



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

## NÁVRH RÁMU TVÁŘECÍHO STROJE

FRAME DESIGN FOR MOLDING MACHINE

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Lukáš Hodonský

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Ondřej Merenus

BRNO 2016

## Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav automobilního a dopravního inženýrství  
Student: **Lukáš Hodonský**  
Studijní program: Strojírenství  
Studijní obor: Stavba strojů a zařízení  
Vedoucí práce: **Ing. Ondřej Merenus**  
Akademický rok: 2015/16

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č. 111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

### Návrh rámu tvářecího stroje

#### **Stručná charakteristika problematiky úkolu:**

Obsahem práce je provedení návrhu rámu pro lisovací zařízení se jmenovitým zatížením 100kN a počtem pracovních cyklů 5000 na den.

#### **Cíle bakalářské práce:**

- rešerše v oblasti tvářecích strojů
- návrh rámu tvářecího stroje se jmenovitým zatížením 100kN
- výkres rámu stroje

#### **Seznam literatury:**

- RUDOLF, B., KOPECKÝ, M. a kol. (1985): Tvářecí stroje - Základy stavby a využití. SNTL, Praha.
- JEŘÁBEK, K. (1999): Metodika navrhování strojů. ČVUT, Praha.
- Kamelander, I. (1979): Tvářecí stroje I. Ediční středisko VUT, Brno.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2015/16.

V Brně, dne 30. 11. 2015



---

prof. Ing. Václav Pištěk, DrSc.  
ředitel ústavu



---

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

## **ABSTRAKT**

Předmětem bakalářské práce je rešerže v oblasti tvářecích strojů, dále konstrukční návrh rámu stroje a jeho návrhový výpočet. Pro navrhnutý rám stroje se zhotoví potřebná výkresová dokumentace. Na závěr podrobíme vymodelovaný rám lisu pevnostní analýze pomocí metody konečných prvků.

## **ABSTRACT**

The aim of the bachelor's work is research in the field of forming machines, design construction of frame hydraulic press and his design calculation. For design frame we create require drawing documents. In the end we solve model frame hydraulic press with finite element method.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Hydraulický lis, příčník, metoda konečných prvků, návrh rámu lisu, výpočet rámu lisu.

## **KEYWORDS**

hydraulic press, girder, finite element method, frame design of press, frame calculation of press

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

HODONSKÝ, L. *Návrh rámu tvářecího stroje*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2016. 53 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Ondřej Merenus.

## **PODĚKOVÁNÍ**

Rád bych poděkoval vedoucímu bakalářské práce Panu Ing. Ondřeji Merenusovi, za odborné vedení, konzultace, trpělivost a podnětné návrhy k práci.

## **ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ**

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

V Brně dne 27.5.2016

.....  
Hodonský Lukáš

# OBSAH

<b>1</b>	<b>ÚVOD</b> .....	<b>15</b>
<b>2</b>	<b>ROZDĚLENÍ TVÁŘECÍCH STROJŮ</b> .....	<b>17</b>
2.1	RÁMY TVÁŘECÍCH STROJŮ .....	21
2.1.1	OTEVŘENÉ RÁMY (STOJANY).....	22
2.1.2	UZAVŘENÉ RÁMY .....	23
<b>3</b>	<b>PŘEHLED VYBRANÝCH TVÁŘECÍCH STROJŮ</b> .....	<b>25</b>
3.1	MECHANICKÉ LISY .....	25
3.2	HYDRAULICKÉ LISY .....	26
<b>4</b>	<b>VÝBĚR VHODNÉHO TVÁŘECÍHO STROJE</b> .....	<b>29</b>
4.1	VOLBA HYDROMOTORU .....	29
<b>5</b>	<b>NÁVRHOVÝ VÝPOČET RÁMU</b> .....	<b>31</b>
5.1	VÝPOČET HORNÍHO PŘÍČNÍKU .....	31
5.2	VÝPOČET SPODNÍHO PŘÍČNÍKU .....	35
5.3	VÝPOČET STOJIN LISU .....	38
<b>6</b>	<b>KONSTRUKCE RÁMU LISU</b> .....	<b>41</b>
<b>7</b>	<b>PEVNOSTNÍ ANALÝZA RÁMU MKP</b> .....	<b>43</b>
<b>8</b>	<b>ZÁVĚR</b> .....	<b>47</b>
<b>9</b>	<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ</b> .....	<b>49</b>
<b>10</b>	<b>SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK</b> .....	<b>51</b>
10.1	Seznam tabulek .....	51
10.2	Seznam obrázků.....	51
<b>11</b>	<b>SEZNAM PŘÍLOH</b> .....	<b>53</b>

# 1 ÚVOD

Tváření je provádění záměrné a trvalé změny tvaru materiálu působením síly, bez odběru třísky. Materiál tváříme proto, abychom dali polotovarům nebo výrobkům určitý požadovaný tvar, nebo abychom přeměnili u kovu jeho strukturu, a také abychom zlepšili mechanické vlastnosti polotovaru. Tvářecí stroje jsou tedy výrobní stroje, které zpracovávají materiál nebo polotovary ve výrobku, aniž by se měnil objem polotovaru. Má-li být měněn tvar materiálu, je na něj nutno působit takovou silou, že je buď v části, nebo v celém objemu součástí vyvozeno napětí, které je vyšší než je mez kluzu tvářeného materiálu. [4]

Zaměření této bakalářské práce spočívá v konstrukčním návrhu tvářecího stroje, který musí odolat jmenovitému zatížení 100 kN při 5000 pracovních cyklů na den.

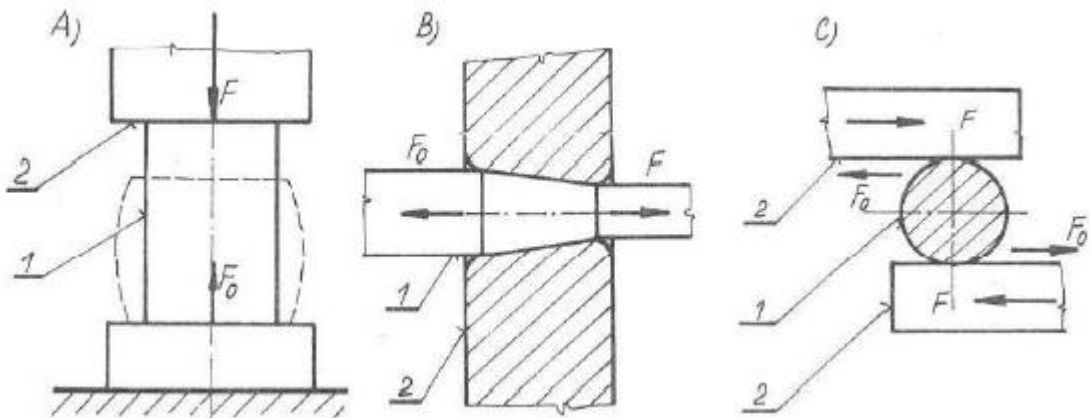
Cílem bakalářské práce je vypracovat konstrukční návrh rámu tvářecího stroje, výkres sestavy a jednotlivé výrobní výkresy a kusovník. Výpočtová zpráva musí obsahovat návrhové výpočty rámu stroje a jejich kontrolu a potřebnou pevnostní analýzu. Konstrukční řešení rámu tvářecího stroje je provedeno s ohledem na ekonomická hlediska a to především při volbě materiálu a typu konstrukce. Ke konečnému konstrukčnímu návrhu použiji modelovací a rýsovací software Autodesk Inventor 2016, ve kterém dále provedu grafickou pevnostní analýzu rámu stroje a zhotovím potřebnou výkresovou dokumentaci.

## 2 ROZDĚLENÍ TVÁŘECÍCH STROJŮ

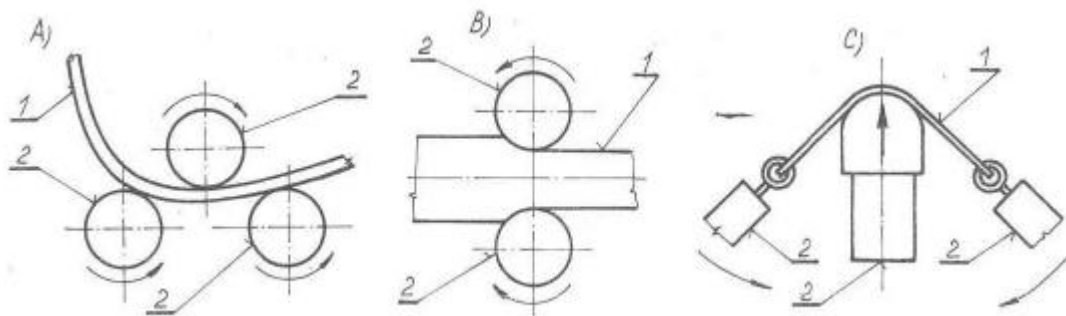
Pro tváření materiálu se využívají různé druhy a typy tvářecích strojů. Tvářecí stroj působí svým výstupním členem (nástrojem) na tvářený materiál. Tvářecí stroje můžeme rozdělit podle několika základních kritérií. [3]

Podle druhu relativního pohybu výstupního členu:

- 1) Tvářecí stroje s přímočarým relativním pohybem výstupního členu
- 2) Tvářecí stroje s nepřímocharým relativním pohybem výstupního členu



Obr. 1) Tvářecí stroje s přímočarým relativním pohybem výstupního členu: A – lis, B – tažný stroj, C – válcovací stroj, 1 – tvářený objekt, 2 – nástroj [4]

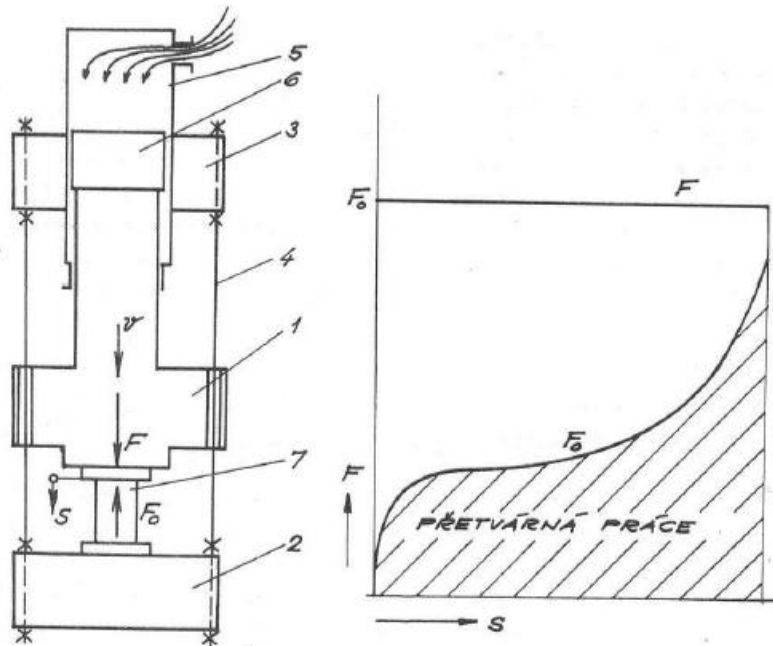


Obr. 2) Tvářecí stroje s nepřímocharým relativním pohybem výstupního členu: A – zakružovací stroj, B – válcovací stroj, C – stroj na tah a ohyb, 1 – tvářený objekt, 2 – nástroj [4]

Podle způsobu vytvoření základní síly nebo energie:

a) Tvářecí stroje silové

Typickým představitelem silových tvářecích strojů je hydraulický lis. K překonání deformačního odporu materiálu používá převážně potencionální energii. Základním parametrem silového tvářecího stroje je síla  $F$  na beranu. Pracovní síla na beranu je vyvozena hydraulickým převodem tlakové energie pracovní kapaliny z energetického zdroje. Síla  $F$  na beranu je konstantní a nezávislá na zdvihu beranu  $h$ . Beran koná obvykle přímočarý vratný pohyb s rychlostí beranu menší než  $0,25 \text{ ms}^{-1}$ . [2] [4]

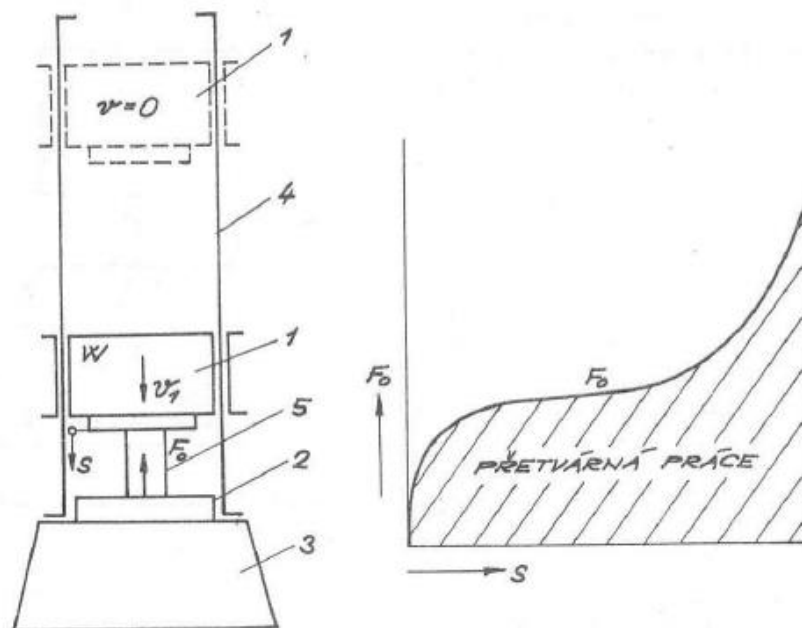


Obr. 3) Silový tvářecí stroj (hydraulický lis): 1 – beran, 2 – stůl, 3 - příčník, 4 – sloupy, 5 – válec, 6 – píst, 2,3,4 – rám, 5,6 – mechanismus s hydraulickým ústrojím [4]

b) Tvářecí stroje energetické

Představitelem energetických tvářecích strojů je buchar. U energetických tvářecích strojů získáváme přetvárnou práci přeměnou z kinetické energie padacího nebo urychleného beranu, který přetváří materiál umístěný na pracovním stole (šabotě). Buchary můžeme rozdělit na šabotové a buchary protiúderové (bezšabotové). U protiúderových bucharů je šabota nahrazena spodním beranem, který se pohybuje proti beranu hornímu. Poháněn může být jeden beran nebo oba. Buchary pracují při rychlosti beranu větším než  $5 \text{ ms}^{-1}$ . Buchary pracující s volně padajícím beranem se nazývají tzv. buchary padací. Tyto buchary označujeme jako jednočinné, protože pohon těchto strojů používáme pouze pro zvedání beranu. Buchary pracující s urychlením beranu

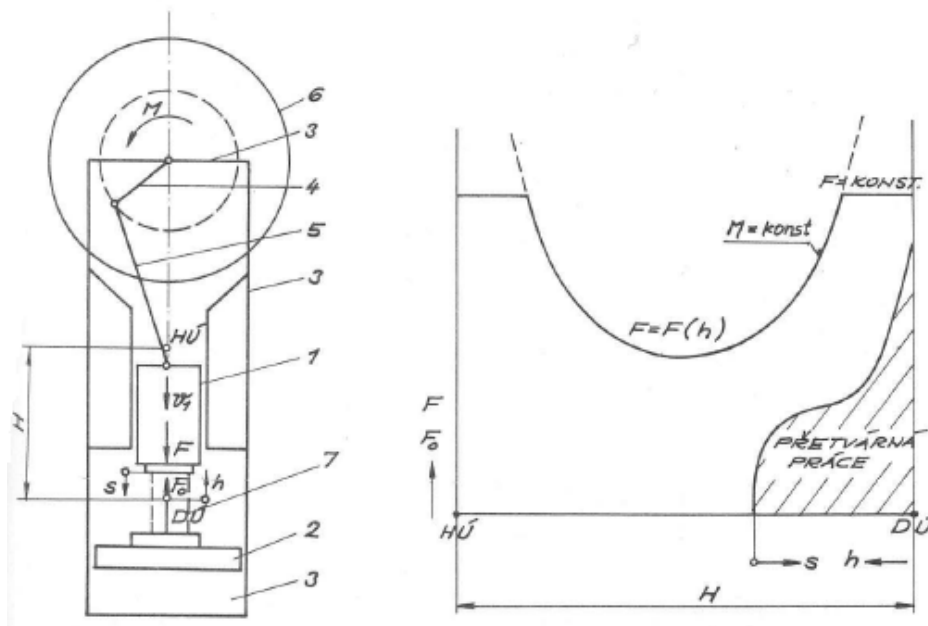
tedy s přidavnou silou jsou buchary dvojitě, jelikož pohon používají i při spuštění beranu. [2] [4]



Obr. 4) Energetický tvářecí stroj (buchar): 1 – beran, 2 – stůl, 3 – šabota, 4 – sloupy, 5 – tvářený materiál [4]

c) Tvářecí stroje zdvihové

Typickým představitelem zdvihových tvářecích stroju je klikový lis. Základními parametry zdvihového tvářecího stroje jsou síla  $F$  na beranu a zdvih  $h$ . K překonání přetváření odporu tvářeného materiálu využívají energii oba druhy energie, tedy energii potencionální i energii kinetickou. Síla  $F$  na beranu a rychlost beranu jsou dány funkcí zdvihu  $h$ . Síla  $F$  roste s blížící se dolní úvratí, kde od určitého bodu zdvihu uvažujeme tuto sílu jako konstantní. Tvářecí dráha je omezena horní a dolní úvratí. [2] [4]



Obr. 5) Zdvihový tvářecí stroj (klikový lis): 1-beran, 2-stůl, 3-stojan (rám), 4-klika, 5-ojnice, 6-setrvačnick, 7-tvářené těleso, 1,4,5-klikový mechanismus [4]

Dále můžeme tvářecí stroje rozdělit podle druhu hnací energie pracovního ústrojí:

a) mechanické

Tvářecí síla je přiváděna z energetického zdroje mechanicky – pákou, klikou, koleny, vřetenem, hřebenem, vačkou, pružinou, válci, atd. Hnacím členem převodového systému je klika nebo výstředník a výstupním členem je beran. Podle jmenovité síly můžeme mechanické lisy třídit na lehké (< 500 kN), střední (500 - 5000 kN), a těžké (> 5000 kN). [3]

b) hydraulické

Tvářecí síla je přiváděna z energetického zdroje tlakem kapaliny. Mají možnost plynule regulovat rychlost beranu a tlak. Hydraulický převod dosahuje velkých tvářecích sil (až 1000 MN). Oproti mechanickým převodům mají převody hydraulické menší účinnost a složitější konstrukce pohonů. [3]

- c) parní - pracovní energie se vyvozuje přiváděnou tlakovou parou
- d) pneumatické - pracovní energie se vyvozuje tlakovým vzduchem z cizího zdroje
- e) ruční, nožní - tvářecí síla je nepřímo vyvozena působením lidské síly
- f) ostatní - výbušné, elektromagnetické, elektrickou kapacitou, atd.

Kromě uvedeného základního dělení lze třídit tvářecí stroje:

Podle uspořádání tvářecí stroje dělíme na svislé, vodorovné, šikmé, úhlové, naklápěcí, sdružené a jiné.

Podle pracovního rozsahu lze rozlišit stroje univerzální, jednoúčelové a speciální

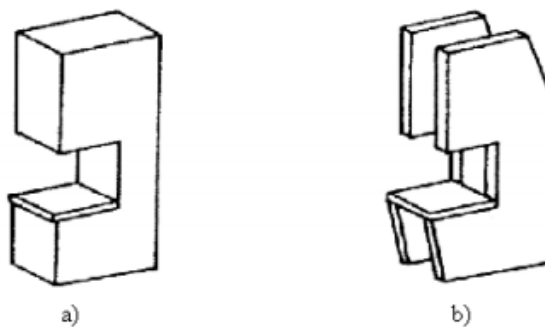
Podle druhu tváření, užití a účelu máme tvářecí stroje děrovací, ostříhovací, ohraňovací, ohýbací, protlačovací, vytlačovací, razící, protahovací, lámací, montážní, rovnací, tažné, kovací, pěchovací, napínací, na plastické hmoty, pro lití pod tlakem a další.

## 2.1 RÁMY TVÁŘECÍCH STROJŮ

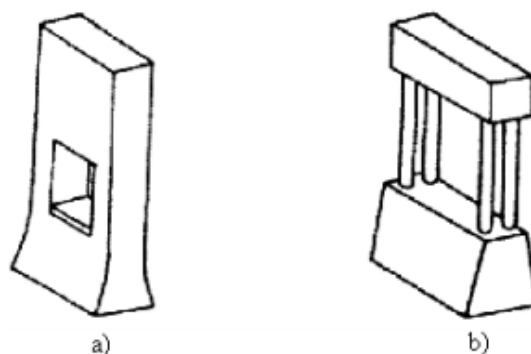
Hlavní funkcí rámu je zachytit síly vznikající při tváření a zajistit dostatečnou tuhost celé sestavy tvářecího stroje. Při provozu tvářecích strojů dochází až k cyklickému namáhání jednotlivých částí vlivem opakovaných pracovních cyklů. Proto je rám stroje dimenzován tak, aby odolal únavovým lomům jednotlivých součástí. Rámy tvářecích strojů musí zajišťovat dostatečnou statickou a dynamickou stabilitu. Konstrukce rámu je volena tak, aby umožňovala snadnou a jednoduchou obsluhu stroje, která je základním předpokladem k bezpečnosti provozu. [6]

Podle konstrukce lze rozdělit rámy tvářecích strojů do dvou skupin:

- a) otevřené
- b) uzavřené



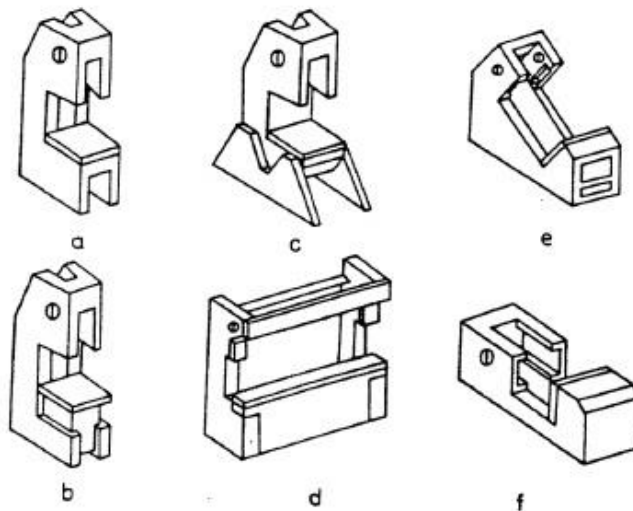
Obr. 6) Otevřené stojany [6]



Obr. 7) Uzavřené stojany [6]

Podle uspořádání je dělíme na:

- a) vertikální
- b) horizontální
- c) kombinované



Obr. 8) Konstrukce otevřených rámců: a) s pevným stolem, b) s přestavitelným stolem, c) naklápěcí, d) široký, e) šikmý stojan, f) horizontální stojan [6]

Podle výrobní technologie jsou rámy:

- a) vyráběné z jednoho kusu (celistvé)
- b) dělené

### 2.1.1 OTEVŘENÉ RÁMY (STOJANY)

Otevřené stojany se skládají ze stojiny a z pracovního stolu. Podle konstrukce můžou být stojany typu C, jednostojanové, nebo tvaru CC, dvoustojanové. Otevřené rámy mají pracovní prostor přístupný ze tří stran. Z hlediska technologie výroby se rámy vyrábí jako odlitky nebo svařence. Jestliže se jedná o velké série je vhodné vyrábět rámy jako odlitky. Pro malé série je hospodárnější výroba svařenců, odpadá zde výroba modelů a forem. Nevýhoda svařenců je velké pnutí v materiálu po svařování, které je nutno odsranit žíháním. [6] [11]



Obr. 9) Otevřený rám univerzálního hydraulického lisu CTC od firmy ŽĎAS [13]

### 2.1.2 UZAVŘENÉ RÁMY

Uzavřené rámy mají stojan ve tvaru O. Podle konstrukce rozlišujeme nedělené (celistvé), dělené rámy a dělené sloupové konstrukce.

Uzavřené rámy celistvé se skládají ze stojin, příčnicku a z pracovního stolu. Pro menší pracovní síly se nedělené rámy vyrábějí jako odlitky. Pro větší pracovní síly se dělené rámy vyrábějí po částech jako svařence, svařenec stolu, stojiny, příčnicku. Tyto jednotlivé části se poté svaří v jeden celek a předechnou se pomocí spojovacích tyčí tak, aby nedošlo k uvolnění spojů při zatížení. Uzavřené rámy mají pracovní prostor přístupný pouze ze dvou stran, což výrazně omezuje rozměry polotovaru resp. vylisku. V porovnání s otevřenými rámy mají větší tuhost při stejné hmotnosti. [6] [11]



Obr. 10) Mechanický klikový lis řady LKT od firmy ŠMERAL [15]

Dělené sloupové konstrukce se skládají z horního a dolního příčnicku, které jsou spojeny sloupy. Sloupy zajišťují funkci vedení pro pohyblivý příčník (beran). Sloupový rám bývá tvořen čtyřmi nebo dvěma sloupy. Provedení sloupových konstrukcí může být hornotlaké nebo dolnotlaké. U hornotlakých lisů je tvářecí nástroj umístěn nad pohyblivým stolem a tlak tvářecího nástroje je vyvozen směrem dolů. U dolnotlakých lisů je tvářecí nástroj umístěn pod pohyblivým stolem a tlak beranu je vyvíjen směrem vzhůru. Příčníky mohou být odlévané nebo svařované. Dělené sloupové konstrukce se nejčastěji používají pro volné kování. [6] [7]



Obr. 11) Hydraulický dolůtažný kovací lis řady CKW dvousloupové konstrukce od firmy ŽDAS [13]

## 3 PŘEHLED VYBRANÝCH TVÁŘECÍCH STROJŮ

V následující kapitole se budu zabývat stručným rozbohem jednotlivých tvářecích strojů, které se nacházejí na soudobém trhu. U vybraných strojů provedu stručnou charakteristiku a uvedu jejich výhody a základní parametry. Z daných tvářecích strojů zvolím tvářecí stroj blízký mému zadání, který mi bude vzorem při konstrukčním návrhu a pevnostních výpočtech.

### 3.1 MECHANICKÉ LISY

#### KLIKOVÝ LIS JEDNOBODOVÝ LKJA 250

Charakteristickým znakem těchto lisů je uzavřený svařovaný rám tvaru O, ve kterém je umístěn klikový mechanismus. Tvářecí síla je vedena na kratší dráze, z tohoto důvodu se tyto lisy používají převážně pro hromadnou výrobu menších výlisků nebo pro protlačování, tvarování a ostříhování. Jmenovitá tvářecí síla jednobodového klikového lisu LKJA 250 je 2500 kN, zdvih 250 mm. [13]



Obr. 12) Klikový lis jednobodový řady LKJA 250 od firmy ŽDAS [13]

#### VÝSTŘEDNÍKOVÝ LIS S 160 E

Výstředníkový lis S160E se vyznačuje otevřeným stojanem tvaru C. Tento lis má nastavitelný zdvih beranu s maximální hodnotou 160 mm. Výhodnou je i pracovní prostor přístupný ze tří stran. Používá se pro ostříhování, děrování nebo ohýbání s jmenovitou tvářecí silou 1600 kN. [15]



Obr. 13) Výstředníkový lis S 160 E od firmy ŠMERAL [15]

### 3.2 HYDRAULICKÉ LISY

#### UNIVERZÁLNÍ HYDRAULICKÝ LIS CTC 250

Lisy CTC jsou vertikální konstrukce se svařovaným stojanem tvaru C. Otevřený stojan tvaru C umožňuje přístup ze tří stran, což výrazně usnadňuje mechanické i údržbářské práce a taky samotnou obsluhu stroje a manipulaci s rozměrnými součástmi. Tyto lisy se používají pro běžné operace objemového a plošného tváření, jak za studena, tak i za poohřevu i za tepla. Jmenovitá tvářecí síla je 2500 kN, maximální zdvih 450 mm. [13]



Obr. 14) Univerzální hydraulický lis CTC od firmy ŽĐAS [13]

## UNIVERZÁLNÍ HYDRAULICKÝ STOLNÍ LIS CUPS 10 DEU

Charakteristickým znakem je svařovaný rám tvaru C. Stolnímu provedení zajišťuje snadnou přemístitelnost. Používá se pro typické práce jako lisování, děrování, ražení, montáž atd. Jmenovitá tvářecí síla lisu je 100 kN, zdvih 200 mm. [14]



Obr. 15) Univerzální hydraulický stolní lis CUPS 10 DEU od firmy HŠV [14]

## DÍLENSKÝ HYDRAULICKÝ LIS CDSR

Lisy CDSR mají uzavřený svařovaný rám tvaru O. Hydraulický agregát není součástí rámu. Používá se pro montážní a demontážní práce, lisování ložisek, děrování, rovnání, ohývání atd. Jmenovité lisovací síly se pohybují od 80 kN do 300 kN. Zdvih se pohybuje podle konstrukce v rozmezí 500 až 700 mm. [16]



Obr. 16) Díleňský hydraulický lis řady CDSR od firmy TOS RAKOVNÍK [16]

## DÍLENSKÝ HYDRAULICKÝ LIS CDMR

Charakteristickým znakem lisu CDMR je uzavřený svařovaný rám tvaru H, který vyplívá z možnosti nastavení výšky příčníků. Hydraulický agregát je umístěn na boku rámu. Používá se pro obdobné operace jako lisy CDSR, tedy pro montážní a demontážní práce, lisování ložisek, děrování, rovnání, ohývání atd. Jmenovitá tvářecí síla dosahuje až 2000 kN. Díky nastavitelné příčce můžeme tvářet polotovary rozsáhlých rozměrů. Maximální průchod lisem je 1200 mm. [16]



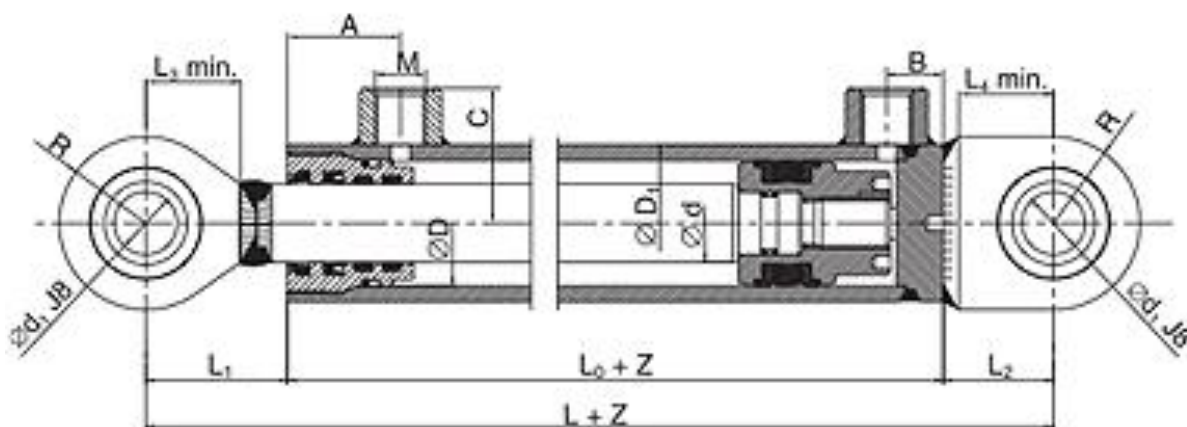
Obr. 17) Dílenský hydraulický lis řady CDMR od firmy TOS RAKOVNÍK [16]

## 4 VÝBĚR VHODNÉHO TVÁŘECÍHO STROJE

Při výběru vhodného tvářecího stroje budu vycházet především z jmenovité tvářecí síly 100 kN, jedná se tedy o tvářecí stroj pro lehké zatížení (< 500 kN). Z tohoto důvodu bude vhodnější zvolit konstrukci hydraulického lisu. Jelikož se bude jednat pouze o jednodusovou výrobu nebylo by z ekonomického hlediska vhodné rám tvářecího stroje odlévat, proto budu rám konstruovat jako svarek. Protože v mém zadání není uvedeno, zda má být rám tvaru C nebo O, a nejsou v něm uvedené ani žádné jiné omezení dle konstrukce, můžu tedy volit typ a velikost rámu zcela libovolně. Vzorem pro mou bakalářskou práci mi tedy bude rám dílenského hydraulického lisu řady CDSR od firmy TOS RAKOVNÍK. V dalších kapitolách se budu zabývat návrhem rámu hydraulického tvářecího stroje, jeho pevnostním výpočtem, konstrukčním řešením v programu Autodesk Inventor, a v poslední řadě jeho grafickou pevnostní analýzou (MKP).

### 4.1 VOLBA HYDROMOTORU

Abychom dosáhli požadovaného zatížení rámu 100 kN je nutné zvolit zařízení, které toto zatížení dokáže vytvořit. Hydromotor přeměňuje tlakovou energii kapaliny na energii mechanickou – axiální sílu pístní tyče. Jako zařízení, které bude vytvářet požadované jmenovité zatížení 100 kN volím přímočarý hydromotor od firmy Hydraulics řady ZH2 o průměru pístu 90 mm, průměru pístní tyče 50 mm a maximálním zdvihu 560 mm. Hydromotor ZH2 je sestaven z trubky s opracovaným vnitřním průměrem v toleranci H8. Na ní jsou navařeny přípojovací hrdla pro vstup tlakového oleje s vnitřním závitem a zátka. Víko pro vedení pístní tyče spolu s těsníci prvky je našroubováno do trubky pláště válce. Na konci broušené, leštěné a chromované pístní tyče rozměrové tolerance f7 je umístěn píst. Pro mé zadání jsou návarné oka nežádoucí, proto tímto příslušenstvím nebude hydromotor vybaven. Podrobnější rozměry pístu viz tabulka. [17]

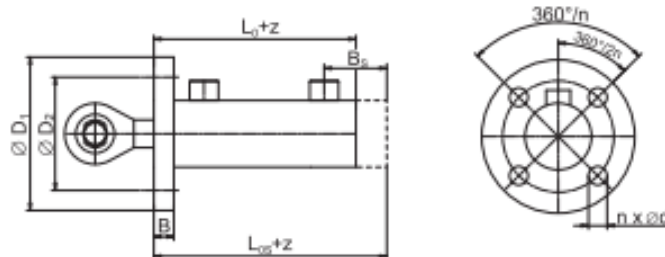


Obr. 18) Přímocharý hydromotor řady ZH2 od firmy Hydraulics [17]

Tab 1) Parametry hydromotoru [17]

$\varnothing D$	$\varnothing d$	$\varnothing D_1$	$\varnothing d_1$	L	$L_0$	$L_1$	$L_2$	$L_3 \pm 1$	$L_4 \pm 1$	M	A	B	C	E	$K_1$	R	Maximální doporučené zdvihy dle zvol. $\varnothing d$	Hmotnost při zdvihu Z (kg)
90	50	105	40	310	165	85	60	57	53	22x1,5	64	35	70,5	28	35	52,5	560	15,20 + Z x 0,03344

Dále je nutné zvolit způsob uchycení přímočarého hydromotoru. Volím uchycení hydromotoru za kruhovou přírubu. Toto uchycení zajistí přímočarý hydromotor na vnitřní straně horního příčnicku, což umožňuje využití celého rozsahu pracovního zdvihu hydromotoru. Parametry příruby viz tabulka 2.



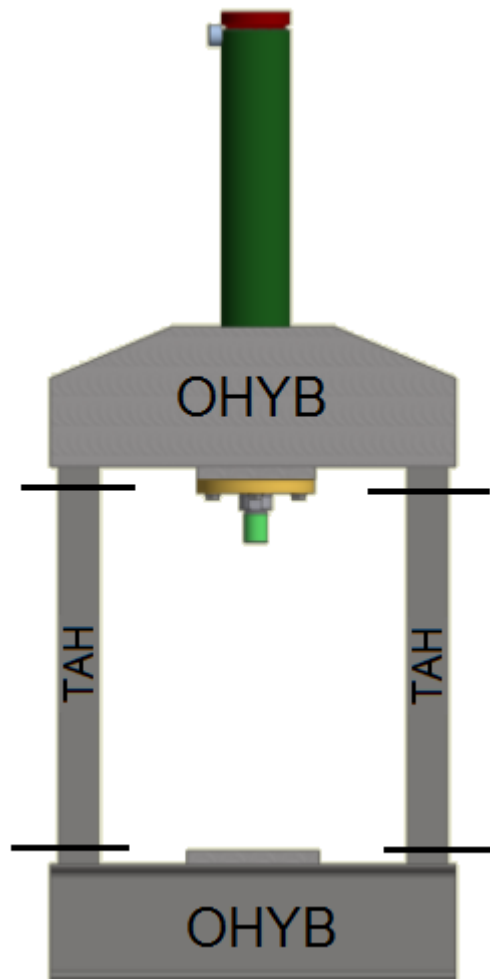
Obr. 19) Příruba hydraulického válce [17]

Tab 2) Parametry pro přírubu hydraulického válce [17]

Typ válce	$\varnothing D_1$	$\varnothing D_2$	B	d	n	$L_0$	$L_{0s}$	$B_s$
90	178	150	20	15	6	165	203	73

## 5 NÁVRHOVÝ VÝPOČET RÁMU

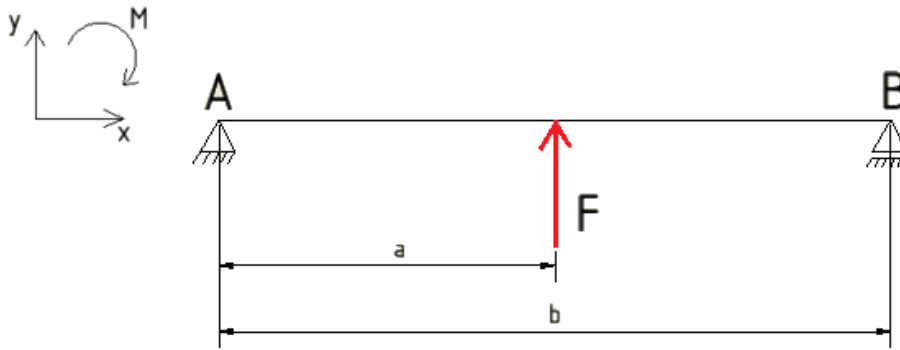
Pro návrhový výpočet rámu hydraulického lisu provedeme při výpočtu řadu zjednodušení. Budeme uvažovat namáhání horního a spodního příčnicku pouze na ohyb a namáhání stojin lisu pouze na tah. Ve skutečnosti je namáhání rámu lisu složitější.



Obr. 20) Zjednodušený model namáhání rámu hydraulického lisu

### 5.1 VÝPOČET HORNÍHO PŘÍČNÍKU

Pro výpočet horního příčnicku si zavedeme výpočtový model. Ten si můžeme představit jako nosník na dvou podporách, který je zatížen silou  $F$ . Síla  $F$  je vytvářena hydraulickým válcem. Průřez horního příčnicku je obdelníkový, kde  $B$  je celková šířka příčnicku a  $h$  výška příčnicku. Při výpočtu budu postupovat tak, že nejprve vypočtu výsledné vnitřní účinky v rámu (VVU) a stanovím maximální ohybový moment. Z maximálního ohybového momentu dále zjistím potřebnou velikost průřezového modulu v ohybu  $W_o$ , a poté navrhnu požadovanou výšku horního příčnicku.



Obr. 21) Zjednodušený model zatížení horního příčnicku

$F = 100 \text{ kN}$

$a = 275 \text{ mm}$

$b = 550 \text{ mm}$

$R_e = 355 \text{ MPa}$

$k = 5$

$\sigma_{dov} = \frac{R_e}{k} = 71 \text{ MPa}$

zatěžující síla od hydraulického válce

vzdálenost

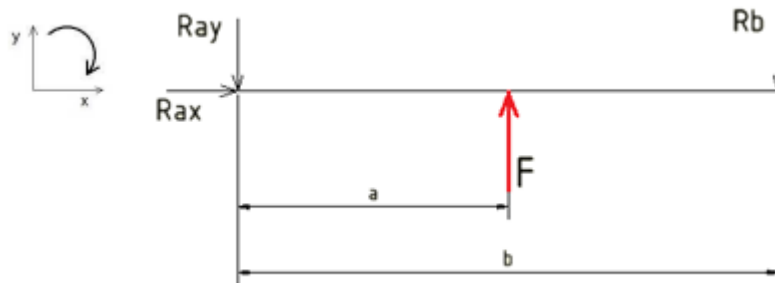
délka příčnicku

mez kluzu, materiál S355J0 (11 523)

zvolená bezpečnost

dovolené maximální napětí

URČENÍ VVU



Obr. 22) Uvolnění horního příčnicku

$x:$   $R_{ax} = 0$

$y:$   $-R_{ay} - R_b + F = 0$

$M_a:$   $-F \cdot a + R_b \cdot b = 0$

$$R_b = \frac{F \cdot a}{b} = \frac{100000 \cdot 275}{550} = -50\,000 \text{ N}$$

$$R_{ay} = F - R_b = 100000 - 50000 = -50\,000 \text{ N}$$

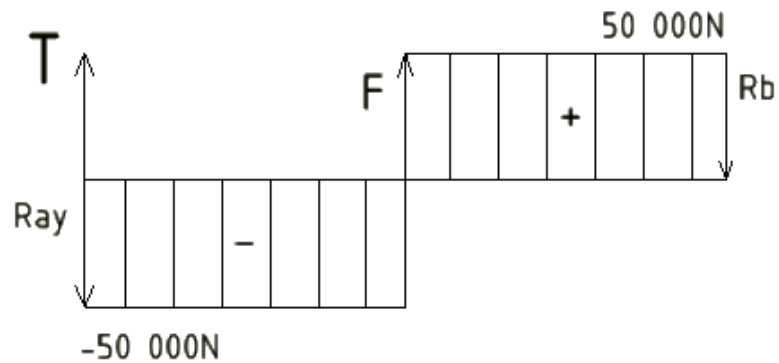
$$M(x=0): \quad F \cdot a - R_b \cdot b = 0 \text{ Nm}$$

$$M(x=a): \quad R_{Ay} \cdot a = -13750 \text{ Nm}$$

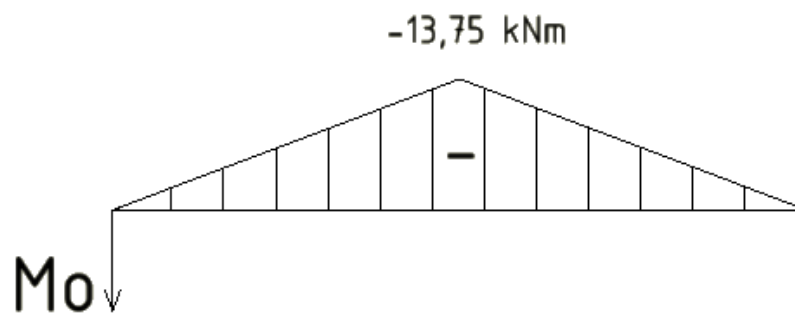
$$M(x=b): \quad R_{Ay} \cdot b - F \cdot (b - a) = 0 \text{ Nm}$$

Maximální ohybový moment je v místě hydraulické válce.  $M_{oMAX} = -13,75 \text{ kNm}$

### VYKRESLENÍ VVU

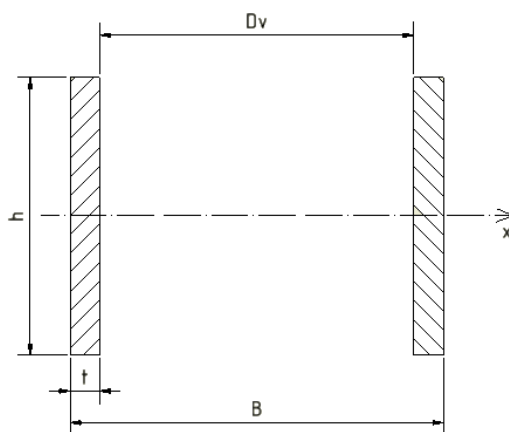


Obr. 23) Průběh posouvajících sil v horním příčniku



Obr. 24) Průběh ohybového momentu v horním příčniku

## NÁVRH VÝŠKY HORNÍHO PŘÍČNÍKU



Obr. 25) Průřez horním příčnίκem

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

$$B = 178 \text{ mm}$$

$$D_v = 146 \text{ mm}$$

$$Re = 355 \text{ MPa}$$

$$k = 5$$

$$\sigma_{dov} = \frac{Re}{k} = 71 \text{ MPa}$$

tloušťka plechu

šířka horního příčnίκu

vnější průměr hydraulického válce

mez kluzu, materiál S355J0 (11 523)

zvolená bezpečnost

dovolené maximální napětí

$$\sigma_{dov} \geq \frac{M_{oMAX}}{W_o} \quad W_{o1} \geq \frac{M_{oMAX}}{\sigma_{dov}} \quad (1)$$

$$W_{o1} = \frac{|M_{oMAX}|}{\sigma_{dov}} = \frac{13750000}{71} = 1,94 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$$

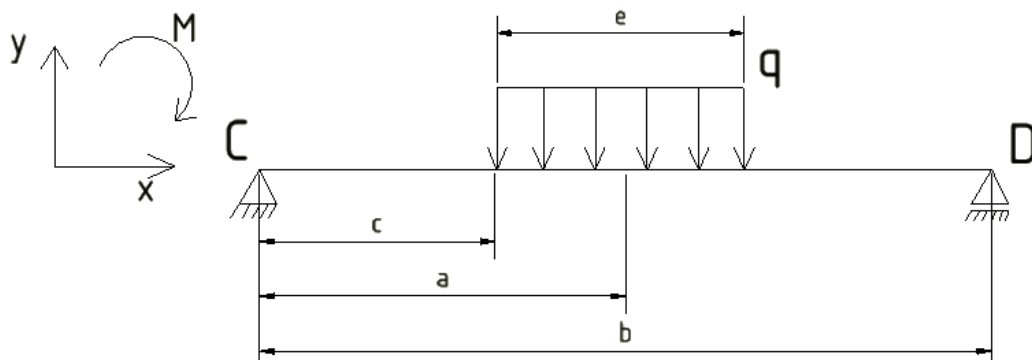
$$W_{o1} = \frac{B \cdot h^2}{6} - \frac{D_v \cdot h^2}{6} = \frac{1}{6} h^2 \cdot (B - D_v) \quad \Rightarrow h \quad (2)$$

$$h = \sqrt{\frac{6 \cdot W_{o1}}{(B - D_v)}} = \sqrt{\frac{6 \cdot 1,94 \cdot 10^5}{(178 - 146)}} = 190,7 \text{ mm}$$

Minimální výška horního příčnίκu je  $h = 190,7 \text{ mm}$ . Proto navrhuji vzhledem k bezpečnosti výšku horního příčnίκu 210 mm.

## 5.2 VÝPOČET SPODNÍHO PŘÍČNÍKU

Pro výpočet spodního příčnicku si zavedeme výpočtový model. Ten si můžeme představit jako nosník na dvou podporách, který je namáhán spojitým zatížením  $q$ . Průřez spodního příčnicku je ve tvaru I, kde  $B$  je celková šířka příčnicku a  $H$  výška příčnicku. Nejprve vypočtu výsledné vnitřní účinky v rámu (VVU) a stanovím maximální ohybový moment. Dále navrhnu profil spodního příčnicku a porovnáím jeho průřezový modul v ohybu s minimálním průřezovým modulem v ohybu. Zde musí být splněna podmínka  $W_o \geq W_{o1min}$ .



Obr. 26) Zjednodušený model zatížení spodního příčnicku

$$q = \frac{F}{e} = \frac{100000}{200} = 500 \text{ Nmm}$$

spojité zatížení

$$e = 200 \text{ mm}$$

délka spojitého zatížení

$$c = 175 \text{ mm}$$

vzdálenost

$$a = 275 \text{ mm}$$

vzdálenost

$$b = 550 \text{ mm}$$

délka spodního příčnicku

$$R_e = 355 \text{ MPa}$$

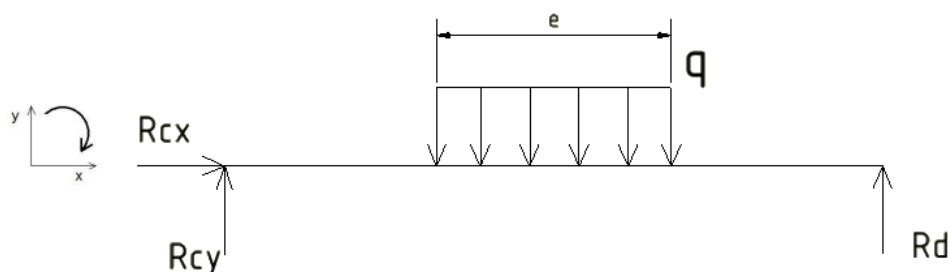
mez kluzu, materiál S355J0 (11 523)

$$k = 5$$

zvolená bezpečnost

$$\sigma_{dov} = \frac{R_e}{k} = 71 \text{ MPa}$$

dovolené maximální napětí



Obr. 27) Uvolnění spodního příčnicku

$$\begin{aligned} x: & R_{cx} = 0 \\ y: & R_{cy} + R_d - q \cdot c = 0 \\ M_c: & R_d \cdot b - (q \cdot e) \cdot (c + e) = 0 \end{aligned}$$

$$R_{cy} = R_b = \frac{1}{2} \cdot q \cdot e = \frac{1}{2} \cdot 500 \cdot 200 = 50\,000 \text{ N}$$

$$M(x=0): R_d \cdot b - (q \cdot e) \cdot (c + e) = 0 \text{ Nm}$$

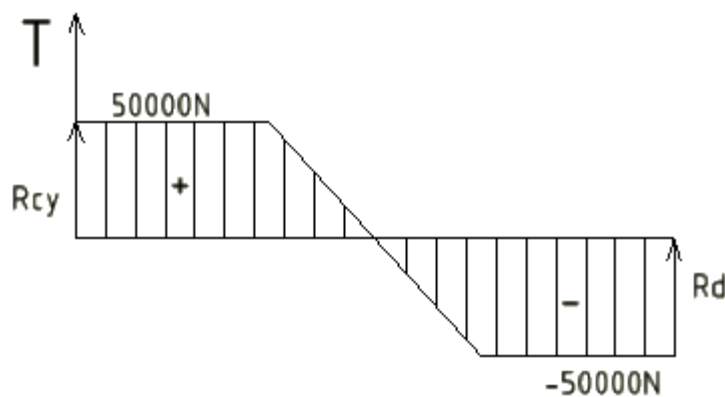
$$M(x=a): R_{cy} \cdot a - q \cdot \frac{\left(\left(\frac{c+e}{2}\right) - c\right)^2}{2} = 50000 \cdot 0,275 - 0,5 \cdot \frac{(1)^2}{2} = 1,375 \cdot 10^4 \text{ Nm}$$

$$M(x=d): R_d \cdot b - (q \cdot e) \cdot (c + e) = 0 \text{ Nm}$$

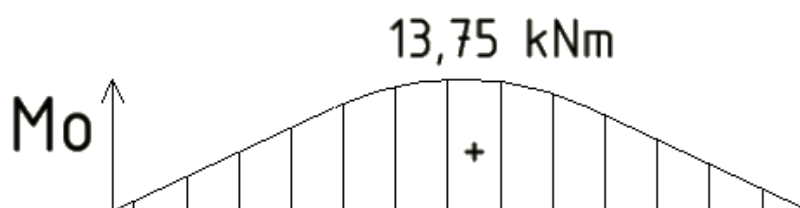
$$M_{oMAX} = 13,75 \text{ kNm}$$

maximální ohybový moment

VYKRESLENÍ VVU

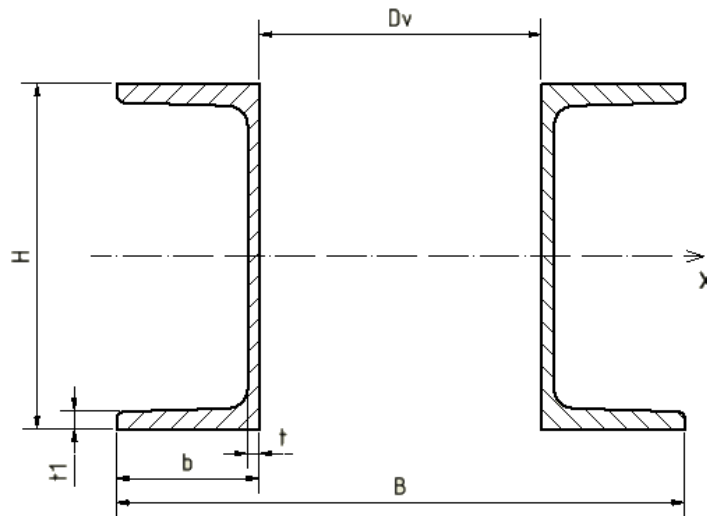


Obr. 28) Průběh posouvajících sil ve spodním příčniku



Obr. 29) Průběh ohybového momentu ve spodním příčniku

## NÁVRH SPODNÍHO PŘÍČNÍKU



Obr. 30) Průřez spodním příčnίκem

Navrhuji příčnίκ z dvou profilů tvaru U ČSN 42 5571.

$B = 286 \text{ mm}$	šířka spodního příčnίκu
$H = 180 \text{ mm}$	výška příčnίκu
$b = 70 \text{ mm}$	šířka tyče profilu U
$t = 5,1 \text{ mm}$	tloušťka boční stěny
$t_1 = 8,7 \text{ mm}$	tloušťka horní stěny
$D_v = 146 \text{ mm}$	vnější průměr hydraulického válce
$Re = 355 \text{ MPa}$	mez kluzu, materiál S355J0 (11 523)
$k = 5$	zvolená bezpečnost
$\sigma_{dov} = \frac{Re}{k} = 71 \text{ MPa}$	dovolené maximální napětí

$$\sigma_{dov} \geq \frac{M_{oMAX}}{W_o} \quad W_{o1} \geq \frac{M_{oMAX}}{\sigma_{dov}} \quad (3)$$

$$W_{o1} = \frac{|M_{oMAX}|}{\sigma_{dov}} = \frac{1,375 \cdot 10^7}{71} = 1,937 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$$

Minimální průřezový modul v ohybu  $W_{o1} = 1,937 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$

$$W_o = \frac{B \cdot H^2}{6} - \frac{D_v \cdot H^2}{6} - 2 \cdot \frac{(b - t) \cdot (H - 2 \cdot t_1)^2}{6} \quad (4)$$

$$W_o = \frac{1}{6} \cdot (286 \cdot 180^2 - 146 \cdot 180^2 - 2 \cdot (70 - 5,1) \cdot (180 - 2 \cdot 8,7)^2)$$

$$W_o = 2,29 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$$

Modul průřezu v ohybu pro navrhnutý profil  $W_o = 2,29 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$

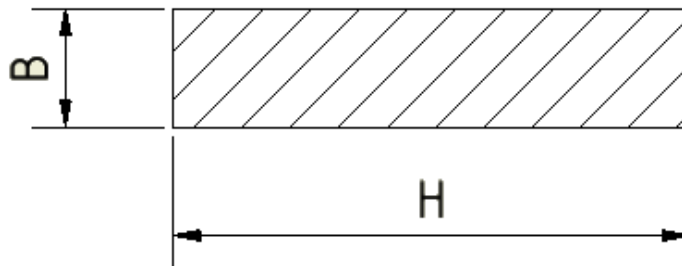
### KONTROLA NAPĚTÍ

$$\sigma_o = \frac{M_{oMAX}}{W_o} = \frac{1,375 \cdot 10^7}{2,29 \cdot 10^5} = 60 \text{ MPa} \quad (5)$$

$$\sigma_o < \sigma_{dov} \quad \dots \text{vyhovuje}$$

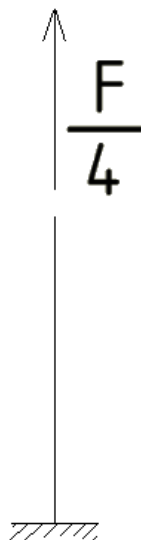
### 5.3 VÝPOČET STOJIN LISU

Pro výpočet stojin si zavedeme výpočtový model. Ten si můžeme představit jako vetknutý nosník, který je namáhán silou F. Síla F je vytvářena hydraulickým válcem. Průřez stojin lisu je obdelníkový, kde B je celková šířka příčniku a H výška stojiny. Pro zjednodušení výpočtu budu uvažovat, že stojiny jsou namáhány pouze tahem. Nejprve navrhnu parametry průřezu a poté pro daný profil provedu kontrolu na tah.



Obr. 31) Průřez stojinou

$B = 10 \text{ mm}$	šířka stojiny
$H = 60 \text{ mm}$	výška stojiny
$Re = 355 \text{ MPa}$	mez kluzu, materiál S355J0 (11 523)
$k = 5$	zvolená bezpečnost
$\sigma_{dov} = \frac{Re}{k} = 71 \text{ MPa}$	dovolené maximální napětí
$F = 100000 \text{ N}$	zatěžující síla od hydraulického válce



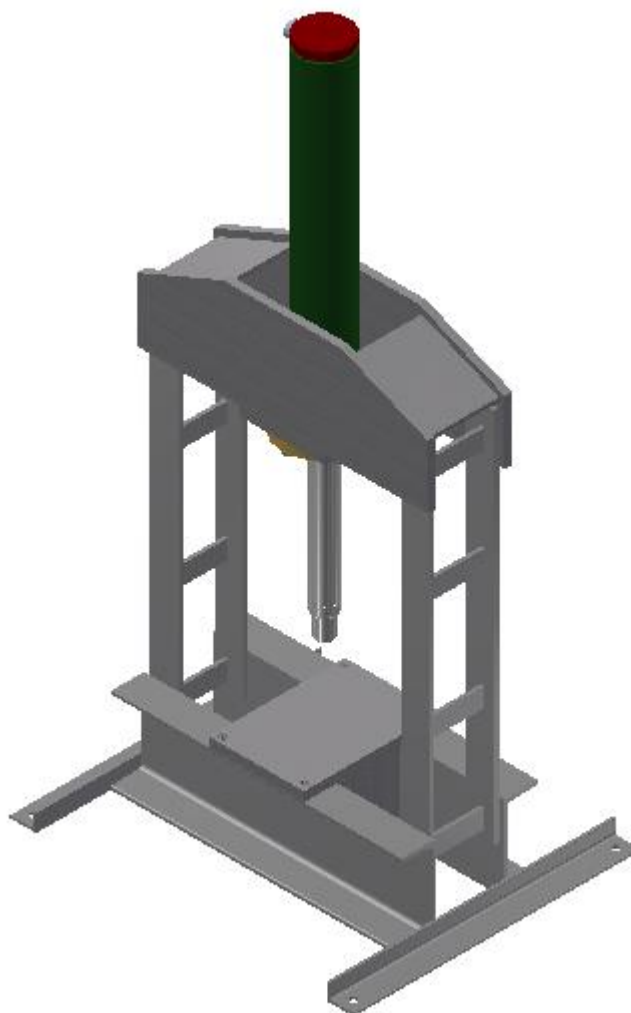
Obr. 32) Zjednodušené zatížení stojiny

$$\sigma = \frac{F}{S} = \frac{F}{4 \cdot S} = \frac{F}{4 \cdot B \cdot H} = \frac{100000}{4 \cdot 10 \cdot 60} = 41,7 \text{ MPa} \quad (6)$$

$$\sigma < \sigma_{dov} \quad \dots \text{vyhovuje}$$

## 6 KONSTRUKCE RÁMU LISU

Rám lisu je ve tvaru uzavřeného rámu typu O. Je konstruován jako svarek z materiálu S355J0 (11 523). Spodní příčník, neboli základna, je sestavena ze dvou tyčí profilu U o rozměrech 180x610 mm. Na základně je připevněn obdelníkový pracovní stůl o stranách 200x286 mm a tloušťce 20 mm. Horní příčník je navrhnut ze dvou plechů obdelníkového průřezu o rozměrech 210x16x610 mm, tyto plechy jsou k sobě svázány jednak pomocí čtvercové příruby pro uložení hydraulického válce s rozměry 178x178x20 mm a také pomocí dvou plechů 146x8x180 mm. Horní příčník je spojen se základnou pomocí stojin, které jsou ze čtyř tyčí obdelníkového průřezu o rozměrech 60x10x790 mm. Mezi stojinami jsou navařeny čtyři rozpěrné obdelníkové tyče 40x8x126 mm, které zajišťují lepší tuhost rámu. Hydraulický válec je přišroubován šesti šrouby M14x40 k čtvercové přírubě horního příčníku, toto uchycení umožňuje plné využití zdvihu hydromotoru. Stabilitu lisu proti převrnutí zajišťují dvě tyče průřezu L s rozměry 56x36x5-600 mm, které jsou přivařeny k spodní části základny.



Obr. 33) Vlastní konstrukce rámu

## 7 PEVNOSTNÍ ANALÝZA RÁMU MKP

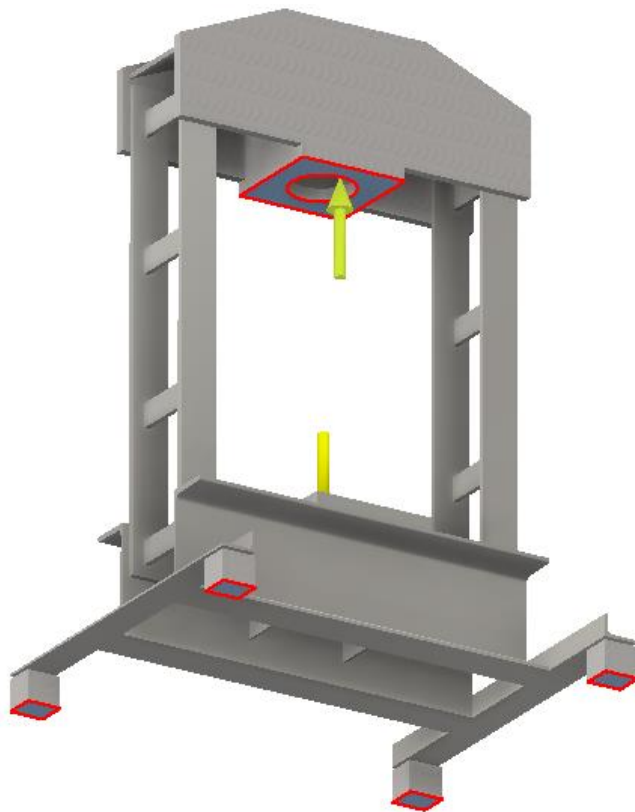
Pevnostní analýzu rámu pomocí metody konečných prvků jsem provedl v modelovacím a rýsovacím softwaru Autodesk Inventor 2016, který využívá pro síťování modelu čtyřstěnné prvky tetraherdy.

Cílem pevnostní analýzy je nasimulovat reálné zatížení rámu lisu. Pro pevnostní analýzu jsou nejvhodnější hexagonální prvky ideálně kvádry, sestavu rámu lisu tedy ořežeme o nedůležité detaily, které neovlivňují geometrii rámu, např. díry, zaoblení, atd., čímž dosáhneme reálnějšího výsledku zatížení rámu a zjednodušení výpočtů.

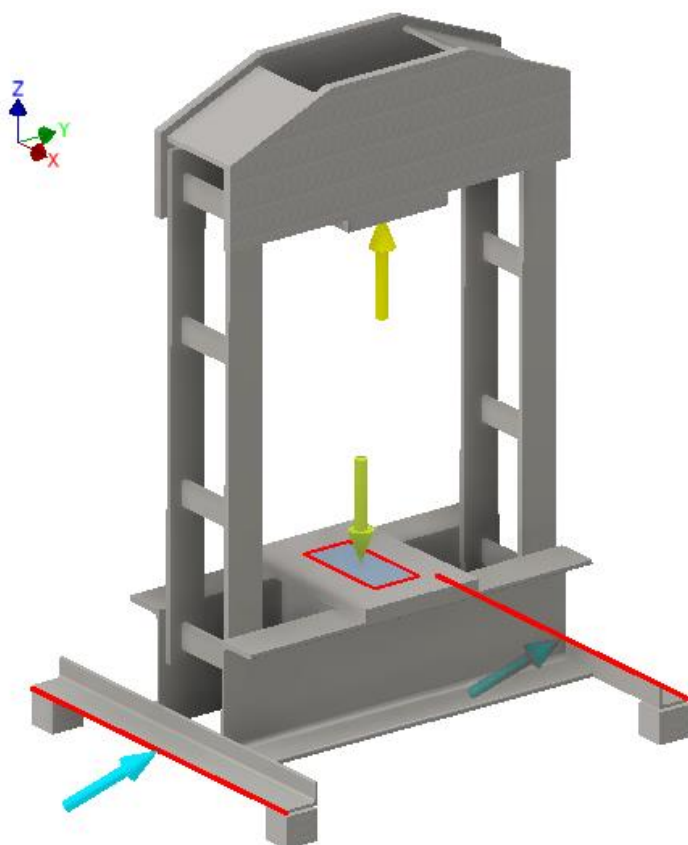
Sestava pro pevnostní analýzu obsahuje pouze kostru rámu, horní a spodní příčník, stojiny, čtvercovou přírubu a vystužení rámu.

Zatížení je realizováno pomocí síly 100 kN, která působí na ploše čtvercové příruby a dále na vymezené ploše pracovního stolu. Pevné vazby jsou umístěny na čtyřech virtuálních kostkách, které charakterizují pružnost materiálu, stolu nebo podlahy, na kterém bude v provozu upevněn hydraulický lis pomocí kotevních šroubů, jejichž tuhost je zde simulována pomocí přidavných pružin. Boční stabilitu rámu zajišťuje vazba ve směru osy Y (viz obr. 35).

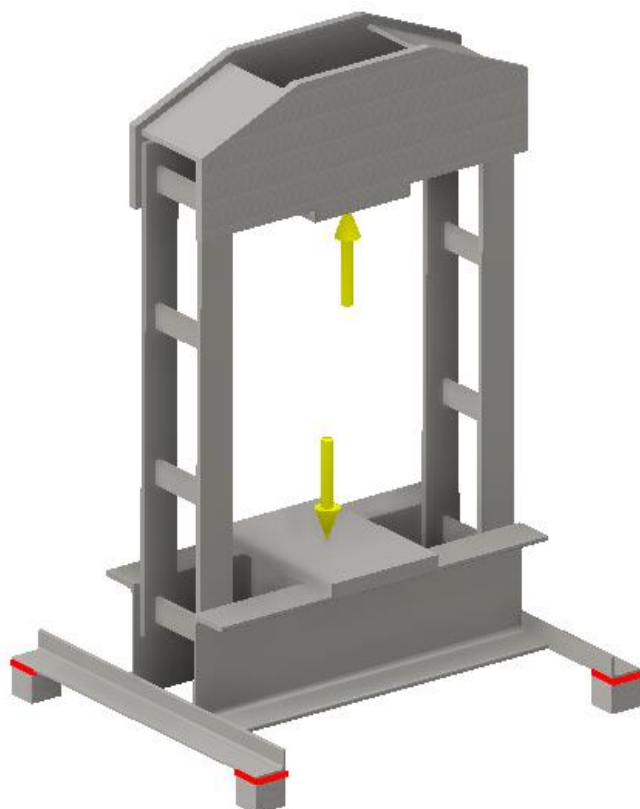
Špička napětí dle podmínky HMM (von Mises) je ve středu pracovního stolu o velikosti 67 MPa, jelikož je maximální dovolené napětí 71 MPa, je zřejmé, že i v kritickém místě rámu lisu je dosažen součinitel bezpečnosti 5. Z vykreslení deformací v rámu vidíme, že maximální posunutí je ve čtvercové přírubě pro uchycení hydromotoru a v nejnižším místě základny stroje, deformace v těchto místech nabývá hodnoty 0,2 mm. Toto posunutí je přípustné pro hydraulické dílenské lisy, které nevyžadují vyšší přesnost tváření.



Obr. 34) Znázornění pevných vazeb, zatížení čtvercové příruby

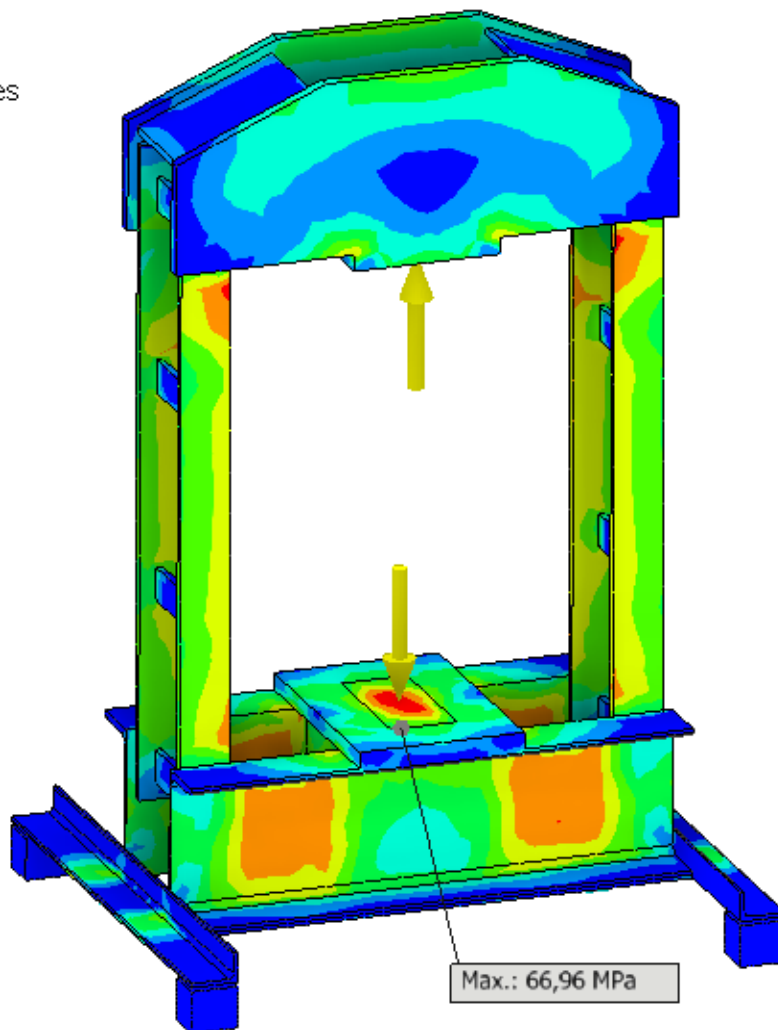
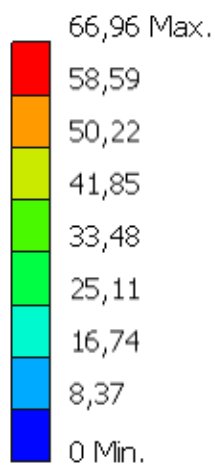


Obr. 35) Znázornění bočních vazeb, zatížení pracovního stolu



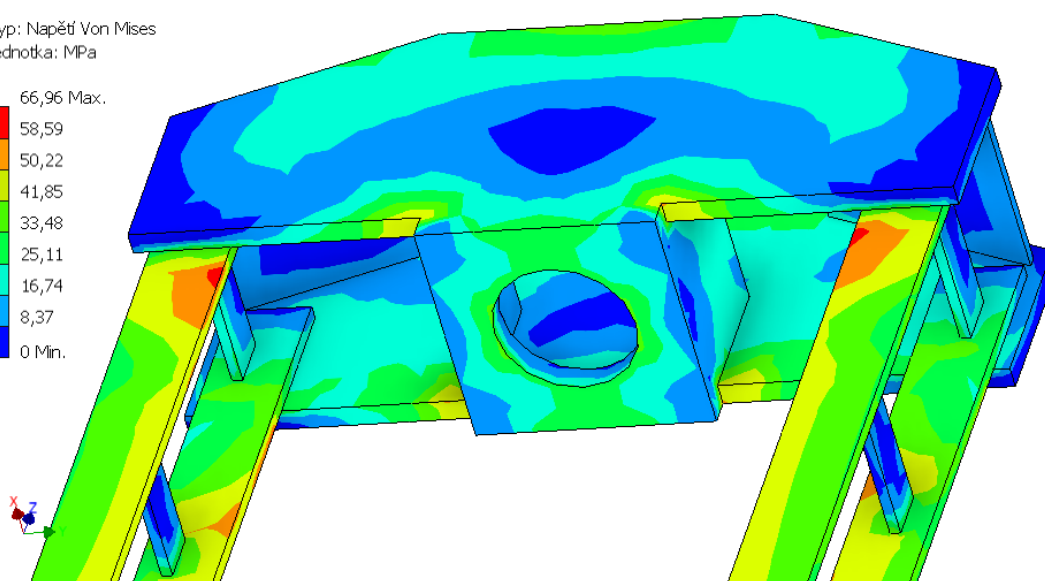
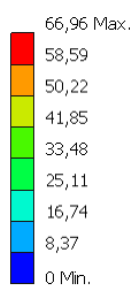
Obr. 36) Znázornění přidavných pružin

Typ: Napětí Von Mises  
 Jednotka: MPa



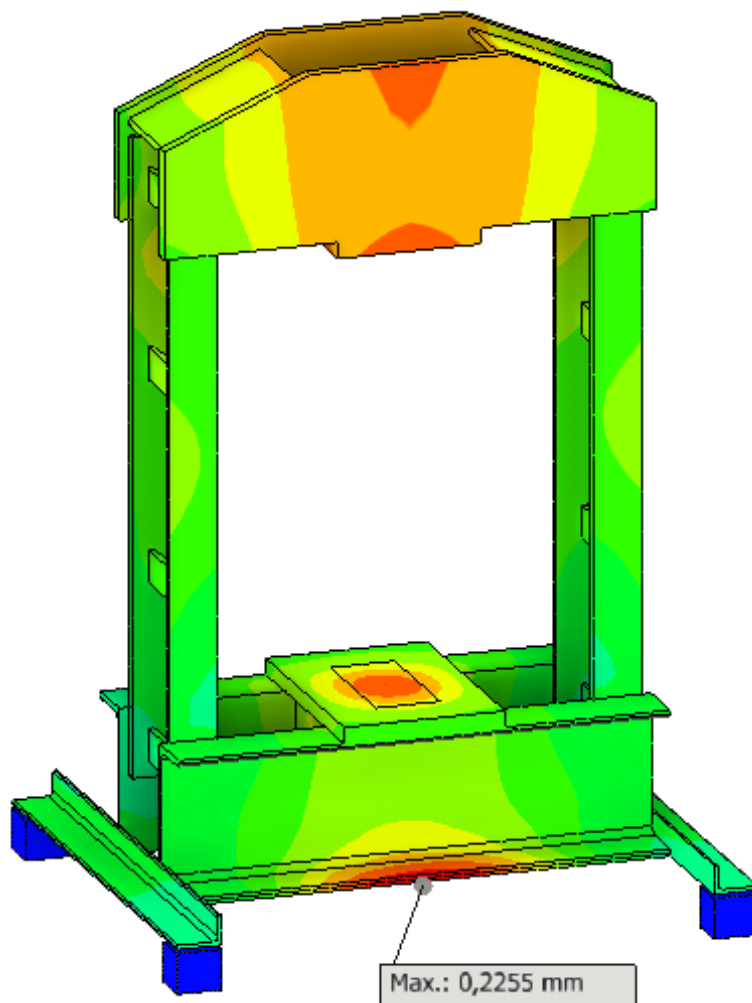
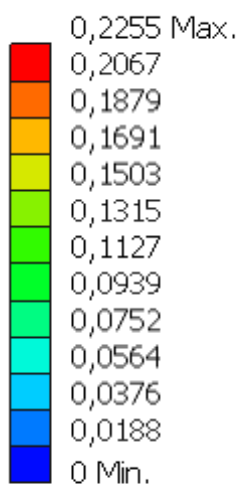
Obr. 37) Napětí v rámu

Typ: Napětí Von Mises  
 Jednotka: MPa



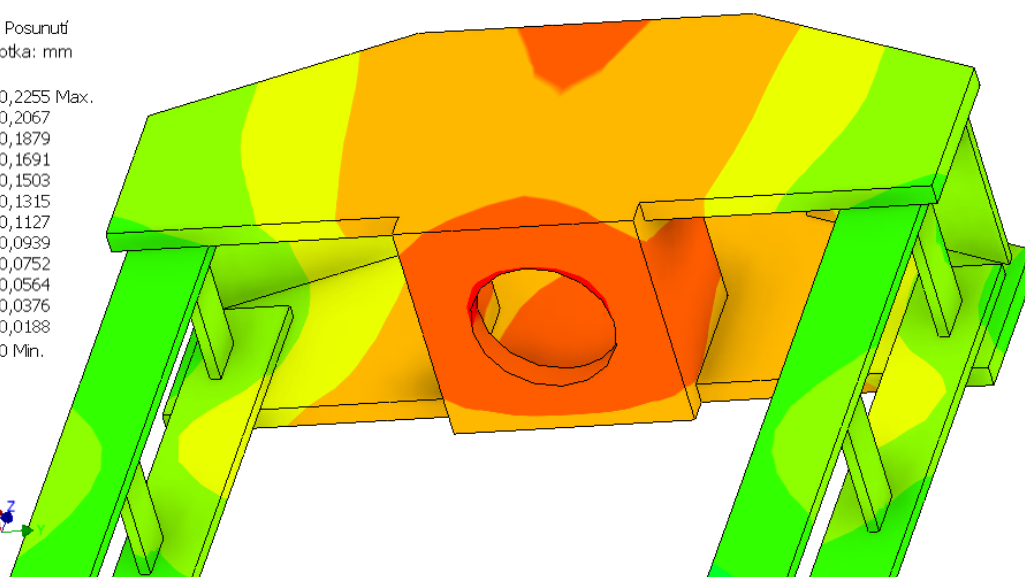
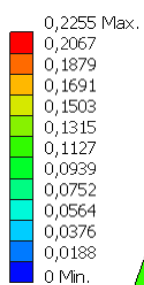
Obr. 38) Detail napětí v horním příčniku

Typ: Posunutí  
Jednotka: mm



Obr. 39) Deformace v rámu

Typ: Posunutí  
Jednotka: mm



Obr. 40) Detail deformací v horním příčniku

## 8 ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce byla rešerže v oblasti tvářecích strojů, dále navrhnout rám tvářecího stroje se jmenovitým zatížením 100 kN, při 5000 pracovních cyklech na den a vypracovat výkres rámu stroje.

Na začátku práce jsem provedl základní rozdělení v oblasti tvářecích strojů, obecný rozbor rámu tvářecích strojů a jejich výrobních technologií. Dále jsem vypracoval přehled tvářecích strojů na soudobém trhu a uvedl jejich stručnou charakteristiku.

V dalších kapitolách jsem se zabýval návrhovým výpočtem a konstrukcí hydraulického dílenského lisu s rámem tvaru O. Nejprve jsem provedl volbu hydromotoru, který vytvoří potřebnou tvářecí sílu 100 kN. Od vybraného hydromotoru jsem dále odvodil základní parametry rámu lisu, délku stojin a šířku rámu. Rám je konstruován jako svarek z materiálu S355J0, materiál jsem zvolil z důvodu dobré svařitelnosti a vhodných mechanických vlastností. Návrhový výpočet rámu lisu jsem zjednodušil na namáhání horního a spodního příčnicku pouze na ohyb a namáhání stojin pouze na tah. Z návrhového výpočtu jsem získal minimální hodnotu průřezového modulu pružnosti v ohybu. Na základě průřezového modulu pružnosti v ohybu jsem navrhl vhodný profil rámu lisu, pro který jsem dále provedl kontrolní výpočet.

Po vyhotovení konstrukce rámu lisu jsem provedl pevnostní analýzu pomocí metody konečných prvků. Pro přesnější výpočet MKP byly odstraněny nežádoucí prvky, které neovlivňovali průběh napětí a dále byly vytvořeny potřebné vazby a pružiny k určení reálnějších výsledků. Maximální napětí bylo vyvozeno ve středu pracovního stolu, kde dosahuje součinitel bezpečnosti hodnoty 5.

Pro konstrukci rámu, pevnostní analýzu a výkresovou dokumentaci byl použit software Autodesk Inventor 2016.

## 9 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] RUDOLF, Bedřich. Tvářecí stroje: základy výpočtů a konstrukce : vysokoškolská učebnice. 2., opr. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1982. Článek
- [2] HÝSEK, Rudolf. Tvářecí stroje 1973. 2., upr. vyd. Praha: SNTL, 1974. Řada strojírenské literatury.
- [3] KAMELANDER, I. Tvářecí stroje I. 3. vydání. Brno : Vysoké učení technické v Čs. redakci VN MON, 1989. str. 206. ISBN 80-214-1037-X.
- [4] RUDOLF, B; KOPECKÝ, M. Tvářecí stroje – základy stavby a využití. 1. vyd. Praha: SNTL, 1985. 405 s. ISBN 04-231-85.
- [5] ČECHURA, M.; STANĚK, J. Tvářecí stroje – Hydraulické lisy. 1. vyd. Plzeň: Vydavatelství západočeské univerzity, 1999. 141 s. ISBN 80-7082-480-8.
- [6] STANĚK, Jiří. Základy stavby výrobních strojů: tvářecí stroje. Plzeň: Západočeská univerzita, 2001. ISBN 80-7082-738-6.
- [7] KOPECKÝ, Miloslav a Bedřich RUDOLF. Tvářecí stroje: mechanické a hydraulické lisy : určeno pro posl. fak. strojní v Praze, Plzni, Brně a Bratislavě. Praha: SNTL, 1967. Učební texty vysokých škol.
- [8] ČECHURA, M., Stanek, J. Tvářecí stroje hydraulické lisy. 1. vydání. Plzeň : Nakladatelství Západočeské univerzity, 1999. str. 141. 55-055-98.
- [9] JANÍČEK, Přemysl a Zdeněk FLORIAN. Mechanika těles: úlohy z pružnosti a pevnosti I. 5. vyd., V Akademickém nakl. CERM 2. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2010. ISBN 978-80-214-4122-4.
- [10] ŽENÍŠEK, J.; JENKUT, M. Výrobní stroje a zařízení. 2. vyd. Praha: SNTL, 1990. 276 s. ISBN 04-222-90.
- [11] POKORNÝ, P. Výrobní stroje II. – Mechanické lisy. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 1998. 123 s.
- [12] doc. Ing. Martin Hynek, PhD. a kolektiv. HYDRAULICKÝ LIS ANALYTICKÝ VÝPOČET [online]. 2014, [cit. 2016-17-05]. Dostupné z: [https://www.kks.zcu.cz/projekty-ver-fin/OPVK\\_PU/KA\\_08/](https://www.kks.zcu.cz/projekty-ver-fin/OPVK_PU/KA_08/)
- [13] ŽĎAS, a.s. [online]. 2014 [cit. 2016-17-05]. Dostupné z: <http://www.zdas.cz/cs/>
- [14] HŠV polička [online]. 2014 [cit. 2016-17-05]. Dostupné z: <http://www.hsypolicka.cz/>
- [15] Šmeral Brno a.s. [online]. 2014 [cit. 2016-17-05]. Dostupné z: <http://www.smeral.cz/>
- [16] Rakovnické tvářecí stroje s.r.o. [online]. 2014 [cit. 2016-17-05]. Dostupné z: <http://www.tosrakovnik.cz/>
- [17] HYDRAULICS s.r.o. [online]. 2014 [cit. 2016-17-05]. <http://www.hydraulics.cz/>

## 10 SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK

### 10.1 Seznam tabulek

TAB 1) PARAMETRY HYDROMOTORU.....	30
TAB 2) PARAMETRY PRO PŘÍRUBU HYDRAULICKÉHO VÁLCE.....	30

### 10.2 Seznam obrázků

OBR. 1) TVÁŘECÍ STROJE S PŘÍMOČARÝM RELATIVNÍM POHYBEM VÝSTUPNÍHO ČLENU .....	17
OBR. 2) TVÁŘECÍ STROJE S NEPŘÍMOČARÝM RELATIVNÍM POHYBEM VÝSTUPNÍHO ČLENU .....	17
OBR. 3) SILOVÝ TVÁŘECÍ STROJ (HYDRAULICKÝ LIS).....	18
OBR. 4) ENERGETICKÝ TVÁŘECÍ STROJ (BUCHAR).....	19
OBR. 5) ZDVIHOVÝ TVÁŘECÍ STROJ (KLIKOVÝ LIS) .....	20
OBR. 6) OTEVŘENÉ STOJANY [6] .....	21
OBR. 7) UZAVŘENÉ STOJANY [6] .....	21
OBR. 8) KONSTRUKCE OTEVŘENÝCH RÁMŮ.....	22
OBR. 9) OTEVŘENÝ RÁM UNIVERZÁLNÍHO HYDRAULICKÉHO LISU ....	23
OBR. 10) MECHANICKÝ KLIKOVÝ LIS ŘADY .....	24
OBR. 11) HYDRAULICKÝ DOLŮTAŽNÝ KOVACÍ LIS.....	24
OBR. 12) KLIKOVÝ LIS JEDNOBODOVÝ ŘADY .....	25
OBR. 13) VÝSTŘEDNÍKOVÝ LIS.....	26
OBR. 14) UNIVERZÁLNÍ HYDRAULICKÝ LIS .....	26
OBR. 15) UNIVERZÁLNÍ HYDRAULICKÝ STOLNÍ LIS.....	27
OBR. 16) DÍLENSKÝ HYDRAULICKÝ LIS ŘADY CDSR .....	27
OBR. 17) DÍLENSKÝ HYDRAULICKÝ LIS ŘADY CDMR.....	28
OBR. 18) PŘÍMOČARÝ HYDROMOTOR.....	29
OBR. 19) PŘÍRUBA HYDRAULICKÉHO VÁLCE.....	30
OBR. 20) ZJEDNODUŠENÝ MODEL NAMÁHÁNÍ RÁMU HYDRAULICKÉHO LISU .....	31
OBR. 21) ZJEDNODUŠENÝ MODEL ZATÍŽENÍ HORNÍHO PŘÍČNÍKU .....	32
OBR. 22) UVOLNĚNÍ HORNÍHO PŘÍČNÍKU .....	32
OBR. 23) PRŮBĚH POSOUVAJÍCÍCH SIL V HORNÍM PŘÍČNÍKU.....	33
OBR. 24) PRŮBĚH OHYBOVÉHO MOMENTU V HORNÍM PŘÍČNÍKU .....	33

OBR. 25) PRŮŘEZ HORNÍM PŘÍČNÍKEM.....	34
OBR. 26) ZJEDNODUŠENÝ MODEL ZATÍŽENÍ SPODNÍHO PŘÍČNÍKU .....	35
OBR. 27) UVOLNĚNÍ SPODNÍHO PŘÍČNÍKU .....	35
OBR. 28) PRŮBĚH POSOUVAJÍCÍCH SIL VE SPODNÍM PŘÍČNÍKU .....	36
OBR. 29) PRŮBĚH OHYBOVÉHO MOMENTU VE SPODNÍM PŘÍČNÍKU.....	36
OBR. 30) PRŮŘEZ SPODNÍM PŘÍČNÍKEM .....	37
OBR. 31) PRŮŘEZ STOJINOU .....	38
OBR. 32) ZJEDNODUŠENÉ ZATÍŽENÍ STOJINY .....	39
OBR. 33) VLASTNÍ KONSTRUKCE RÁMU.....	41
OBR. 34) ZNÁZORNĚNÍ PEVNÝCH VAZEB, ZATÍŽENÍ ČTVERCOVÉ PŘÍRUBY .....	43
OBR. 35) ZNÁZORNĚNÍ BOČNÍCH VAZEB, ZATÍŽENÍ PRACOVNÍHO STOLU .....	44
OBR. 36) ZNÁZORNĚNÍ PŘÍDAVNÝCH PRUŽIN.....	44
OBR. 37) NAPĚTÍ V RÁMU .....	45
OBR. 38) DETAIL NAPĚTÍ V HORNÍM PŘÍČNÍKU .....	45
OBR. 39) DEFORMACE V RÁMU .....	46
OBR. 40) DETAIL DEFORMACÍ V HORNÍM PŘÍČNÍKU .....	46

## 11 SEZNAM PŘÍLOH

Výkres sestavy hydraulického lisu

Výkres svarku rámu

CD