHU RELATIVNÍHO POHYBU NÁSTROJE

Dělení podle druhu relativního pohybu nástroje vůči tvářenému materiálu je jedno ze základních rozdělení. Podle tohoto dělení se tvářecí stroje rozdělují na stroje s přímočarým a nepřímým relativním pohybem nástroje. Do oblasti strojů s přímočarým pohybem nástroje patří například lisovací nebo válcovací stolice. Do oblasti strojů s nepřímým pohybem nástroje spadají zakružovací stroje a stroje válcovací s válcovým nástrojem vykonávajícím rotační pohyb a ohýbací stroje s nástrojem vykonávajícím obecný pohyb.[4]



Obrázek 4.1 - Tvářecí stroje s přímočarým pohybem nástroje
a) lis, b) tažný stroj, c) válcovací stroj s přímočarým pohybem nástroje[4]

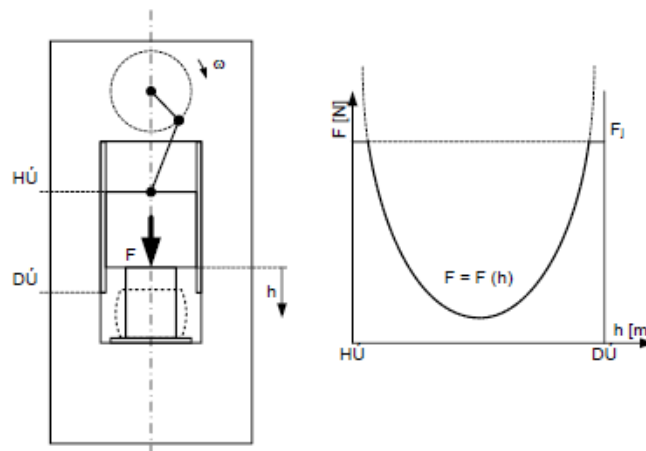


Obrázek 4.2 - Nástroje s nepřímým pohybem nástroje
d) zakružovací stroj, e) válcovací stroj s rotačním pohybem nástroje, f) ohýbací stroj[4]

4.2 DĚLENÍ PODLE ZPŮSOBU REALIZACE SILOVÝCH A ENERGETICKÝCH VELIČIN STROJE

4.2.1 ZDVIHOVÉ STROJE

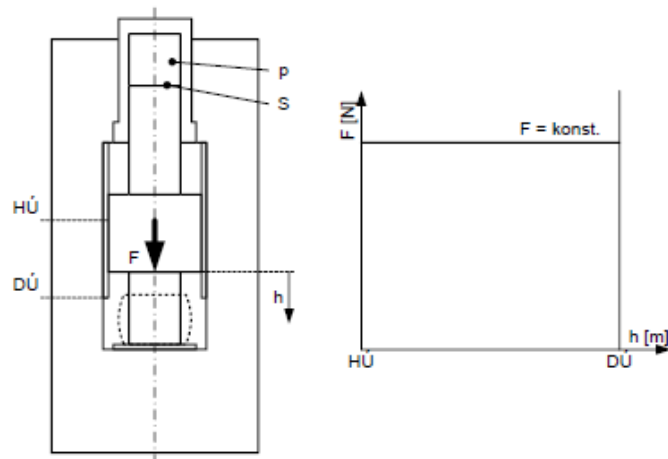
Typickým představitelem zdvihových tvářecích strojů jsou mechanické lisy, konkrétněji například klikový lis (Obrázek 4.3). Mechanismus zdvihových strojů může být realizován klikovým, kolenovým, kloubovým nebo výstředníkovým mechanismem. Síla na beranu je funkcí zdvihu, tedy velikost síly se odvíjí od okamžité polohy hnacího ústrojí. Maximálních sil při pracovním cyklu je dosaženo v maximálních úvratech. Síly vzniklé při tváření jsou zachyceny rámem stroje. Základními parametry pro zdvihový tvářecí stroj jsou síla F a zdvih h . [4]



Obrázek 4.3 - Tvářecí zdvihový stroj - klikový lis
 ω – úhlová rychlost, h – zdvih, F – síla na beranu, F_j – jmenovitá síla [3]

4.2.2 SILOVÉ STROJE

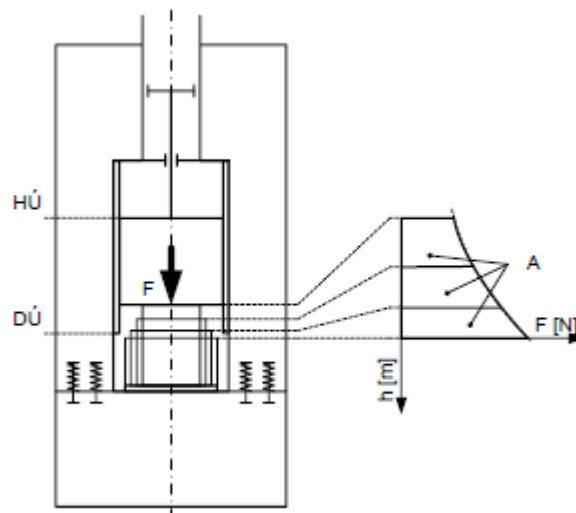
Pro silové tvářecí stroje je nejtypičtějším představitelem hydraulický lis (Obrázek 4.4). Charakteristickým znakem tvářecích silových strojů je síla, která je v průběhu celého zdvihu konstantní a nezávislá na zdvihu beranu. Síly, které vznikají při tváření, jsou zachyceny rámem stroje. U silových strojů je možné nastavit různou velikost zdvihu nástroje. Základním parametrem pro silové tvářecí stroje je síla F . [4]



Obrázek 4.4 - Tvářecí silový stroj - hydraulický lis
 p – tlak hydraulického média, h – zdvih, F – síla na beranu, S – plocha plunžru[3]

4.2.3 STROJE VYUŽÍVAJÍCÍ PRO TVÁŘENÍ KINETICKOU ENERGIÍ

Představitelem tvářecích strojů využívajících pro tváření kinetickou energii je buchar (Obrázek 4.5). Do této skupiny také patří vřetenový lis, který má kinetickou energii uloženou v setrvačnicku. Buchar využívá pro tváření výkovku kinetickou energii nástroje, který je spuštěn volným pádem na výkovek. Pohyb volným pádem nástroje může být urychlován. Tvářecí síla je definována velikostí hmotnosti a rychlosti dopadajícího nástroje. Součin hmotnosti a dopadové rychlosti nástroje je vyjádřením hybnosti nástroje. Energie, která není spotřebována ke tváření výkovku, je zpravidla zachycena šabotou a základem stroje. Základním parametrem bucharů je kinetická energie.[4]



Obrázek 4.5 – Schéma bucharu
 F - síla na beranu, A – vykonaná práce, h – zdvih[3]

5 RÁMY TVÁŘECÍCH STROJŮ

Rám stroje slouží k ukotvení všech funkčních částí daného stroje a k přenesení a zachycení sil vznikajících při výrobním procesu do základu stroje. Funkční části stroje jsou části, které jsou potřebné pro fungování stroje, například převod hnací síly, pohon stroje, chlazení, ovládací prvky apod.

Rám stroje je nejdůležitějším prvkem výrobních strojů a mají největší vliv na rozměrovou a tvarovou přesnost výrobku. Základním elementem rámu stroje je stojan.

5.1 MATERIÁLY PRO STAVBU RÁMŮ

Volba nejvhodnějšího materiálu rámu stroje závisí především na vlastnostech stavebního materiálu. Vlastnostmi stavebního materiálu jsou myšleny především mechanické, fyzikální a technologické.

Nejdříve je nutné zhodnotit, jaké požadavky jsou pro daný výrobní stroj žádoucí a posléze podle toho vybrat vhodný stavební materiál s potřebnými vlastnostmi jako jsou například tuhost, mez pevnosti, odolnost proti cyklickému zatěžování, tlumící účinky apod.

Další kritéria pro výběr materiálu jsou cena materiálu, způsob zpracování materiálu, možnost ekologické likvidace atd.

5.2 DĚLENÍ RÁMŮ TVÁŘECÍCH STROJŮ

Základním rozdělením rámu tvářecích strojů je na rámy otevřené „C“ a rámy uzavřené „O“. Další rozdělení je podle výrobní technologie rámu (rámy z jednoho kusu a rámy dělené) a použitého materiálu na rám stroje (svařované a odlévané rámy).

5.2.1 OTEVŘENÉ RÁMY „C“

Otevřené rámy (Obrázek 5.1) se skládají ze stojin a stolu a mohou být zkonstruovány jako jedno stojanové nebo dvou stojanové. Otevřené rámy mohou být s pevným nebo pohyblivým stolem.

Otevřené rámy jsou při pracovním cyklu středového zatížení namáhány nesouměrně. Působením tvářecí síly se rám rozevírá, čímž je porušena souosost spodního a horního nástroje. Z tohoto důvodu jsou otevřené rámy používány pro stroje malých a středních velikostí.

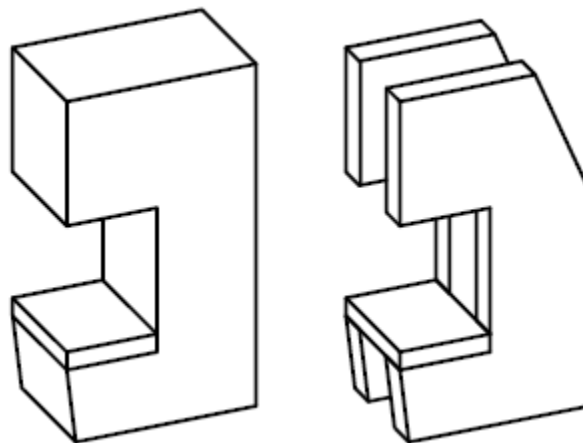
Výhodou otevřených rámu je větší přístupnost do pracovního prostoru stroje, což dovoluje lepší manipulaci s výrobkem.[4]

5.2.2 UZAVŘENÉ RÁMY „O“

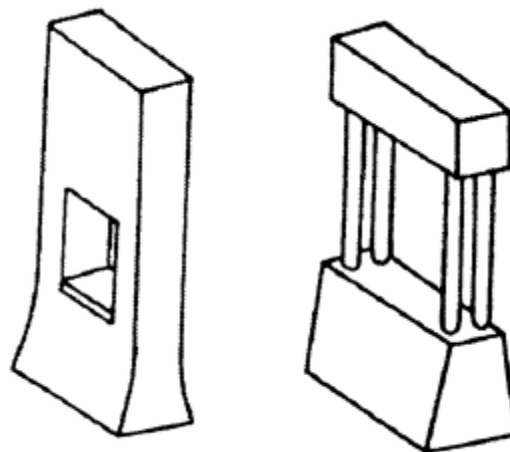
Uzavřené rámy (Obrázek 5.2) se skládají ze stojin nebo sloupů a stolu. Mohou být zkonstruovány ze dvou sloupů nebo stojin pro rovinné uspořádání nebo ze čtyř sloupů nebo stojin pro objemové uspořádání.

Pracovní prostor uzavřených ráků je při pracovním cyklu středového zatížení namáhán souměrně, proto se používají pro středně těžké a těžké stroje.

Nevýhodou uzavřených ráků je omezený přístup do pracovního prostoru stroje (ze dvou stran), čímž je omezena manipulace s výrobkem.[4]



Obrázek 5.1 - Jednostojanový a dvoustojanový otevřený rám[5]

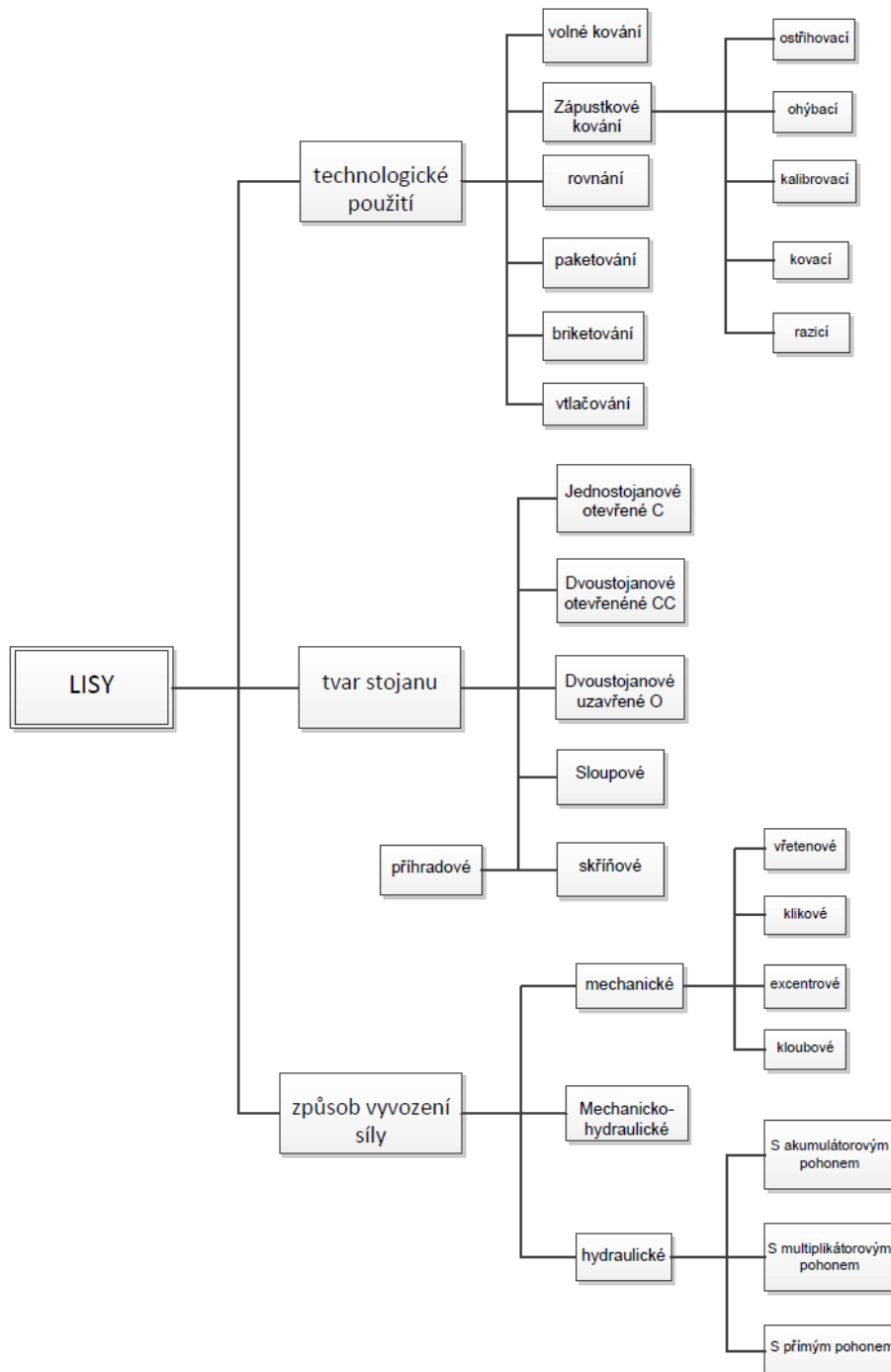


Obrázek 5.2 - Uzavřený rám stojanový a sloupový[5]

6 HYDRAULICKÉ TVÁŘECÍ STROJE

6.1 DĚLENÍ LISŮ

Na obrázku 6.1 je zobrazeno rozdělení lisů podle třech hlavních kritérií. Kritériem technologického použití rozděluje lisy podle druhu operace, která je na daném lisu prováděna. Tvar stojanu neboli rám lisu dělí lisy podle jejich konstrukce. Dále pak kritérium způsobu vyvození síly nastiňuje druhy pohonů, kterými mohou být lisy poháněny.



Obrázek 6.1 - Dělení lisů dle kritérií

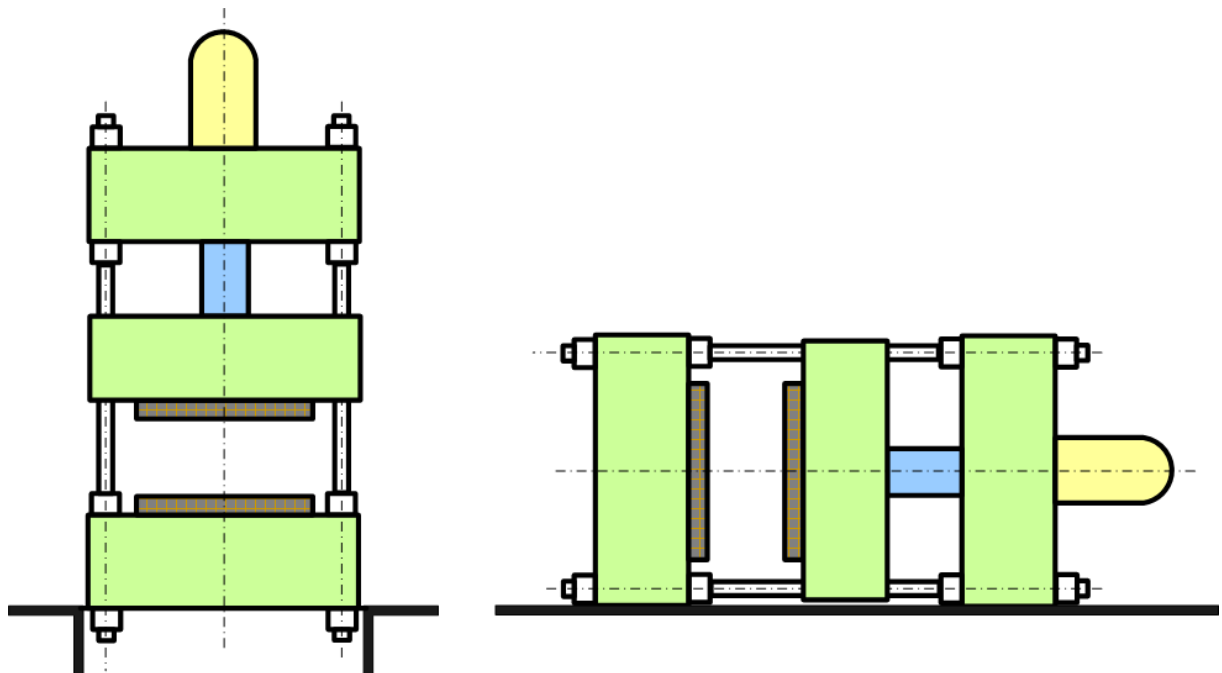
6.2 DĚLENÍ HYDRAULICKÝCH LISŮ

Hydraulické lisy lze dělit podle technologického využití stroje a provedení konstrukce lisu. V kapitolách dále bude věnována pozornost na provedení konstrukce lisů, které zahrnuje druh pohonu a jeho umístění, orientaci konstrukce a typ rámu. Rámy strojů jsou již zhodnoceny v kapitole 5.

6.2.1 DĚLENÍ LISŮ PODLE ORIENTACE RÁMU

Rámy lisů mohou být orientovány horizontálně nebo vertikálně (Obrázek 6.2). Každý z těchto rámu bývá většinou preferovaný v různých výrobních procesech. Horizontální rám lisu je nejčastěji používán pro vytlačovací a vstřikovací lisy. Pro vertikální lisy jsou nejcharakterističtější středně těžké a těžké kovací lisy. Horizontální provedení rámu je lépe přístupné pro obsluhu po celé délce stroje a tím je umožněno rychlejší seřízení a výměna nástroje, opravy stroje apod.

Na obrázku 6.3 je ukázka vertikálního otevřeného rámu a na obrázku 6.5 horizontálního otevřeného rámu. Z obrázků vyplývá, že se otevřené i uzavřené rámy mohou vyskytovat v horizontálním i vertikálním provedení. Každý z těchto rámu má různý přístup k práci s pracovním prostorem stroje.



Obrázek 6.2 - Vertikální (vlevo) a horizontální (vpravo) provedení lisu[6]



Obrázek 6.3 - Vertikální hydraulický lis PROSPEROUS[10]



Obrázek 6.4 - Vertikální hydraulický lis PROSPEROUS[9]



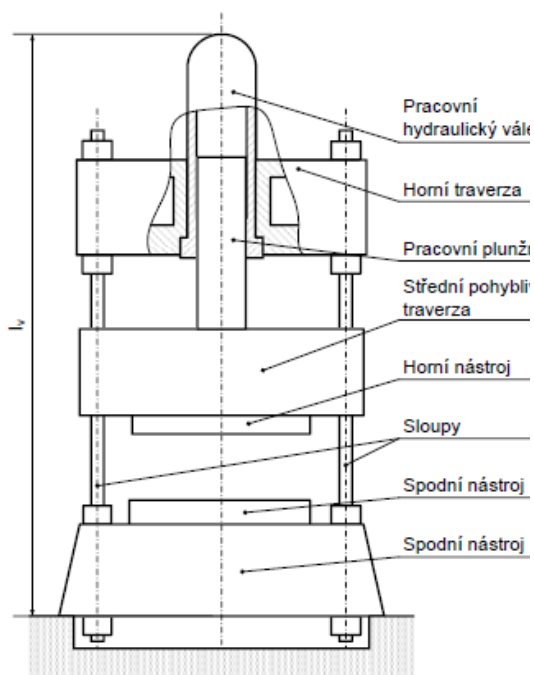
Obrázek 6.5 - Horizontální hydraulický lis MECAMAQ PHH250 4450[11]

6.2.2 DĚLENÍ LISŮ PODLE UMÍSTĚNÍ POHONU

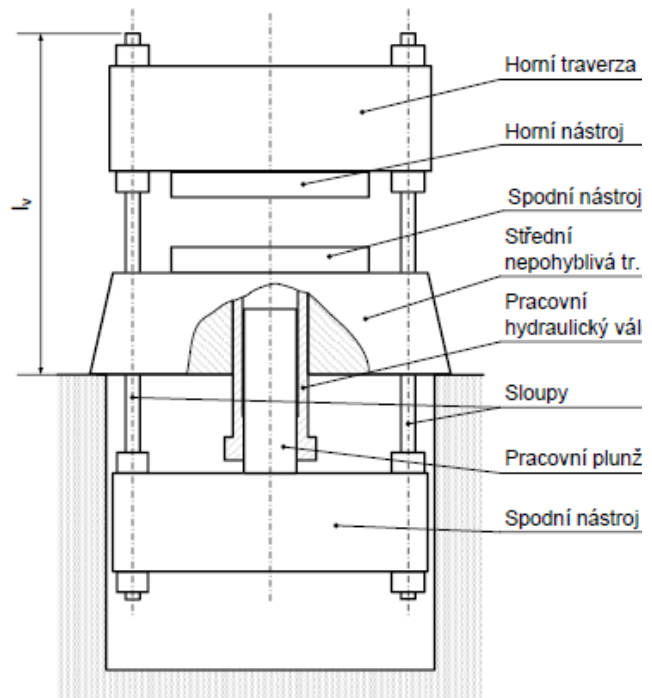
Pohon hydraulických lisů je buďto horní nebo spodní. Běžněji používaný je horní pohon popsany na obrázku 6.6. Hlavním znakem lisů s horním pohonem je, že při pracovním procesu se pohybuje střední traverza. Výhodou horního pohonu je jeho snadná dostupnost k pohonnému ústrojí a tím je snadněji proveditelné seřízení a údržba stroje. V případě lisů s horním pohonem může nastat při úniku provozní kapaliny a jejím kontaktem s rozžhaveným výkoveklem požár. Tyto stroje zabírají více prostoru do výšky než lisy s dolním pohonem.

Hlavním znakem lisů se spodním pohonem (Obrázek 6.7) je, že pohyb vykonává rám stroje a střední traverza je nepohyblivá a zabudovaná do základu. Lisy se spodním pohonem mají své poháněcí ústrojí zabudované pod podlahou. Z toho vyplývá menší prostorová náročnost stroje nad zemí na rozdíl od horního pohonu, ale zato se obtížněji provádí údržba, seřízení a oprava stroje. Výhodou je bezproblémové zachycení provozní kapaliny, která může v průběhu práce stroje unikat.

Pohony hydraulických lisů mohou mít provedení s plunžrem nebo dvojčinným pístem. Dvojčinný píst zajišťuje pracovní i zpětný pohyb nástroje. Plunžr zprostředkovává pouze pracovní pohyb nástroje. V tom případě musí mít lis zabudovaný samostatný píst zajišťující zpětný pohyb nástroje do výchozí polohy. Tento samostatný píst je rozměrově menší, protože pro navrácení nástroje není potřebná velká síla.[2]



Obrázek 6.6 - Schéma vertikálního provedení lisu s horním pohonem[3]



Obrázek 6.7 - Schéma vertikálního provedení lisu s dolním pohonem[3]

6.3 PRINCIP HYDRAULICKÉHO LISU

Hydraulické lisy jsou založeny především na principu Pascalova zákona. Tento zákon je založen na rovnoměrném šíření tlaku p v kapalinách všemi směry.

Pascalův zákon:

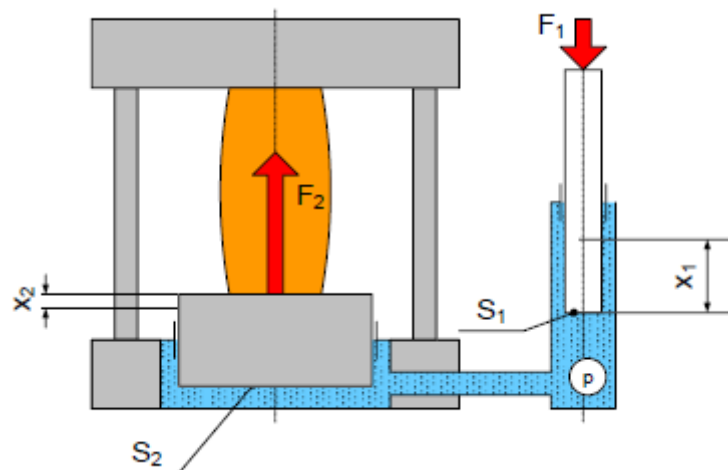
$$p = \frac{F}{S}$$

Na obrázku 6.8 je zobrazeno schéma principu hydraulického mechanismu. Při vyvození síly F_1 na malý píst (plunžr) o průřezu S_1 vznikne v kapalině tlak p , který následně působí na píst (plunžr) o průřezu S_2 a vyvodí tak sílu F_2 . Při aplikování relativně malé síly na vstupu vznikne několikanásobně větší síla na výstupu. Velikost poměru mezi těmito silami je definována hydraulickým převodem i .

Pro hydraulický převod při zanedbání pasivních účinků platí:

$$i = \frac{\text{výstupní síla}}{\text{vstupní síla}} = \frac{F_2}{F_1} = \frac{p \cdot S_2}{p \cdot S_1}$$

Dále se pak u hydraulických pohonů lisů počítá s Bernoulliho rovnicí a rovnicí kontinuity (průtoku).



Obrázek 6.8 - Princip hydraulického lisu[3]

6.4 POHON HYDRAULICKÝCH LISŮ

Hydraulický pohon je soustava (rozvaděče, ventily, filtry apod.), do které na začátku přeměnou mechanické energie hydrogenerátoru vstupuje tlaková energie pracovního média a na výstupu je hydromotorem zpátky z tlakové energie přeměněna na mechanickou, která vykonává práci stroje.

Základním prvkem hydraulického pohonu je hydrogenerátor (čerpadlo), který zásobuje pohonnou soustavu kapalinou v potřebném množství a tlaku. Hydromotor následně převádí tlakovou energii kapaliny na lisovací sílu potřebnou k tváření výrobku. Hydrogenerátory jsou nejčastěji poháněny elektromotorem. Hydraulický pohon se dále skládá z ventilů (plnicí, přepouštěcí pojistné, redukční, apod.), rozvaděčů (šoupátkové, ventilové apod.), snímačů tlaku, filtrů apod.

Hydraulický pohon může být také vybaven akumulátorem nebo multiplikátorem. Akumulátor slouží k hromadění energie pro její následné využití a zajišťuje ekonomičtější práci pohonu stroje. Multiplikátor dodává do pracovního válce hydromotoru kapalinu s vyšším tlakem než by byl dodán hydrogenerátorem nebo akumulátorem.

Podle druhu pohonu lze hydraulické lisy rozdělit na stroje s přímým pohonem, nepřímým pohonem a multiplikátorovým pohonem. Další skupinou jsou kombinované pohony, které jsou tvořeny kombinací výše zmíněných pohonů, například kombinace dvou hydrogenerátorů nebo kombinace hydrogenerátoru, akumulátoru a multiplikátoru apod.

Při navrhování vhodného hydraulického pohonu je nutné brát ohled na pracovní tlak kapaliny a nejvyšší přenášený výkon podle druhu požadovaného technologického použití stroje. Jedním z hlavních kritérií při navrhování hydraulického pohonu je odběrový diagram, který znázorňuje potřebný výkon v závislosti na čase. Dále pak ovlivňují volbu hydraulického pohonu požadavky spolehlivosti a trvanlivosti pohonu, zastavená plocha lisu, jednoduchá obsluha, bezpečnost práce, cena apod.[8]

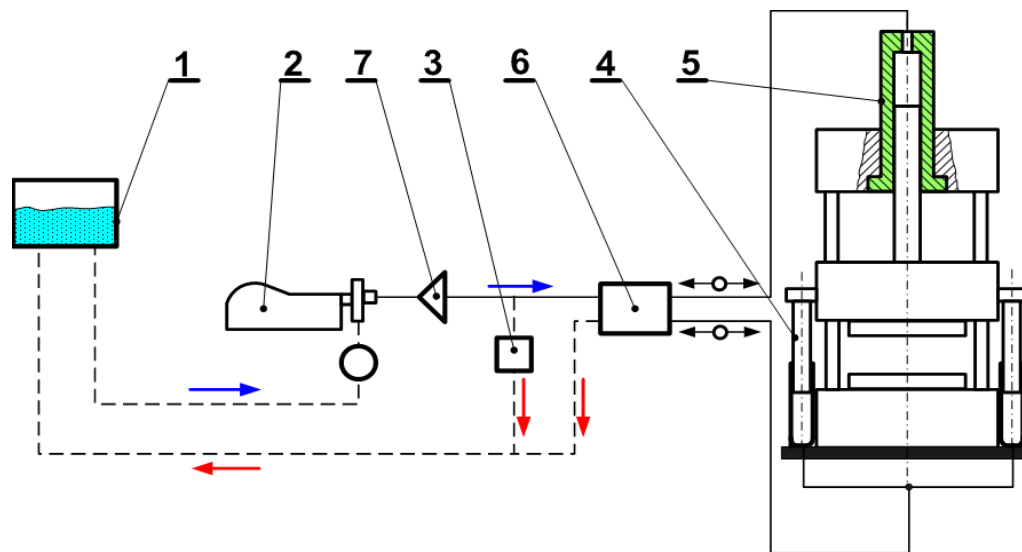
6.4.1 HYDRAULICKÉ LISY S PŘÍMÝM POHONEM

Na obrázku 6.9 je znázorněno schéma hydraulického lisu s přímým pohonem. Charakteristickou vlastností těchto pohonů je neproměnlivý pracovní tlak kapaliny v hydraulickém obvodu. Rychlost pracovního pístu je závislá na množství kapaliny, kterou do oběhu dodává hydrogenerátor. Tato rychlost je při konstantním průtoku hydrogenerátoru prakticky neměnná.

Přímé pohony jsou zpravidla realizovány vysokotlakými rotačními objemovými hydrogenerátory, jejichž výkon musí odpovídat maximálnímu požadovanému výkonu lisu.

Tvářecí stroje s přímým pohonem dosahují v průměru vyšších účinností než s nepřímým pohonem. Tato účinnost se pohybuje v rozmezí 0,6 – 0,8.

Kovací lisy s tímto pohonem jsou dimenzovány pro lisovací síly do 20[MN]. Jako pracovní médium je obvykle používán hydraulický olej.[2][5]



Obrázek 6.9 – Schéma přímého pohonu hydraulického lisu
 1 - nádrž, 2 - hydrogenerátor, 3 - přepouštěcí ventil, 4 - zařízení pro zpětný zdvih pohyblivé traverzy,
 5 - pracovní válec, 6 - řídicí systém, 7 - jednocestný ventil[6]

6.4.2 HYDRAULICKÉ LISY S NEPŘÍMÝM POHONEM

Na obrázku 6.10 je znázorněno schéma hydraulického lisu s nepřímým pohonem. Tento druh pohonu má ve svém oběhu zabudovaný akumulátor, proto je tento pohon také nazýván akumulátorovým. Akumulátorový pohon se používá v případě nerovnoměrných odběrů výkonu z hydraulického oběhu pracovního cyklu.

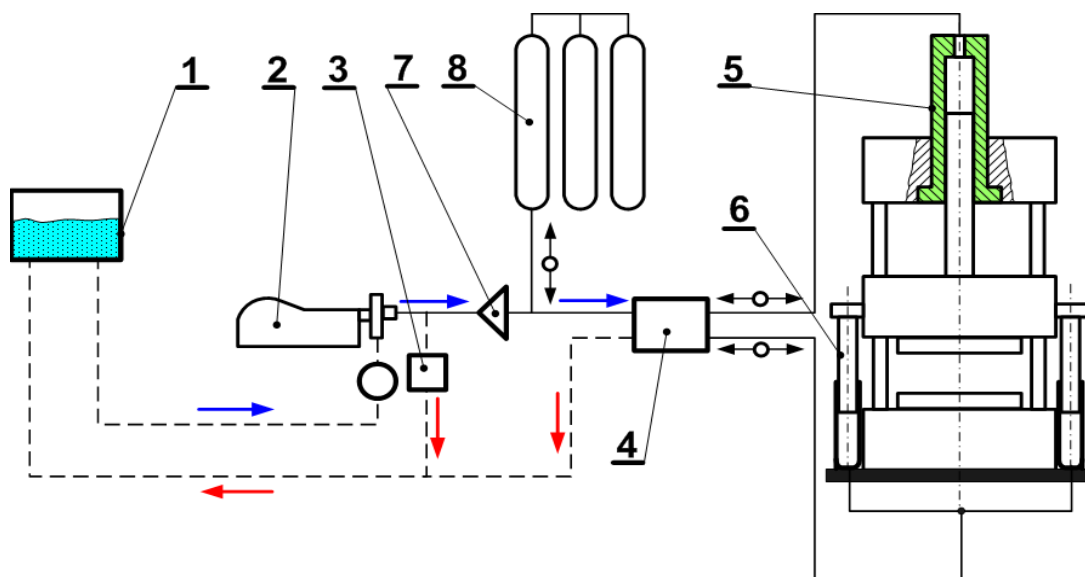
Akumulátor slouží k vyrovnávání nerovností odběru výkonu z hydraulického oběhu a k odlehčení hydrogenerátoru od tlaku. Akumulátory také slouží jako zásoba pracovní kapaliny.

Rychlost pracovního pístu je závislá na pracovním odporu tvářeného kusu a na tlaku použitého akumulátoru. Tlak mezi akumulátorem a pracovním pístem je konstantní. Lisy s tímto druhem pohonu jsou používány pro vyšší lisovací rychlosti na rozdíl od lisů s přímým pohonem.

Výkon hydrogenerátoru je navržen na průměrný potřebný výkon stroje. Hydrogenerátor dodává nepřetržitě tlakové médium do akumulátoru, dokud není zcela natlakován. Poté se hydrogenerátor vypne, čímž je docíleno menší zátěže hydrogenerátoru.

Kovácí lisy s tímto pohonem jsou dimenzovány pro lisovací síly nad 25[MN]. Jako pracovní médium je obvykle používána olejová emulze.

Akumulátory mohou být různého provedení a to závažový, pružinový nebo plynový. Pro tvářecí stroje je nejčastěji využíván plynový akumulátor, jehož pracovním médiem je dusík nebo vzduch. Plynový akumulátor je realizován tlakovou nádobou naplněnou z části kapalinou a z části plynem. Plyn může být v přímém kontaktu s kapalinou nebo oddělený membránou či pístem.[1][2]



Obrázek 6.10 – Schéma nepřímého pohonu hydraulického lisu

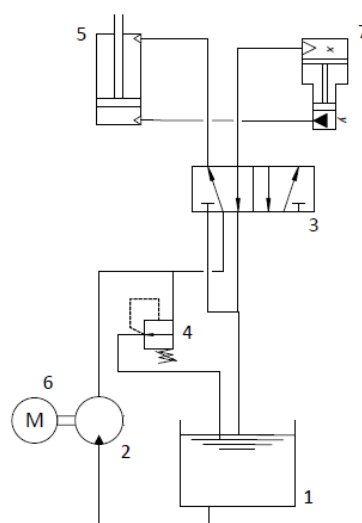
1 - nádrž, 2 - hydrogenerátor, 3 - přepouštěcí ventil, 4 - řídicí systém, 5 - pracovní válec, 6 - zařízení pro zpětný zdvih pohyblivé traverzy, 7 - jednocestný ventil, 8 - akumulátor[6]

6.4.3 HYDRAULICKÉ LISY S MULTIPLIKÁTOROVÝM POHONEM

Na obrázku 6.11 je zobrazeno schéma hydraulického lisu s multiplikátorovým pohonem. Multiplikátor je zařízení sloužící ke zvyšování pracovního tlaku přiváděného od hydromotoru nebo akumulátoru. Lis s multiplikátorem musí být dimenzován s ohledem na maximální tlak a sílu multiplikátoru.

Multiplikátory mohou být rozděleny podle konstrukce na jednočinné a dvojčinné. Dále se dělí na mechanické, parní a hydraulické.

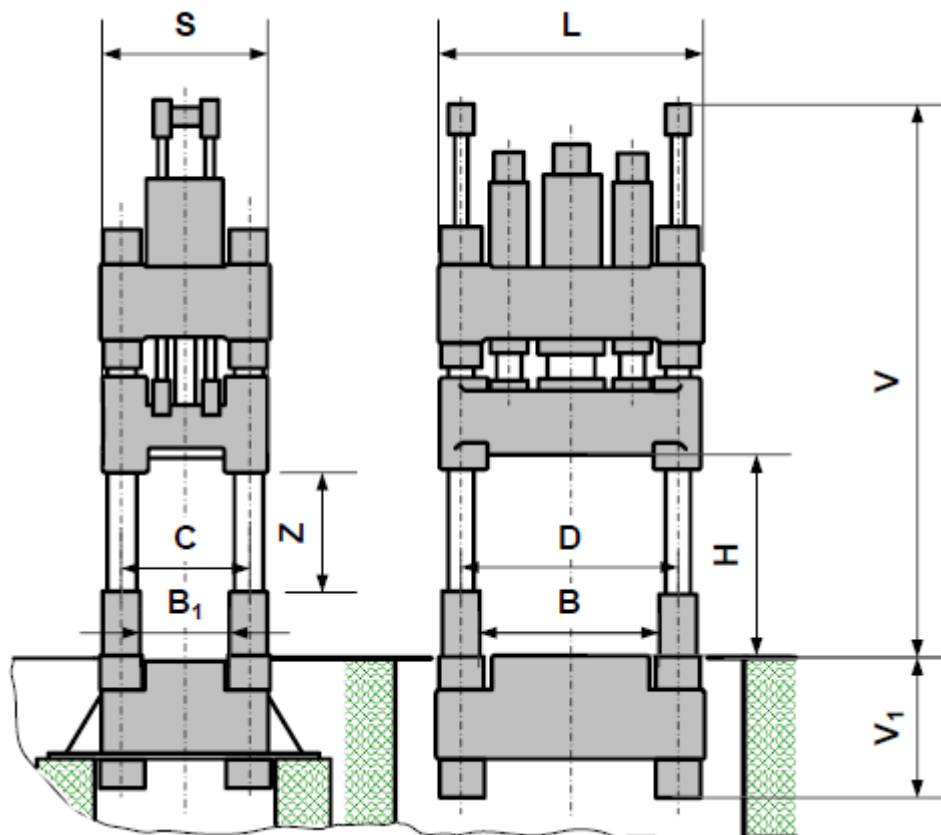
Stupeň zesílení tlaku může být u hydraulických dvojčinných multiplikátorů až 12.[1][4]



Obrázek 6.11 – Multiplikátor

1 - nádrž, 2 - hydrogenerátor, 3 - 5/2 ventil, 4 - zpětný ventil, 5 - hydromotor, 6 - motor, 7 - multiplikátor[5]

6.5 ZÁKLADNÍ TECHNICKÉ PARAMETRY HYDRAULICKÝCH LISŮ



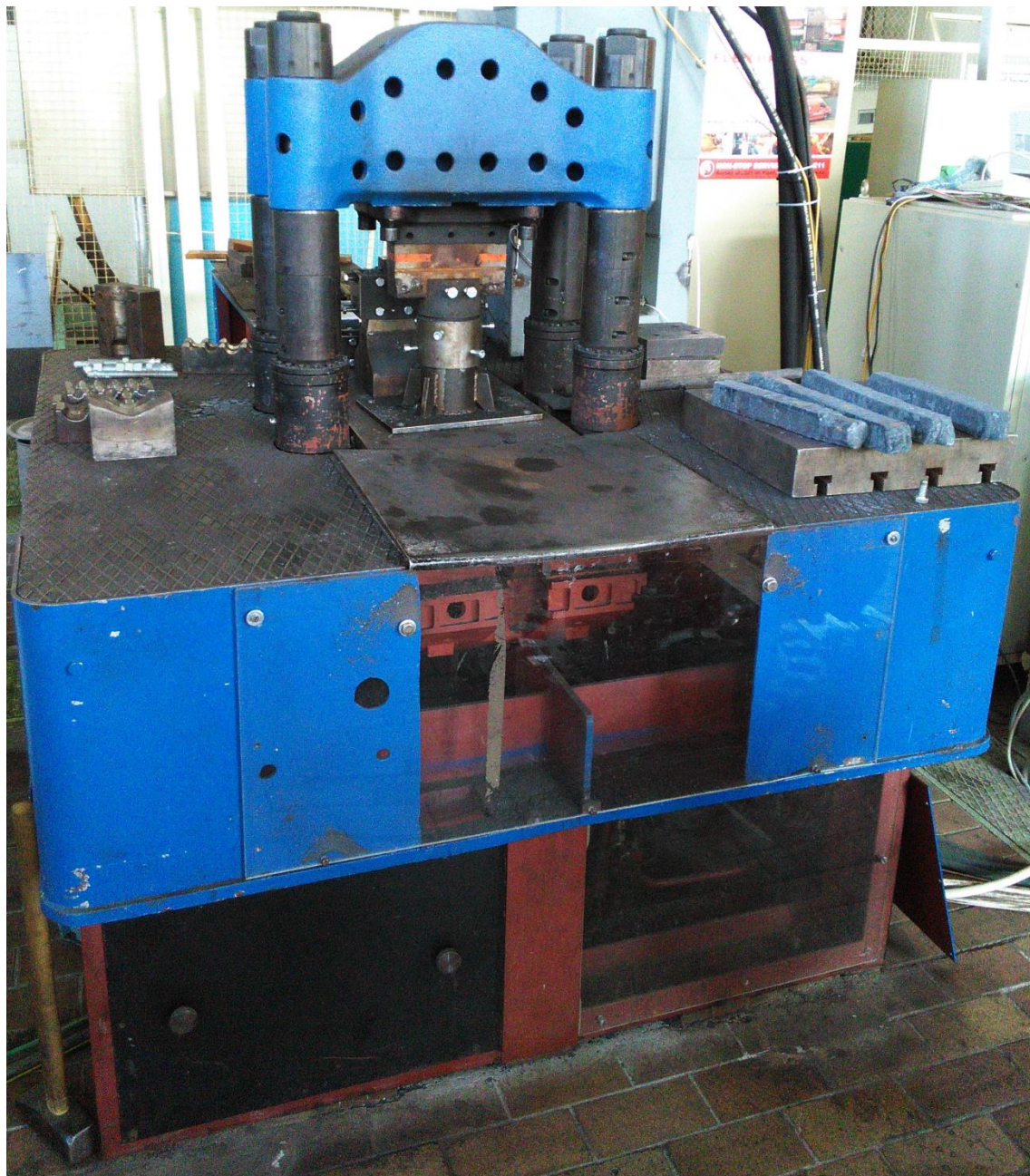
Obrázek 6.12 – Hydraulický kovací lis[3]

- F_j - Jmenovitá síla lisu
- F_{zp} - Zpětná síla
- p - Maximální tlak provozní kapaliny
- Z - Zdvih – Největší možná dráha pohyblivé traverzy
- H - Otevření lisu – Největší možná vzdálenost upínacích ploch
- B, B_1 - Průchod – Nejmenší vzdálenost vnitřních ploch sloupů nebo stěn stojanů v podélné nebo příčné ose lisu
- C, D - Rozteč sloupů
- S - Délka lisu
- L - Šířka lisu
- V - Výška lisu nad podlahou
- V_1 - Výška lisu pod úrovní podlahy
- V_2 - Hloubka základu

7 HYDRAULICKÝ LIS 100[t]

Na obrázku 7.1 je fotografie hydraulického lisu, na kterém je provedena výpočtová analýza. V tabulce 7.1 jsou uvedeny základní rozměry lisu. Tyto rozměry jsou částečně získány z výkresů traverz a schémat hydraulického lisu a z části jsou naměřené z reálného lisu, který je umístěn v dílně na Západočeské univerzitě v Plzni.

Součástí lisu na obrázku 7.1 je podávací zařízení, které pohybuje s ocelovou deskou do pracovní oblasti stroje a zpět. Tímto je usnadněna manipulace při výměně kovacího nástroje. Toto podávací zařízení není součástí této bakalářské práce.



Obrázek 7.1 – Hydraulický lis 100[t]

Lis	CKW 6000
Jmenovitá síla lisu [t]	100
Zdvih [mm]	300
Tlak ve válcích [MPa]	40
Rozteč sloupů [mm]	275 x 570
Výška pracovní plochy nad podlahou [mm]	1030
Délka lisu [mm]	1500
Šířka lisu [mm]	1500
Výška lisu nad podlahou [mm]	1920

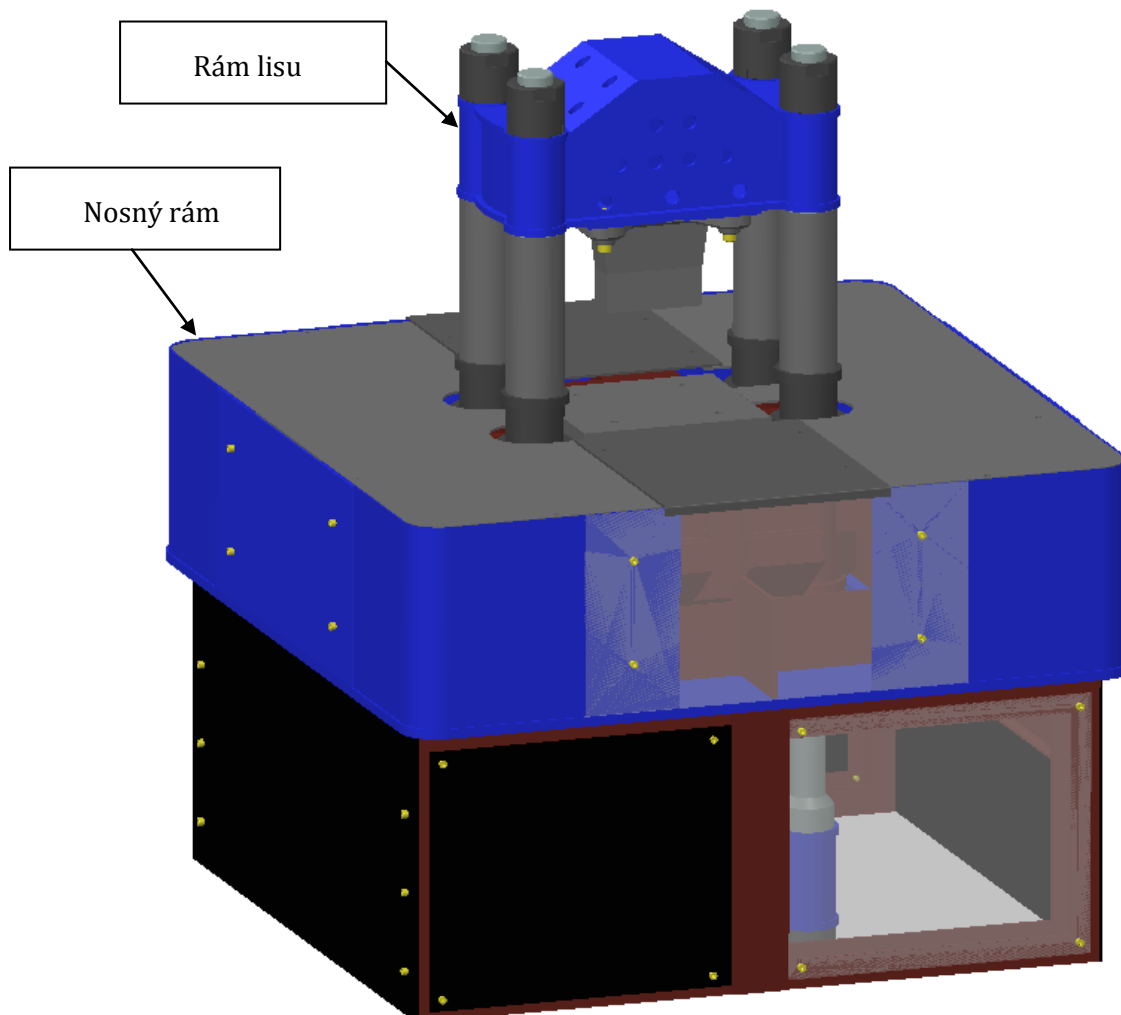
Tabulka 7.1 – Parametry hydraulického lisu

7.1 CHARAKTERISTIKA HYDRAULICKÉHO LISU 100[t]

Na obrázku 7.2 je zobrazen 3D model hydraulického lisu, který byl namodelován podle výkresů traverz a podle ručně naměřených hodnot z reálného stroje. Tento 3D model bude následně použit pro tvorbu vlastního výpočtového modelu.

Podle výše provedené teoretické části tvářecích strojů je možné tento hydraulický lis charakterizovat následovně. Lis se řadí mezi silové stroje s uzavřeným „O“ rámem složeným ze čtyř sloupů, jedné pevné a dvou pohyblivých traverz. Proces tváření je realizován přímočarým pohybem nástroje. Je to stroj se spodním pohonem pro volné kování

Rám lisu je opřen střední traverzou na nosném rámu stroje, který je svařen z tyčí („I“, „U“), vyztužovacích žeber a plechů. Nosný rám je ukotven čtyřmi šrouby do podlahy. Výhodou nosného rámu je, že přenáší pouze hmotnost rámu lisu a výkovku a případné rázové nebo dynamické síly od pohybujících se traverz. Hlavní tvářecí síla je přenášena uzavřeným rámem lisu. Konstrukce lisu je dimenzována na zatěžovací sílu 100[t] neboli 981[kN].



Obrázek 7.2 - Model hydraulického lisu 100[t]

7.2 POSTUP SESTAVENÍ VÝPOČTOVÉHO MODELU

Prvním krokem sestavení výpočtového modelu je vytvořit 3D model, ze kterého bude následně vytvořen konečnoprvkový model. Postavení konečnoprvkového modelu je charakterizováno volbou typu prvku, provedením síťování 3D modelu a následnou kontrolou prvků a sítě 3D modelu. Pro správné sestavení sítě modelu je potřeba si stanovit cíle výpočtu a určit, které části namáhaného modelu nás nejvíce zajímají. Následně podle těchto znalostí vhodně upravit síť modelu.

Dále je potřeba stanovit typ úlohy. Řešené úlohy mohou být lineární, nelineární, statické a dynamické. Použitím lineární úlohy vnášíme do výpočtu různé druhy idealizací, protože v praxi se většinou setkáváme s nelineárními úlohami. Na to musíme brát zřetel při vyhodnocování výpočtu.

Nelineární úlohy mohou být různého druhu, například úloha se zahrnutím vlivu teploty, kontaktů, nehomogenity materiálu apod.

Dalším krokem je zvolit si dimenzi úlohy. Analyzovanou konstrukci je možné řešit jako prostorový, plošný nebo jednorozměrný výpočet modelu. Prostorový výpočet počítá úlohu s reálným objemem konstrukce modelu. Plošný výpočet je tvořen plochami, které nahrazují objemové prvky konstrukce se zahrnutím tloušťky stěn. Nakonec zbývá jednorozměrný výpočet nahrazující dlouhé prvky konstrukce přímkou (také nazývanou nosník nebo beam) se zahrnutím průřezu idealizovaného prvku. Tyto zjednodušení lze také v úloze kombinovat. Další možnou idealizací je provést výpočet pouze části skutečné konstrukce, používanou v případech když je konstrukce modelu a její zatížení symetrické.

Tyto idealizace velice významně zkracují dobu výpočtu, ale při vyhodnocování výpočtu je nutné brát zřetel na použitá zjednodušení a jejich vliv na dosažené výsledky.

Posledním krokem při sestavování výpočtového modelu je definování okrajových podmínek, zahrnujících působení sil a uchycení konstrukce v prostoru.[11]

7.3 VÝPOČTOVÝ MODEL HYDRAULICKÉHO LISU 100[t]

Výpočet byl proveden v programu Creo parametric. V úloze jsou použity vazby typu „contact“, které jsou charakterizované změnou okrajových podmínek při zatížení. Z toho vyplývá, že se jedná o nelineární úlohu.

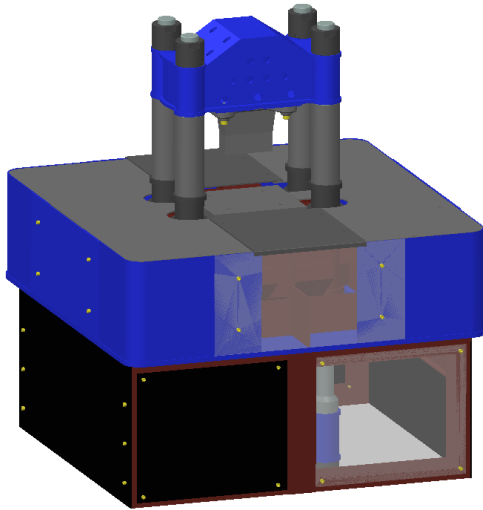
Protože v poskytnutých materiálech nebyl uveden materiál konstrukce, byla zvolena ocel na odlitky ČSN 42 2650 pro traverzy, ocel ČSN 14 109 pro plunžry a ocel ČSN 11 373 pro ostatní části rámu lisu. Z mezi kluzu zvolených materiálu bylo spočteno dovolené napětí. Míra bezpečnosti $k = 1.5$ byla zvolena taktéž.

$$\sigma_D = \frac{R_e}{k}$$

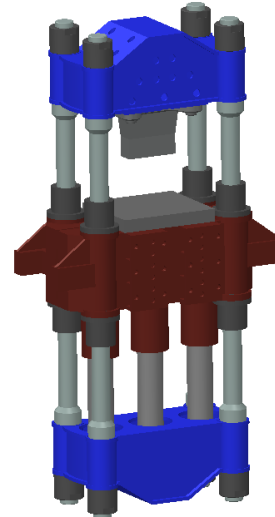
ČSN 11 373	$R_e = 186[\text{MPa}]$	$\sigma_D = 124[\text{MPa}]$
ČSN 42 2650	$R_e = 260[\text{MPa}]$	$\sigma_D = 173[\text{MPa}]$
ČSN 14 109	$R_e = 440[\text{MPa}]$	$\sigma_D = 293[\text{MPa}]$

Pro oba tyto materiály byl do výpočtu nastaven modul pružnosti $E = 200000[\text{MPa}]$ a hustota $\rho = 7,8[\text{kg/m}^3]$.

Cílem výpočtu je analýza rámu lisu. Proto je 3D model zjednodušen odebráním nosného rámu a zanedbáním detailních částí konstrukce. Do výpočtu jsou zahrnuty hlavní části rámu, které přenášejí většinu sil v průběhu tváření.

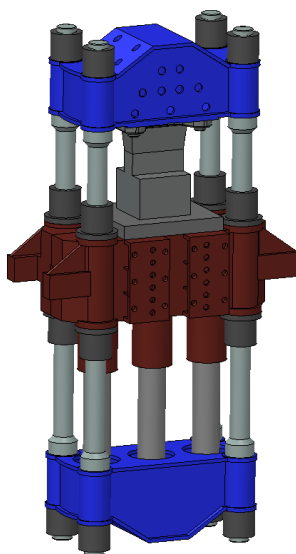


Obrázek 7.3 – Kompletní model hydraulického lisu

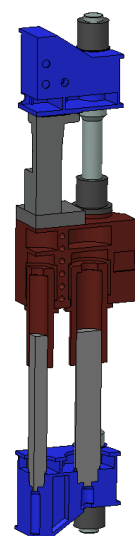


Obrázek 7.4 – Model hydraulického lisu po odebrání částí neúčastnících se výpočtu

Hydraulický lis je symetrický podle dvou os a v našem případě je namáhán centrickým zatížením. Zatížení je simulováno ocelovým kvádrem o rozměrech $150 \times 200 \times 200[\text{mm}]$. Pro splnění centrického zatížení musí mít výkovek tvar a rozměry souměrné také podle dvou os a musí být umístěn v ose symetrie hydraulického lisu. Rozdělením rámu i s výkovek podle zmíněných os symetrie dostáváme čtyři identické části, do kterých se bude tvářecí síla rovnoměrně rozdělovat. Z toho vyplývá, že můžeme rám lisu zjednodušit na jednu čtvrtinu a síla zadávaná do takto zjednodušeného výpočtu bude také čtvrtinová.

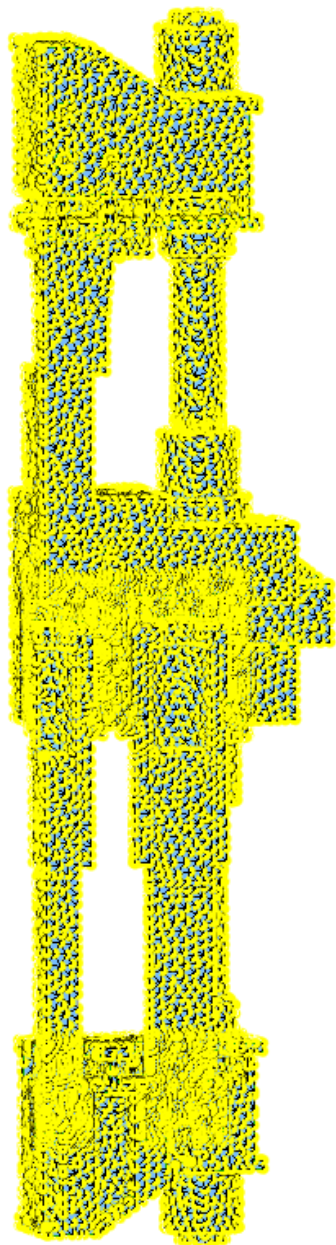


Obrázek 7.5 – Rám hydraulického lisu

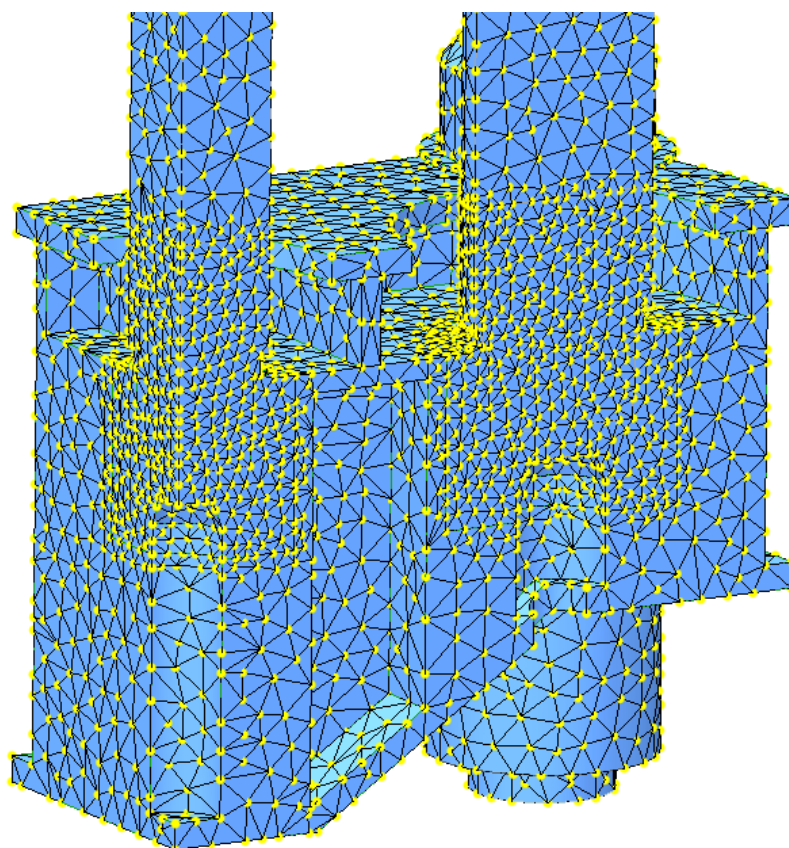


Obrázek 7.6 – Čtvrtina rámu hydraulického lisu

Na modelu lisu byla vytvořena síť tvořená objemovými trojúhelníkovými prvky o stejné velikosti až na několik míst, na které byla aplikována jemnější síť (Obrázek 7.7). Větší pozornost byla věnována síti na spodní traverze v místě dotyku s plunžry (Obrázek 7.8). V daném místě byl vytknut objem, na němž byla síť zjemněna. V těchto místech se předpokládá dosažení vyšších hodnot napětí a touto úpravou sítě získáme přesnější výsledky. Dalšími místy se zjemněnou sítí jsou válce střední traverzy a některé kontaktní plochy.



Obrázek 7.7 – Nasíťovaný výpočtový model



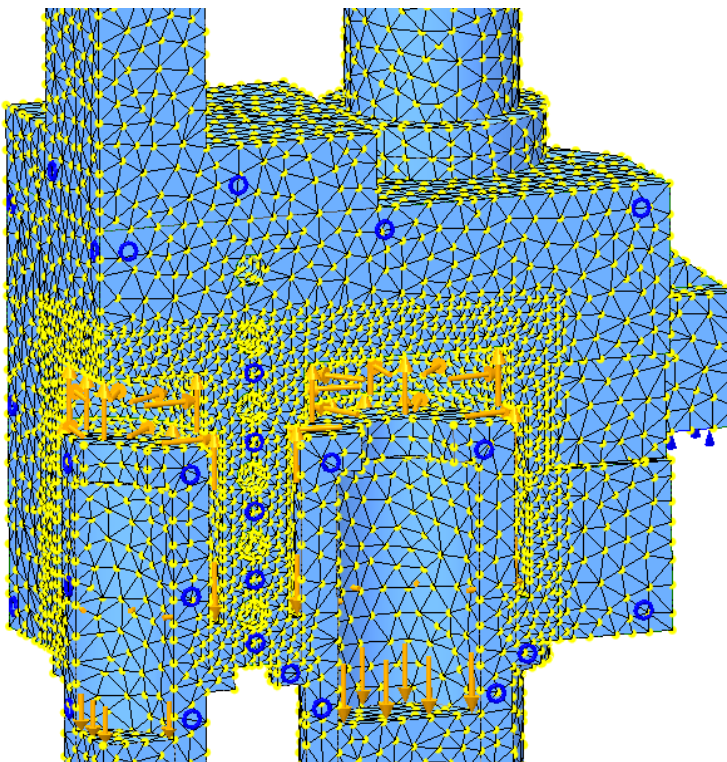
Obrázek 7.8 – Detail síťování spodní traverzy a plunžrů

7.4 OKRAJOVÉ PODMÍNKY HYDRAULICKÉHO LISU 100[t]

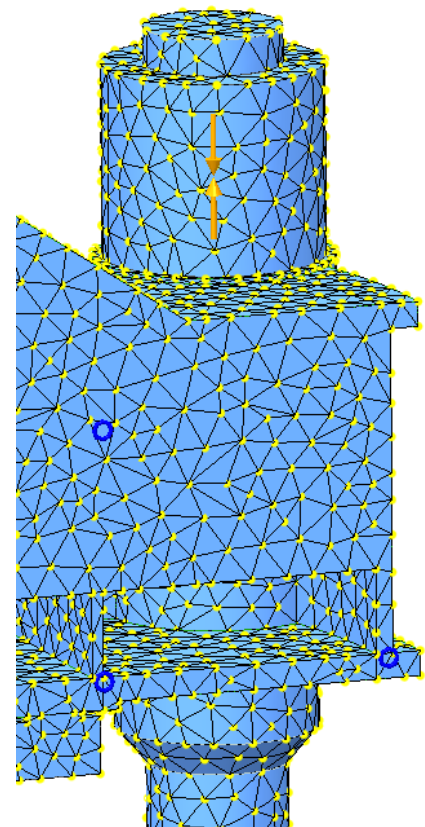
Okrajové podmínky jsou navrhovány na základě účelu a pracovních namáhání počítané konstrukce. Proto je nutné si nejdříve uvědomit, jakým způsobem řešený lis pracuje.

Válce hydromotoru hydraulického lisu jsou v tomto případě součástí střední traverzy. Síla od hydromotoru je přenášena třemi plunžry na spodní traverzu, od které se síla dále přenáší po sloupech na horní traverzu a následně na nástroj a výkovek umístěný na střední traverze. Na střední traverzu tedy působí síla shora od výkovku a na ní od spodu reakční síla vyvozená hydromotorem.

Na průřezy plunžru působí akční síla $F = 981$ [kN]. Protože po zjednodušení počítám pouze čtvrtinu modelu, musím také umístit akční sílu čtyřikrát zmenšit. Na model je pro výpočet nadefinována symetrie konstrukce. Na válce hydromotoru je nastaveno tlakové zatížení $p = 40$ [MPa], které působí na plášť válců střední traverzy a vyvozuje reakční sílu působící proti akční síle působící na výkovek (Obrázek 7.9). Na model byla také umístěna síla od předpětí, které je vyvozeno maticemi ustavujícími horní a spodní traverzu na sloupech lisu (Obrázek 7.10). Toto předpětí brání sloupům v odlehnutí od traverz při zatížení stroje. Velikost předpětí byla zjištěna výpočtem v programu MITCalc. Hodnota předpětí je 477[kN]. Vliv závitů je zanedbán a válcové plochy jsou považovány za pevně spojené.



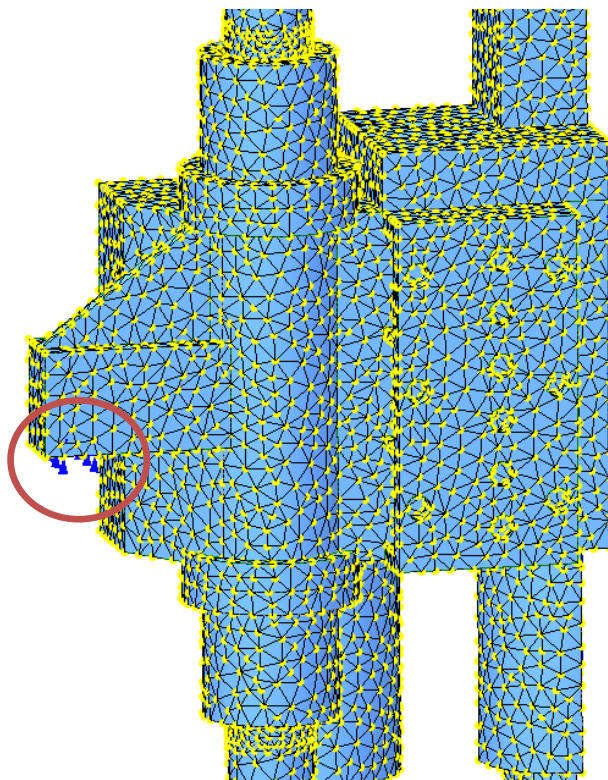
Obrázek 7.9 – Nadefinování síly na plunžr, tlaku na válec a symetrie modelu



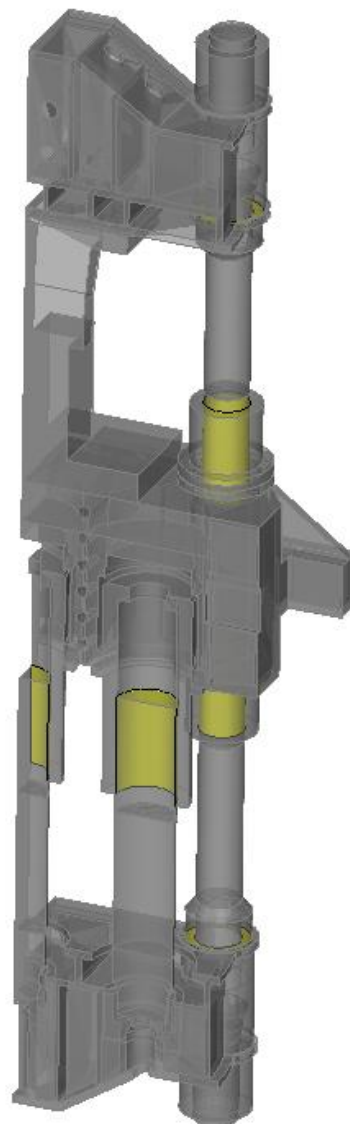
Obrázek 7.10 – Zavedení předpětí na horní a dolní traverze

Dále je nutné určit uchycení modelu v prostoru (Obrázek 7.11). To je realizováno na výstupkách po stranách střední traverzy, které se opírají o nosný rám. V těchto místech je vymezena plocha, na které tyto výstupky leží, a zakázán posuv ve svislém směru. Na tuto plochu v reálu působí gravitační síla od rámu lisu, kterou ve výpočtu zanedbáváme. S touto skutečností je nutné při analýze výsledků počítat.

Výpočtový model má nadefinované vazby typu „contact“ (Obrázek 7.12), které jsou umístěny na plochu styku sloupů s horní a spodní traverzou, na válcové plochy mezi sloupem a střední traverzou a na válcové plochy válců hydromotoru a plunžrů. Tyto kontakty v průběhu výpočtu v závislosti na zatěžované síle mění své okrajové podmínky vztahující se k hranicím kontaktních těles.



Obrázek 7.11 – Provedení uchycení rámu v prostoru



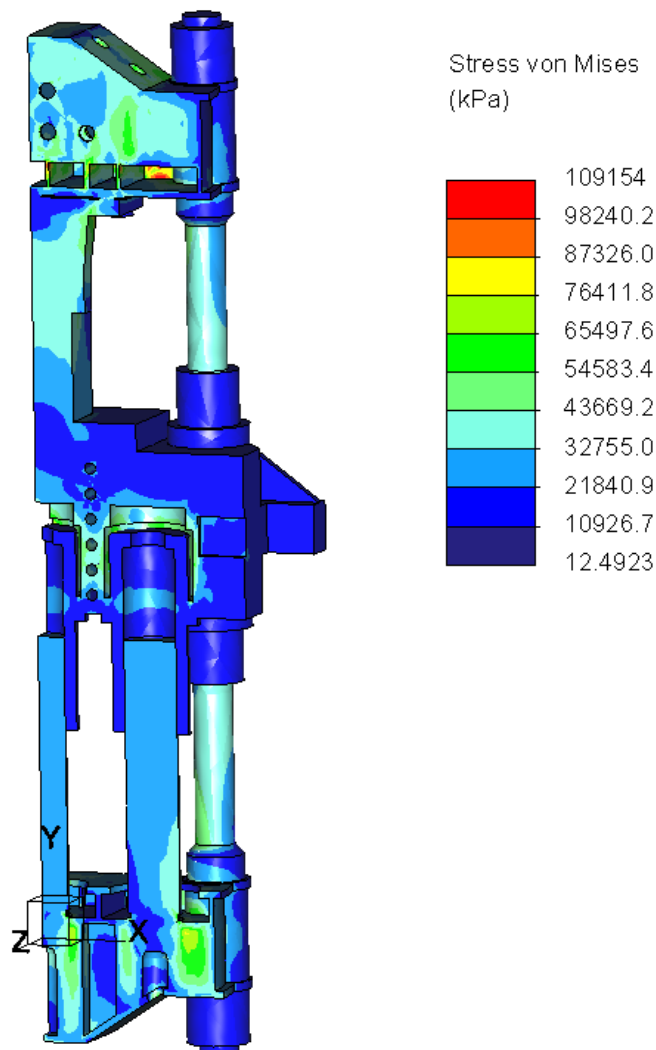
Obrázek 7.12–Zobrazení umístění vazby „contact“ charakterizované změnou okrajových podmínek při zatěžování

7.5 VÝSLEDKY NUMERICKÉHO VÝPOČTU HYDRAULICKÉHO LISU 100[t]

7.5.1 PRŮBĚH NAPĚTÍ

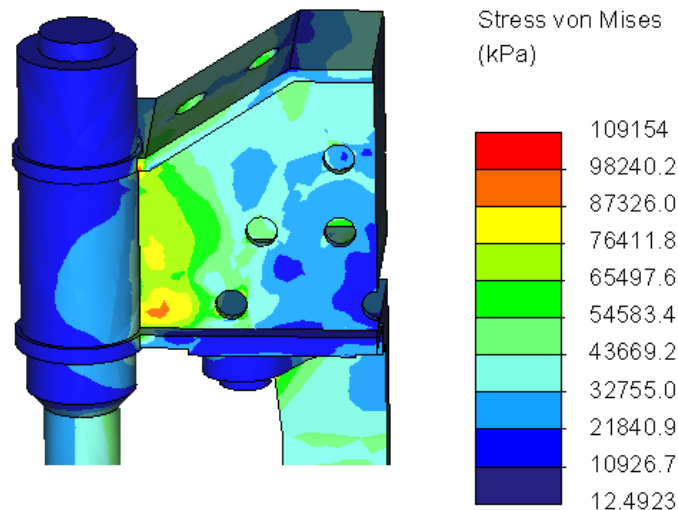
Na obrázku 7.13 je zobrazen průběh redukovaného napětí dle von Mises. Napětí je vyvozeno silou 981[kN] působící na plunžry, která je přenesena přes spodní traverzu, sloupy, horní traverzu až na tvářený výkovek. Největší špička napětí na rámu lisu je v oblasti dotyku plunžrů a spodní traverzy, kde dosahuje hodnoty 109,2[MPa]. Toto napětí vyhovuje dovolenému napětí všem zvoleným materiálům rámu lisu.

Rozložení napětí je v některých místech mírně zkresleno z důvodu zavedených zjednodušení před samotným výpočtem. V místech dotyku nástroj - horní traverza, výkovek - střední traverza, plunžry - spodní traverza je rozložení napětí mírně zkreslené od reálného stavu, protože tyto vazby byly definovány vazbou „bonded (pevně spojené)“ namísto vazbou „contact (vazba měnící své okrajové podmínky v průběhu výpočtu)“. Kdybych chtěl získat přesnější rozložení napětí v těchto místech, musel bych zavést ve výpočtu do těchto míst vazbu „contact“.



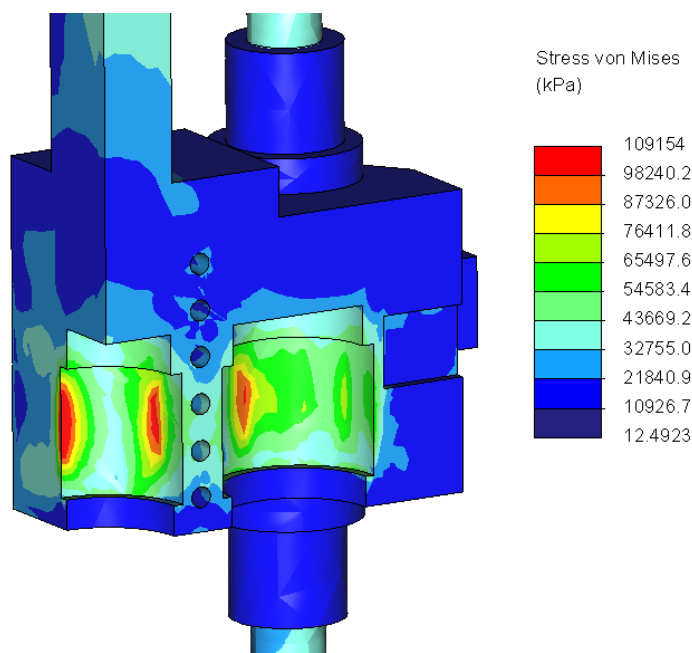
Obrázek 7.13 – Rozložení redukovaného napětí dle von Mises

Na obrázku 7.14 je zobrazen detail průběhu redukovaného napětí horní traverzy. Největší redukované napětí je dosaženo v místě přechodu těla traverzy s částí pro uchycení sloupů rámu. Nejvyšší hodnota redukovaného napětí v těchto místech nabývá velikosti 89,7[MPa]



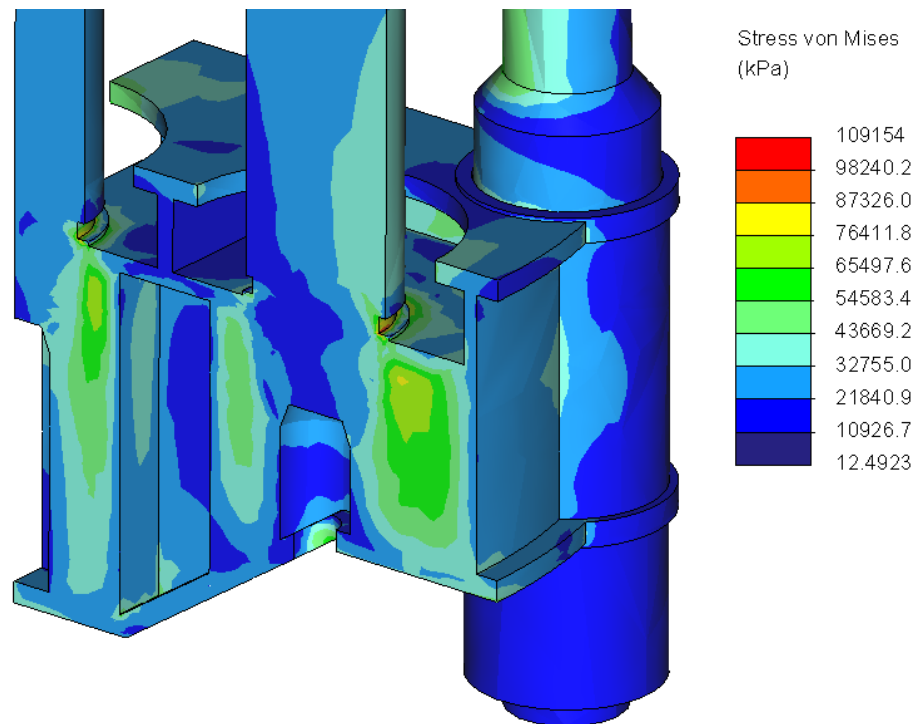
Obrázek 7.14 – Rozložení redukovaného napětí dle von Mises – detail horní traverzy

Na obrázku 7.15, který je zjednodušen skrytím některých částí rámu za účelem lepší viditelnosti, je zobrazen detail průběhu redukovaného napětí střední traverzy. Největší redukované napětí nabývá hodnot až 98,8[MPa]. Toto napětí je koncentrováno jen v určitých oblastech válcových ploch střední traverzy. Umístění těchto ploch je ovlivněno pozicemi příček, které byly v traverze namodelovány.



Obrázek 7.15 - Rozložení redukovaného napětí dle von Mises – detail střední traverzy

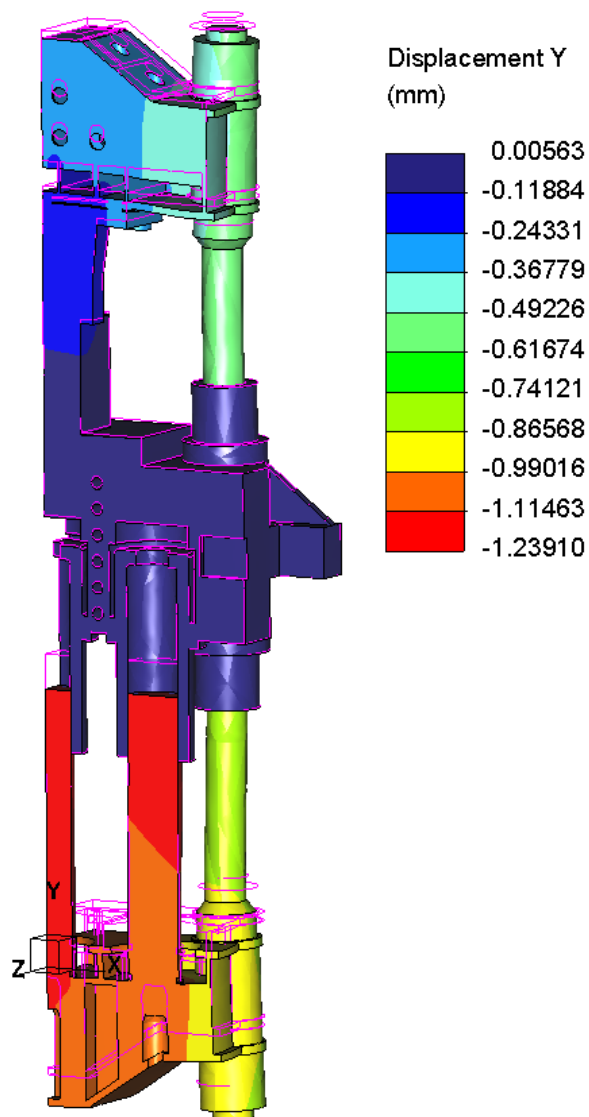
Obrázek 7.16 znázorňuje průběh redukovaného napětí dolní traverzy. Na hranici plunžrů a dolní traverzy vzniká největší špička redukovaného napětí celého rámu lisu a nabývá hodnoty 109,2[MPa].



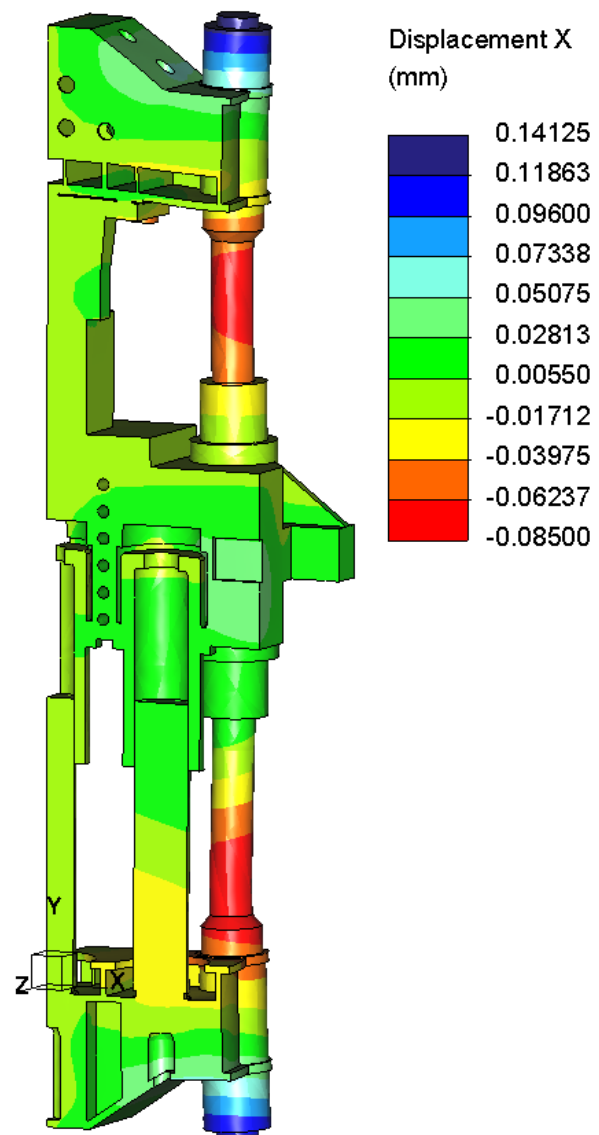
Obrázek 7.16 - Rozložení redukovaného napětí dle von Mises – detail dolní traverzy

7.5.2 PRŮBĚH DEFORMACÍ

Na obrázku 7.17 a 7.18 jsou zobrazeny posuny rámu lisu ve směru osy y a x. Z obrázků je patrné, že k největším posunům dochází v ose y, tedy ve směru rovnoběžném s působením zatěžovací síly. Ve směru osy y vzniká posun o velikosti až 1,24[mm]. Ve směru osy x je posun několikanásobně menší a je kolmý vzhledem k zatěžovací síle. Posun v ose x dosahuje maximální hodnoty 0.14[mm].

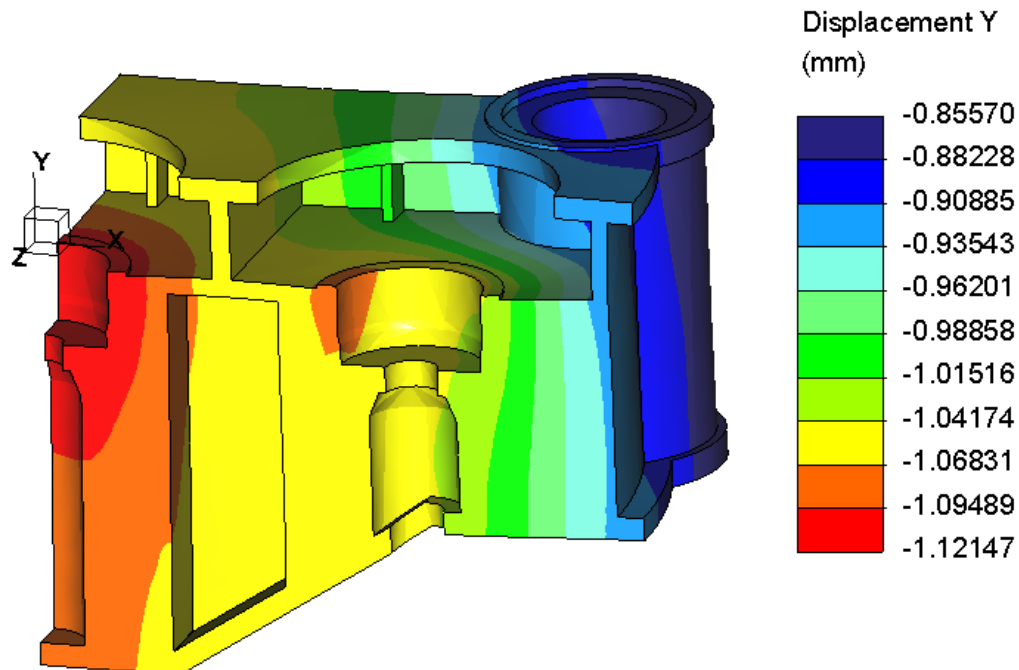


Obrázek 7.17 – Posun ve směru osy y – růžovou čarou je znázorněn původní stav rámu lisu (posun je pro lepší názornost opticky zvětšena o 50%)



Obrázek 7.18 – Posun ve směru osy x

Na obrázku 7.19 je znázorněn posun ve směru osy y spodní traverzy. Legenda na obrázku zahrnuje posun od celého rámu lisu, proto tyto hodnoty začínají od hodnoty 0,86[mm]. Po vzájemném odečtení hodnot od sebe zjistíme maximální průhyb spodní traverzy, který nabývá velikosti 0,266[mm].



Obrázek 7.19 – Zobrazení posunu spodní traverzy v ose y

7.6 ZHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ VÝPOČTU

Z obrázků napětí výše je vidět maximální vypočtené redukované napětí, které nabývá hodnoty 109,2[MPa]. Při porovnání spočteného napětí s dovoleným zjistíme, že redukované napětí nepřekročilo hodnotu dovoleného napětí. Dovolené napětí pro traverzy nabývá velikosti 173[MPa], pro plunžry 293[MPa] a pro ostatní části rámu lisu 124[MPa].

Výše prezentované průběhy deformací ukazují maximální posun v ose y 1,24[mm] a průhyb spodní traverzy, jehož velikost dosahuje hodnoty až 0,266[mm]. Posun v ose y se může zdát velký, avšak při tváření volným kovářím není dosahováno velkých přesností a na výkovky jsou předepisovány relativně velké přídávky, proto hodnota tohoto posunu prakticky neovlivní přesnost vyrobeného výkovku. Na druhé straně velikost posunutí ve směru osy y zvyšuje hodnotu ztrát energie při tváření.

8 NÁVRH MAXIMÁLNÍ SÍLY

Velikost maximální síly, kterou může být rám lisu zatížen, bude stanovena odhadem. Hlavním kritériem, které musí být splněno, jsou dovolená napětí materiálů. V předchozích výpočtech byly nejvyšší špičky napětí v traverzách a na konci plunžrů. Protože dovolené napětí plunžrů má vysokou hodnotu, tak se budu dále věnovat dovolenému napětí v traverzách, které má hodnotu 173[MPa]. Velikost dovoleného napětí materiálu traverz je o 63[MPa] větší než maximální vypočítané napětí rámu lisu. Můžu také říci, že je větší o 36%. Tyto procenta mi dávají lehkou představu, o kolik bych měl zvýšit tvářecí sílu lisu.

Protože mezi silou a redukováným napětím není přímá úměra, tak zvolím velikost tvářecí síly o 30% vyšší, než byla původní. Velikost síly pro výpočet rámu lisu je 1275,3[kN]. Výpočet byl proveden na rámu s velice hrubou sítí, abych zkrátil čas početní analýzy. Tímto jsem získal málo přesné výsledky, avšak dostačující pro získání představy, jestli je navrhnutá síla vhodná pro přesný výpočet. Výsledky redukováného napětí dosahovalo hodnot až k 194[MPa] v oblasti spodní traverzy, což značně převyšuje dovolené napětí materiálu traverz.

Pro další výpočet jsem zvolil sílu větší o 25%, tedy 1226,25[kN]. Výpočet napětí v rámu na hrubé síti proběhl s přijatelnými výsledky, proto byl následně spuštěn výpočet s jemnou sítí a stejnými okrajovými podmínkami jako v předešlém výpočtu pro sílu 100[t]. Podle zvětšené síly byl také přepočítán tlak ve válcích, který nabývá hodnoty 52[MPa].

8.1 PRŮBĚH NAPĚTÍ

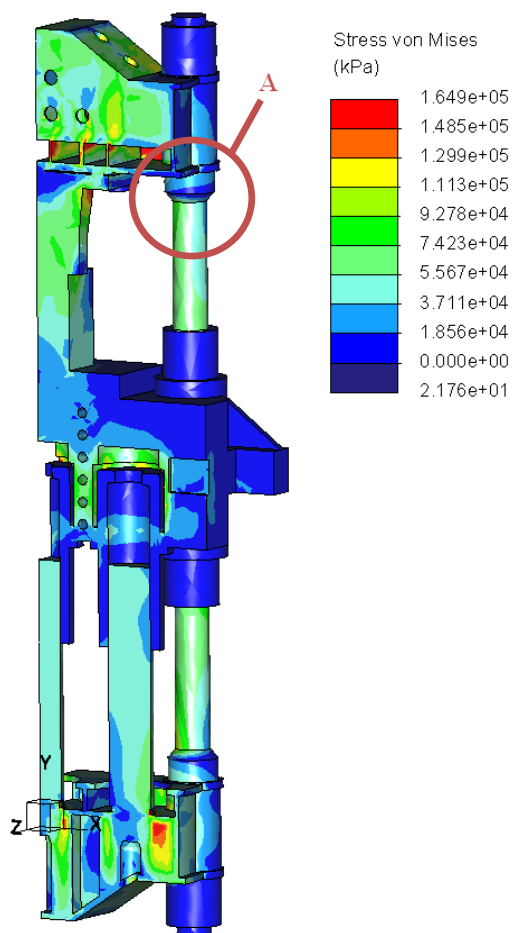
Průběh napětí je podobný jako u výpočtu hydraulického lisu se silou 100[t], avšak hodnoty dosahovaných napětí jsou větší. Maximální redukováné napětí dosahuje velikosti 164,9[MPa]. Tato hodnota je menší než dovolená napětí plunžrů a traverz, ale je větší než dovolené napětí materiálu, ze kterého jsou vyrobeny matice, vodící pouzdra, válce a sloupce. Velikost dovoleného napětí těchto částí rámu je 124[MPa], proto je důležité pečlivě prohlédnout místa se špičkami napětí. Pokud by se tyto špičky napětí vyskytovaly na výše zmíněných částech rámu lisu s menším dovoleným napětím, tak by navrhnutá maximální tvářecí síla nevyhovovala.

Kontrolou průběhu napětí rámu lisu bylo zjištěno, že vypočtené redukováné napětí nepřekračuje hodnotu 124[MPa] na částech rámu s tímto dovoleným napětím.

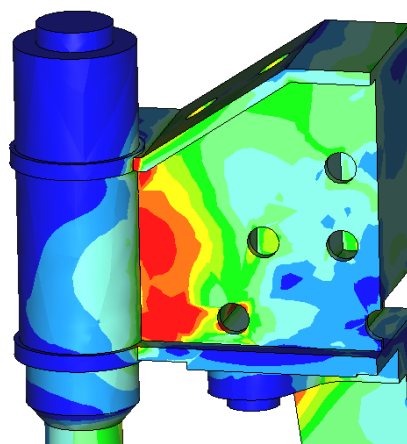
Na obrázku 8.1 je znázorněn průběh napětí rámu lisu s hodnotou nejvyššího redukováného napětí 164,9[MPa]. Tato hodnota napětí byla zjištěna v místě dotyku plunžrů s dolní traverzou. Velikost dovoleného napětí plunžrů $\sigma_D = 293$ [MPa] a traverz $\sigma_D = 173$ [MPa] je vyšší než vypočtené redukováné napětí a z toho vyplývá, že toto napětí vyhovuje.

Na obrázku 8.2 je zobrazen průběh napětí, který v místě přechodu těla traverzy s částí pro uchycení sloupů dosahuje nejvyšší hodnoty napětí 151,8[MPa]. Obrázek 8.3 zachycuje průběh napětí ve válcích střední traverzy o velikosti 159,2[MPa].

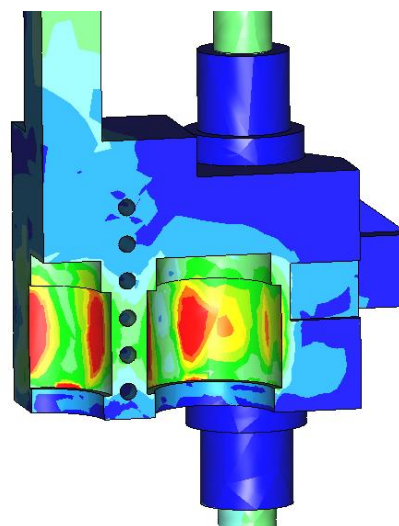
Na obrázku 8.4 je vidět špička napětí na hranicích stykové plochy sloupu a horní traverzy. Redukované napětí zde dosahuje velikosti 160,8[MPa].



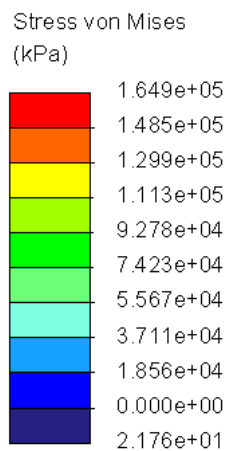
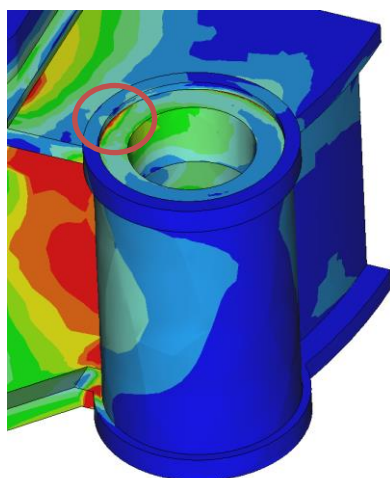
Obrázek 8.1 – Rozložení redukovaného napětí dle von Mises



Obrázek 8.2 Detail horní traverzy



Obrázek 8.3 – Detail válců střední traverzy



Obrázek 8.4 – Detail napětí kontaktní plochy horní traverzy a sloupu v místě A na obrázku 8.1

8.2 ZHODNOCENÍ VÝPOČTU

Z výpočtu tedy vyplývá, že je možné rám lisu zatížit silou 1226,25[kN] a redukováná napětí budou nadále vyhovovat dovoleným napětím. Nemůžeme ale říci, že touto silou je možné zatížit reálný lis, který je umístěn v dílně na Západočeské univerzitě v Plzni. Materiály částí rámu, které byly zvoleny, mohou mít vyšší parametry napětí na mezi kluzu než materiály, ze kterých je lis reálně vyroben.

Další volitelným kritériem ovlivňujícím velikost dovoleného napětí je míra bezpečnosti. Námí zjištěná síla 1226,25[kN] je větší o 25% než ta původní, což je docela velké zvýšení. Proto je možné, že pro navržení reálného lisu byla použita vyšší hodnota míry bezpečnosti.

Hodnotu maximálního zatížení by bylo pravděpodobně možné zvýšit ještě o pár procent, ale takovéto přesné hodnoty maximální síly není nutné dosáhnout.

Je vhodné připomenout, že návrh maximální síly byl proveden pro centrické zatížení lisu, při kterém se síly a napětí rovnoměrně rozkládají do celého rámu lisu. Při excentrickém zatěžování budou některá místa rámu lisu zatěžována více a některá méně. V takovémto případě bychom mohli pravděpodobně přesáhnout mezní hodnoty některých dovolených napětí.

9 ZÁVĚR

Cílem této práce bylo vytvořit 3D model hydraulického lisu 100[t] a následně na tomto modelu provést MKP výpočet.

Před samotným modelováním byla zpracována rešerše na téma rámy hydraulických lisů. Na začátku rešerše byl uveden krátký průřez vývoje tvářecích lisů, na který dále navazovalo rozdělení tvářecích strojů a jejich možná provedení ráků. Tyto informace byly aplikovatelné v další části rešerše a to o hydraulických lisech. Tyto byly rozděleny podle různých druhů kritérií a náležitě popsány.

Dalším krokem byla tvorba 3D modelu hydraulického lisu 100[t], který je umístěn v dílně na Západočeské univerzitě v Plzni. Model byl namodelován v systému Creo parametric. Jako podklady pro tvorbu 3D modelu byly použity předložené výkresy traverz. Ostatní rozměry bylo nutné z velké části odměřit přímo z reálného lisu. Použitá měřidla k tomuto byla svinovací metr a posuvné měřidlo, jimiž bylo dosaženo dostatečně přesných rozměrů lisu.

Po namodelování lisu byl proveden MKP výpočet na vytvořeném 3D modelu hydraulického lisu. Pro výpočet nebyla použita celá sestava hydraulického lisu, nýbrž jen jeho rám složený z horní, spodní a střední traverzy, sloupů, matic a vodících pouzder. Konstrukce základu, kryty a další pomocné součásti konstrukce byly potlačeny, protože tyto části hydraulického lisu nepřenáší hlavní tvářecí sílu a dále z důvodu zanedbání gravitace ve výpočtu. Výpočtovou analýzou těchto částí hydraulického lisu bychom nezjistily žádné relevantní informace v rámci tvářecího procesu, avšak délka a složitost výpočtu by byla bezúčelně prodloužena.

Po vytvoření sítě modelu, nedefinování kontaktů a zavedení vhodných okrajových podmínek simulujících reálný stav pracovního procesu hydraulického lisu byl proveden výpočet. Analýzou výsledků bylo zjištěno maximální redukované napětí rámu 109,2[MPa] v místě dotyku plunžrů se spodní traverzou. Další místa se špičkami napětí byla v místě přechodu těla traverzy s částí pro uchycení sloupů rámu a na válcových plochách střední traverzy. Redukované napětí je počítáno hypotézou von Mises.

Dalším výstupem výpočtu jsou vzniknuvší deformace od působení akčních a reakčních sil v rámu hydraulického lisu. Byl zjištěn maximální posun realizovaný ve směru osy y o velikosti 1,24[mm] a maximální průhyb spodní traverzy 0,266[mm].

Podle získaných výsledků průběhu napětí rámu lisu, byla provedena analýza za účelem zjištění maximální tvářecí síly při centrickém zatížení, kterou je možné rám zatížit. Výsledkem tohoto snažení je zjištění síly 1226,25[kN], která je o 25% vyšší než síla původní. Nutno zdůraznit, že tato síla byla vypočtena pro centrické zatížení. Při excentrickém zatížení by maximální možná síla byla pravděpodobně nižší.

Rozměry konstrukce byly získány z reálně fungujícího lisu, a proto můžeme říci, že získané hodnoty napětí a deformací jsou v rámci dovolených mezí.

Přínosem této bakalářské práce je zhotovený 3D model hydraulického lisu vycházející z reálné konstrukce. Tento model může být použit jako základ pro návrh hydraulického lisu s odlišnými tvarovými a rozměrovými parametry založený na funkčních částech tohoto reálného lisu. Následně je pak možné porovnat výsledky výpočtu této práce s výsledky nově navrhnutého lisu.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] STANĚK, J.; ČECHURA, M. *Tvářecí stroje: hydraulické lisy*; Západočeská univerzita v Plzni: Plzeň, 1999.
- [2] STANĚK, J. *Základy stavby výrobních strojů: tvářecí stroje*; Západočeská univerzita v Plzni: Plzeň, 2001.
- [3] ČECHURA, M.; HLAVÁČ, J.; STANĚK, J. *Konstrukce tvářecích strojů*; Západočeská univerzita v Plzni: Plzeň, 2015.
- [4] RUDOLF, B.; KOPECKÝ, M. a kol. *Tvářecí stroje: základy stavby a využití*; SNTL: Praha, 1985.
- [5] MAŇAS, S. *Výrobní stroje a zařízení: tvářecí stroje* [online]; Ústav výrobních strojů a zařízení, 2006/2007. <http://www3.fs.cvut.cz/>.
- [6] STANĚK, J. *Přednášky z předmětu Základy stavby výrobních strojů* [Prezentace]; KKS ZČU v Plzni: Plzeň, 2010.
- [7] Direct Industry. [Online] [Citace: 8.5.2016]. Dostupné z <http://www.directindustry.com/prod/mecamaq/product-57501-419638.html#product-item_1744667>
- [8] RUDOLF, B.; KOPECKÝ, M.; BEDŘICH; Miloslav. *Tvářecí stroje: základy výpočtů a konstrukce*; SNTL: Praha, 1979.
- [9] Prosperous. [Online] [Citace: 8.5.2016]. Dostupné z <<http://www.hydraulic-press-prosperous.com/hydraulic-deep-drawing-press-sls-300d.htm>>
- [10] Prosperous. [Online] [Citace: 8.5.2016]. Dostupné z <<http://www.hydraulic-press-prosperous.com/c-frame-hydraulic-press.htm>>
- [11] LAŠOVÁ, V. *Metoda konečných prvkům výpočtech obráběcích strojů*; Západočeská univerzita v Plzni: Plzeň, 2011.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 2.1 - Jednoduchá mechanizovaná kladiva[1].....	5
Obrázek 2.2 - Buchar s vodním pohonem[2].....	6
Obrázek 2.3 - Hydraulický lis na ruční pohon realizovaný Josephem Bramahem[3].....	6
Obrázek 2.4 - Nasmythův parní buchar[3].....	7
Obrázek 4.1 - Tvářecí stroje s přímočarým pohybem nástroje[4].....	8
Obrázek 4.2 - Nástroje s nepřímým pohybem nástroje[4].....	8
Obrázek 4.3 - Tvářecí zdvihový stroj[3].....	9
Obrázek 4.4 - Tvářecí silový stroj[3].....	10
Obrázek 4.5 - Schéma bucharu[3].....	10
Obrázek 5.1 - Jednostojanový a dvoustojanový otevřený rám[5].....	12
Obrázek 5.2 - Uzavřený rám stojanový a sloupový[5].....	12
Obrázek 6.1 - Dělení lisů dle kritérií.....	13
Obrázek 6.2 - Vertikální (vlevo) a horizontální (vpravo) provedení lisu[6].....	14
Obrázek 6.3 - Vertikální hydraulický lis PROSPEROUS[10].....	15
Obrázek 6.4 - Vertikální hydraulický lis PROSPEROUS[9].....	15
Obrázek 6.5 - Horizontální hydraulický lis MECAMAQ PHH250 4450[11].....	15
Obrázek 6.6 - Schéma vertikálního provedení lisu s horním pohonem[3].....	16
Obrázek 6.7 - Schéma vertikálního provedení lisu s dolním pohonem[3].....	16
Obrázek 6.8 - Princip hydraulického lisu[3].....	17
Obrázek 6.9 - Schéma přímého pohonu hydraulického lisu[6].....	19
Obrázek 6.10 - Schéma nepřímého pohonu hydraulického lisu[6].....	20
Obrázek 6.11 - Multiplikátor[5].....	20
Obrázek 6.12 - Hydraulický kovací lis[3].....	21
Obrázek 7.1 - Hydraulický lis 100[t].....	22
Obrázek 7.2 - Model hydraulického lisu 100[t].....	24
Obrázek 7.3 - Kompletní model hydraulického lisu.....	26
Obrázek 7.4 - Model hydraulického lisu po odebrání částí neúčastnících se výpočtu.....	26
Obrázek 7.5 - Rám hydraulického lisu.....	26
Obrázek 7.6 - Čtvrtina rámu hydraulického lisu.....	26
Obrázek 7.7 - Nasíťovaný výpočtový model.....	27
Obrázek 7.8 - Detail síťování spodní traverzy a plunžrů.....	27
Obrázek 7.9 - Nadeřinování síly na plunžr, tlaku na válec a symetrie modelu.....	28
Obrázek 7.10 - Zavedení předpětí na horní a dolní traverze.....	28
Obrázek 7.11 - Provedení uchycení rámu v prostoru.....	29

Obrázek 7.12–Zobrazení umístění vazby „contact“ charakterizované změnou okrajových podmínek při zatěžování	29
Obrázek 7.13 – Rozložení redukovaného napětí dle von Mises.....	30
Obrázek 7.14 – Rozložení redukovaného napětí dle von Mises – detail horní traverzy.....	31
Obrázek 7.15 - Rozložení redukovaného napětí dle von Mises – detail střední traverzy.....	31
Obrázek 7.16 - Rozložení redukovaného napětí dle von Mises – detail dolní traverzy	32
Obrázek 7.17 – Posun ve směru osy y – růžovou čarou je znázorněn původní stav rámu lisu (posun je pro lepší názornost opticky zvětšena o 50%).....	33
Obrázek 7.18 – Posun ve směru osy x.....	33
Obrázek 7.19 – Zobrazení posunu spodní traverzy v ose y	34
Obrázek 8.1 – Rozložení redukovaného napětí dle von Mises	36
Obrázek 8.2 Detail horní traverzy	36
Obrázek 8.3 – Detail válců střední traverzy	36
Obrázek 8.4 – Detail napětí kontaktní plochy horní traverzy a sloupu v místě A na obrázku36	