

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: B 2341 Strojírenství
Studijní zaměření: Konstrukce průmyslové techniky

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vřetenový lis s hydraulickým pohonem LVH

Autor: **Ondřej JÁSEK**

Vedoucí práce: **Doc. Ing. Jan HLAVÁČ, Ph.D.**

Akademický rok 2015/2016

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta strojní

Akademický rok: 2015/2016

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Ondřej JÁSEK**
Osobní číslo: **S14B0430P**
Studijní program: **B2341 Strojírenství**
Studijní obor: **Konstrukce průmyslové techniky**
Název tématu: **Vřetenový lis s hydraulickým pohonem LVH**
Zadávací 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:

V úvodu práce bude provedena rešerše na téma vřetenové lisy. V práci bude popsáno konstrukční řešení pohonu stroje. Pro vybranou velikost bude zpracováno konstrukční řešení včetně jeho ověření. Na závěr práce bude vypracována výkresová dokumentace vybraných dílů.

Základní technické údaje:

Technické parametry jsou uvedeny v příloze zadání.

Osnova bakalářské práce:

1. Provedení rešerše na téma vřetenové lisy
2. Konstrukční návrh zvoleného řešení
3. Vypracování zadané výkresové dokumentace

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

KOVÁČ, A., JENKUT, M. *Tvárníacie stroje*. Bratislava: Vydavateľstvo technickej a ekonomickej literatúry, 1978

KAMELANDER, I. *Tvářecí stroje I.* Brno: VUT, 1989

STANĚK, J. *Základy stavby výrobních strojů - Tvářecí stroje*. Plzeň: ZČU v Plzni, 2001

RUDOLF, B., KOPECKÝ, M. *Tvářecí stroje*. Praha: SNTL, 1985


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

Vedoucí bakalářské práce: **Doc. Ing. Jan Hlaváč, Ph.D.**
Katedra konstruování strojů
Konzultant bakalářské práce: **Doc. Ing. Jan Hlaváč, 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/diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

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

V Plzni dne:

.....

podpis autora

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu bakalářské práce Doc. Ing. Janu Hlaváčovi, Ph.D., za trpělivé vedení, věnovaný čas, cenné rady a připomínky, které mi pomohly k vypracování této práce.

ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Jásek	Jméno Ondřej	
STUDIJNÍ OBOR	B2341 „Konstrukce průmyslové techniky“		
VEDOUcí PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Doc. Ing. Hlaváč, Ph.D.	Jméno Jan	
PRACOVIŠTĚ	ZČU - FST - KKS		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Vřetenový lis s hydraulickým pohonem LVH		

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

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	49	TEXTOVÁ ČÁST	46	GRAFICKÁ ČÁST	3
---------------	----	---------------------	----	----------------------	---

STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK) ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY	<p>Bakalářská práce je zaměřena na návrh vřetenového lisu s hydraulickým pohonem LVH. V práci jsou popsány principy vřetenových lisů a jsou navrženy části stroje LVH. Některé části lisu jsou zkontrolovány analýzou napětí. Výsledky analýzy byli získány pomocí software NX.</p>
KLÍČOVÁ SLOVA ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE	<p>vřetenové lisy, CAD, LVH, vřetena, zápusťkové kování</p>

SUMMARY OF BACHELOR SHEET

AUTHOR	Surname Jásek	Name Ondřej	
FIELD OF STUDY	B2341 “ Design of Manufacturing Machines“		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Doc. Ing. Hlaváč, Ph.D..	Name Jan	
INSTITUTION	ZČU - FST - KKS		
TYPE OF WORK	DIPLÓMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	The LVH screw press with hydraulic drive		

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

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	49	TEXT PART	46	GRAPHICAL PART	3
----------------	----	------------------	----	-----------------------	---

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	This bachelor thesis is focused on design of The LVH screw press with hydraulic drive. The work describes principles of screw presses and parts of LVH machine which were designed. Some parts of press were checked by analysis of stress. Results of analysis were obtained by software NX.
KEY WORDS	screw presses, CAD, LVH, spindles, closed die forging

Obsah

Seznam použitých symbolů a zkratek	9
1 Úvod.....	11
2 Rešeršní část.....	12
2.1 Základní pojmy, definice, třídění	12
2.2 Vřetenové lisy	14
2.2.1 Historie vřetenových lisů.....	14
2.2.2 Vřetenové lisy obecně	17
2.2.3 Hydraulickomechanický vřetenový lis LVH.....	20
2.2.4 Návrh dle technologické operace zápusťkové kování	24
3 Praktická část.....	27
3.1 Návrhové výpočty	27
3.1.1 Návrh parametrů tvářecí charakteristiky	27
3.1.2 Návrh vnitřního rámu	29
3.1.3 Vřeteno stroje	32
3.1.4 Návrh setrvačnicku	33
3.1.5 Návrh průměru pístu.....	34
3.2 Analýza pomocí metody konečných prvků	35
3.2.1 Vnitřní rám	35
3.2.2 Vnější rám	39
4 Závěr.....	42
Použité zdroje.....	43
Seznam obrázků	45
Seznam volně vložených příloh	46

Seznam použitých symbolů a zkratek

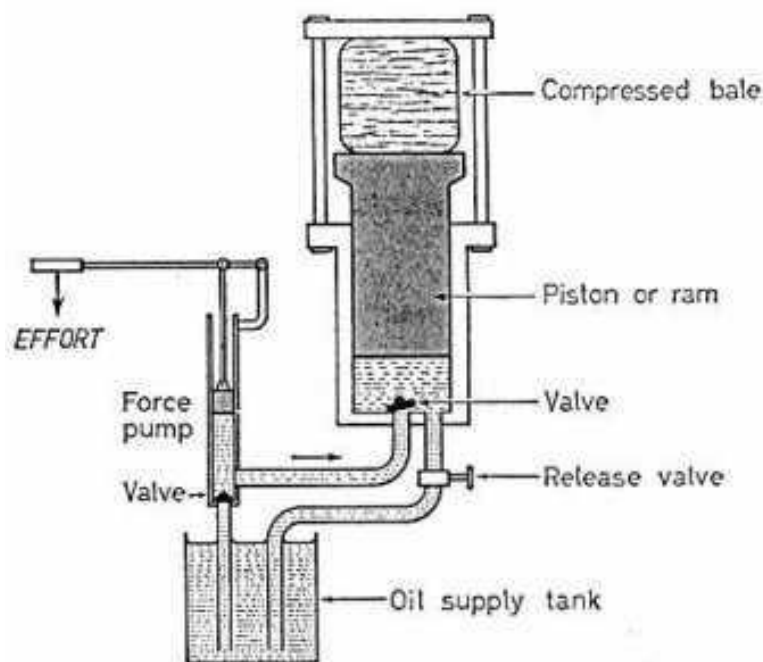
MKP	Metoda konečných prvků
3D	Třírozměrný
1D	Jednorozměrný
x, y, z	Souřadnice v kartézském souřadném systému
ω [MPa]	úhlová rychlost
A [MPa]	práce (obecně)
$h_u = h_1$ [m]	užitečný (pracovní) zdvih nástroje
K_v [-]	stupeň vyplnění tvářecí charakteristiky
$F_{max} = F_{om} = F_o$ [N]	Tvářecí síla
F [N]	síla (obecně)
o [m]	Maximální otevření
\check{S}_s [m]	Šířka pracovního stolu
h [m]	Výška (obecně)
v_s [m]	Vůle stolu
v_B [m*s ⁻¹]	Rychlost beranu
E [MPa]	Modul pružnosti v tahu
G [MPa]	Modul pružnosti ve smyku
Re [MPa]	Mez kluzu materiálu rámu
σ_D [MPa]	Dovolené napětí materiálu
β_r [-]	Součinitel deformace ve smyku
k [-]	Bezpečnost, tuhost
S [m ²]	Průřez (obecně)
L [m]	Délka (obecně)
J [m ⁴]	Kvadratický moment průřezu
W_o [m ³]	Modul průřezu v ohybu
M_o [N*m]	Vnitřní staticky neurčitý ohybový moment
σ, τ [MPa]	Napětí (obecně)
S_v [%]	Stupeň využití materiálu
y [mm]	deformace (obecně)
α [°]	Úhel stoupání závitů

φ [°]	Třecí úhel
η [-]	Účinnost (obecně)
R [mm]	Vnější poloměr setrvačnicku
r [mm]	Vnitřní poloměr setrvačnicku
ρ [kg*m ⁻³]	Hustota materiálu
m [kg]	hmotnost setrvačnicku
E [J]	energie (obecně)
d _p [mm]	průměr pístu

1 Úvod [1] [2]

Jakmile lidstvo poznalo kovy, začal si člověk postupně osvojovat hutní technologii, to znamená kování a slévání. S osvojováním hutní technologie je úzce spjat vývoj tvářecích strojů. Ubíral se od nejjednodušších metod ručního kování, až po moderní tvářecí stroje. První zmínky o zpracování železa pochází již od Homéra. Vývoj výroby tvárného železa vede k mechanizaci kování. Člověk začal využívat síly zvířat a posléze, ve středověku, začíná využívat energii vody a větru. V 9. Století se objevují jednoduchá mechanizovaná kladiva ke kování. Počátkem 11. Století se rozšiřuje využívání vodní síly a v 15.století se objevují buchary s vodním pohonem.

S požadavkem výroby těžkých výkovek, například kotvy k lodím, roste i velikost a tím i hmotnost vodních bucharů. K dalšímu zdokonalování strojů dochází s nástupem vodní páry. V roce 1784 byl patentován parní stroj Jamese Watta. Prvním parním strojem inspirovaný nástrojař James Nasmyth postavil první silný parní buchar, který byl zvedán parním strojem a padající na základě vlastní váhy. V 18. Století bylo pro pohon tvářecích strojů využito hydrauliky. Známý je anglický patent hydraulického lisu od Bramaha. Jednalo se o hydraulický lis opatřený ručním čerpadlem. Bylo zde využito principu rovnoměrného šíření tlaku v kapalinách objeveného Pascalem.



Obr. 1 Princip hydraulického lisu Josepha Bramaha [3]

Dále se zdokonalovalo válcování a řízení bucharů. Například Wilson v roce 1843 doplnil buchar řídicím ústrojím, essenský podnikatel Alfred Krupp uvedl parní buchar „Fritz“ s urychlovaným pádem beranu pomocí páry nebo bratři Mannesmannové, kteří zavedli válcování bezešvých trubek dvojicí šikmo uložených válců. V poslední době nastává velký kvalitativní rozvoj tvářecích strojů, který je spojen především s nástupem elektromotorů, hydraulických systémů a řídicí a vyhodnocovací techniky.

2 Rešeršní část

2.1 Základní pojmy, definice, třídění

Tvářecí stroj je strojní zařízení sloužící k realizaci technologického tvářecího procesu, který vede k trvalému přetvoření výchozího materiálu za studena nebo s ohřevem.

Tváření je technologický výrobní proces, při kterém se mění tvar zpracovávaného polotovaru působením síly, bez odběru třísek. [2]

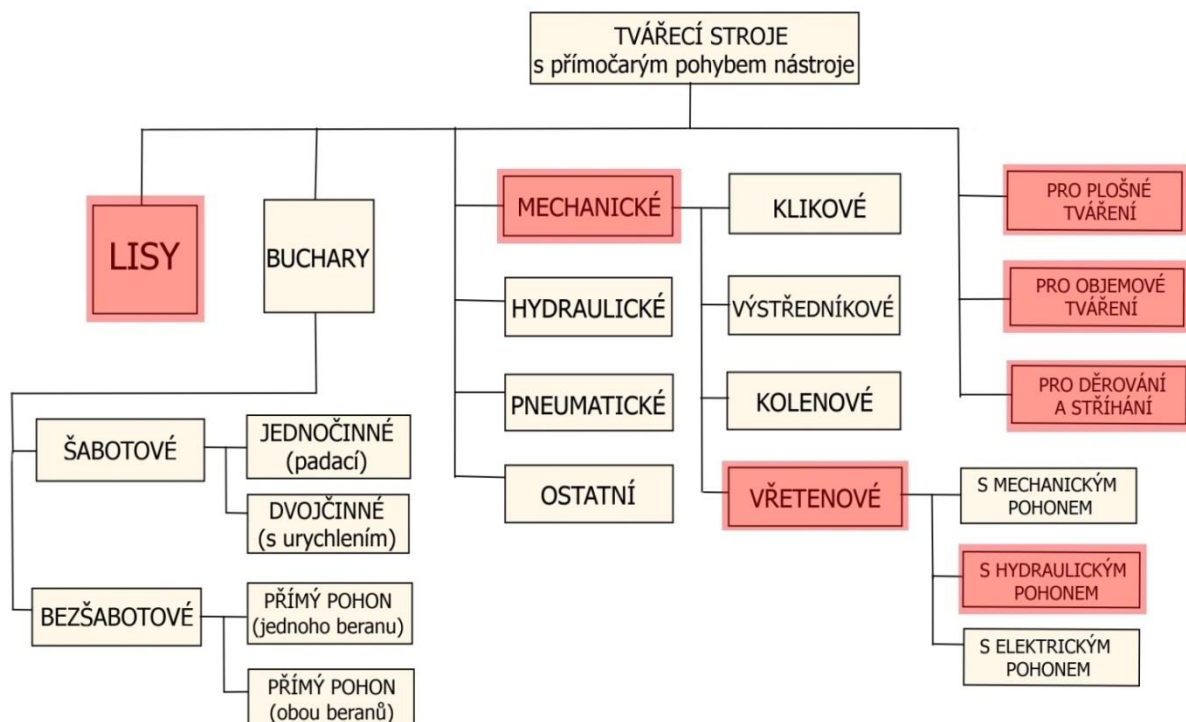
Při tváření se mění relativní poloha částic v krystalové mřížce. Tvářením dosahujeme lepších mechanických vlastností, výhodnější uspořádání vláken v materiálu a tudíž i úspory materiálu. [4]

Podle převládajícího způsobu průběhu přetvoření se technologie tváření kovů dělí na tváření plošné, na tváření objemové a na stříhání. Takový výrobek se nazývá výkovek či výstřížek.

Energie potřebná k tváření se přenáší od energetického zdroje, mechanismem stroje do pracovního prostoru, kde se pomocí dvoudílného nástroje, přemění na přetvárnou práci a další energie, například teplo. Pracovní prostor stroje je vymezen plochami výstupních členů mechanismu, které nesou nástroj, a stěnami stojanu rámu. [2]

Tvářecí stroje se rozlišují podle relativního pohybu nástroje na stroje s přímočarým pohybem nástroje a stroje s rotačním či obecným pohybem nástroje, přičemž námi navrhovaný stroj se řadí do první skupiny. [1]

Další dělení je vidět na obrázku, kde červeně zvýrazněné buňky představují kategorie, do kterých patří později popsany stroj LVH.



Obr. 2 Rozdělení tvářecích strojů včetně vyznačení zařízení stroje LVH

Buchary jsou nejstarší kovářské stroje, které k překonání přetvárného odporu tvářeného materiálu využívají zcela, nebo převážně kinetické energie beranu. Tato energie se v pracovním prostoru přemění v přetvárnou práci. Kovadlinu, o kterou se tvářený kov opírá nazýváme šabotu.

Lis je tvářecí stroj, který pracuje převážně tlakem pracovní části, která koná přímočarý vratný pohyb a je trvale spojena s hnacím ústrojím.

Lisy lze dále dělit :

1. dle konstrukčního provedení - z jednoho kusu
- dělené
2. podle jejich výrobní technologie - svařované
- Odlévané
- kombinované
3. dle přístupnosti pracovního prostoru - otevřené (jednostojanové, dvoustojanové)
- uzavřené (stojanové, sloupové) [1]

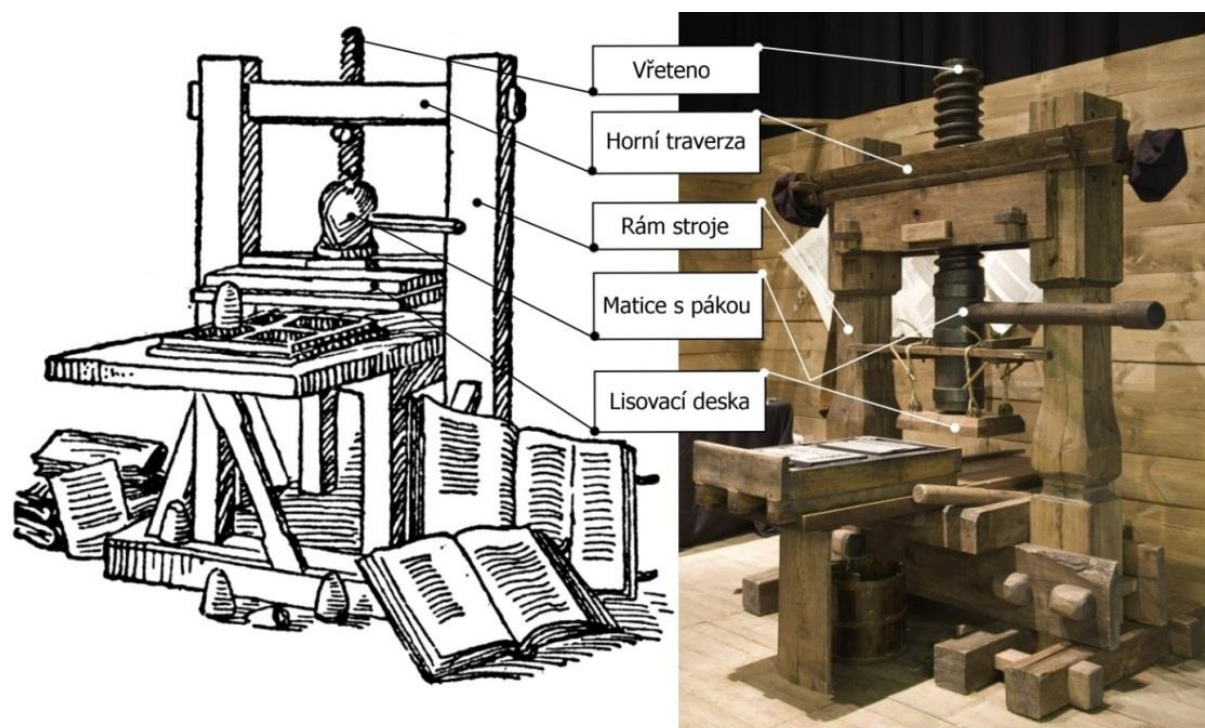


Obr. 3 Otevřený rám tzv. „C“ nalevo a uzavřený „O“ rám napravo [5] [6]

2.2 Vřetenové lisy

2.2.1 Historie vřetenových lisů [7] [8] [9] [1]

Vřetenové lisy, zvané též šroubové, se začali používat k usnadnění práce pravděpodobně již cca. 350 let př. Kr. ve starém Řecku. Tehdy se vřeteno používalo nejčastěji ke zvýšení síly u lisů na víno. Tento princip lisování vinné révy se zachoval do dneška a vřetenový lis se začal používat pro další účely, které si žádala doba. Například první tiskařský lis, který sestrojil Johannes Gutenberg v roce 1446 byl právě šroubový mechanický. Byl vyroben ze dřeva a zůstal principiálně nezměněn téměř čtyři století. Až v roce 1787 byl sestrojen celokovový vřetenový lis, který vyvozoval větší síly a zároveň částečně usnadnil práci obsluhy díky protizávaží.



obr. 4 Gutenbergův lis [10] [11]

Další využití našel lis při výrobě mincí. V českých mincovnách se vřetenový lis používal od přelomu dvacátých a třicátých let osmnáctého století. Na obrázku 2 je vidět vylepšený lis na ražení mincí se setrvačником v horní části stroje. V setrvačniku se nahromadí energie vyvozená obsluhou, poté setrvačnik předá nahromaděnou energii vřetenu a následně se tak vyvozuje síla, která se uvolňuje při dotyku razníku s materiálem v raznici. Je zde tedy zmenšena námaha obsluhující osoby. Setrvačnik lze nahradit jedním či dvěma vahadly, což jsou vlastně závaží, která se umísťují na konce ovládací páky viz. obr.3. Zde se energie hromadí právě ve vahadlech.

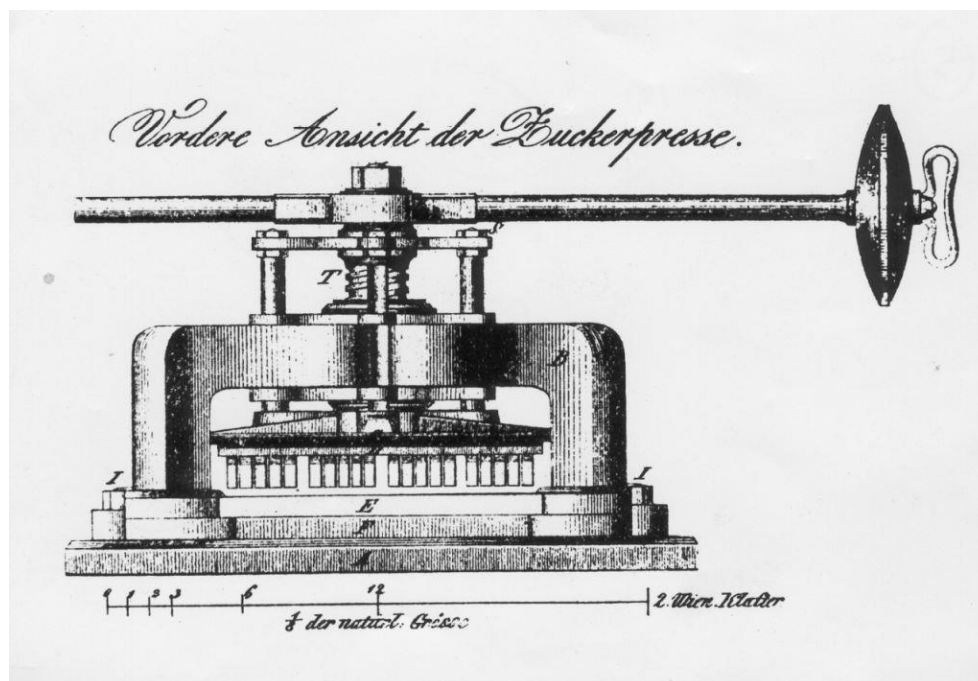


Obr. 5 Razící šroubový lis [12]



obr. 6 Razící vřetenový lis se závažími [9]

Výrazným činitelem byl lis také při vynálezu kostky cukru v Dačicích. Cukr se do roku 1843 vyráběl v tzv. homolích, což bylo značně nepraktické. To vedlo Jakuba Kryštofa Radu k vynálezu kostky cukru a následně i k vynálezu lisovacích desek. Měděná raznice se čtyřmi sty otvory se naplnila cukrovou moučkou a pomocí vřetenového lisu a razníku se moučka stlačila na poloviční objem. Poté se cukr vysušil a vyvážel do celého světa.



obr. 7 Šroubový lis na výrobu cukru vynalezený J.K. Radou v Dačicích [8]

Jak již bylo řečeno, do dnešní doby se lis používá na výrobu vín. Nejčastěji je používán začínajícími a příležitostnými vinaři. Ve velkovýrobě se tento mechanický lis již nepoužívá a je zpravidla nahrazen lisy hydraulickými, které jsou vhodnou volbou díky malým rychlostem beranu. Jen tak lze dosáhnout šetrného lisování nutné k výrobě kvalitních vín.



Obr. 8 Novodobý malý ruční lis a větší lis z 19. Století z Mikulova [13] [14]

2.2.2 Vřetenové lisy obecně [15] [1] [2]

Jsou to mechanické tvářecí stroje, u nichž je k tváření materiálu využita kinetická energie, která je z podstatné části nahromaděna v setrvačnicku lisu. Velikost práce, která bude předána tvářenému polotovaru je závislá na otáčkách setrvačnicku a na jeho rozměrech. Pokud bychom dvojnásobně zvětšili hmotnost setrvačnicku, přičemž jeho průměr by zůstal neměnný, energie úderu by se teoreticky také zvýšila na dvojnásobnou hodnotu. Ovšem zvětšili bychom počet otáček setrvačnicku taktéž dvojnásobně, potom by se energie při úderu zvýšila čtyřnásobně. K přenosu síly je u klasických vřetenových lisů používáno vřetenno s lichoběžníkovým závitem a matice, která bývá uložena v horní příčce rámu lisu.

Hlavní rozdíl, mezi vřetenovými a mechanickými klikovými či výstředníkovými lisy, je dráha výstupního členu mechanismu, která není kinematicky omezena. Tento rozdíl umožňuje vřetenovým lisům tvářet polotovary pomocí několika následných úderů, podobně jako u bucharů, což je výhodné. Další předností těchto lisů je to, že jsou schopny vyvodit přídržný tlak, při dosednutí kovadel, což pomáhá tváření. Výhodou je také bezporuchovost a poměrně malá cenová náročnost oproti jiným tvářecím strojům

Nevýhodami stroje je především velká stavební výška, obtížná automatizace a malý počet úderů za minutu. Není tedy příliš vhodný pro sériovou výrobu.

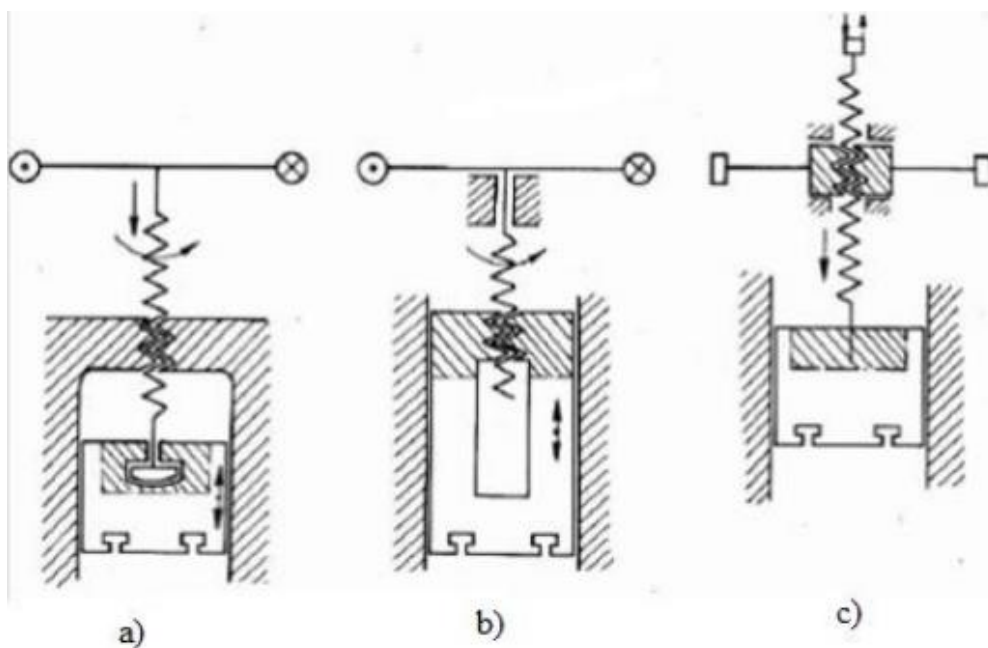
Dle uvedených znaků by mohli být vřetenové lisy řazeny do skupiny bucharů, ale protože se rychlost beranu pohybuje od $v = 0,5$ do $1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ a jmenovitou sílu lze definovat z pružné deformace rámu, jsou tyto tvářecí stroje zařazeny ve skupině lisů.

Dělení:

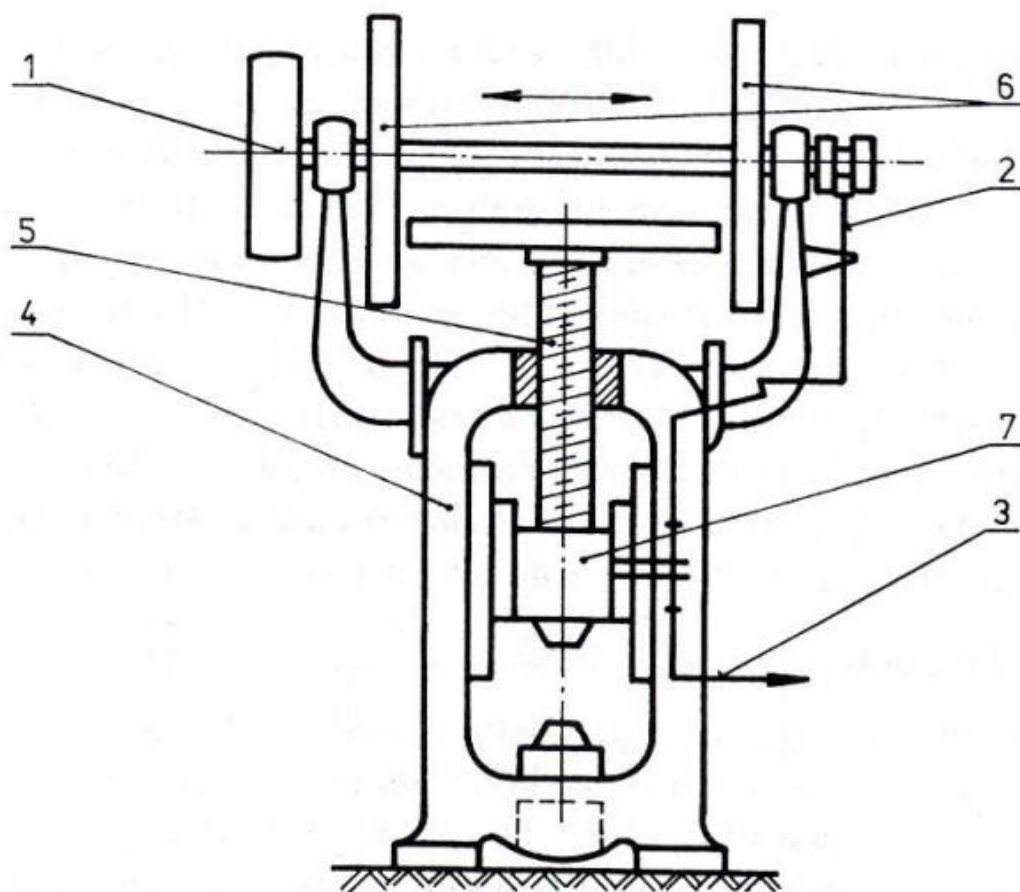
1. ruční vřetenové lisy
2. kotoučové vřetenové lisy
 - dvoukotoučové
 - tříkotoučové
3. bezkotoučové

Dále se mohou dělit v závislosti na kinematice hlavního pohonného mechanismu na lisy:

1. s otáčejícím se vřetenem a posouvající se maticí (obr.9 b)
2. s otáčejícím se a posouvajícím se vřetenem a pevnou maticí (obr.9 a)
3. s posuvným vřetenem a otáčející se maticí (obr.9 c)



Obr. 9 Rozdělení dle vzájemných pohybů matice s vřetenem [15]

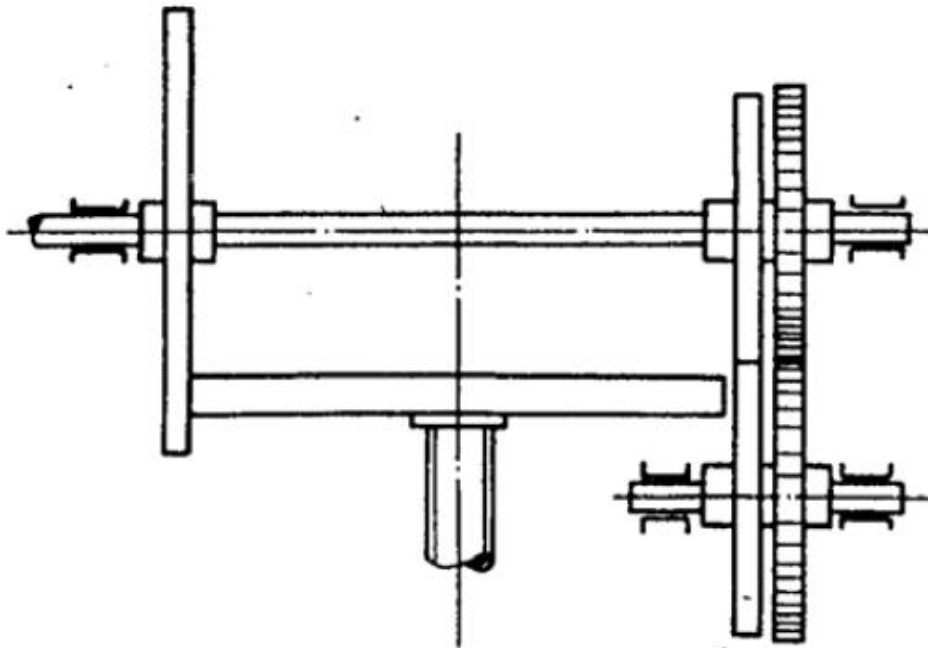


Obr. 10 Dvoukotoučový vřetenový lis [16]

1-spojka; 2,3 – pákový mechanismus; 4 – stojan; 5 – vřeteno; 6 – třecí kotouče; 7 - beran

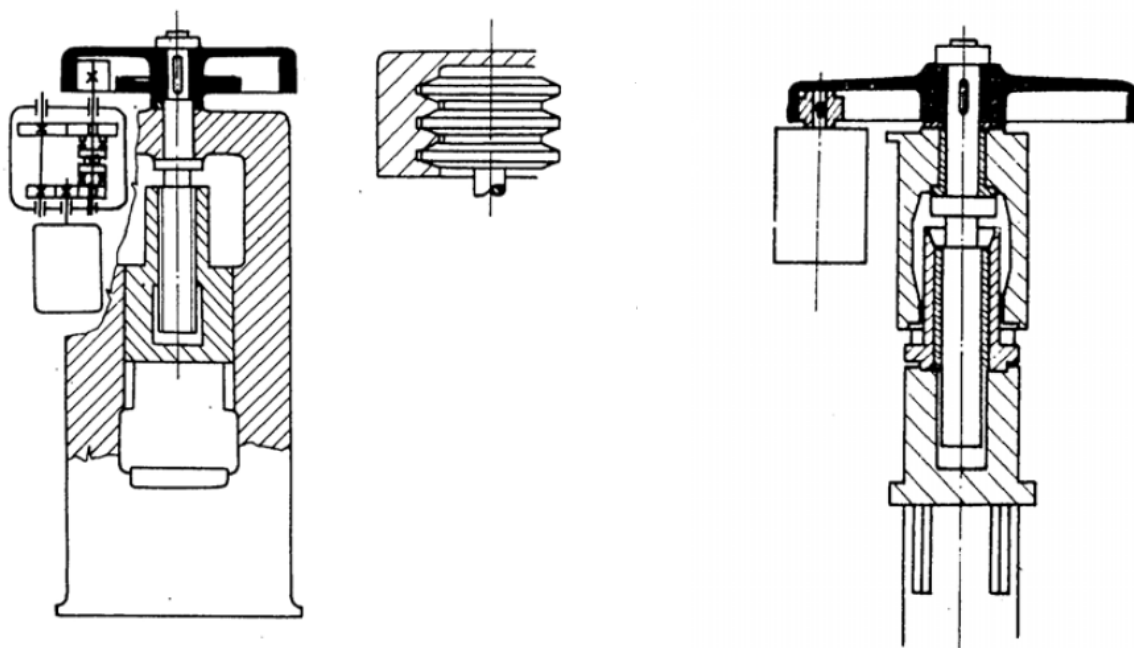
Vřetenový lis dvoukotoučový, který je znázorněn na obr.10, má na hnací hřídeli s vodorovnou osou dva kotouče, které pomocí tření pohánějí setrvačnick oběma směry v závislosti na tom, který kotouč je právě přitlačován k setrvačnicku. Setrvačnick je pevně spojen se šroubovým vřetenem, které se pomocí pevné matice pohybuje nahoru a dolů. Rychlost setrvačnicku se při pohybu dolů stále zvětšuje, protože se zvětšuje poloměr styčné plochy mezi setrvačnickem a kotoučem. Těsně před tvářením se kotouč odpojuje. Při styku setrvačnicku s hnacím kotoučem vzniká prokluz, což vede ke ztrátám energie a k opotřebení.

Nevýhoda opotřebení je menší u tříkotoučového lisu, jehož schéma je znázorněno na obr.11, který pracuje stejným principem jako lis dvoukotoučový s tím rozdílem, že při zvedání dochází k dotyku nejprve s menším kotoučem kde je menší obvodová rychlost a tedy menší ztráty a opotřebení.



Obr. 11 Schéma uspořádání tříkotoučového vřetenového lisu [17]

Bezkatoučový lis má menší rozměry, což je jeho výhodou. Skládá se ze setrvačnicku, který je spojen s vřetenem. Vřeteno zabírá s maticí vytvořenou v beranu. Setrvačnick je hnaný pomocí tření mezi vnitřním obvodem setrvačnicku a vnějším obvodem hnacího kotouče. Kotouč je poháněn motorem přes soukolí ozubených kol (obr.12 vlevo) nebo pomocí přímého nasazení na hřídel elektromotoru (obr.12 vpravo). Pohon těchto lisů může být realizován mnoha způsoby, přičemž je snaha dosáhnout co nejmenšího prokluzu.



Obr. 12 Bezkotoučové lisy [17]

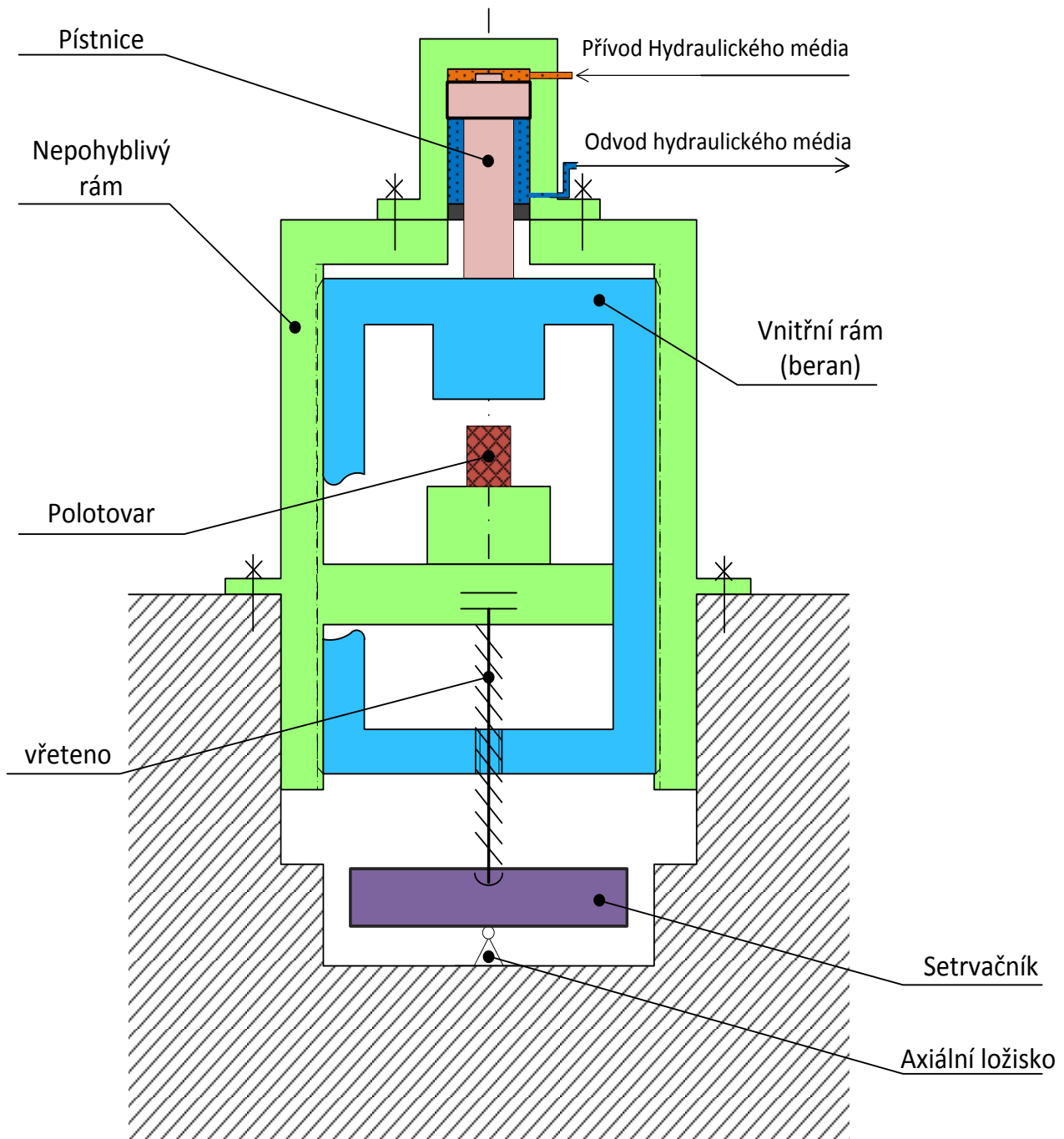
Všechny druhy zmíněných lisů bývají opatřeny brzdou a mají velmi široké technologické použití. Především se využívají pro děrování, ohýbání a rovnání za studena i za tepla, pro lisování z plechu za studena i za tepla a také pro zápusťkové kování.

2.2.3 Hydraulickomechanický vřetenový lis LVH [1] [15]

Jsou to vřetenové stroje s hydraulickým pohonem. Svou konstrukcí se liší od klasických vřetenových lisů. Nemají žádný předlohový hřídel ani brzdu a jejich konstrukce je vcelku jednoduchá. Stojan lisu je dělený a skládá se ze spodní části a příčnicku. Na spodní části stojanu je uchycen pracovní stůl lisu. Zdrojem tvářecí energie je kinetická energie setrvačnicku roztočeného úhlovou rychlostí ω . Setrvačnicku je naklínován na vřetení a uložen v ložisku, připevněném v příčně uloženém pracovním stole. Hydraulický válec je uchycen na příčnicku a je pomocí pístnice spojen s vnitřním rámem. Vřetení je opatřeno vícechodým nesamosvorným závitem. Prochází maticí, která je uchycena v pohyblivém vnitřním rámu stroje, který je zároveň beranem. Stroj může být opatřen olejovou pojistkou, která při přetížení stroje odpustí trochu kapaliny. Princip stroje je vysvětlen a rozdělen do tří fází.

1. Fáze akumulace energie v setrvačnicku

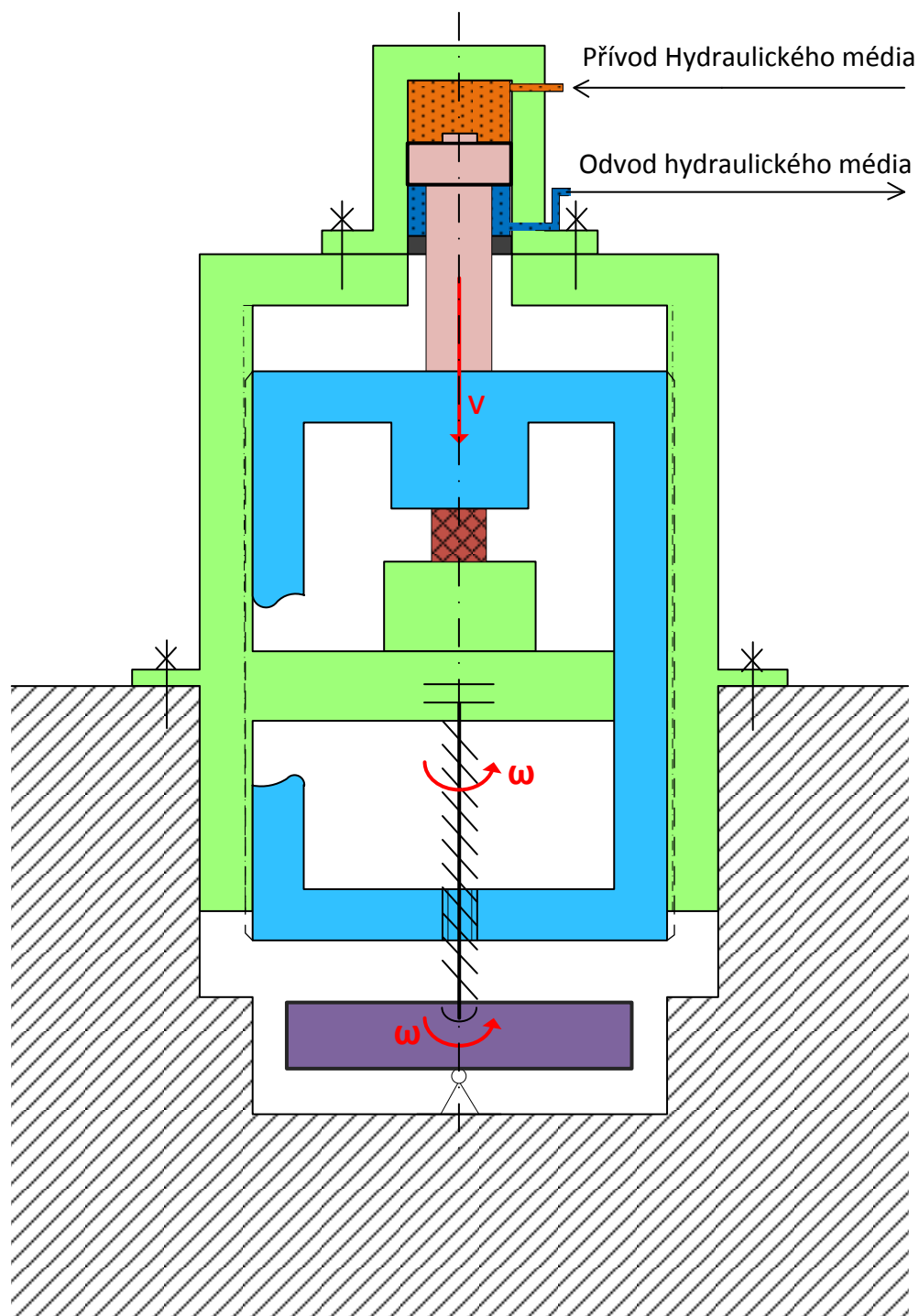
Hydrogenerátor poháněný elektromotorem vtlačuje kapalinu do horní komory hydraulického válce maximálním tlakem 30Mpa a tím se píst s pístnicí začne pohybovat. Pístnice je připevněna k vnitřnímu rámu stroje a posouvá se směrem k tvářenému polotovaru rychlostí až $1 m * s^{-1}$. Zároveň se díky matici v beranu roztáčí vřetení, připevněné na rám nepohyblivý. Hydraulikou dodanou energii předává vřetení do setrvačnicku, kde se tato energie akumuluje.



obr. 13 Akumulace energie v setrvačniku

2. Fáze tváření

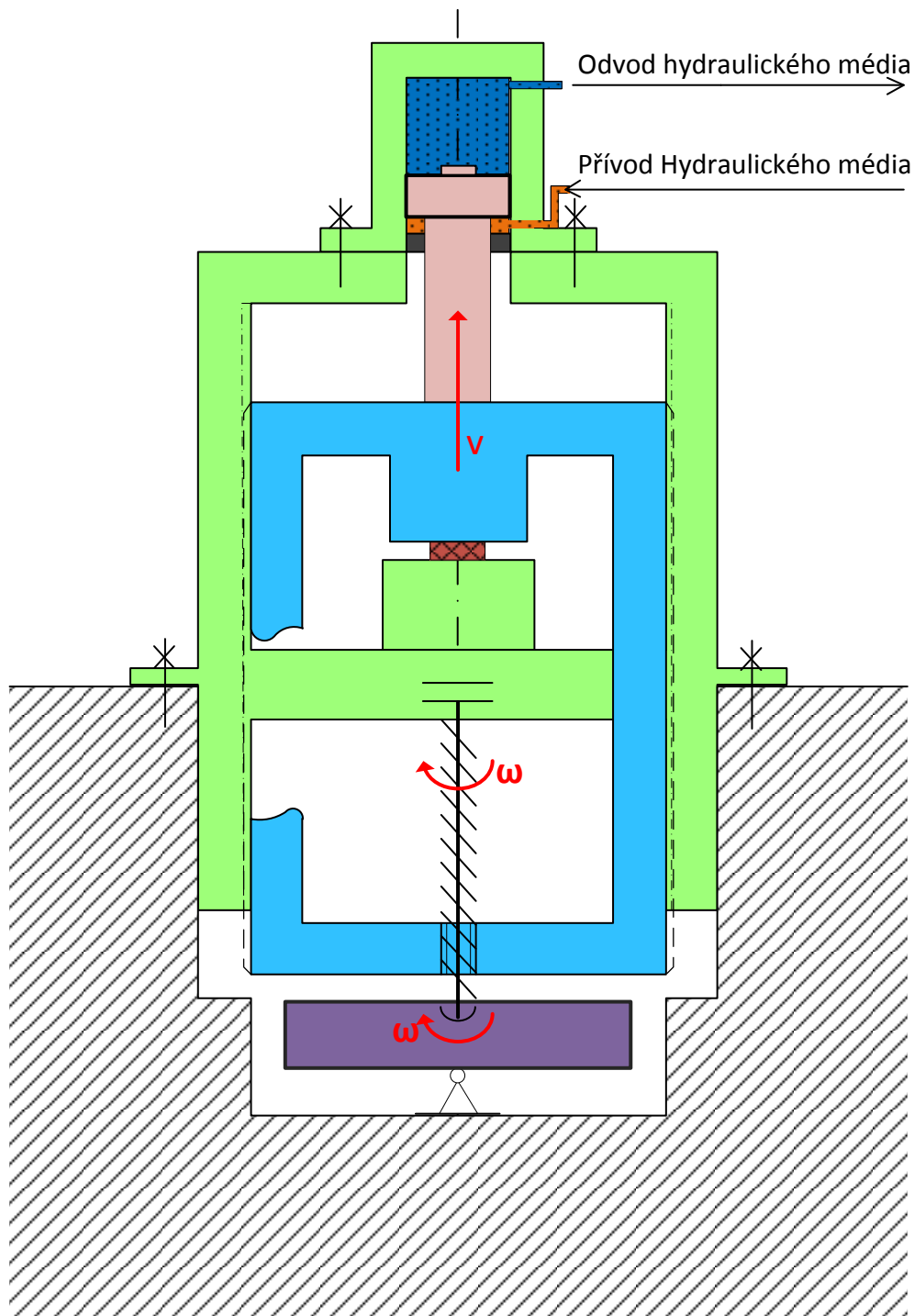
Dochází k samotné operaci, která probíhá ve vnitřním rámu. Při dostatečném množství nahromaděné energie v setrvačniku se naakumulovaná energie vybíjí na tváření polotovaru. Protože vnitřní rám lisu je značně vysoký, je zajištěno dobré vedení a tak lze provádět přesné operace jako je zápusťkové kování za tepla, ohýbání a rovnání.



obr. 14 Fáze tváření polotovaru

3. Fáze zdvihu beranu do počáteční polohy

Pracovní zdvih je ukončen. Hydrogenerátor přivede pracovní médium do spodní části hydraulického válce a tím nastává zpětný zdvih beranu do původní polohy. Tlak kapaliny je opět maximálně 30Mpa.



obr. 15 Tvářecí operace je dokončena, následuje zdvih beranu do výchozí polohy

Výhodou tohoto stroje je malá hmotnost, a jelikož je značná část stroje zastavěna pod podlahu, tak nespornou výhodou je také malá výška. Dalším kladem je přidržovací tlak, který je vyvozen při dosednutí zápustek a zbylá nahromaděná energie ještě chvíli přidrží zápustky pod tlakem již bez přispění hydraulického válce.

Nevýhodou může být častější údržba .

Stroj se vyráběl dle velikosti tvářecí síly: 63, 100, 160, 250, 400 [$\cdot 10^3\text{N}$]

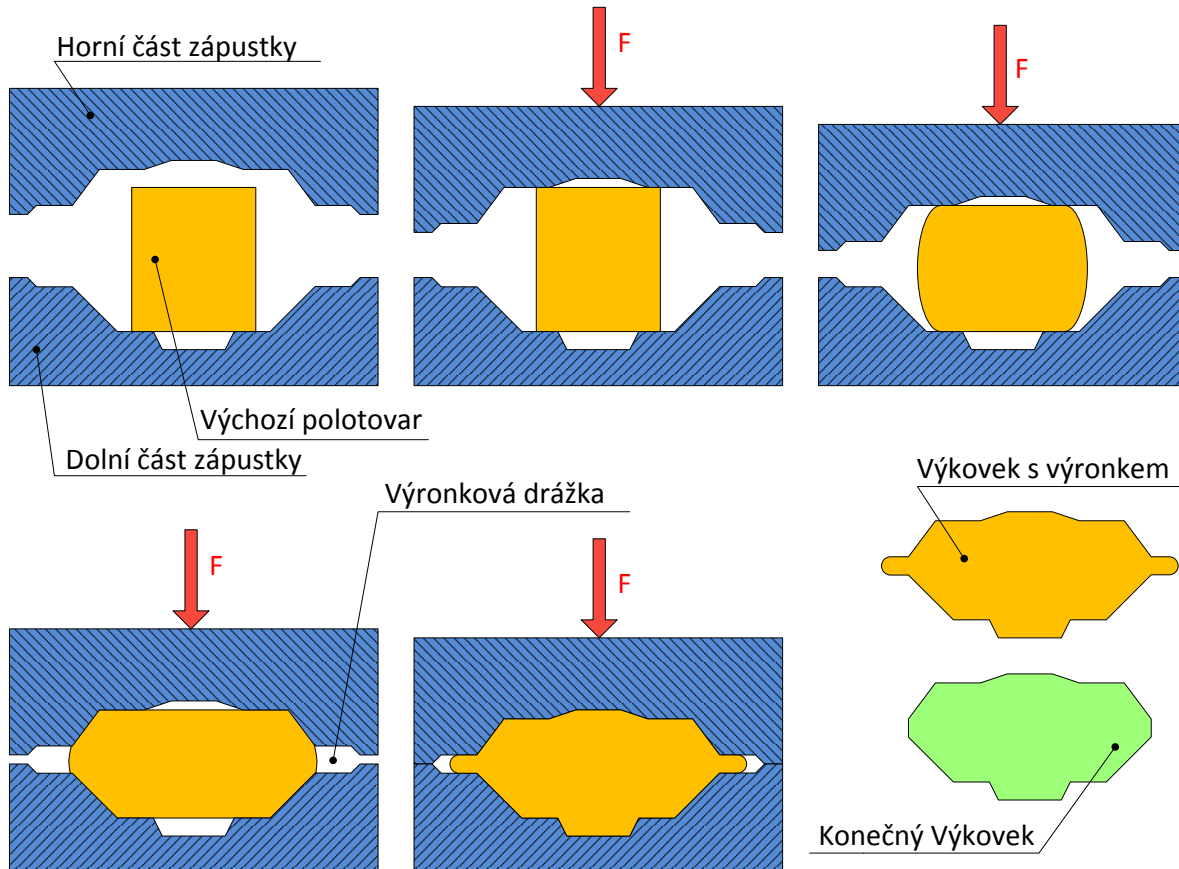
2.2.4 Návrh dle technologické operace zápustkové kování

Základním předpokladem při konstrukci tvářecího stroje je dokonalá znalost technologie příslušného tvářecího pochodu a dále znalost požadovaných parametrů výrobku. [2]

Ačkoli na stroji LVH lze provádět vícero technologických operací včetně plošného tváření a stříhání, návrh stroje vychází ze zápustkového kování, ke kterému bude stroj primárně určen. [1]

Je objemové tváření za tepla, prováděné úderem nebo klidně působící silou. Jedná se o přetržitý způsob a výkovek má požadovaný tvar, příznivou makrostrukturu, výhodnou mikrostrukturu a zvýšené mechanické a fyzikální vlastnosti. Kování lze zpracovávat téměř všechny kovy. Zápustkové kování slouží k výrobě velkého počtu tvarově stejných součástí z oceli nebo jiných tvárných slitin. Hlavní předností zápustkového kování je vysoká výkonnost a snadná obsluha. Výkovky mají však omezené rozměry a hmotnost. Ohřátý materiál se tváří v dutině zápustky, jejíž tvar je shodný s tvarem výkovku. Rozměry jsou však zvětšeny o hodnotu smrštění vychladlého výkovku. Proti volnému kování se dosahuje přesnějšího tvaru výkovku. Přesnost a jakost povrchu se dá výrazně zlepšit následným kalibrováním tak, že se nemusí již dále používat obrábění. Zápustkovým kováním se dosahuje vysokého stupně prokování a průběh vláken sleduje obrys výkovku. Dutinu zápustky je možno zaplňovat buď vtačováním nebo pýchováním - z čehož pýchování je lepší. [18]

Zápustka je většinou dvoudílný nástroj. Horní část zápustky je připevněna k beranu a spodní ke stolu tvářecího stroje. [19]



Obr. 16 princip zápustkového kování

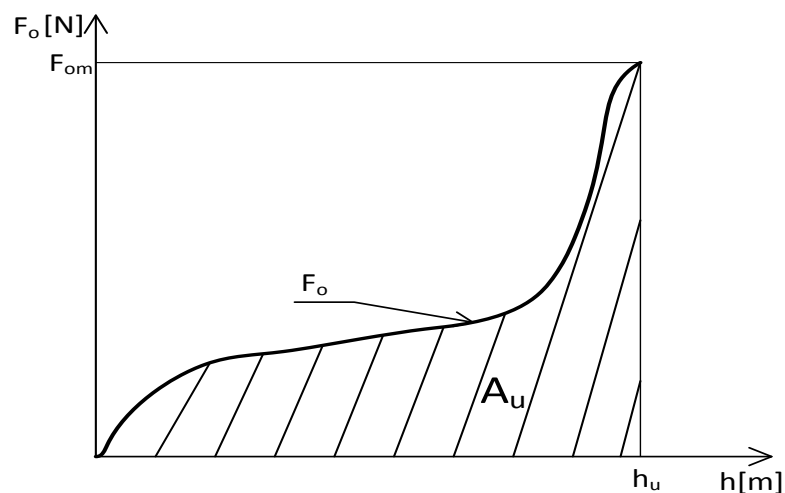
Druhy zápustek: Otevřená zápustka - materiál, který je vložen do dutiny zápustky během kování vyplní dutinu a přebytečný materiál je vytlačován do tvarované mezery mezi horní a dolní zápustkou. Tento přebytek se nazývá výronek, který se v následující operaci ostříhne. Výronek během kování klade odpor proti vytékání kovu ze zápustkové dutiny, což podporuje její dokonalé zaplňování a tlumí rázy při vzájemném dosednutí dílů zápustky. [19]

Uzavřená zápustka - princip kování je stejný jako kování do otevřené zápustky, ale na rozdíl od otevřené nemá výronkovou drážku. Kov dokonale vyplňuje dutinu. [19]

Postupová zápustka - Postupová zápustka může být někdy konstruována pomocí výměnných tvarových vložek kruhového nebo obdélníkového tvaru. Dochází zde k výrazné úspoře materiálu zápustky. V postupové zápustce nejsou dutiny umístěny za sebou podle technologického postupu. Kovací (dokončovací), tj. poslední dutina se umísťuje uprostřed tak, aby její těžiště bylo blízko těžiště celého bloku. To proto, že síla (nebo energie) na kování výkovku je větší, než na kování předkovků. Jednak proto, že výkovek chladne a tedy roste jeho přetvárná pevnost a dále proto, že výkovek včetně výronkové drážky má největší plochu. Ostatní dutiny jsou rozmístěny kolem této dokončovací dutiny. [18]

Operace zápustkového kování pak dělíme např. na rozdělávání, předkování, kování a odstřížení výronku. Odstřížení výronku se provádí v jiném nástroji. Předkování se může provádět volně, v zápustkách nebo na kovacích válcích. [18]

Tvářecí charakteristika zápustkového kování: závislost tvářecí síly na dráze vykonanou nástrojem. Tato dráha je přibližně totožná s velikostí plastické deformace tvářeného tělesa. Matematické vyjádření je složité, a proto se závislost zjišťuje experimentálně či pomocí zjednodušeného průběhu charakteristiky. Analyticky lze vyjádřit tuto závislost pouze pro technologickou operaci pěchování. [1]



Obr. 17 reálná charakteristika zápustkového kování

Tvářecí charakteristika také slouží k určení práce A_u , což je práce všech užitečných sil. Lze říci, že se jedná o práci plastických deformací tvářeného tělesa a je dána plochou pod křivkou tvářecí charakteristiky. Tuto práci lze orientačně určit takto :

$$A_u = \int_0^{h_u} F_o(h) * dh = K_v * F_{om} * h_u$$

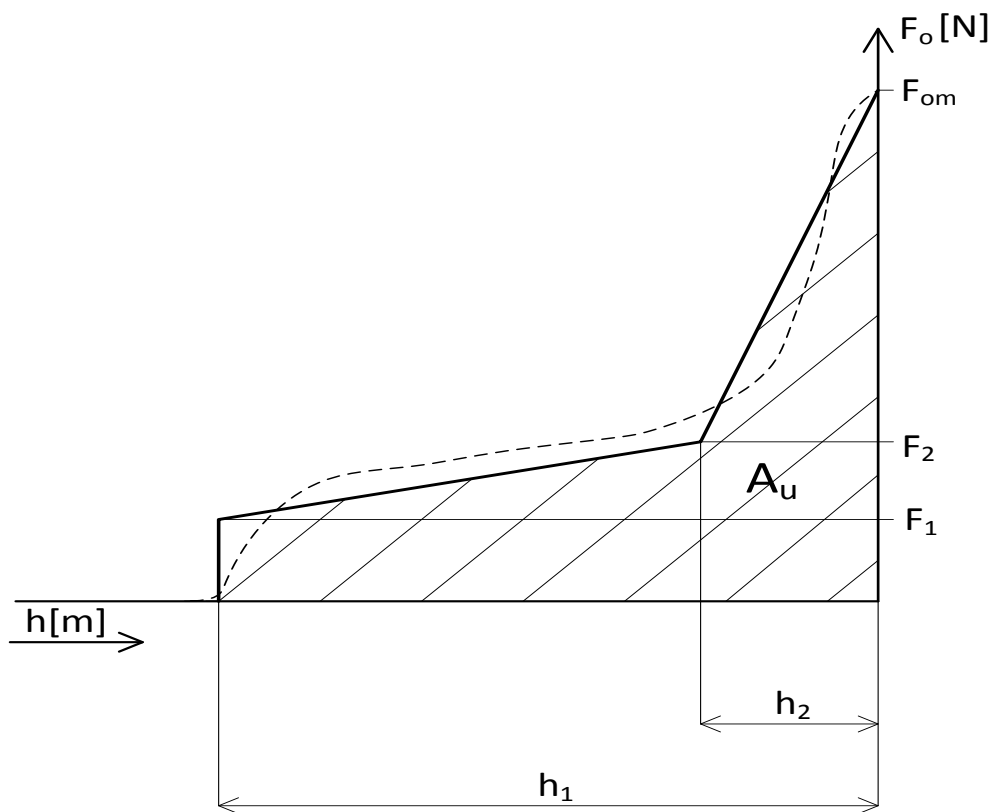
h_u [m] - užitečný zdvih nástroje

K_v [-] - stupeň vyplnění tvářecí charakteristiky

F_o [N] - Tvářecí síla (F_{om} - maximální hodnota tvářecí síly)

F_o je odporová síla působící na nástroj ve směru proti jeho pohybu

Zjednodušený průběh tvářecí charakteristiky zápustkového kování: slouží k určení parametrů námi navrhovaného tvářecího stroje LVH.



Obr. 18 zjednodušená tvářecí charakteristika

h_1 [m] – pracovní zdvih

h_2 [m], F_1 [N], F_2 [N] – pomocné parametry k určení hodnot potřebných k sestavení charakteristiky

Zdvihy a síly lze vyjádřit následovně: $h_1 = 0,13 H$ H [m] – celkový zdvih

$$h_2 = 0,01 H$$

$$F_1 = 0,08 F_{om}$$

$$F_2 = 0,20 F_{om}$$

3 Praktická část

3.1 Návrhové výpočty

3.1.1 Návrh parametrů tvářecí charakteristiky [15]

Zadáno: $h_u = h_1 = 0,05$ [m]

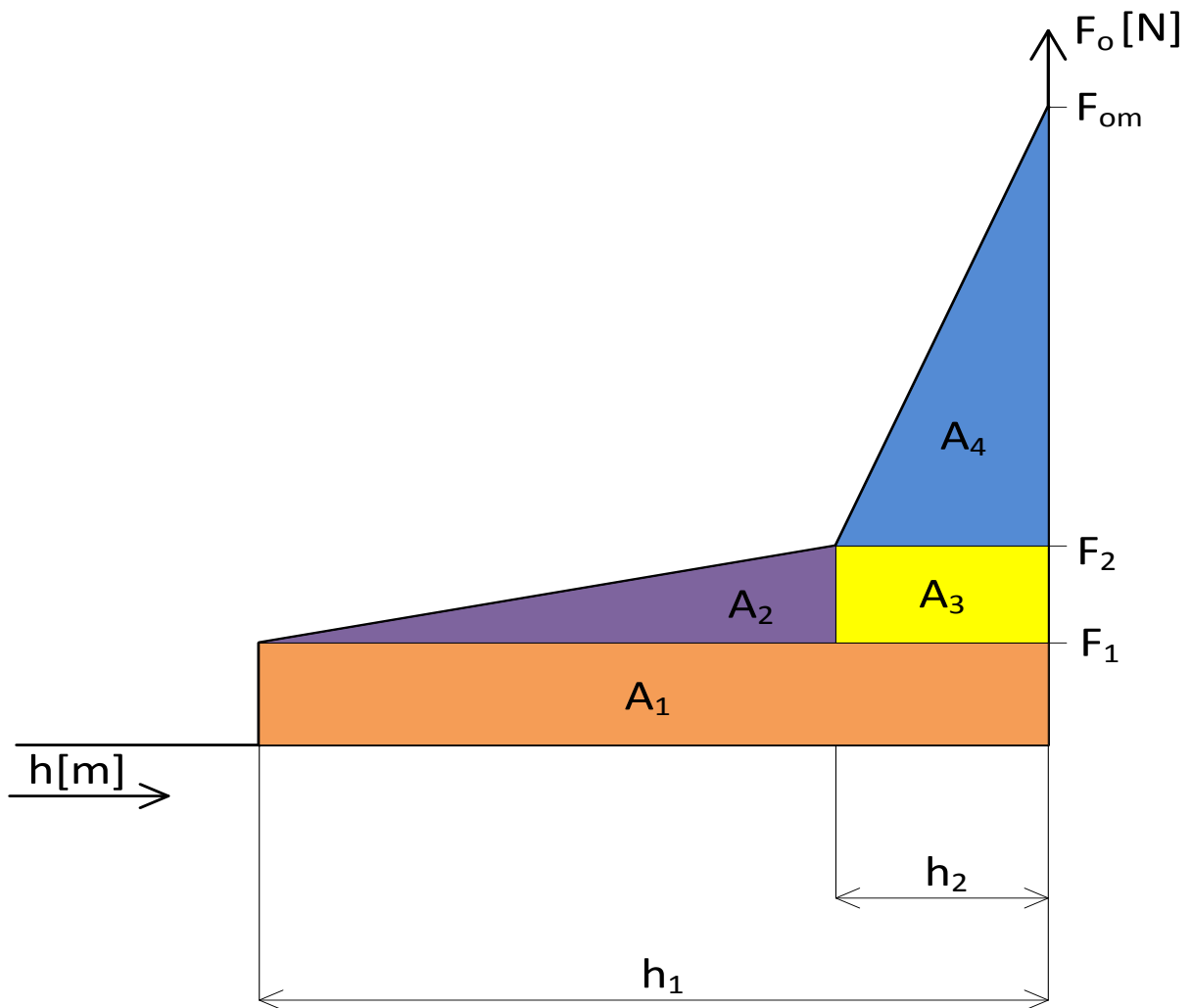
$$F_{\max} = F_{om} = 25 \text{ [MN]}$$

Jelikož známe F_{om} , tak je F_1 a F_2 známá veličina.

$$F_1 = 0,08 \cdot F_{om} = 0,08 \cdot 25 = 2 \text{ [MN]}$$

$$F_2 = 0,2 \cdot F_{om} = 0,2 \cdot 25 = 5 \text{ [MN]}$$

Je tedy nutné zjistit h_1 a h_2 , které lze vyjádřit ze známé energie A_u . Tu je možné rozložit pomocí obsahu jednotlivých částí tvářecí charakteristiky



Obr. 19 rozdělení celkové A_u na jednotlivé části

Z obrázku vyplívá:

$$A_u = A_1 + A_2 + A_3 + A_4$$

$$A_1 = F_1 \cdot h_1$$

$$A_2 = (F_2 - F_1) \cdot (h_1 - h_2) \cdot \frac{1}{2}$$

$$A_3 = (F_2 - F_1) \cdot h_2$$

$$A_4 = (F_{om} - F_2) \cdot h_2 \cdot \frac{1}{2}$$

$$A_u = [F_1 \cdot h_1] + \left[(F_2 - F_1) \cdot (h_1 - h_2) \cdot \frac{1}{2} \right] + [(F_2 - F_1) \cdot h_2] + \left[(F_{om} - F_2) \cdot h_2 \cdot \frac{1}{2} \right]$$

Dostáváme jednu rovnici o dvou neznámých a musíme jeden člen vyjádřit pomocí druhého. Z výše daných výrazů vyplívá, že: $h_2 = \frac{0,01}{0,13} \cdot h_1$. Po dosazení do rovnice dostáváme jednu rovnici o jedné neznámé, tedy rovnici řešitelnou.

$$A_u = [F_1 \cdot h_1] + \left[(F_2 - F_1) \cdot \left(h_1 - h_1 \cdot \frac{0,01}{0,13} \right) \cdot \frac{1}{2} \right] + \left[(F_2 - F_1) \cdot h_1 \cdot \frac{0,01}{0,13} \right] + \left[(F_{om} - F_2) \cdot h_1 \cdot \frac{0,01}{0,13} \cdot \frac{1}{2} \right]$$

$$A_u = [F_1 \cdot h_1] + \left[(F_2 - F_1) \cdot h_1 \cdot \left(1 - \frac{0,01}{0,13} \right) \cdot \frac{1}{2} \right] + \left[(F_2 - F_1) \cdot h_1 \cdot \frac{0,01}{0,13} \right] + \left[(F_{om} - F_2) \cdot h_1 \cdot \frac{0,01}{0,13} \cdot \frac{1}{2} \right]$$

$$A_u = h_1 \cdot \left[F_1 + (F_2 - F_1) \cdot \left(1 - \frac{0,01}{0,13} \right) \cdot \frac{1}{2} + (F_2 - F_1) \cdot \frac{0,01}{0,13} + (F_{om} - F_2) \cdot \frac{0,01}{0,13} \cdot \frac{1}{2} \right]$$

$$A_u = 0,05 \cdot \left[2 + (5 - 2) \cdot \left(1 - \frac{0,01}{0,13} \right) \cdot \frac{1}{2} + (5 - 2) \cdot \frac{0,01}{0,13} + (25 - 5) \cdot \frac{0,01}{0,13} \cdot \frac{1}{2} \right]$$

$$A_u = \mathbf{0,219 [MJ] = 219000 [J]}$$

Dopočtení zbývajících parametrů

$$h_2 = \frac{0,01}{0,13} \cdot h_1 = \frac{0,01}{0,13} \cdot 0,08149 = \mathbf{0,00628[m]}$$

$$H = \frac{h_1}{0,13} = \frac{0,08149}{0,13} = \mathbf{0,62685[m]}$$

3.1.2 Návrh vnitřního rámu [20] [21]

S ohledem na výrobu rámu (odlitek) byl zvolen materiál ČSN 42 2641 s mezí kluzu 230 MPa.

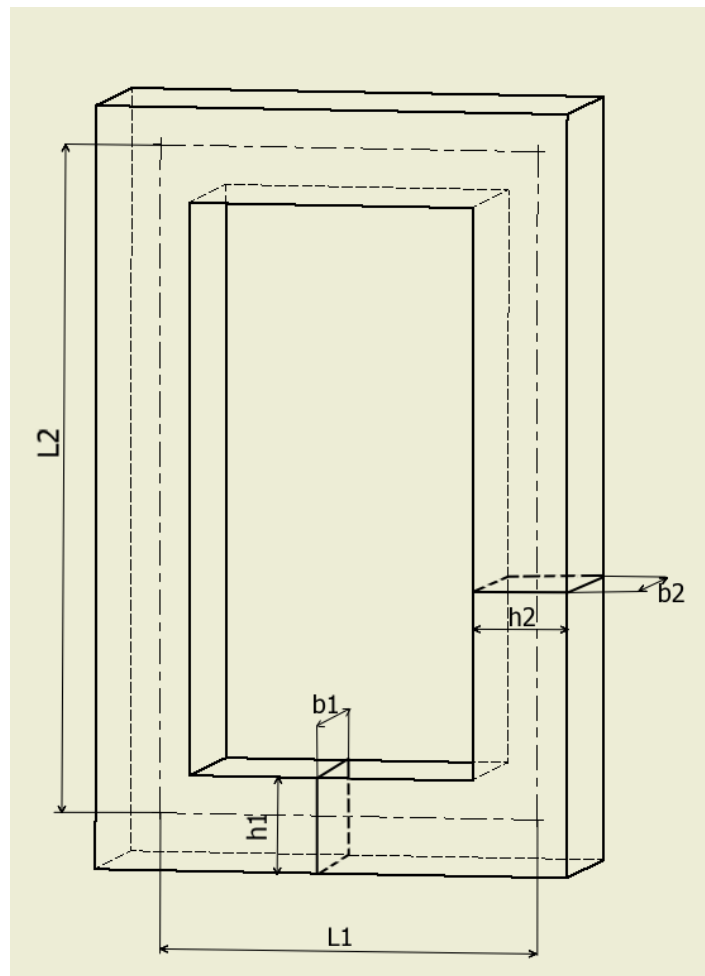
Zadané a zvolené parametry:

Jmenovitá síla [N]	$F=F_{\max}$	25 000 000
Celkový zdvih beranu [m]	$h_{\max}=\$	0,6
Maximální otevření [m]	$o=\$	0,71
Šířka pracovního stolu [m]	$\check{S}_s=\$	1,4
Výška beranu [m]	$h_{\text{beranu}}=\$	0,4
Výška prostoru pod beranem	$h_{\text{brzda}}=\$	0,05
Vůle stolu [m]	$v_s=\$	0,05
Rychlost beranu [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]	$v_B=\$	1
Modul pružnosti v tahu [MPa]	$E=\$	210000
Modul pružnosti ve smyku [MPa]	$G=\$	80000
Mez kluzu materiálu rámu [MPa]	$Re=\$	230
Bezpečnost	$k=\$	2,9
Dovolené napětí materiálu rámu [MPa]	$\sigma_{\text{Drám}}=\$	79,310345
Součinitel deformace ve smyku	$\beta_r=\$	1,2

Dovolené napětí materiálu:

$$\sigma_{\text{Drám}} = \frac{Re}{k} = \frac{230}{2,9} = 79,31 \text{ Mpa}$$

Volba a dopočetní rozměrů profilů příčky a stojny:



Obr. 20 Značení profilů příčky a stojny

Zvoleno:

$$h_1 = 0,9m$$

$$b_1 = 1,2m$$

$$h_2 = 0,17m$$

$$b_2 = b_1 = 1,2m$$

Výška průřezu příčky

Šířka průřezu příčky

Výška průřezu stojny

Šířka průřezu stojny

Výpočet rozměrů rámu:

$$S_1 = h_1 * b_1 = 1,08 m^2$$

Průřez příčky

$$S_2 = h_2 * b_2 = 0,204 m^2$$

Průřez stojny

$$l_1 = \check{S}_S + h_2 + 2 * v_s = 1,4 + 0,17 + 2 * 0,05 = 1,67 m$$

Střednice profilu příčky

$$l_2 = o + h_1 + h_{beranu} + h_{brzda} = 0,71 + 0,9 + 0,4 + 0,05 = 2,06 m$$

Středn. profilu stojny

$$J_1 = \frac{(b_1 * h_1^3)}{12} = \frac{(1,2 * 0,9^3)}{12} = 0,0729m^4$$

Kvadratický moment průřezu příčky

$$J_2 = \frac{(b_2 * h_2^3)}{12} = \frac{(1,2 * 0,17^3)}{12} = 0,000491 \text{ m}^4 \quad \text{Kvadratický moment průřezu stojny}$$

$$w_{o1} = \frac{2 * J_1}{h_1} = \frac{2 * 0,0729}{0,9} = 0,162 \text{ m}^3 \quad \text{Modul průřezu v ohybu příčky}$$

$$w_{o2} = \frac{2 * J_2}{h_2} = \frac{2 * 0,000491}{0,17} = 0,00578 \text{ m}^3 \quad \text{Modul průřezu v ohybu stojny}$$

Výpočet napětí:

$$M_o = \frac{F * l_1}{8} * \frac{1}{\frac{J_1}{J_2} * \frac{l_2}{l_1} + 1} = 28357,55 \text{ N} * \text{m} \quad \text{Vnitřní staticky neurčitý ohybový moment}$$

Napětí v příčce:

$$\sigma_{o1} = \frac{\frac{F * l_1}{4} - M_o}{w_{o1}} * 10^{-6} = 64,3 \text{ MPa} \quad \text{Napětí v ohybu}$$

$$\tau_{s1} = \frac{F}{S_1} * 10^{-6} = 23,2 \text{ MPa} \quad \text{Napětí ve smyku}$$

Výsledné redukované napětí v příčce dle Guestovy hypotézy:

$$\sigma_{red} = \sigma_1 = \sqrt{\sigma_{o1}^2 + 4 * \tau_{s1}^2} = 79,2 \text{ MPa}$$

Napětí ve stojně:

$$\sigma_{o2} = \frac{M_o}{w_{o2}} * 10^{-6} = 4,9 \text{ MPa} \quad \text{Napětí v ohybu}$$

$$\sigma_{t2} = \frac{F}{2 * S_2} * 10^{-6} = 61,3 \text{ MPa} \quad \text{Napětí v tahu}$$

Výsledné napětí ve stojně:

$$\sigma_2 = \sigma_{o2} + \sigma_{t2} = 66,2 \text{ MPa}$$

$\sigma_1 < \sigma_{Drám} \Rightarrow$ Výsledné napětí v příčce je menší než napětí dovolené, navržené rozměry z hlediska pevnosti vyhovují.

$\sigma_2 < \sigma_{Drám} \Rightarrow$ Výsledné napětí ve stojně je menší než napětí dovolené, navržené rozměry z hlediska pevnosti vyhovují.

Stupeň využití materiálu:

Minimální požadavek využití materiálu je 50%, snaha je však docílit co možná nejvyššího využití.

$$Sv_1 = \frac{\sigma_1}{\sigma_{Drám}} * 100 = 99,85\%$$

Stupeň využití materiálu příčky

$$Sv_2 = \frac{\sigma_2}{\sigma_{Drám}} * 100 = 83,45\%$$

Stupeň využití materiálu stojny

Deformace rámu:

$$y_{1s} = \frac{\beta_r * F * l_1}{4 * G * S_1 * 10^6} * 1000 = 0,144965 \text{ mm}$$

Deformace příčky smykem

$$y_{1o} = \frac{l_1^2}{8 * E * J_1 * 10^6} * \frac{F * l_1}{6 - M_o} * 1000 = 0,157808 \text{ mm}$$

Deformace příčky ohybem

$$y_{2t} = \frac{F * l_2}{2 * E * S_2 * 10^6} * 1000 = 0,601074 \text{ mm}$$

Deformace stojny tahem

Celková deformace rámu

$$y_c = y_{2t} + 2 * (y_{1o} + y_{1s}) = 1,206619 \text{ mm}$$

Tuhost rámu:

$$k_R = \frac{F * 10^{-6}}{y_c} = 20,71904 \text{ MN} * \text{mm}^{-1}$$

3.1.3 Vřeteno stroje [22]

Před návrhem setrvačnicku je nutné navrhnout vřeteno a dopočítat hodnoty potřebné k výpočtu setrvačnicku. Z důvodu zjednodušení nebylo vřeteno počítáno, bylo pouze zvoleno s ohledem na velikost zatěžující síly. Materiál vřetene: ocel 12061 s mezí kluzu $Re = 380 \text{ MPa}$

Parametry vřetene:

Mez kluzu [MPa]	Re	380
nominální průměr [mm]	d	500
střední průměr jádra závitu [mm]	d_1	420
průřez jádra závitu [m ²]	S_{jz}	0,138544
rozteč [mm]	s	80
Počet chodů závitu	n	5
Délka vřetene [m]	$L_{vř}$	1,61
Součinitel smykového tření závitu	f	0,08
Vrcholový uhel závitu vřetene [°]	β	30

Stlačení vřetene:

$$y_{vř} = \frac{F * L_{vř}}{S_{jz} * E} = \frac{25 * 10^6 * 1,61}{0,138544 * 2,1 * 10^{11}} = 1,3834 \text{ mm}$$

Celková deformace stroje:

$$y_s = y_c + y_{vř} = 1,206619 + 1,3834 = 2,59 \text{ mm}$$

Celková tuhost stroje

$$k_s = \frac{F}{y_s} = \frac{25 * 10^6}{2,59} = 9,653 \text{ MN} * \text{mm}^{-1}$$

Účinnost vřetene:

$$\alpha = \arctg\left(\frac{n * s}{\pi * d_1}\right) = \arctg\left(\frac{5 * 80}{\pi * 420}\right) = 16,865^\circ \quad \text{Úhel stoupání závitu}$$

$$\varphi = \arctg(f) = 4,574^\circ \quad \text{Třecí úhel}$$

$$\eta_{vr} = \frac{\tan(\alpha)}{\tan\left(\alpha + \frac{\varphi}{\cos(0,5 * \beta)}\right)} = 0,7654 \quad \text{Účinnost vřetene}$$

3.1.4 Návrh setrvačnicku [22] [20]

Při návrhu setrvačnicku vycházíme z celkové energie, kterou musí setrvačnick předat na tváření polotovaru. Tato energie musí být větší než energie spotřebovaná na samotnou operaci a také musí pokrýt energii pružných deformací stroje. Průměr setrvačnicku by neměl přesáhnout šířku vnitřního rámu.

Zvoleno:

$$\eta_{ved} = 0,9 \quad \text{Účinnost vedení}$$

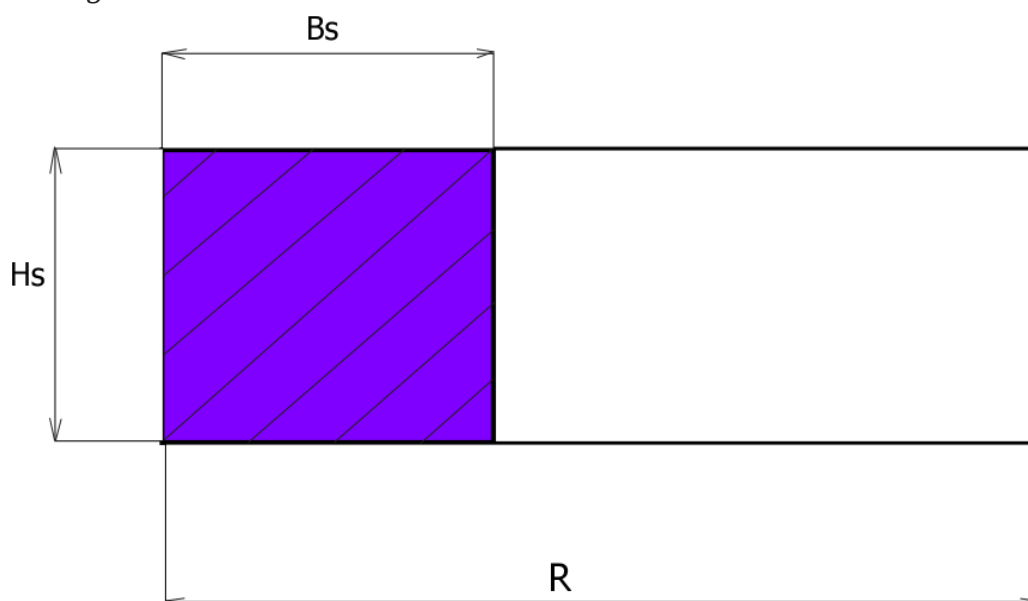
$$H_s = 380 \text{ mm} \quad \text{Výška setrvačnicku}$$

$$B_s = 380 \text{ mm} \quad \text{Šířka mezikruží setrvačnicku}$$

$$R = 920 \text{ mm} \quad \text{Vnější poloměr setrvačnicku}$$

$$r = R - B_s = 920 - 380 = 540 \text{ mm} \quad \text{Vnitřní poloměr setrvačnicku}$$

$$\rho = 7850 \text{ kg} * \text{m}^{-3} \quad \text{Hustota materiálu}$$



Obr. 21 Polovina setrvačnicku v řezu

Výpočet:

$$\omega = \frac{2 * \pi * v}{s * n} = \frac{2 * \pi * 1}{0,08 * 5} = 15,708 \text{ rad} * s^{-1} \quad \text{Úhlová rychlost setrvačnicku}$$

$$A_D = \frac{1}{2} * F * y_s = \frac{1}{2} * 25 * 10^6 * 0,00259 = 32375 \text{ J} \quad \text{Energie pružných deformací stroje}$$

$$A_u = 219000 \text{ J} \quad \text{Již spočtená užitečná energie}$$

$$A_c = \frac{A_u + A_D}{\eta_{ved} * \eta_{vř}} = \frac{219000 + 32375}{0,9 * 0,7654} = 364914 \text{ J} \quad \text{Celková energie stroje}$$

$$m = \pi * (R^2 - r^2) * h * \rho = \pi * (0,92^2 - 0,54^2) * 0,38 * 7850$$

$$m = 5199 \text{ kg} \quad \text{Hmotnost setrvačnicku}$$

$$I = \frac{1}{2} * m * (R^2 + r^2) = \frac{1}{2} * 5199 * (0,92^2 + 0,54^2)$$

$$I = 2958,231 \text{ kg} * m^2 \quad \text{Setrvačný moment}$$

$$E_s = \frac{1}{2} * I * \omega^2 = \frac{1}{2} * 2958 * 15,708^2 = 364958 \text{ kg} * m^2 \quad \text{Energie setrvačnicku}$$

Kontrola splnění podmínek:

1.podmínka: $E_s \geq A_c$

$364958 \geq 364914 \Rightarrow$ Velikost energie setrvačnicku je větší než Celková práce,
první podmínka je splněna

2.podmínka: $R * 2 = 1,84 \text{ m} \geq l_1 + h_2 \Rightarrow$ Podmínka průměru setrvačnicku vyhovuje

3.1.5 Návrh průměru pístu

Přibližný návrh průměru pístu hydraulického válce vychází z návrhu setrvačnicku. Hydraulickým pístem musíme dodat setrvačnicku požadovanou energii. Této energie musí být dosaženo na dráze, která je určena maximálním zdvihem beranu.

Výpočet:

$$F_p = \frac{E_s}{h_{max} * (\eta_{ved} * \eta_{vř})} = \frac{364958}{0,6 * (0,9 * 0,7654)} = 882999,9 \text{ N} \quad \text{Potřebná síla pístu}$$

$$S_p = \frac{F_p}{p} = \frac{882999,9}{30 * 10^6} = 0,02943333 \text{ m}^2 \quad \text{Průřez pístu}$$

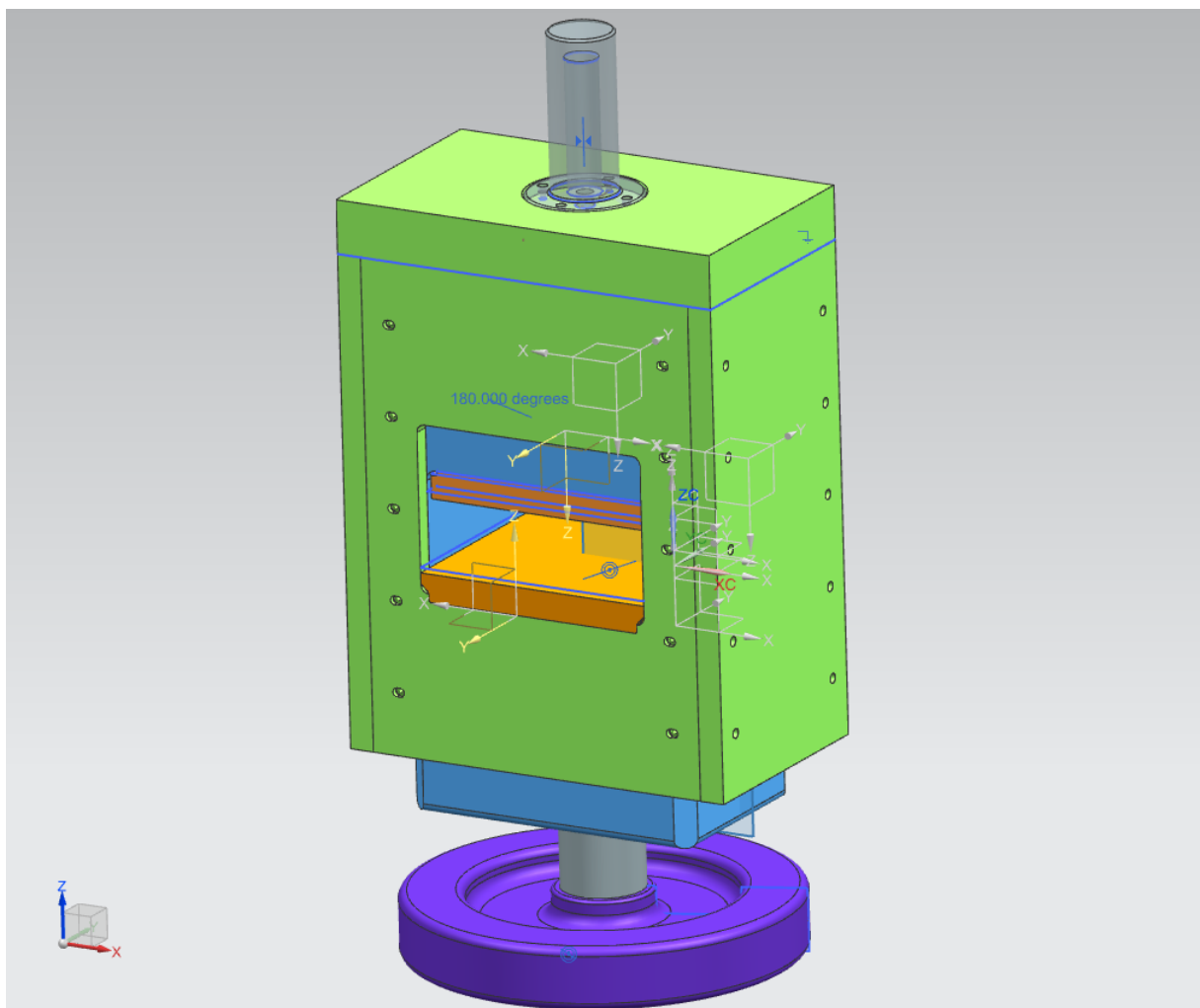
$$d_p = \sqrt{\frac{4 * S_p}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 * 0,02943333}{\pi}} = 0,19359 \text{ m} = 193,59 \text{ mm} \quad \text{průměr pístu}$$

Průměr pístu by měl být zvolen minimálně $d_p = 200 \text{ mm}$.

3.2 Analýza pomocí metody konečných prvků

Metoda konečných prvků je numerická metoda, která je využívána převážně ve strojním a stavebním průmyslu. Vznikla pro nutnost výpočtů v jaderném a kosmickém průmyslu, až déle začala být používána výpočtáři v běžné praxi. [23]

Model lisu a následná analýza metodou konečných prvků bude realizována v systému NX, jehož výrobcem je firma Siemens. Tento systém obsahuje řešič NX NASTRAN, který bude využit. Analýza bude použita na kontrolu navrženého vnitřního rámu stroje a na kontrolu vnějšího rámu, který nebyl počítán, ale předpokládá se, že jeho namáhání bude výrazně menší než namáhání rámu vnitřního.

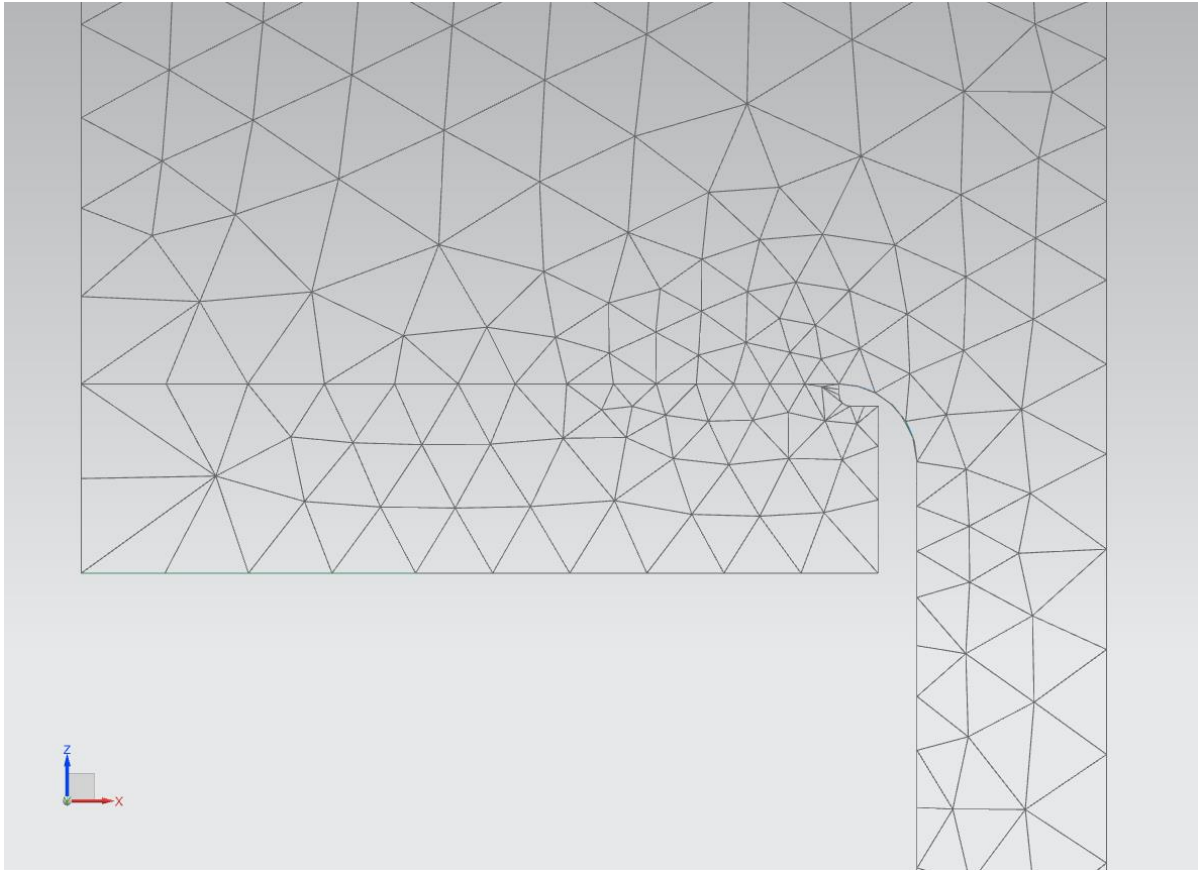


Obr. 22 Pohled na celkový model stroje

3.2.1 Vnitřní rám

Vnitřní rám s deskou je považován za jeden celek. Z důvodu zlehčení výpočtu byl rám nejprve zjednodušen na pouze jednu čtvrtinu z celku. Toto zjednodušení bylo provedeno v idealizovaném modelu, který je vytvořen přesně pro účely zjednodušování modelu pro výpočty. Zásahem do tohoto modelu se nezmění původní geometrie. Toto zjednodušení lze

provést díky symetrii. Původní rám má zachovanou pouze výšku, šířka a délka jsou zmenšeny na polovinu. Dále je třeba vytvořit síť. Ta je tvořena objemovými 3D prvky, konkrétně čtyřstěny, které mají konečný počet. Je nutné, aby přechody sítě (z jemnější na hrubší) byli plynulé a provázané jednotlivými uzly ve všech místech. V opačném případě by následné výsledky zatížení neodpovídali reálné úloze. Tohoto požadavku bylo dosaženo, jak je vidět na obr.23 . Nakonec přiřadíme síti fyzikální vlastnosti, tedy materiál rámu.



Obr. 23 Zobrazení napojování a zjemnění sítě

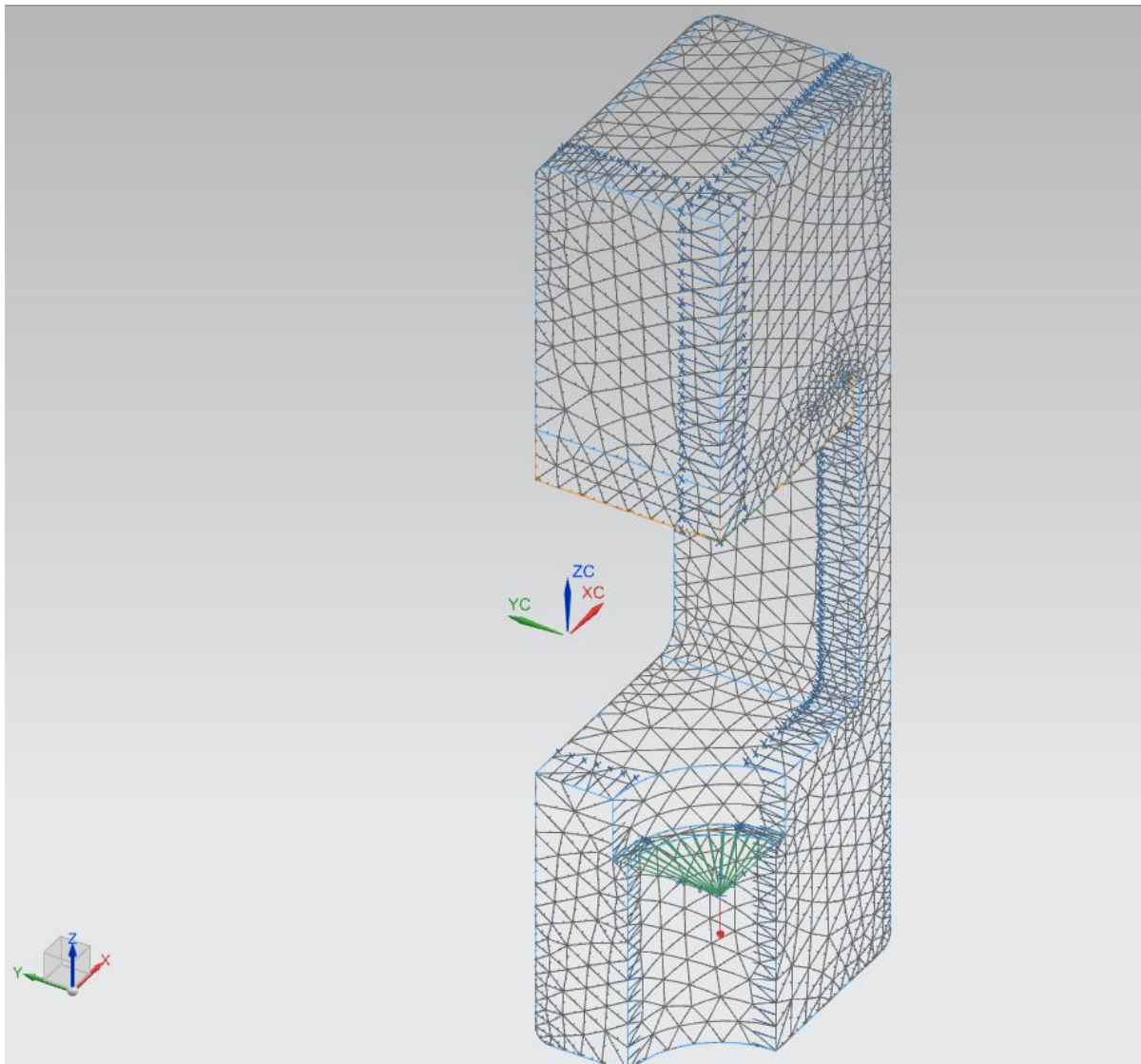
Dalším krokem je vytvoření 1D sítě, která je tvořena absolutně tuhými prvky s označením RBE2. Tato síť, která vyplňuje čtvrtkruh, je umístěna ve spodní části rámu, kde je umístěna na plošce, která je také vytvořena v idealizovaném modelu a představuje závit matice, který je namáhán od vřetene. Rovnoběžně posunuta po ose z na horní části vnitřku rámu je obdobná síť. 1D Síť je zobrazena na obr.24.

Následujícím krokem je definování vazeb a sil. Je nutné, aby úloha byla staticky určitá, což je zajištěno právě okrajovými podmínkami. Nejdříve je nutné definovat to, aby se čtvrtinový model choval jako celek. Jsou zvoleny fixní vazby v osách kolmých k rovinám řezů. Dále je rámu zamezen posuv v osách x a y.

Síla zatížení rámu je z důvodu uvažování pouze čtvrtiny rámu také pouze čtvrtinová.

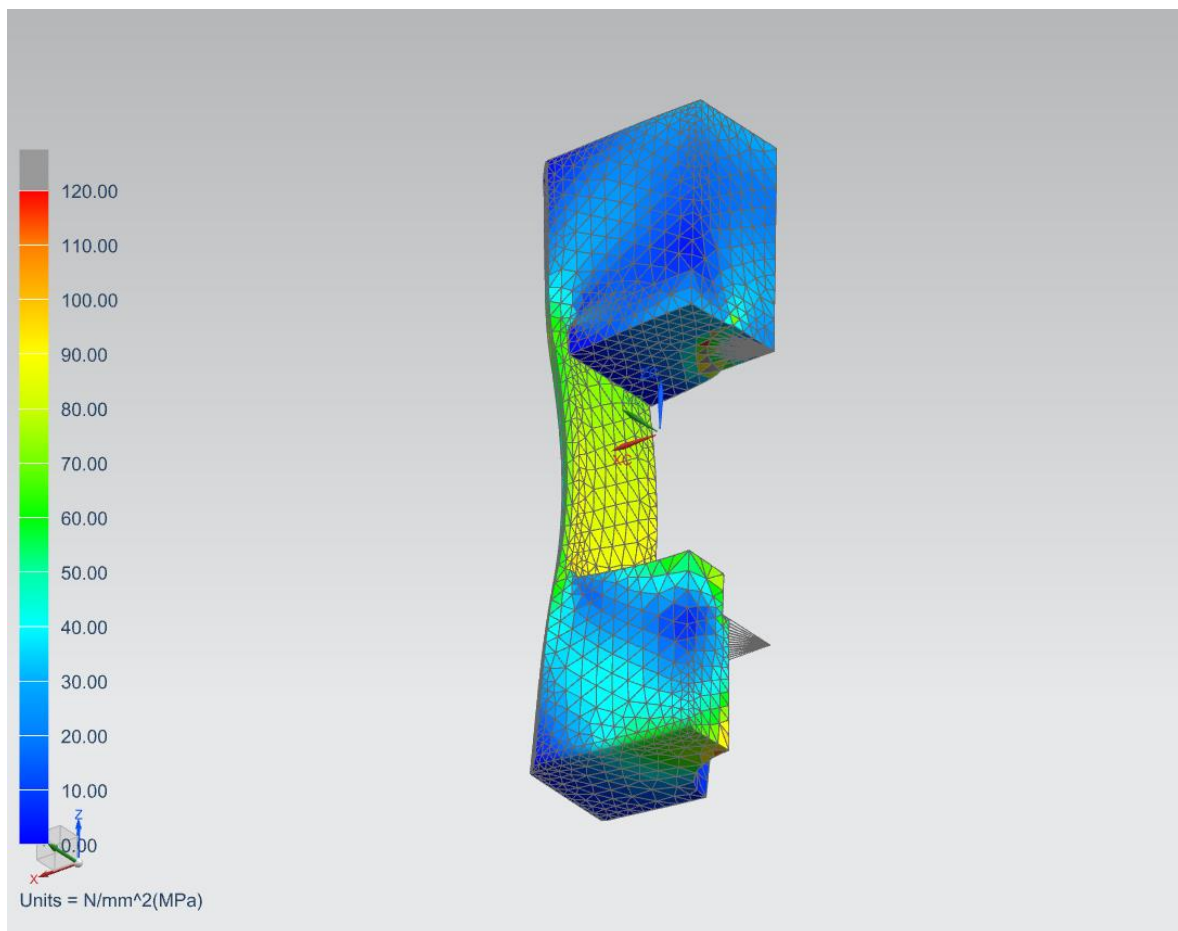
$$F = \frac{25}{4} MN$$

Okrajové podmínky a umístění zatěžující síly jsou zobrazeny na obr.24.

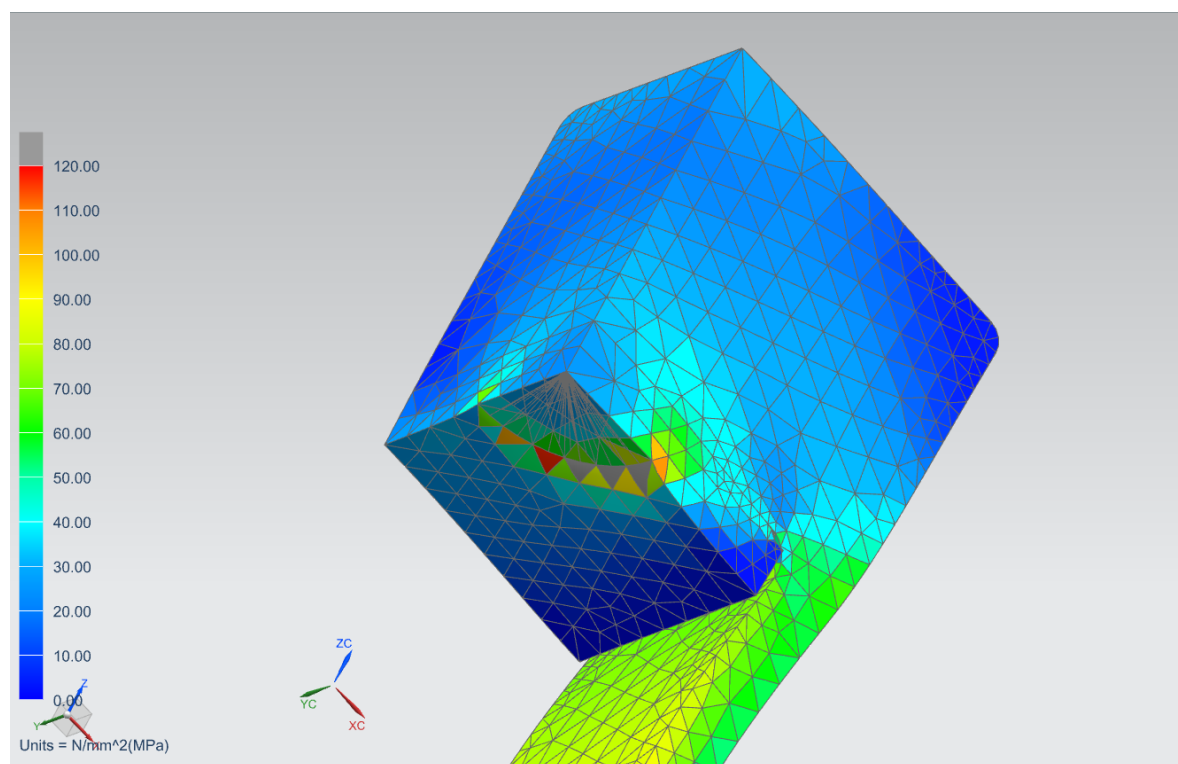


Obr. 24 Síť s okrajovými podmínkami vnitřního rámu

Výsledné napětí způsobené zatížením spočtené řešičem NX NASTRAN je zobrazeno na obr.25. Maximální napětí převyšuje stanovenou maximální hodnotu 120MPa. Tato hodnota je zobrazena šedou barvou a lze ji blíže vidět na obr.26. Jelikož je ale těchto hodnot dosahováno pouze v místě umístění 1D sítě, lze předpokládat, že je tato hodnota nepřesná. Tuto nepřesnost způsobuje prvek RB2, protože se předpokládá nekonečně velká tuhost tohoto prvku. V uzlech spojených s tímto prvkem teoreticky nemůže dojít k žádné deformaci, a napětí v těchto uzlech dosahuje vyšších hodnot než je přípustné. Jsme-li seznámeni s touto úvahou, lze konstatovat, že se dané (nekonečně tuhé) uzly budou též deformovat a napětí v nich bude podobné, jako je v okolních uzlech zvolených 3D prvků. Další nebezpečné napětí se jeví v přechodu mezi dolní bočnicí a stojnou, kde napětí dosahuje hodnot okolo 100MPa. Avšak bezpečnost materiálu je dost vysoká a tyto hodnoty jsou v pořádku. Analýza tedy dokázala, že navržený vnitřní rám je vyhovující.



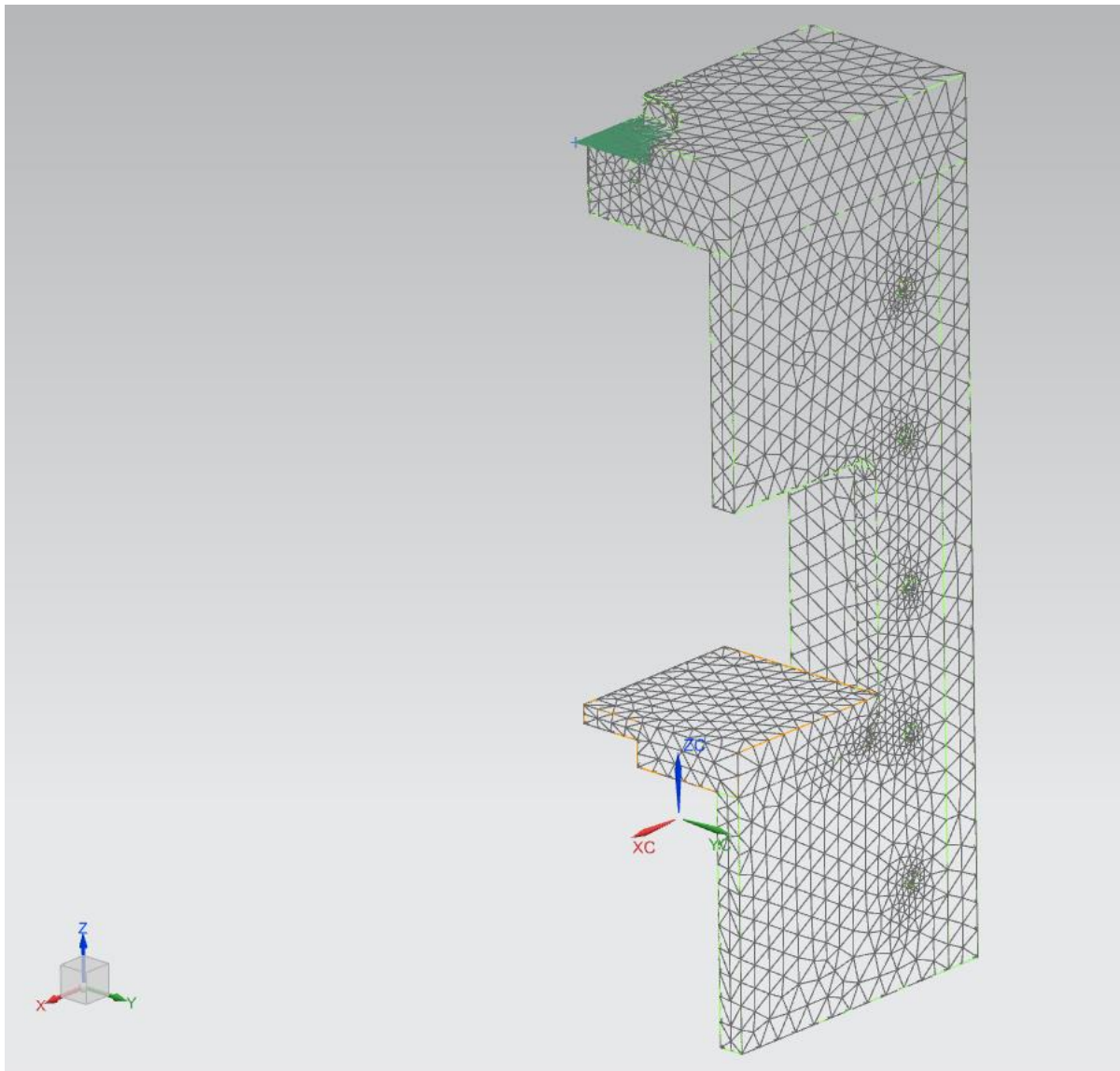
Obr. 25 Průběh a velikost Von Misesovo napětí



Obr. 26 Bližší pohled na výsledek napěťové analýzy

3.2.2 Vnější rám

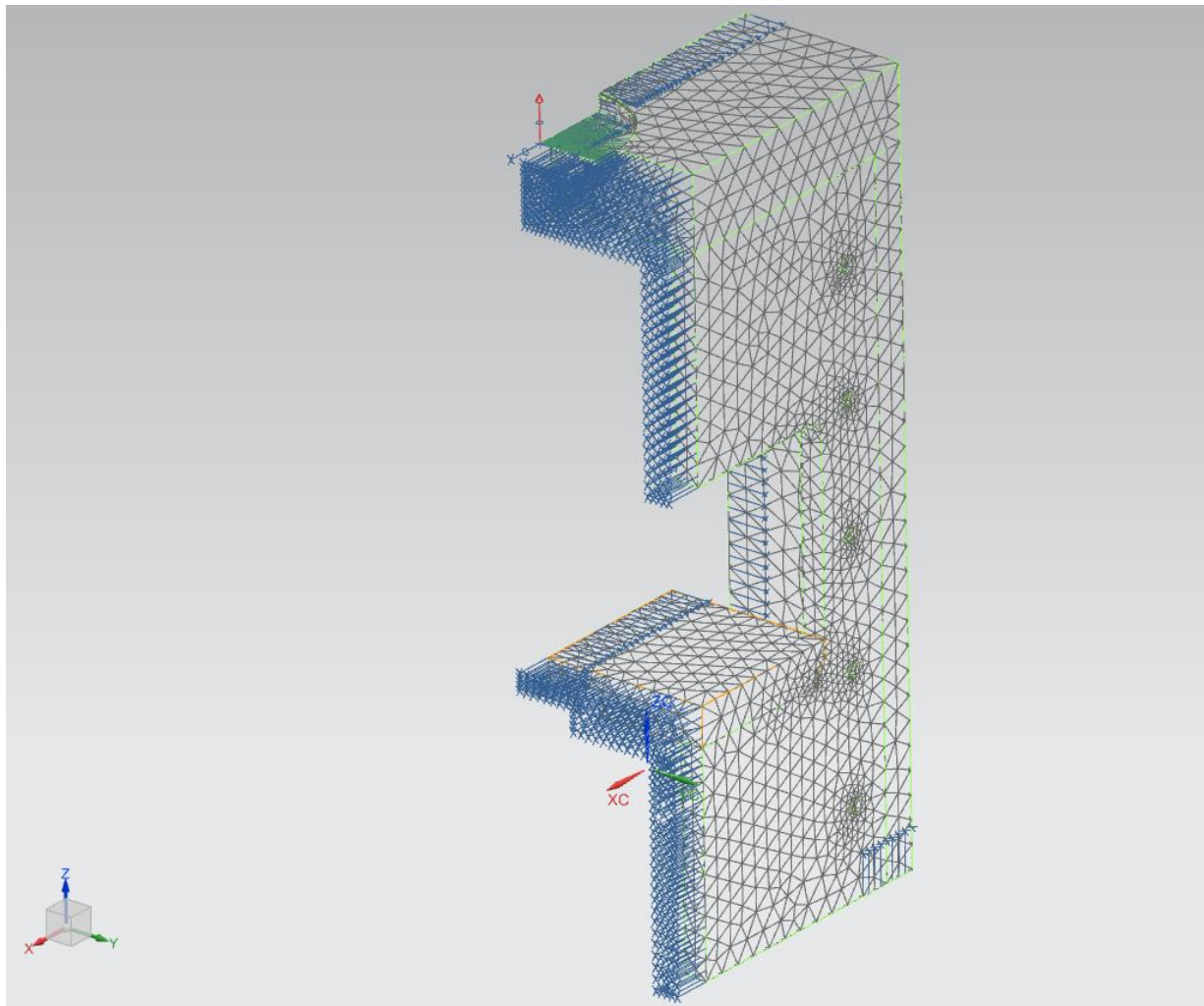
Stejně jako u Rámu vnitřního bude pro výpočet použit idealizovaný model, který zahrnuje pouze čtvrtinu z celkového rámu. Stůl s rámem je uvažován jako jeden celek. Síť rámu je tvořena 3D objemovými prvky typu čtyřstěn a také 1D sítí s absolutně tuhými prvky RB2, které byly též použity v předchozí analýze. Tyto prvky zde nahrazují Spoj s hydraulickým válcem, od kterého je tento rám namáhán. Je nutné opět zkontrolovat zasítování, které musí být napojené ve všech uzlech. Také by měla být zjmeněna v místech otvorů plynule, jak je zobrazeno na obr.27.



Obr. 27 Síť navržená pro vnější rám

Okrajové podmínky jsou opět zvoleny s ohledem na to, že se jedná o čtvrtinový model. Je tedy nutné zamezit pohyb v ose kolmé na plochu řezu vytvořenou v idealizovaném modelu. Další okrajová podmínka je v místě 1D prvku, zde je povolen pouze posuv ve směru osy z. Další důležitá okrajová podmínka je v patě rámu lisu, která zamezuje pohybu rámu ve směru

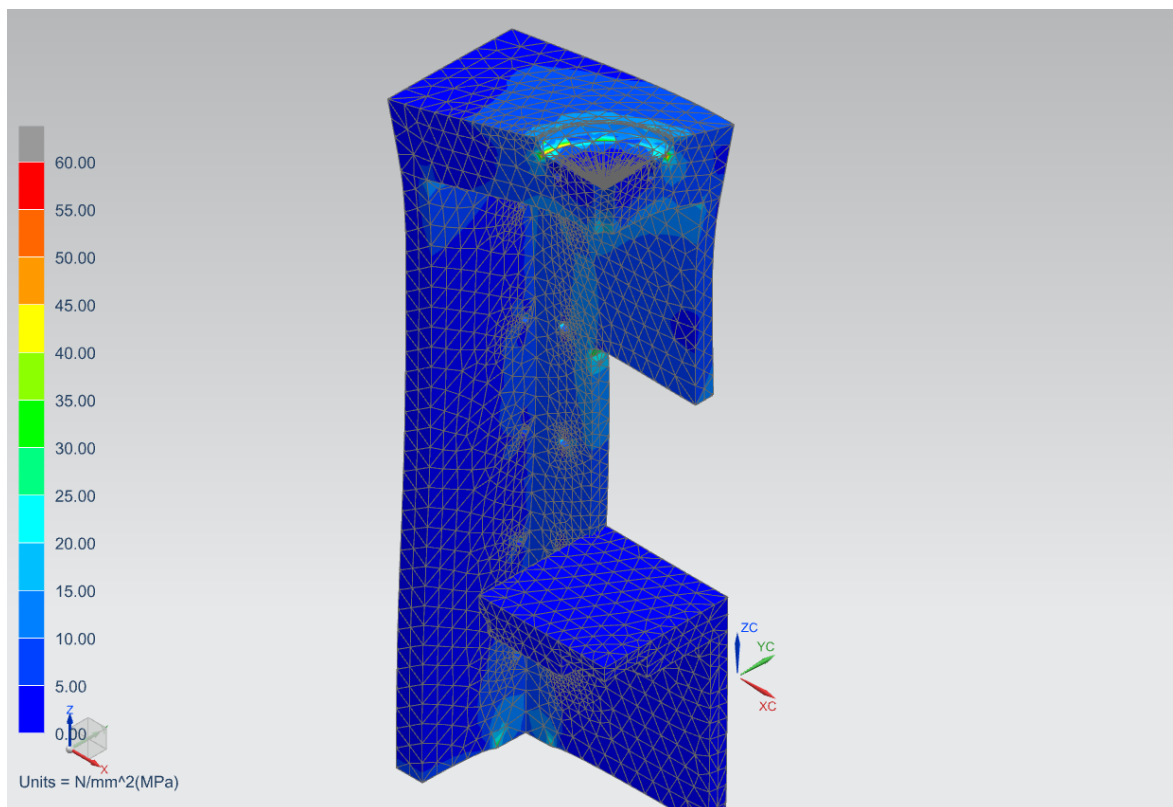
osy z. Tato podmínka simuluje ukotvení lisu k podlaze. Zvolené okrajové podmínky jsou vidět na obr.28.



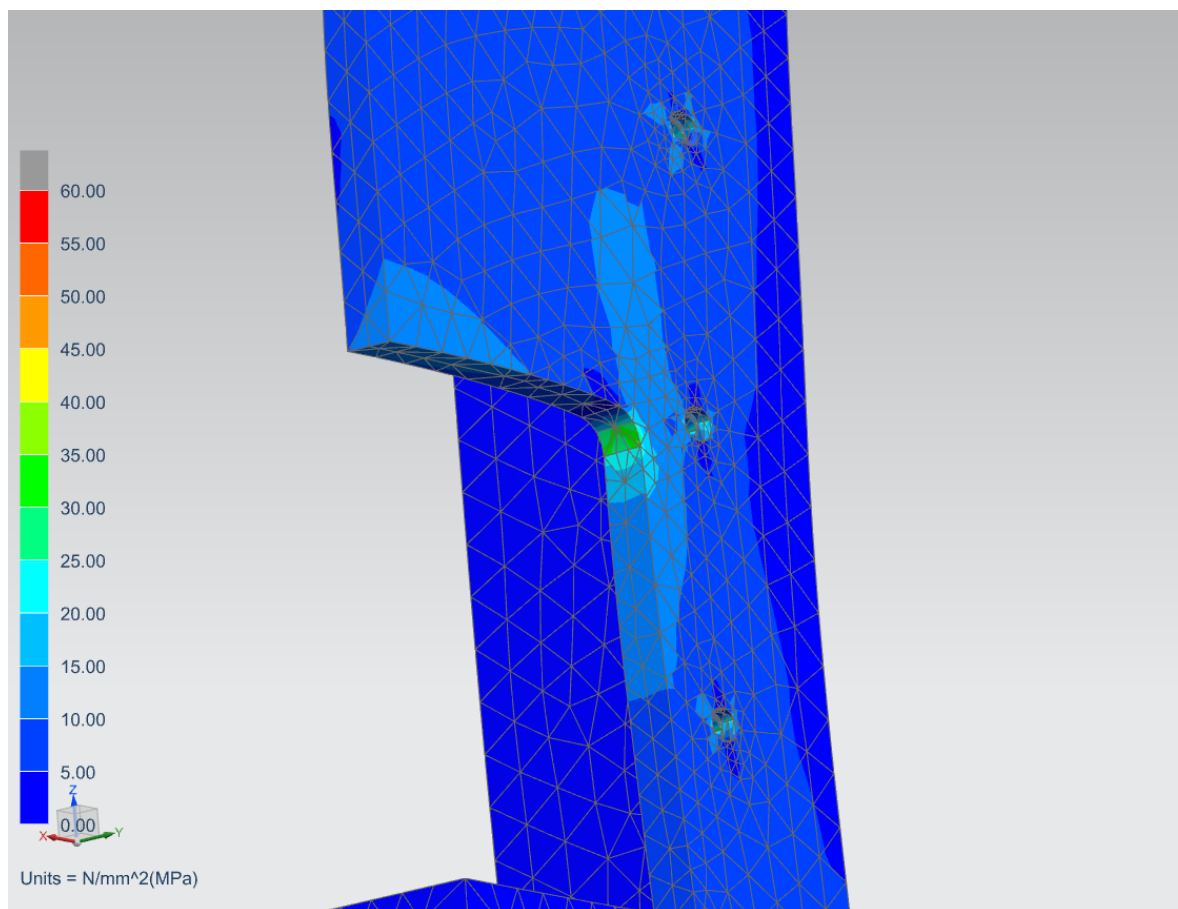
Obr. 28 Okrajové podmínky vnějšího rámu

Rám je namáhán silou od pístu, která je rovna $F_p = 882999,9 \text{ N}$

Výsledné napětí dosahuje maximální hodnoty 60MPa. Takto namáhaná část se nachází právě v místě působení hydraulického válce. Ostatní špičky napětí se pohybují do velikosti 30MPa. Jedna z těchto špiček je umístěna v okrajové podmínce v patě rámu. Další špičky napjatosti jsou v otvorech pro šrouby a v rohu pracovního otvoru, kde je umístěn rádius. Hodnota těchto špiček však není vysoká. Vnější rám, který byl spočten pouze touto analýzou by též vyhověl. Náš předpoklad, že namáhání vnějšího rámu nebude příliš velké, byl tedy správný.



Obr. 29 Průběh zjištěného Von Misesovo napětí



Obr. 30 Špičky napětí při zatížení vnějšího rámu

4 Závěr

Tato bakalářská práce byla zaměřena na konstrukci vřetenového lisu s hydraulickým pohonem LVH. V rešeršní části je nejprve uvedení do problematiky tvářecích strojů, poté rozdělení strojů se zařazením námi navrhovaného lisu LVH. Druhá kapitola je zaměřena na vřetenové lisy. Po obecném rozdělení běžně používaných mechanických lisů následuje popis a princip vřetenového lisu s hydraulickým pohonem LVH. Ve třetí kapitole se dostáváme k výrobní technologii, na kterou je lis konstruován, tedy k zápustkovému kování. Z této technologie se vychází při výpočtu energie potřebné k provedení samotné operace. Následuje Výpočtová část, která je rozdělena na ruční výpočty a na analýzu pomocí metody konečných prvků v systému NX, která slouží jako kontrola prvotních výpočtů. Ruční výpočet byl zaměřen především na návrh vnitřního rámu. Dále byl dopočten setrvačnick a potřebný průměr pístu a bylo zvoleno vřeteno, aby mohl být lis zkonstruován v CAD systému. Vnější rám byl z ručních výpočtů vynechán s předpokladem, že pravděpodobně nebude tolik namáhán jako rám vnitřní. Tento předpoklad byl potvrzen následnou analýzou.

Použité zdroje

1. STANĚK, J. *Základy stavby výrobních strojů*. Plzeň : Západočeská Univerzita v Plzni, 2001. ISBN8 80-7082-738-6.
2. KOPECKÝ, M., BEDŘICH, R. *Tvářecí stroje základy výpočtů a konstrukce*. Praha : SNTL- nakladatelství technické literatury, 1982.
3. karamba myblog. *karamba*. [Online] [Citace: 10. 4 2016.] <http://karamba.myblog.it/2011/10/26/hydraulic-press/>.
4. POKORNÝ, P. DOC player: VÝROBNÍ STROJE II. MECHANICKÉ LISY. *DOC player*. [Online] [Citace: 7. 2 2016.] <http://docplayer.cz/8167661-Doc-ing-premysl-pokorny-csc-vyrobn-stroje-ii-mechanicke-lisy.html>.
5. STROJE, RAKOVNICKÉ TVÁŘECÍ. Dílenské a montážní lisy: RAKOVNICKÉ TVÁŘECÍ STROJE S.R.O. *RAKOVNICKÉ TVÁŘECÍ STROJE S.R.O.* [Online] [Citace: 11. 4 2016.] http://www.tosrakovnik.cz/print.php?url=dilenske_a_montazni_lisy.
6. Stroje po GO a modernizaci dle CE: Aktuální nabídka: prato. *PRATO, spol. s r.o.* [Online] [Citace: 11. 4 2016.] <http://www.prato.cz/cgi-bin/602cgi8/is-prato/web/nabs.htw?lang=0&mn=3&pmn=0&str=6>.
7. MAREŠOVÁ, D., KYNCLOVÁ, H. Kartografická polygrafie a reprografie: geo3.fsv.cvut.cz. *geo3.fsv.cvut.cz*. [Online] 28. 5 2008. [Citace: 21. 10 2015.] http://geo3.fsv.cvut.cz/vyuka/kapr/SP/2008_2009/maresova_kynclova/index.html.
8. Světové prvenství: Turistika: město Dačice. *město Dačice*. [Online] [Citace: 21. 10 2015.] <http://www.dacice.cz/turistika-1/svetove-prvenstvi/>.
9. Technická stránka výroby mincí: Stribrnak.cz. *stribrnak.cz*. [Online] [Citace: 21. 10 2015.] <http://stribrnak.cz/technicka-stranka-vyroby-minci/>.
10. *Poetry Society of America*. [Online] [Citace: 28. 10 2015.] <https://www.poetrysociety.org/psa/poetry/crossroads/chappublishers/>.
11. KOTTKE, J. *kottke.org*. [Online] [Citace: 28. 10 2015.] <http://kottke.org/10/08/short-history-of-print-in-two-pictures>.
12. Mincovna v muzeu: Mincovna dukát. *Mincovna Dukát*. [Online] [Citace: 21. 10 2015.] <http://www.mincovnadukat.cz/products/mincovna-v-muzeu-ci-na-hrade/>.
13. Slnečná farma, s.r.o. *eohradnik*. [Online] [Citace: 10. 4 2016.] http://www.eohradnik.sk/lis-na-ovoce-rucni-40-l_8835.html.
14. ŠILINKOVÁ, a. Penzion Pavlov vinařský dům. *Penzion Pavlov vinařský dům*. [Online] [Citace: 10. 4 2016.] <http://silinkovi.cz/Galerie/Mikulov/index.html>.

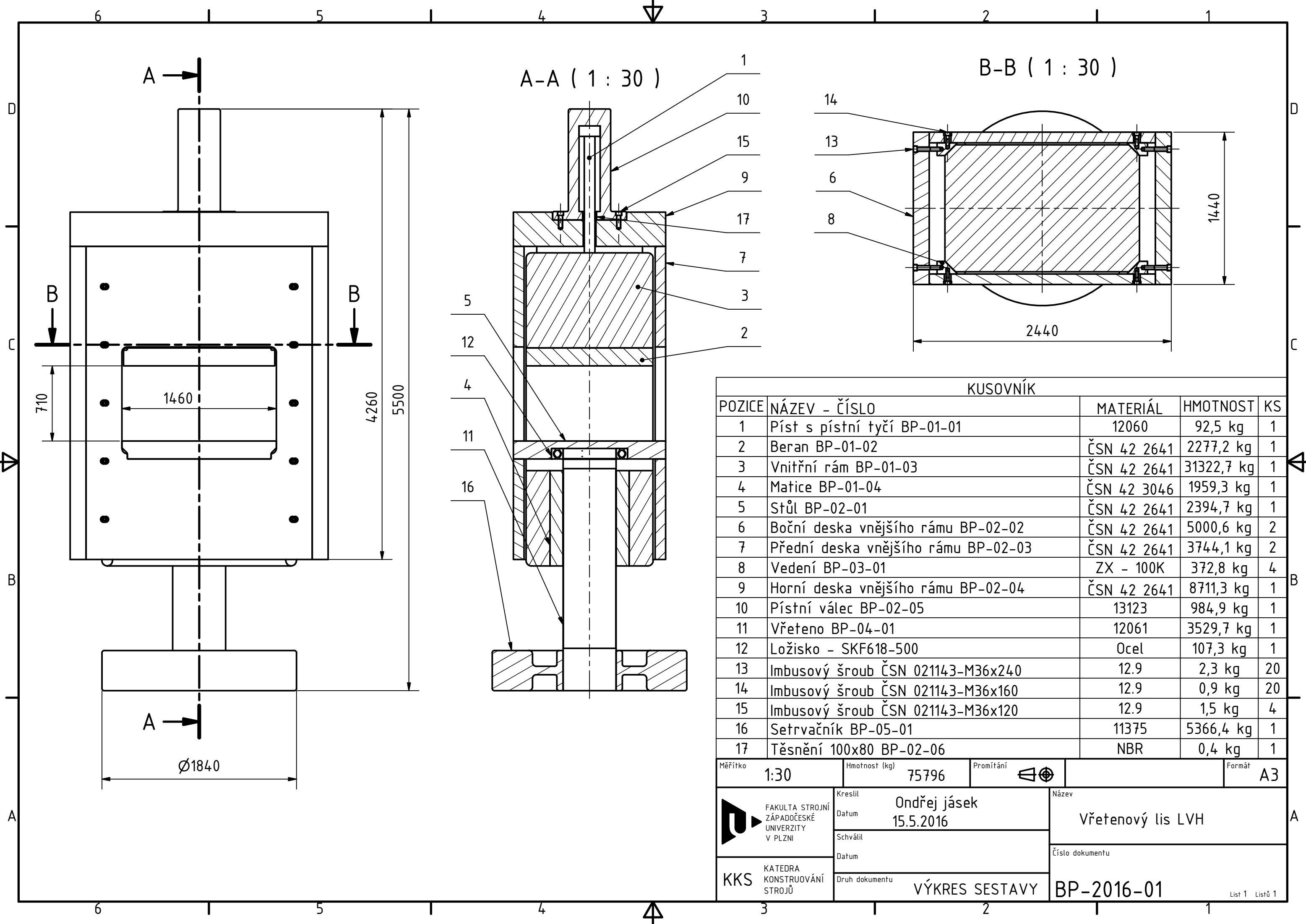
15. KOVÁČ, A., JENKUT, M. *Tvárníacie stroje*. Bratislava : Vydavateľstvo technickej a ekonomickej literatúry, 1978.
16. stud_materialy: Katedra strojírenské technologie Technické univerzity v Liberci. *Katedra strojírenské technologie Technické univerzity v Liberci*. [Online] [Citace: 16. 5 2016.] http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud_materialy/tkp/3.pdf.
17. MAŇAS, S. *Výrobní stroje a zařízení, Část: Tvářecí stroje*. [Poznámky k přednáškám] Praha : ČVUT v Praze, Fakulta strojní, 2006/2007.
18. Technologie II:Katedra strojírenské technologie: Technická univerzita Liberec, Fakulta strojní. *Katedra strojírenské technologie: Technická univerzita Liberec, Fakulta strojní*. [Online] [Citace: 8. 11 2015.] http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/03.htm.
19. STŘEDNÍ PRŮMYSLOVÁ ŠKOLA TECHNICKÁ Jablonec nad Nisou. [Online] [Citace: 8. 11 2015.] http://www.spstjbc.cz/spst_files/projekty/vyuka_v_cizim_jazyce/moduly/modul%20stt/en/stta4_tvareni%20za%20tepla%20-%20kovani.pdf.
20. ČECHURA, M., HLAVÁČ, J., STANĚK, J. Oddělení vydavatelství a tiskových služeb: Pracoviště: Západočeská Univerzita v Plzni. *Západočeská Univerzita v Plzni*. [Online] 2014. [Citace: 5. 1 2016.] <https://www.zcu.cz/pracoviste/vyd/online/Konstrukce-tvarecich-stroju.pdf>. ISBN 978-80-261-0513-8.
21. ČECHURA, M. *Pomocné texty pro cvičení z konstrukce tvářecích strojů část 1*. Plzeň : Západočeská Univerzita v Plzni středisko VTEI, 1992.
22. —. *Pomocné texty pro cvičení z konstrukce tvářecích strojů část 2*. Plzeň : Západočeská Univerzita v Plzni středisko VTEI, 1992.
23. MKP: kestazeni: Ústav konstruování. *Ústav konstruování*. [Online] [Citace: 8. 5 2016.] http://old.uk.fme.vutbr.cz/kestazeni/MKP/prednaska1_mkp.pdf.

Seznam obrázků

Obr. 1 Princip hydraulického lisu Josepha Bramaha [3].....	11
Obr. 2 Rozdělení tvářecích strojů včetně vyznačení zařazení stroje LVH.....	12
Obr. 3 Otevřený rám tzv. „C“ nalevo a uzavřený „O“ rám napravo [5] [6].....	13
obr. 4 Gutenbergův lis [10] [11].....	14
Obr. 5 Razicí šroubový lis [12]	15
obr. 6 Razicí vřetenový lis se závažími [9]	15
obr. 7 Šroubový lis na výrobu cukru vynalezený J.K. Radou v Dačicích [8]	16
Obr. 8 Novodobý malý ruční lis a větší lis z 19. Století z Mikulova [13] [14].....	16
Obr. 9 Rozdělení dle vzájemných pohybů matice s vřetenem [15]	18
Obr. 10 Dvoukotoučový vřetenový lis [16]	18
Obr. 11 Schéma uspořádání tříkotoučového vřetenového lisu [17].....	19
Obr. 12 Bezkotoučové lisy [17]	20
obr. 13 Akumulace energie v setrvačnicku	21
obr. 14 Fáze tváření polotovaru.....	22
obr. 15 Tvářecí operace je dokončena, následuje zdvih beranu do výchozí polohy	23
Obr. 16 princip zápusťkového kování	24
Obr. 17 reálná charakteristika zápusťkového kování	25
Obr. 18 zjednodušená tvářecí charakteristika.....	26
Obr. 19 rozdělení celkové A_u na jednotlivé části	27
Obr. 20 Značení profilů příčky a stojny	30
Obr. 21 Polovina setrvačnicku v řezu	33
Obr. 22 Pohled na celkový model stroje	35
Obr. 23 Zobrazení napojování a zjemnění sítě.....	36
Obr. 24 Sítě s okrajovými podmínkami vnitřního rámu	37
Obr. 25 Průběh a velikost Von Misesovo napětí.....	38
Obr. 26 Bližší pohled na výsledek napěťové analýzy	38
Obr. 27 Síť navržená pro vnější rám	39
Obr. 28 Okrajové podmínky vnějšího rámu	40
Obr. 29 Průběh zjištěného Von Misesovo napětí	41
Obr. 30 Špičky napětí při zatížení vnějšího rámu	41

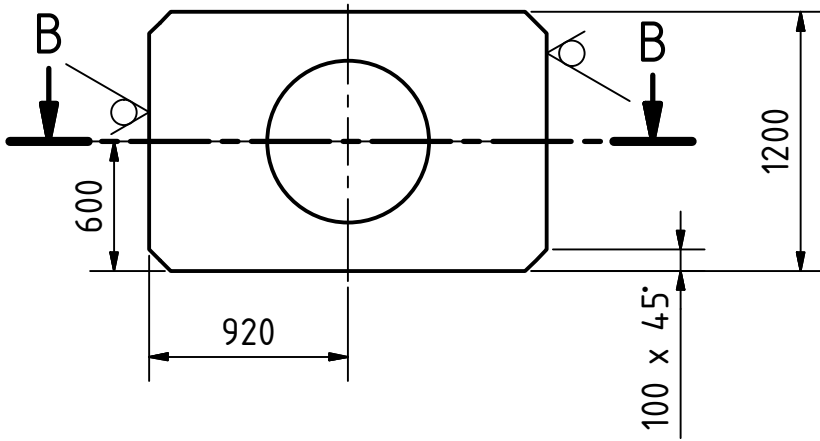
Seznam volně vložených příloh

1. Výkres sestavy A3 - lis LVH
2. Výrobní výkres A4 – vnitřní rám



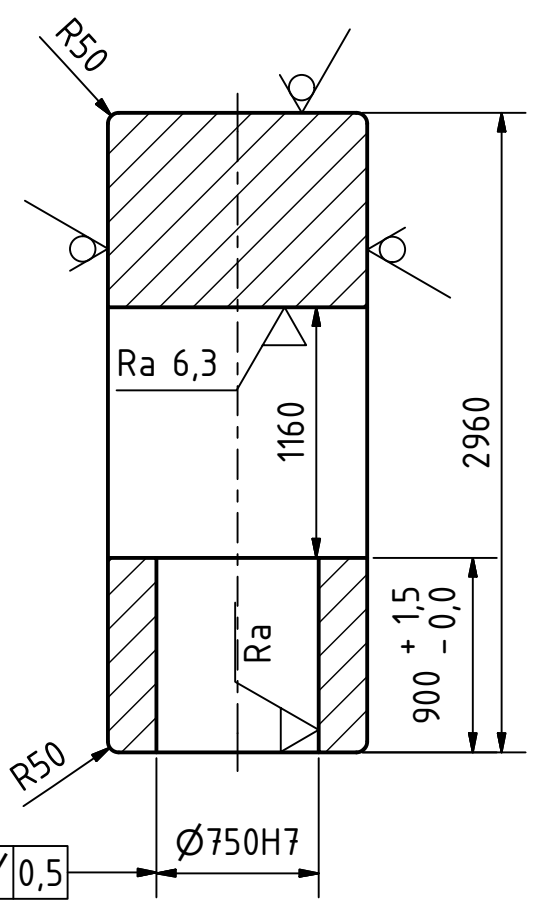
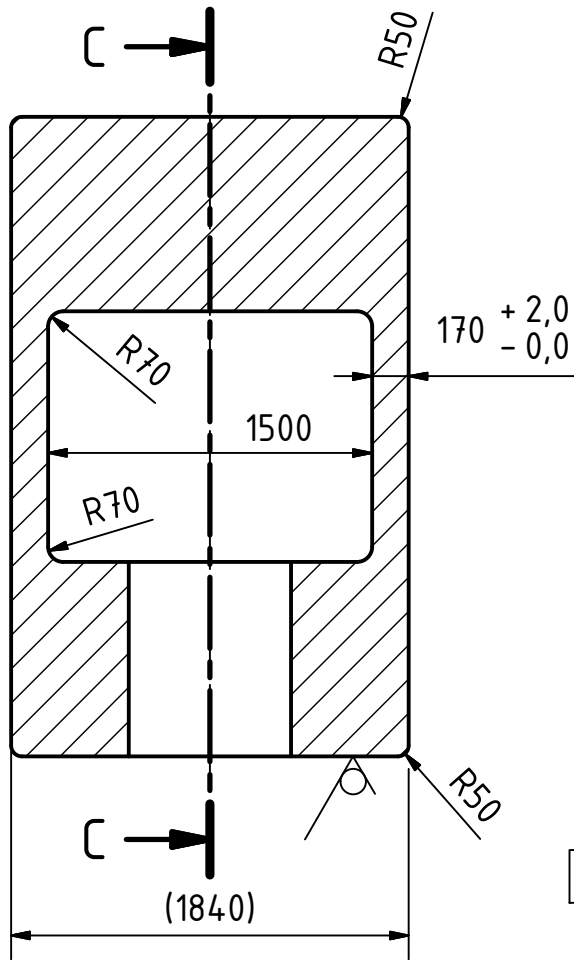
KUSOVNÍK				
POZICE	NÁZEV - ČÍSLO	MATERIÁL	HMOTNOST	KS
1	Píst s pístní tyčí BP-01-01	12060	92,5 kg	1
2	Beran BP-01-02	ČSN 42 2641	2277,2 kg	1
3	Vnitřní rám BP-01-03	ČSN 42 2641	31322,7 kg	1
4	Matice BP-01-04	ČSN 42 3046	1959,3 kg	1
5	Stůl BP-02-01	ČSN 42 2641	2394,7 kg	1
6	Boční deska vnějšího rámu BP-02-02	ČSN 42 2641	5000,6 kg	2
7	Přední deska vnějšího rámu BP-02-03	ČSN 42 2641	3744,1 kg	2
8	Vedení BP-03-01	ZX - 100K	372,8 kg	4
9	Horní deska vnějšího rámu BP-02-04	ČSN 42 2641	8711,3 kg	1
10	Pístní válec BP-02-05	13123	984,9 kg	1
11	Vřeteno BP-04-01	12061	3529,7 kg	1
12	Ložisko - SKF618-500	Ocel	107,3 kg	1
13	Imbusový šroub ČSN 021143-M36x240	12.9	2,3 kg	20
14	Imbusový šroub ČSN 021143-M36x160	12.9	0,9 kg	20
15	Imbusový šroub ČSN 021143-M36x120	12.9	1,5 kg	4
16	Setrvačnick BP-05-01	11375	5366,4 kg	1
17	Těsnění 100x80 BP-02-06	NBR	0,4 kg	1

Měřítko	1:30	Hmotnost (kg)	75796	Promítání		Formát	A3
 FAKULTA STROJNÍ ZÁPADOČESKÉ UNIVERZITY V PLZNI	Kreslil	Ondřej jásek		Název			Vřetenový lis LVH
	Datum	15.5.2016		Číslo dokumentu			
KKS KATEDRA KONSTRUOVÁNÍ STROJŮ	Schválil			Druh dokumentu			BP-2016-01
	Datum			VÝKRES SESTAVY			



B-B (1 : 35)

C-C (1 : 35)



Textura povrchu 	Hrany ISO 13715 	Měřítko 1:35	Přesnost ISO 2768 - mK
		Hmotnost (kg) 31322,7	Tolerování ISO 8015
			Promítání

Materiál - Polotovár ČSN 42 2641 - odlitek	Formát A4
---	--------------

FAKULTA STROJNÍ ZÁPADOČESKÉ UNIVERZITY V PLZNI	Kreslil Ondřej Jásek	Název Vnitřní rám
	Datum 18.5.2016	
	Schválil Datum Druh dokumentu VÝROBNÍ VÝKRES	Číslo dokumentu BP - 01 - 03