

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: B 2301 Strojní inženýrství
Studijní zaměření: Stavba výrobních strojů a zařízení

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Dolůtažný kovací klikový lis

Autor: **Radim KUKLA**

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

Akademický rok 2017/2018

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Radim KUKLA**
Osobní číslo: **S17B0328P**
Studijní program: **B2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Stavba výrobních strojů a zařízení**
Název tématu: **Dolůtažný kovací klikový lis**
Zadávající katedra: **Katedra konstruování strojů**

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

Základní požadavky:

V úvodu práce bude provedena rešerše na téma kovací lisu a spodní pohon. V práci budou vypracovány varianty konstrukčních řešení lisu a jeho pohonu. Pro vybranou variantu 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 kovací lisu a spodní pohon
2. Návrh konstrukčních variant
3. Konstrukční návrh zvoleného řešení
4. 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. Tvárnice 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, 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: **19. září 2017**
Termín odevzdání bakalářské práce: **21. května 2018**


Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.
děkan




Doc. Ing. Václav Jabloň, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 19. září 2017

Prohlášení o autorství

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

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

V Plzni dne:

.....

podpis autora

ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Kukla	Jméno Radim	
STUDIJNÍ OBOR	B2301/SVSZ „Stavba výrobních strojů a zařízení“		
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	Dolůtažný kovací klikový lis		

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KKS	ROK ODEVZD.	2018
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	61	TEXTOVÁ ČÁST	54	GRAFICKÁ ČÁST	7
---------------	----	---------------------	----	----------------------	---

<p style="text-align: center;">STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</p> <p style="text-align: center;">ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</p>	<p>Bakalářská práce je zaměřena na nekonvenční řešení kovacího klikového lisu se spodním pohonem. V práci je uveden návrh tohoto tvářecího stroje od několika koncepčních variant až po konstrukční řešení jedné zvolené varianty. V konstrukčním řešení je zahrnuto stanovení základních parametrů stroje a technické výpočty vybraných částí lisu. Na základě výsledků výpočtů je vytvořen virtuální model lisu v programu Siemens NX a následně provedena virtuální simulace pro zatížení lisu ve třech různých situacích. K práci je zhotovena také výkresová dokumentace vybraných částí lisu.</p>
<p style="text-align: center;">KLÍČOVÁ SLOVA ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</p>	<p style="text-align: center;">tvářecí stroj; klikový lis; spodní pohon; konstrukční návrh; virtuální model; MKP; výkresová dokumentace</p>

SUMMARY OF BACHELOR SHEET

AUTHOR	Surname Kukla	Name Radim	
FIELD OF STUDY	B2301/SVSZ „Design of Manufacturing Machines and Equipment“		
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	Forging press with bottom drive		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	Machine Design	SUBMITTED IN	2018
----------------	------------------------	-------------------	----------------	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	61	TEXT PART	54	GRAPHICAL PART	7
----------------	----	------------------	----	-----------------------	---

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	<p>The bachelor thesis is focused on the unconventional solution of forging crank press with bottom drive. In the thesis there is presented a design of this forming machine from several conceptual variants to a design solution of one chosen variant. The design solution includes the determination of basic machine parameters and technical calculations of selected press parts. Based on the results of the calculations, a virtual press model is created in the Siemens NX program and then a virtual simulation for the press load in three different situations. To this thesis is also completed a drawing documentation of selected press parts.</p>
KEY WORDS	forming machine; crank press; bottom drive; mechanical design; virtual model; FEM; drawing documentation

Poděkování

Rád bych věnoval poděkování panu Doc. Ing. Janu Hlaváčovi, Ph.D. za jeho podporu a cenné rady poskytnuté při psaní této bakalářské práce.

Obsah a seznam příloh

Přehled použitých zkratk a symbolů.....	9
1 Úvod.....	11
2 Teoretický úvod z oblasti klikových lisů.....	12
3 Princip zápusťkového kování.....	14
4 Rešerše kovacíh klikových lisů.....	16
4.1 Firmy na českém trhu	16
4.1.1 Firma Šmeral Brno a.s.	16
4.2 Firmy na zahraničním trhu.....	17
4.2.1 Firma SCHULER.....	17
4.2.2 Firma Ajax-CECO	17
4.2.3 Firma TMP.....	17
4.2.4 Firma STAMTEC	17
4.2.5 Firma Sumitomo Heavy Industries, Ltd.....	18
5 Koncepční návrh variant klikového lisu se spodním pohonem	19
5.1 Koncepční varianta klikového lisu s horním pohonem.....	19
5.2 Koncepční varianta lisu se spodním pohonem – varianta A – pohon na střední příčce.....	20
5.3 Koncepční varianta lisu se spodním pohonem – varianta B – pohon na základu	22
5.4 Koncepční varianta lisu se spodním pohonem – varianta C – dvojitý pohon na střední příčce.....	23
5.5 Koncepční varianta lisu se spodním pohonem – varianta D – pohon na spodní pohyblivé příčce	25
5.6 Koncepční varianta lisu se spodním pohonem – varianta E – pohon na základu s dvěma klikovými hřídeli	26
5.6.1 Varianta 1 - 1 pohon; hnací hřídel pohání dvě hnané hřídele	28
5.6.2 Varianta 2 - 1 pohon; hnací hřídel pohání více hnaných hřídelí	29
5.6.3 Varianta 3 - dvě hnací hřídele se samostatnými pohony.....	30
5.7 Hodnocení koncepčních variant klikového lisu se spodním pohonem	30
6 Konstrukční řešení klikového lisu se spodním pohonem pro variantu A (pohon na střední příčce).....	33
6.1 Základní technické parametry stroje.....	33
6.2 Technické výpočty pro určení vstupních rozměrů stojanu lisu.....	34
6.2.1 Výpočet maximální síly ve sloupu a kotvě	34
6.2.2 Výpočet staticky neurčitého momentu.....	37
6.2.3 Výpočet normálových, tečných a redukovaných napětí na příčce a sloupu.....	39
6.2.4 Výpočet závitů kotvy	40
7 Virtuální simulace	42
7.1 Virtuální model.....	42
7.2 Síťový model	43
7.3 Okrajové podmínky simulace a silové zatížení	44
7.4 Výsledky simulace.....	46
7.4.1 Výsledky napětí pro centrické zatížení stroje	46
7.4.2 Výsledky napětí pro excentrické zatížení stroje.....	48
7.4.3 Výsledky napětí pro zatížení stroje při předeprnutí.....	50

8	Závěr.....	52
	Seznam použité literatury.....	53
	Seznam použitých obrázků	54
	Příloha A: Rešerše kovací lisů o jmenovité síle 10 – 25 MN	
	Příloha B: Výkresová dokumentace klikového lisu se spodním pohonem (BP - ZČU - 01 a BP - ZČU - 02)	

Přehled použitých zkratk a symbolů

ω	[rad/s]	úhlová rychlost
r	[m]	poloměr kliky
h	[m]	obecný zdvih
H	[m]	pracovní zdvih
F_j	[MN]	jmenovitá síla lisu
l	[mm]	vzdálenost mezi sloupy braná od středu průřezu
e	[mm]	excentricita
σ_D	[MPa]	dovolené napětí
R_e	[MPa]	napětí na mezi kluzu
F_{smax}	[N]	maximální síla ve sloupu
F_{smin}	[N]	minimální síla ve sloupu
F_p	[N]	předepínací síla
F_{kmax}	[N]	maximální síla v kotvě
k_k	[N/mm]	tuhost kotvy
k_{rs}	[N/mm]	tuhost rozpěrného sloupu
E	[MPa]	modul pružnosti v tahu
$\varnothing d_k$	[mm]	průměr kotvy
l_k	[mm]	délka kotvy
l_{rs}	[mm]	délka průřezu rozpěrného sloupu
h_{rs}	[mm]	šířka průřezu rozpěrného sloupu
t_{rs}	[mm]	tloušťka plechu rozpěrného sloupu
h	[mm]	délka kotvy k neutrální ose
J_l	[mm ⁴]	kvadratický moment průřezu příčky
J_h	[mm ⁴]	kvadratický moment průřezu sloupu
Δl	[mm]	prodloužení při deformaci
F	[N]	provozní síla
M_j	[N · mm]	staticky neurčitý moment
a	[mm]	výška průřezu horní příčky
b	[mm]	šířka průřezu horní příčky
c	[mm]	vnitřní šířka průřezu horní příčky
d	[mm]	vnitřní výška průřezu horní příčky
t_p	[mm]	tloušťka plechu horní příčky
σ_{op}	[MPa]	napětí v ohybu na horní příčce

M_{op}	$[N \cdot mm]$	ohybový moment horní příčky
W_{op}	$[mm^3]$	modul průřezu v ohybu horní příčky
τ_{Sp}	$[MPa]$	napětí ve smyku na horní příčce
S_p	$[mm^2]$	plocha horní příčky
$\bar{\sigma}_{redp}$	$[MPa]$	redukované napětí na horní příčce
$\bar{\sigma}_{ors}$	$[MPa]$	napětí v ohybu u rozpěrného sloupu
W_{ors}	$[mm^3]$	modul průřezu v ohybu rozpěrného sloupu
S_{rs}	$[mm^2]$	plocha rozpěrného sloupu
$\sigma_{drs predep}$	$[MPa]$	napětí v tlaku u rozpěrného sloupu při předepnutí
$\sigma_{drs prac}$	$[MPa]$	napětí v tlaku u rozpěrného sloupu při pracovní síle
F_{prac}	$[N]$	pracovní síla lisu
$\bar{\sigma}_{redrs}$	$[MPa]$	redukované napětí u rozpěrného sloupu
$\varnothing D$	$[mm]$	vnější průměr závitu
$\varnothing d_1$	$[mm]$	vnitřní průměr závitu
s	$[mm]$	stoupání závitu
k	$[-]$	počet nosných závitů
$\bar{\sigma}_{tk}$	$[MPa]$	napětí v tahu v jádru závitu na kotvě
P_z	$[MPa]$	tlak v závitu na kotvě
P_D	$[MPa]$	dovolený tlak v závitu na kotvě

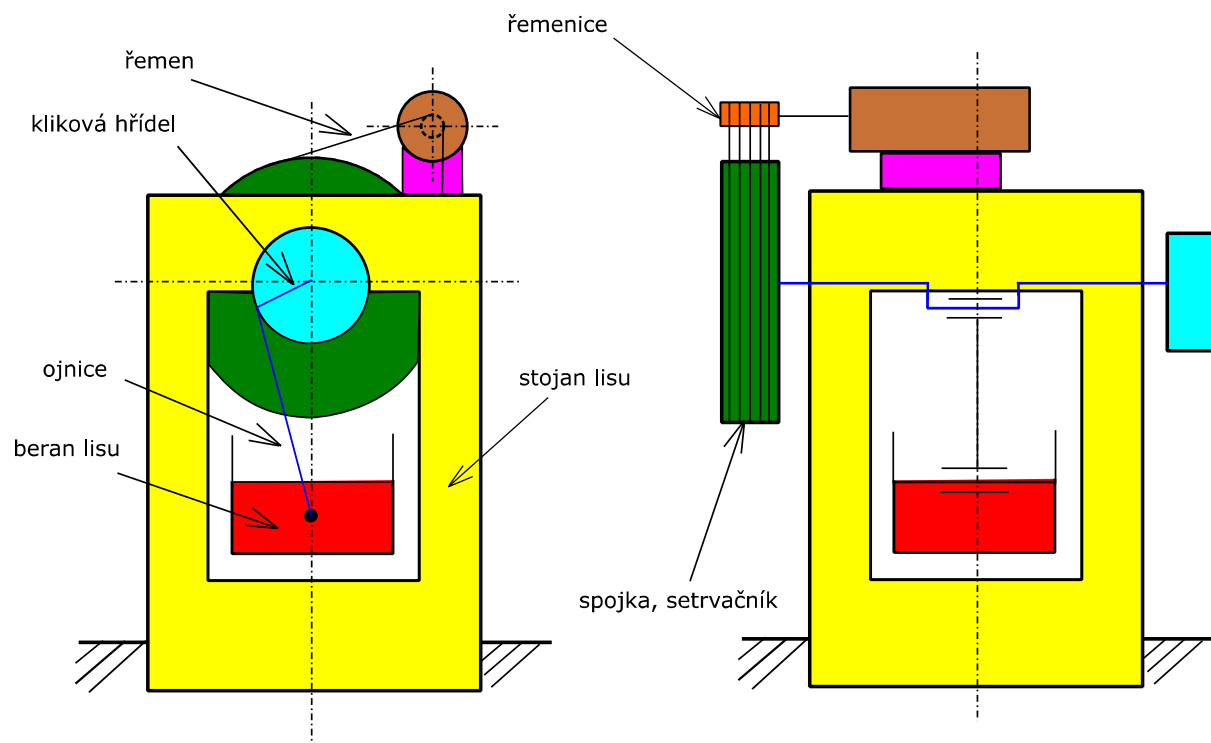
1 Úvod

Návrh klikového lisu se spodním pohonem se zrodil s myšlenkou, zda by bylo možné zmenšit výšku stroje nad podlahou a tím pádem by vznikla možnost umístit stroj i do výrobních hal s malou výškou stropu. Aby bylo možné zmenšit výšku stroje nad podlahou, je nutno přemístit pohon a tím pádem změnit i celkovou strukturu stroje, tak, aby byl zachován základní princip činnosti.

Na následujících stranách je podrobně popsán návrh a konstrukční řešení tohoto stroje od návrhu jednotlivých variant až po konstrukční řešení zvolené varianty zahrnující všechny potřebné technické i kontrolní výpočty. Před samotným návrhem stroje, je však ještě popsán teoretický základ principu činnosti klikových lisů a princip zápustkového kování pro lepší pochopení principu tváření materiálu, který používají tyto stroje a také provedena důkladná rešerše klikových lisů se spodním i horním pohonem vybraných výrobců.

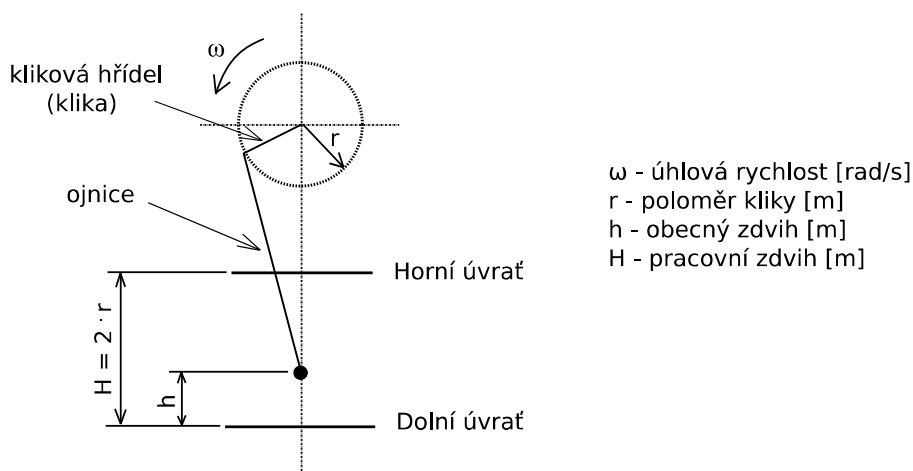
2 Teoretický úvod z oblasti klikových lisů

Klikové lisy slouží stejně jako ostatní tvářecí stroje ke zpracování kovů. Jedná se o tvářecí stroj, jehož činnost zajišťuje klikový mechanismus. Klikový lis se skládá z několika částí, mezi které patří stojan lisu, beran, klikový mechanismus a pohonný systém. Pohon se skládá z motoru, setrvačnicku, spojky, brzdy, řemenice a řemenu. Celkové rozložení jednotlivých částí je možno vidět na zjednodušeném obrázku klikového lisu, umístěném níže (viz Obrázek 1).



Obrázek 1: Klikový lis

Klikový mechanismus má za úkol převádět rotační pohyb klikového hřídele od motoru na posuvný pohyb výstupního členu lisu (beranu). Velikost výstupní síly na beranu je závislá na velikosti hnacího momentu a poloze klikové hřídele, tedy i na pracovním zdvihu klikového mechanismu, který je dán vzdáleností mezi horní a dolní úvratí mechanismu (viz Obrázek 2) [3].



Obrázek 2: Klikový mechanismus

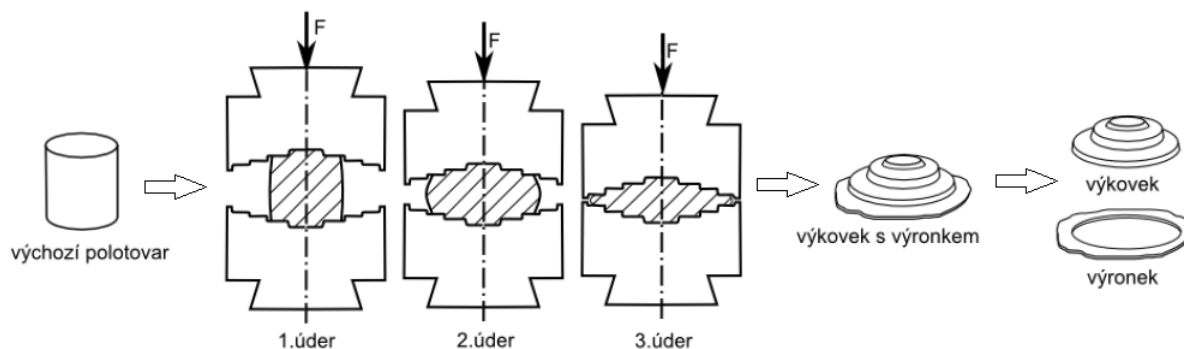
O principu činnosti klikového lisu by zde mohlo být napsáno spoustu stran teorie, to však není hlavním cílem této práce. Obsah textu uvedený výše je pouze stručným teoretickým úvodem z oblasti klikových lisů. Tento obsah je však velmi důležitý pro pochopení základního principu činnosti klikových lisů a porozumění celkové struktury těchto tvářecích strojů, neboť veškeré tyto poznatky jsou aplikovány při konstrukčním návrhu klikového lisu se spodním pohonem, o němž pojednává tato bakalářská práce.

3 Princip zápustkového kování

Zápustkové kování je technologie sloužící k výrobě velkého množství tvarově stejných součástí z oceli, případně jiných tvářitelných materiálů. Nástroj, který je používán při tomto typu kování, se nazývá zápustka. Zápustka je obvykle dvoudílná. Hlavními přednostmi zápustkového kování jsou především vysoká výkonnost, účinnost a efektivnost výroby a snadná obsluha stroje. Nevýhodou je ale rozměrová a hmotnostní omezenost výkovků [4].

Proces zápustkového kování probíhá tak, že je ohřátý materiál tvářen v dutině zápustky, jejíž tvar je shodný s tvarem daného výkovku. Rozměry jsou však zvětšeny o hodnotu smrštění vychladlého výkovku. Zápustkovým kovááním je dosahováno přesnějšího tvaru výkovku, než je možno dosáhnout volným kovááním. Zároveň je tímto kovááním dosahováno vysokého stupně prokování [4].

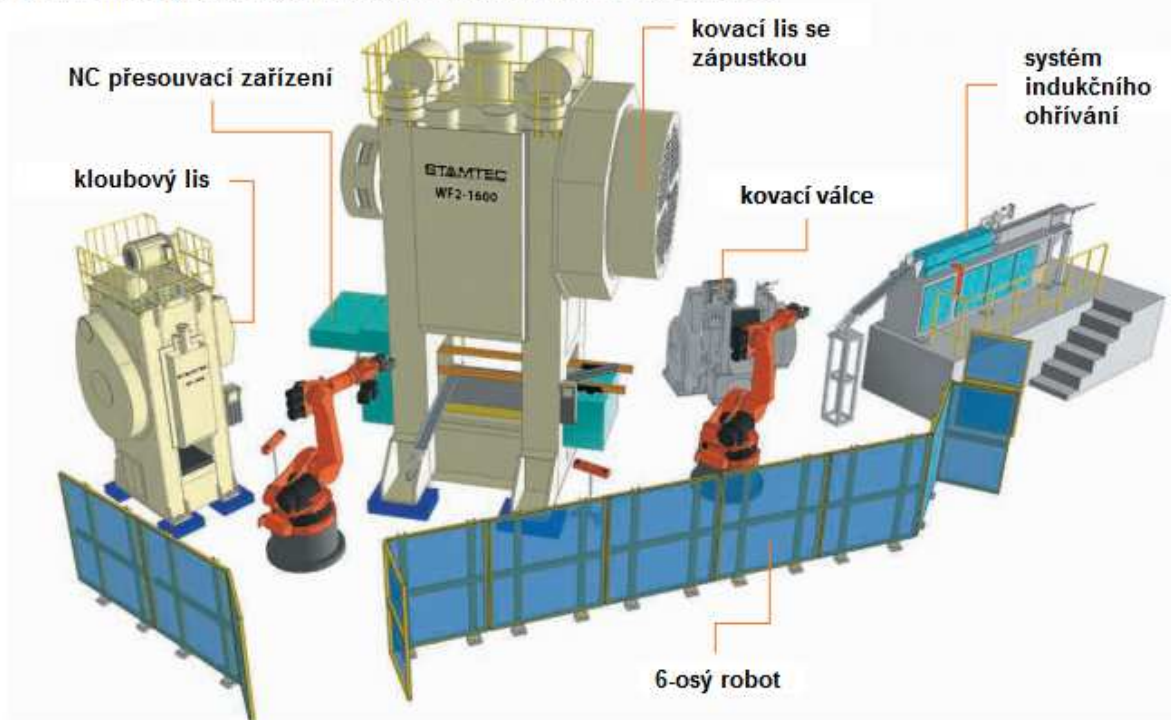
Samotný postup tváření je takový, že je výchozí polotovár, ohřátý na potřebnou kovací teplotu, vložen do dutiny zápustky a je na něj působeno tlakem nebo úderem tvářecího stroje. Při posledním úderu stroje dochází ke vzniku výkovku požadovaných rozměrů a tvaru spolu s výronkem, který je následně odstřižen od výkovku. Celý tento postup je znázorněn na následujícím obrázku (viz Obrázek 3) [4].



Obrázek 3: Postup zápustkového kování [4]

Zápustky mohou být jednodutinové (jednoduché), které jsou používány pro jednoduché tvary výkovků nepotřebující předkování, nebo vícedutinové (postupové) zápustky, jež jsou používány pro složitější tvary výkovků. Dutina zápustky je zaplňována buď vtlačováním, nebo pěchováním, které je lepší a efektivnější. Při kováání na bucharech je zápustková dutina vyplňována postupně během několika úderů beranu, zatímco při kováání na lisech je výkovek zhotoven během jednoho případně několika pracovních zdvihů (v sobě jdoucích zápustkách). Vzhledem ke tvaru výkovku je většinou zapotřebí více dutin. Proto jsou u složitějších výkovků zpravidla hojně využívány postupové zápustky, které disponují předkovacími dutinami a dokončovacími dutinami. Tento druh zápustkového kování je nejefektivnější ale zároveň nejnákladnější [4]. Z tohoto důvodu jsou často v hromadné či sériové výrobě využívány výrobní linky, skládající se z více strojů určených pro rozdílné výrobní operace, díky čemuž je celá výroba daného dílu méně nákladná. Celý tento proces je znázorněn na následujícím obrázku (viz Obrázek 4), na kterém je zobrazena výrobní linka využívající různé stroje firmy STAMTEC, o kterých si povíme více v rešerši klikových lisů v následující kapitole.

Výrobní linka pro výrobu výkovků s více výrobními operacemi



Obrázek 4: Výrobní linka firmy STAMTEC [8]

Z obrázku je patrné, že se jedná o zautomatizovanou výrobní linku, neboť jsou zde využívány mechanické roboty určené pro manipulaci polotovaru mezi jednotlivými výrobními stroji. Celý proces začíná ohřátím polotovaru na požadovanou teplotu v indukční stanici, ze které je ohřátý polotovar přenesen 6-osým robotem na kovací válce, kde je polotovar předkovanán pro následné kovací operace. Odtud je polotovar opět pomocí robota přenesen do kovacího lisu se zápustkou, kde je polotovar dále za tepla tvářen do požadovaného tvaru. Poté je předchozí operací vzniklý výkovek přemístěn na NC přesouvací zařízení, ze kterého je robotem přenesen do kloubového lisu, kde jsou zhotoveny závěrečné operace s výkovkem.

Takto zautomatizované výrobní linky jsou dnes používány v mnoha výrobních provozech po celém světě. Jedná se o moderní, účinný a ekonomicky výhodný výrobní postup, který nabízí zároveň vysokou úroveň bezpečnosti práce.

4 Rešerše kovacíh klikových lisů

Na českém i světovém trhu je možno najít mnoho firem, které se zabývají výrobou mechanických kovacíh lisů. Při důkladném zkoumání firem na trhu, bylo nutno stanovit určitá kritéria, podle kterých byla následně provedena rešerše klikových lisů. Nejprve bylo nutno stanovit, jaké typy kovacíh klikových lisů je třeba vyhledat. Na základě účelu, pro který má být stroj, o němž pojednává tato práce, vytvořen, bylo rozhodnuto, že se při zkoumání jednotlivých výrobců, zaměřím na klikové lisy, určené pro zápustkové kování za tepla. Dále bylo třeba určit nějaké kritérium, podle kterého by byly vybírány jednotlivé typy klikových kovacíh lisů od daných výrobců, neboť každý výrobce nabízí široké spektrum strojů určených pro tento typ tváření. Z tohoto důvodu byla jako rozhodujícím kritériem při výběru jednotlivých strojů zvolena jmenovitá pracovní síla, jejíž rozsah byl zvolen v rozmezí 10 – 25 MN. Na základě tohoto kritéria bylo rozhodnuto, že budou v rešerši vynechány klikové lisy určené pro plechařský průmysl, neboť mají výrazně větší pracovní prostor. Posledním důležitým faktem, jež bylo třeba zohlednit při výběru výrobců, bylo, v závislosti na zadání práce, vyhledat takové výrobce, které se zabývají výrobou klikových lisů se spodním pohonem. Takovéto klikové lisy nejsou ale v žádné známé firmě vyráběny. Z tohoto důvodu byla provedena rešerše pouze na klikové kovací lisy s horním pohonem. Důvodem, proč nejsou tyto lisy vyráběny, je prostý fakt, že je spodní pohon využíván především a pouze u hydraulických lisů.

Při průzkumu celosvětového trhu byla provedena rešerše celkem 6 vybraných firem, jejichž stroje byly porovnány do tabulky podle 9 zvolených technických parametrů. Tabulka je součástí příloh této práce (viz Příloha A) a je vložena volně za vázanou částí celé dokumentace. Porovnání jednotlivých strojů je v souladu se zvolenými kritérii uvedenými výše.

4.1 Firmy na českém trhu

Mezi přední české výrobce patří firmy ŽĎAS a.s. a Šmeral Brno a.s. Jedná se o české firmy s mnohaletou tradicí a zkušenostmi v oblasti vývoje a konstrukce tvářecích strojů. Firma ŽĎAS a.s. vyrábí, mimo jiných tvářecích strojů, lisy mechanické i hydraulické, určené především pro plošné tváření z plechu a objemové tváření z kovového masivu. Při bližším zkoumání produktů této firmy, bylo zjištěno, že nevyhovují zvoleným kritériím pro výběr strojů pro tuto rešerši. Z tohoto důvodu nebyla firma ŽĎAS a.s. zahrnuta do rešerše.

4.1.1 Firma Šmeral Brno a.s.

Firma Šmeral Brno a.s. se zabývá vlastní výrobou tvářecích strojů již od roku 1925. Ve svém výrobním programu se věnuje zejména výrobě mechanických lisů, určených ke kování a jiným výrobním operacím, dále hydraulickým lisům a bucharům. V současnosti jsou základem výrobního programu také tvářecí linky, o kterých byla řeč v předchozí kapitole. Z velkého množství nabízených strojů byly zvoleny, za nejvhodnější stroje pro porovnání, svislé kovací lisy řady LZK a LMZ [9].

4.2 Firmy na zahraničním trhu

Na zahraničním trhu se nachází velké množství firem, které patří mezi kvalitní a známé výrobce tvářecích strojů. Při důkladném zkoumání zahraničního trhu byly nakonec zvoleny následující firmy, jako nejvíce vyhovující s ohledem na zvolená kritéria.

4.2.1 Firma SCHULER

Jedná se o německou firmu, jejíž vznik je datován roku 1839. Od tohoto roku se firma značně vyvíjela a rozrůstala a stala se symbolem té nejvyšší kvality v oblasti tvářecích strojů s pobočkami po celém světě včetně USA, Indie a Číny. Dnes firma nabízí obrovské spektrum všech tvářecích strojů pro všechny možné výrobní operace. Firma se také specializuje na automatizované výrobní linky. Pro rozsah této práce jsou však nejdůležitější kovací klikové lisы se zápustkou, které firma vyrábí s dlouholetou tradicí. Při bližším zkoumání produktů bylo zjištěno, že uvedenému kritériu rozsahu jmenovité pracovní síly vyhovují pouze dva stroje a to PK 1250 a PK 2000 [6].

4.2.2 Firma Ajax-CECO

Tato společnost byla založena v roce 1875 v Ohiu a zaměřuje se na výrobu zejména kovacích lisů. Firma si postupem času získala dobrou pověst a za posledních 100 let vyrobila velké množství kovacích strojů, které jsou dnes nainstalovány ve výrobních halách po celém světě [2]. Firma nabízí volně šiřitelnou brožuru, ze které byly vybrány stroje vhodné do rešerše. Celkem bylo vybráno 5 strojů, jež splňovalo kritéria výběru. Jednotlivé stroje nemají samostatné značení, protože výrobní řada těchto strojů se rozlišuje podle síly stroje.

4.2.3 Firma TMP

V současnosti se jedná o jednu z největších ruských firem v oblasti produkce kovacích lisů. První výroba strojů začala v roce 1953 a od té doby firma vyrobila přes 13 000 kovacích lisů a automatizovaných výrobních linek, které jsou dnes rozmístěny ve výrobních halách v přibližně 54 zemích světa. Firma si získala také velikou reputaci díky faktu, že vyrobila 8 ze 17 unikátních kovacích klikových lisů se silou přes 10 000 t, které byly vyrobeny v celém světě [11]. Pro porovnání s ostatními výrobci kovacích lisů bylo do rešerše vybráno celkem 7 strojů, které tato firma vyrábí.

4.2.4 Firma STAMTEC

Jedná se o velkou společnost, která má tři velké pobočky v Číně, Taiwanu a Manchesteru. Je to jeden z největších výrobců kovacích lisů na světě. Celá společnost prodala přes 50 000 lisů do přibližně 40 zemí světa. Roční produkce všech 3 poboček činí zhruba 3 000 lisů, jejichž kvalita odpovídá nejvyššímu standardu současného trhu [7]. V rešerši byly použity celkem 3 modely klikových kovacích lisů řady WF2. Dva z těchto modelů jsou navíc vyráběny s odlišnými výkony motorů, proto byly v rešerši rozděleny zvlášť jako typ F a G.

4.2.5 Firma Sumitomo Heavy Industries, Ltd.

Jedná se o japonskou společnost, která se honosí bohatou historií a dnes nabízí velké množství produktů nejen v oblasti tváření. Společnost se mimo jiné zabývá výrobou kovacích lisů, které jsou opatřeny známkou vysoké kvality [13]. Kovací lisy jsou produkovány ve čtyřech výrobních řadách, z nichž dvě byly vybrány do rešerše pro porovnání s ostatními firmami popsány výše. Jedná se o výrobní řady FPX a FPW. Stroje z těchto výrobních řad jsou vyráběny z hlediska konstrukce jako dvoubodové. Celkem bylo do porovnání s ostatními stroji přidáno 5 modelů těchto dvou výrobních řad.

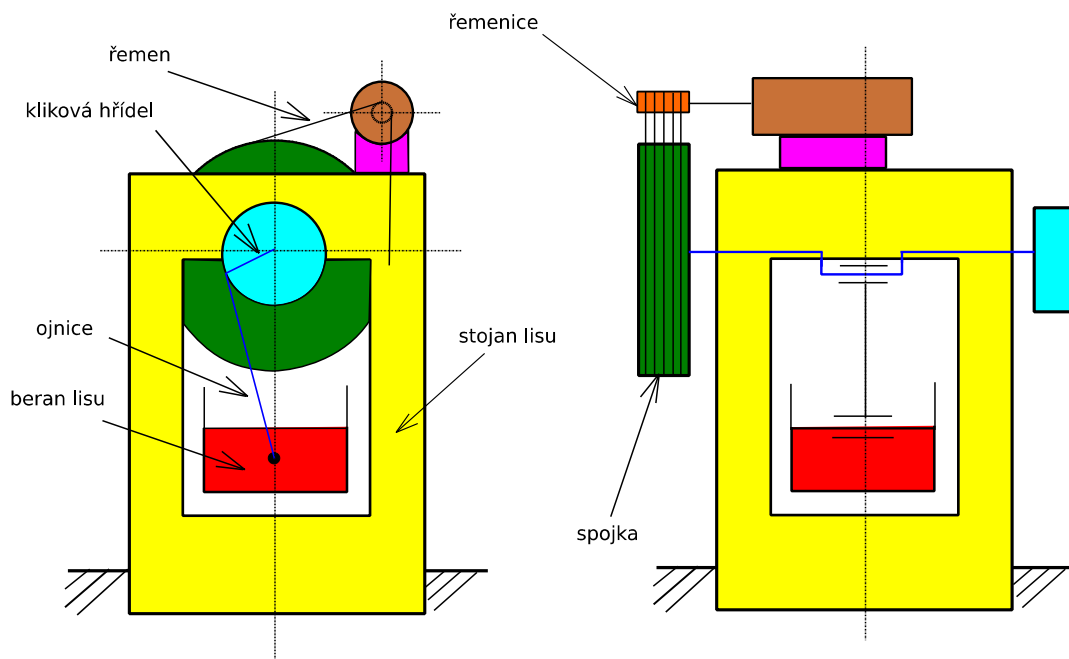
Na závěr této rešerše bych ještě rád zmínil firmu **ERIE Press Systems**, která je rovněž velmi známou firmou v oblasti tvářecích strojů, kovací lisy nevyjímaje. Stroje této firmy jsou vyráběny s mnoholetými zkušenostmi a tradicí, kterou si tato firma postupně vybudovala napříč celým světem. Firma produkuje stroje až do hmotnosti 12 000 tun [16]. Důvodem, proč nebyla tato firma zahrnuta do rešerše, je fakt, že jsem neměl dostatek podkladů o jednotlivých typech strojů, jež firma vyrábí.

5 Koncepční návrh variant klikového lisu se spodním pohonem

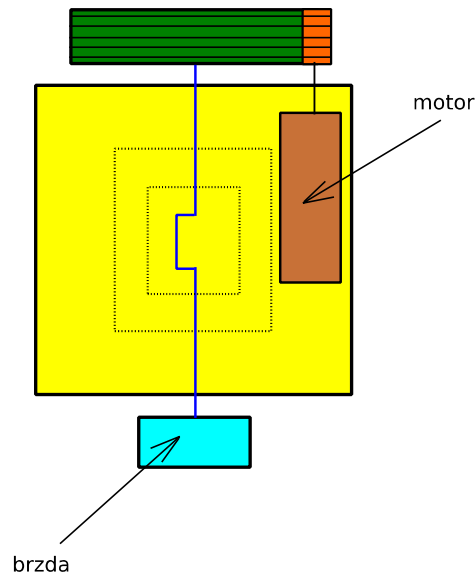
Jak již bylo řečeno v první kapitole, tak při navrhování konceptních variant klikového lisu se spodním pohonem, bylo nutno dodržet základní princip činnosti, které využívají tyto tvářecí stroje. Aby byl tento princip zachován, bylo nutno při změně polohy pohonného systému stroje, provést jeho přemístění tak, aby jednotlivé části pohonu vykonávaly stejnou pracovní funkci, jako u klikového lisu se standardní koncepcí, kdy je pohon umístěn v horní příčce rámu stroje. Na základě tohoto faktu bylo vytvořeno několik konceptních variant klikového lisu, které se odlišují umístěním pohonného systému stroje. Každá varianta má svá pozitiva i negativa, jež budou detailněji rozebrána u jednotlivých konceptních variant a zohledněna při výběru nejvhodnější varianty, uvedeném v této kapitole. Nyní představím jednotlivé konceptní varianty lisu se spodním pohonem. Dříve, než tak učiním, si ovšem ještě ukážeme konceptní variantu standardního klikového lisu a uvedu její výhody i nevýhody. Tento krok je potřebný pro lepší pochopení rozdílů mezi variantami lisů s horním a spodním pohonem.

5.1 Konceptní varianta klikového lisu s horním pohonem

Jedná se o standardní variantu klikového kovacího lisu, která má pohonný systém umístěný v horní příčce rámu lisu. Na následujících obrázcích je možno vidět konstrukční uspořádání jednotlivých částí tohoto lisu (viz Obrázek 5 a Obrázek 6).



Obrázek 5: Klikový lis s horním pohonem - pohled zepředu a z boku



Obrázek 6: Klikový lis s horním pohonem - pohled shora

Výhody:

- snadná montáž lisu
- snadná údržba lisu a výměna součástí
- dobrý přístup do pracovního přístupu
- nenáročné provedení základu stroje

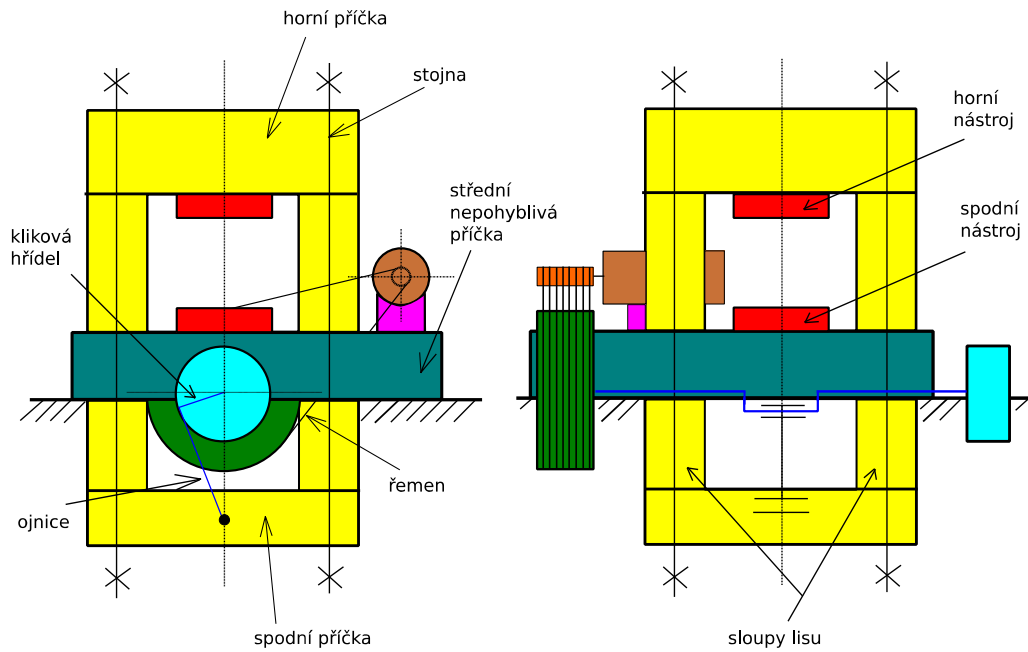
Nevýhody:

- velká výška lisu nad podlahou

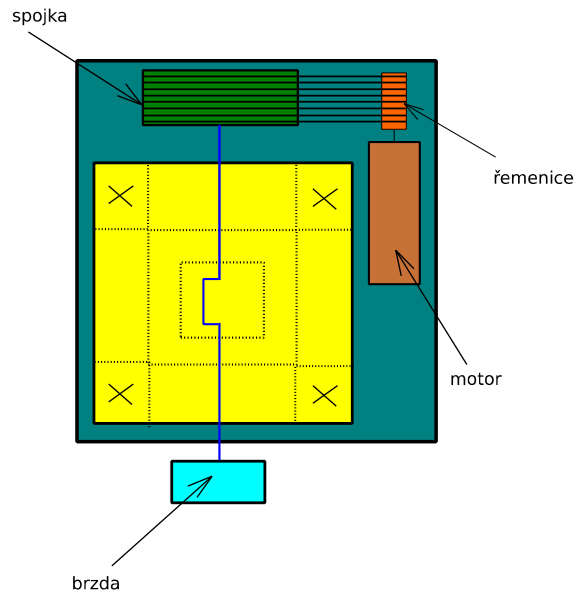
Z předchozího výčtu výhod a nevýhod je patrné, že se jedná o dobrou variantu klikového lisu, u níž je však zapotřebí větší výška stropu výrobní haly. Aby byl tento nedostatek eliminován, došlo k návrhu následujících variant klikového lisu, u kterých je pohon umístěn na vhodnějším místě z hlediska výšky lisu.

5.2 Koncepční varianta lisu se spodním pohonem – varianta A – pohon na střední příčce

Jedná se o první koncepční návrh varianty klikového lisu se spodním pohonem. Tato varianta obsahuje rám, který je složen z více částí, jež jsou vzájemně propojeny kotvami. Pohon je umístěn na střední nepohyblivé příčce, jak můžete vidět na obrázcích na následující straně (viz Obrázek 7 a Obrázek 8). Celý lis je zároveň umístěn více pod podlahou, než standardní klikový lis, což ještě více zmenšuje celkovou výšku stroje nad podlahou.



Obrázek 7: Klikový lis se spodním pohonem - varianta A - pohled zepředu a z boku



Obrázek 8: Klikový lis se spodním pohonem - varianta A - pohled shora

Výhody:

- vysoká stabilita lisu díky nízko položenému těžišti => vyšší rychloběžnost
- malá výška lisu nad podlahou

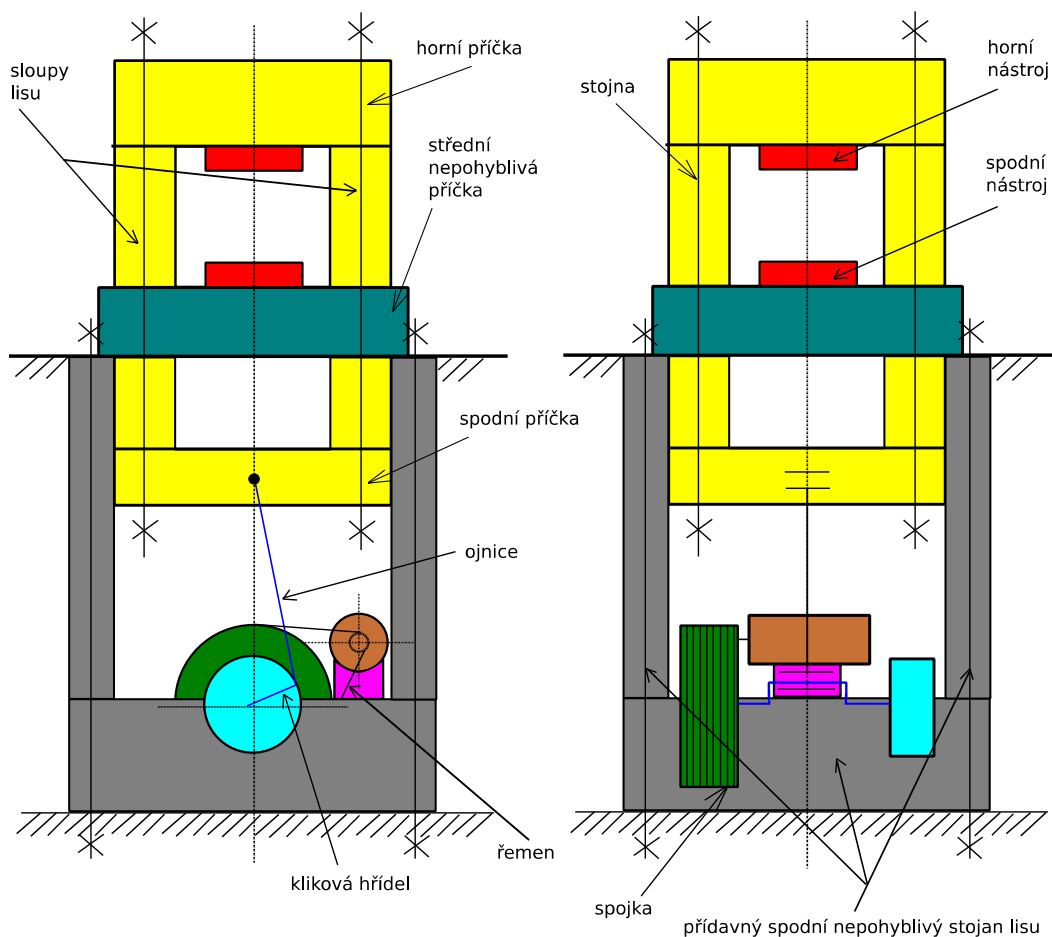
Nevýhody:

- obtížnější montáž lisu (lis se skládá z více částí, které je nutno spojit)
- zvýšené náklady na provedení hlubšího základu, než u lisu s horním pohonem
- horší přístupnost pro údržbu pohonu a případnou výměnu součástí
- větší pohyblivé hmoty (dynamické účinky)

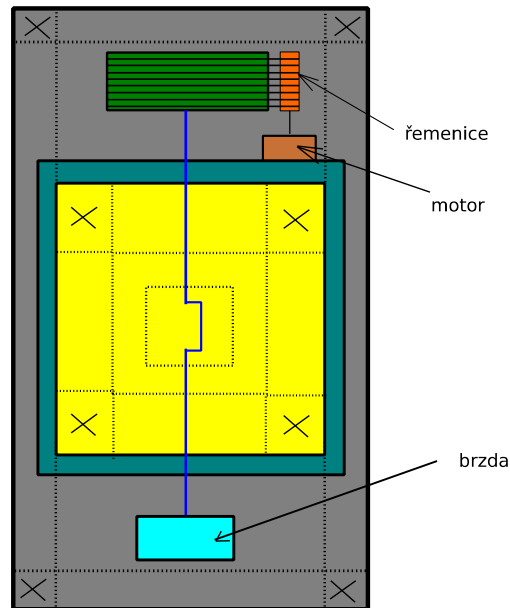
Na první pohled je patrné, že se oproti klikovému lisu s horním pohonem jedná o celkově komplikovanější a nákladnější řešení. Zároveň je u této varianty lisu o něco méně obtížný přístup do pracovního prostoru stroje oproti lisu s horním pohonem, což je způsobeno umístěním pohonného systému na příslušné místo. S ohledem na rychlost chodu stroje zřejmě bude problematické dynamické chování větších pohyblivých hmot.

5.3 Koncepční varianta lisu se spodním pohonem – varianta B – pohon na základu

Následující varianta se od předchozí varianty liší pouze v umístění pohonného systému na speciální přídatný nepohyblivý stojan lisu, umístěným pod podlahou haly. Cílem tohoto stojanu lisu je zvýšená ochrana pohonného systému proti pronikání spodní vody a zároveň slouží pro přesné vedení pohybu pohyblivého rámu lisu pomocí speciálních drážek zhotovených do obou konstrukcí. Návrh této varianty je možno vidět na následujících obrázcích (viz Obrázek 9 a Obrázek 10).



Obrázek 9: Klikový lis se spodním pohonem - varianta B - pohled zepředu a z boku



Obrázek 10: Klikový lis se spodním pohonem - varianta B - pohled shora

Výhody:

- velmi dobrý přístup do pracovního prostoru stroje díky umístění pohonného systému na přídatný nepohyblivý stojan
- zdvojené vedení pohyblivého rámu – zvýšená přesnost

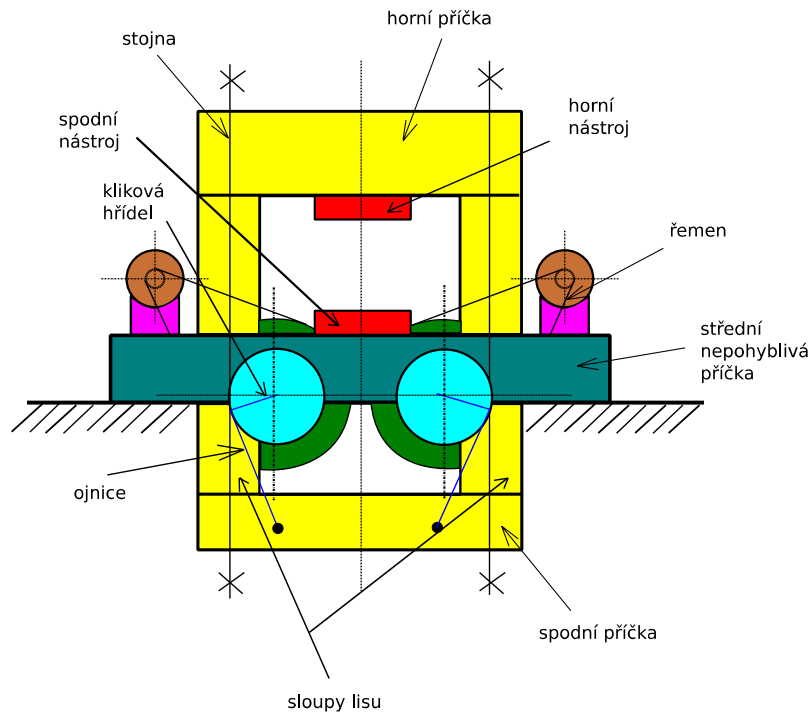
Nevýhody:

- obtížná a nákladná montáž lisu
- je nutný přídatný spodní stojan lisu pro montáž pohonu
- velké náklady spojené s provedením hlubokého základu
- riziko pronikání spodní vody do součástí pohonu lisu
- velmi špatná přístupnost pro údržbu pohonu a výměnu součástí
- větší pohyblivé hmoty (dynamické účinky)

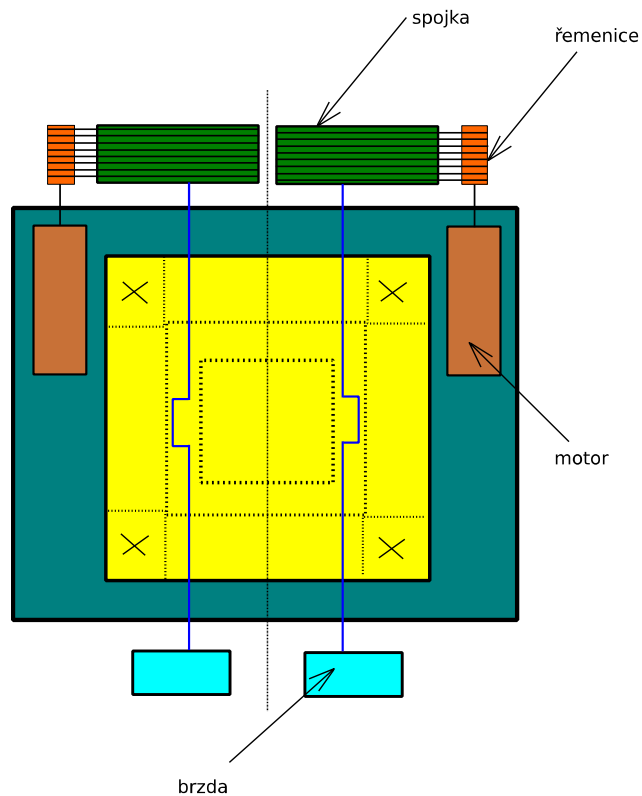
Tato koncepční varianta lisu se spodním pohonem nabízí poměrně zajímavé řešení ohledně umístění pohonu stroje. Díky tomuto řešení se výrazně zlepšil přístup do pracovního prostoru stroje oproti předchozí variantě A. Jedná se ovšem o konstrukčně velmi komplikované a zároveň nákladné řešení, neboť je potřeba zhotovit velmi hluboký základ pro uložení přídatného stojanu lisu. Přístup k pohonu stroje je u této varianty také velmi komplikovaný.

5.4 Koncepční varianta lisu se spodním pohonem – varianta C – dvojitý pohon na střední příčce

Tato varianta je ve své podstatě rozšířeným koncepčním řešením varianty A. Pohonný systém této varianty je umístěn opět na střední nepohyblivé příčce, ovšem skládá se ze dvou samostatných pohonných jednotek. Rám lisu je tak poháněn zároveň dvěma klikovými hřídeli. Na následujících obrázcích je znázorněna tato koncepční varianta, tentokrát však jen ve dvou pohledech, a to zepředu a shora (viz Obrázek 11 a Obrázek 12).



Obrázek 11: Klikový lis se spodním pohonem - varianta C - pohled zepředu



Obrázek 12: Klikový lis se spodním pohonem - varianta C - pohled shora

Výhody:

- výhodnější pro mimo centrické kování – lze předpokládat vyšší přesnost

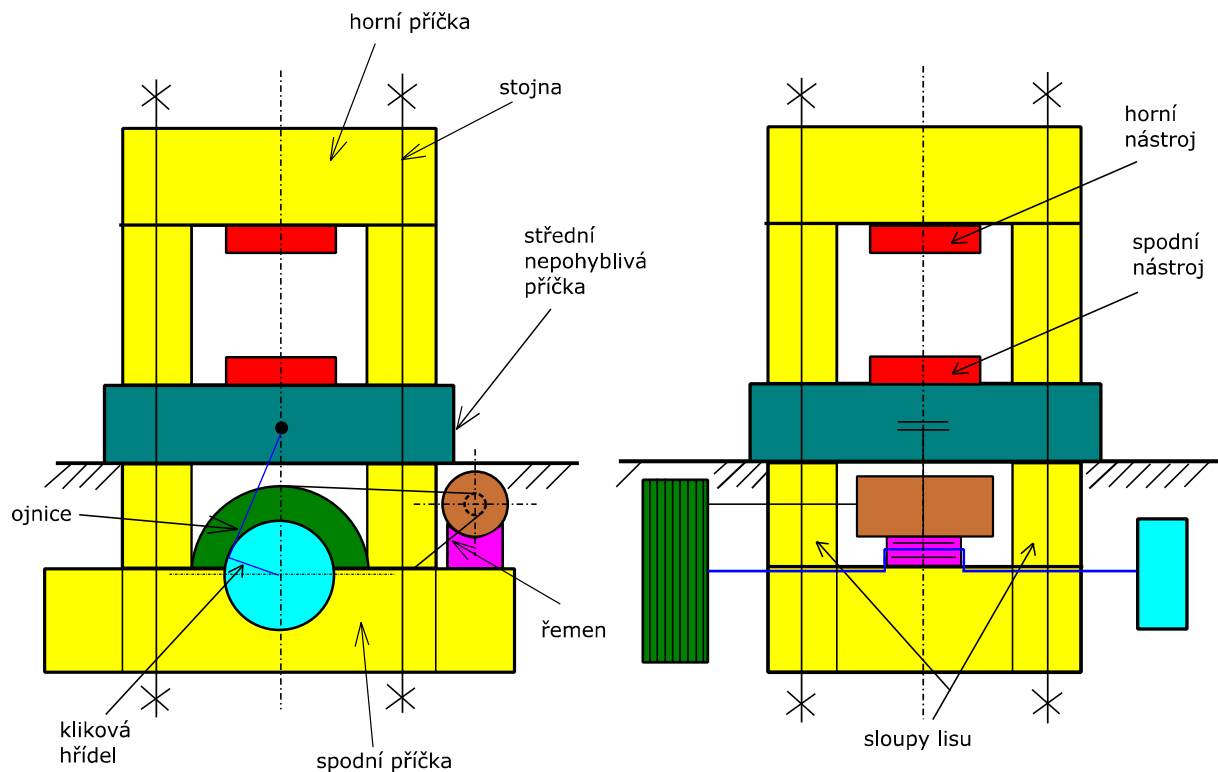
Nevýhody:

- obtížnější přístup do pracovního prostoru lisu v porovnání s ostatními variantami
- zvýšené nároky na provoz a údržbu pohonu
- větší rozměry rámu lisu, oproti ostatním variantám z důvodu použitého typu pohonu

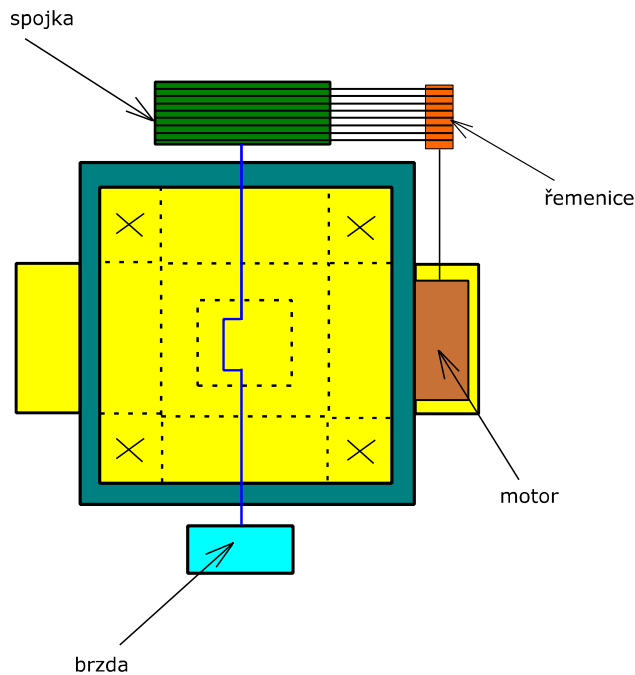
Jak již bylo zmíněno, tak by tato varianta mohla být vhodným řešením pro mimo centrické kování, neboť by měl být tento stroj přesnější díky použitému typu pohonu. V případě standardního kování však tato varianta nenabízí žádné jiné výhody oproti ostatním variantám a její řešení je více komplikované z hlediska pohonného systému.

5.5 Koncepční varianta lisu se spodním pohonem – varianta D – pohon na spodní pohyblivé příčce

Další koncepční variantou lisu se spodním pohonem je varianta D. Tato varianta je ve své podstatě stejná jako varianta A, jediný rozdíl je v umístění pohonu na spodní pohyblivou příčku stroje. Z tohoto důvodu budou popsány pouze výhody a nevýhody stroje oproti variantě A, neboť zbylý výčet těchto vlastností je totožný s touto variantou. Vše je detailně znázorněno na následujících obrázcích (viz Obrázek 13 a Obrázek 14).



Obrázek 13: Klikový lis se spodním pohonem - varianta D - pohled zepředu a z boku



Obrázek 14: Klikový lis se spodním pohonem - varianta D - pohled shora

Výhody:

- lepší přístup do pracovního prostoru stroje oproti variantě A, díky umístění pohonu lisu na spodní příčku

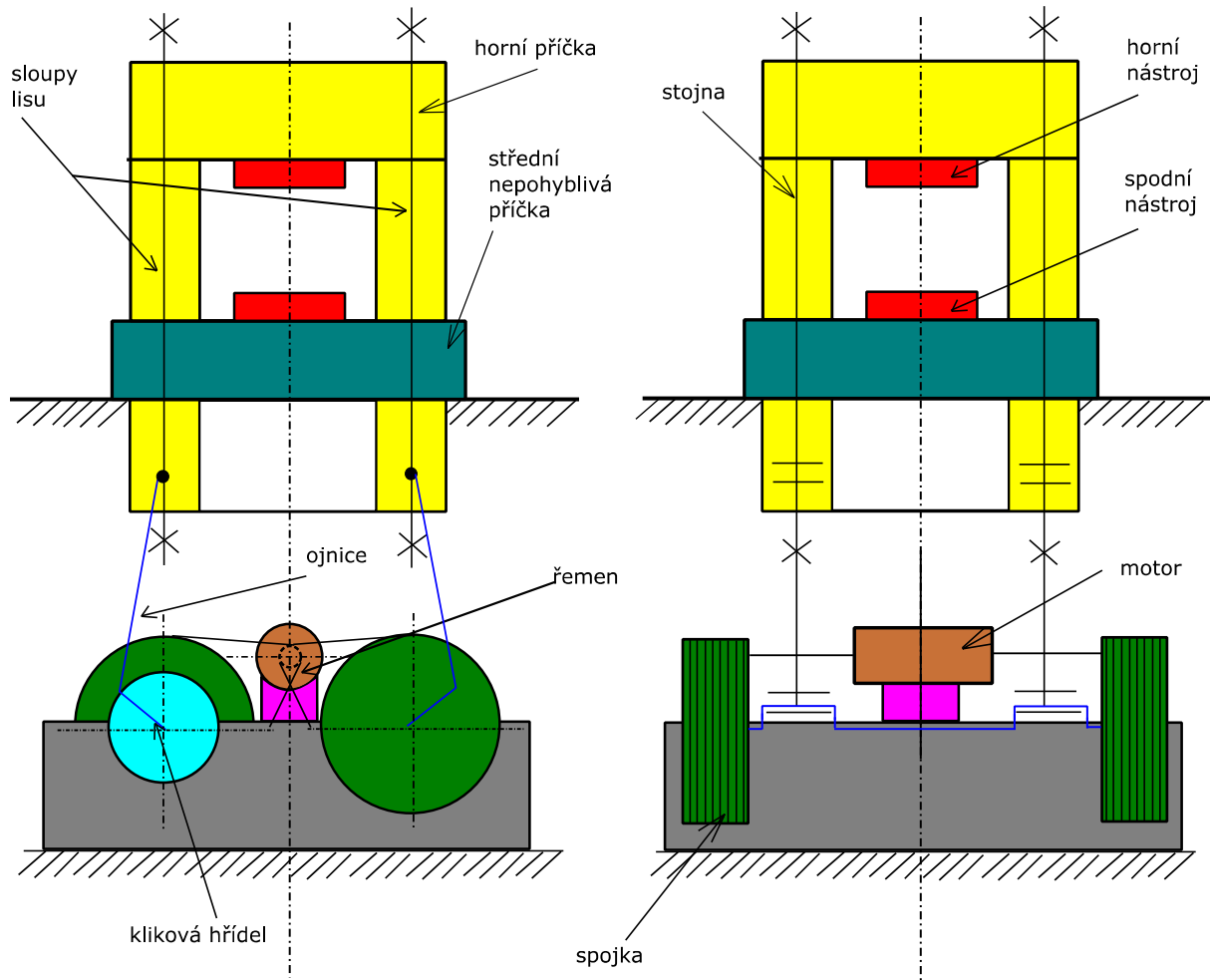
Nevýhody:

- pohyb částí pohonu se stojanem lisu při pracovní činnosti stroje

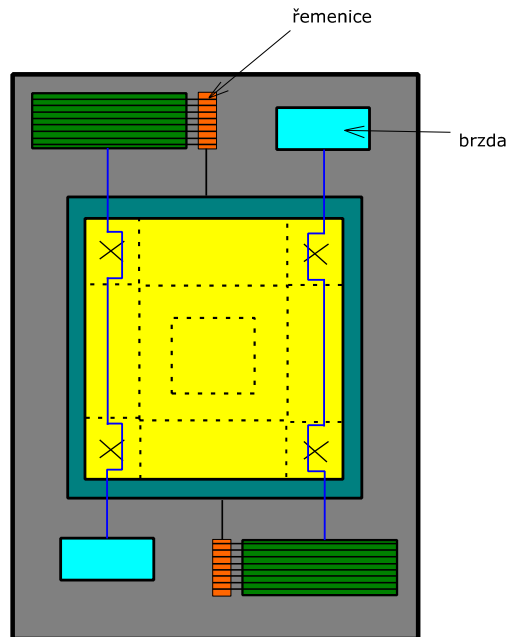
Výše zmíněná nevýhoda této varianty je velmi nežádoucí z hlediska činnosti stroje, proto lze tuto variantu považovat za méně vhodnou oproti variantě A. Jediná výhoda spočívá v lepším přístupu do pracovního prostoru stroje. Tato výhoda však nedokáže vyvážit onu zmíněnou nevýhodu této varianty.

5.6 Koncepční varianta lisu se spodním pohonem – varianta E – pohon na základu s dvěma klikovými hřídeli

Poslední koncepční varianta je velmi podobná variantě B s tím rozdílem, že pohon umístěný na základu pohání současně dvě klikové hřídele. Každá z těchto klikových hřídelí má dvě ojnice, neboť u této varianty je pohyb stroje myšlen tak, že každá ojnice je spojena s jedním sloupem lisu a po uvedení stroje do pohybu, je stroj tahán dolů na základě tohoto spojení (viz Obrázek 15 a Obrázek 16).



Obrázek 15: Klikový lis se spodním pohonem - varianta E - pohled zepředu a z boku



Obrázek 16: Klikový lis se spodním pohonem - varianta E - pohled shora

Výhody:

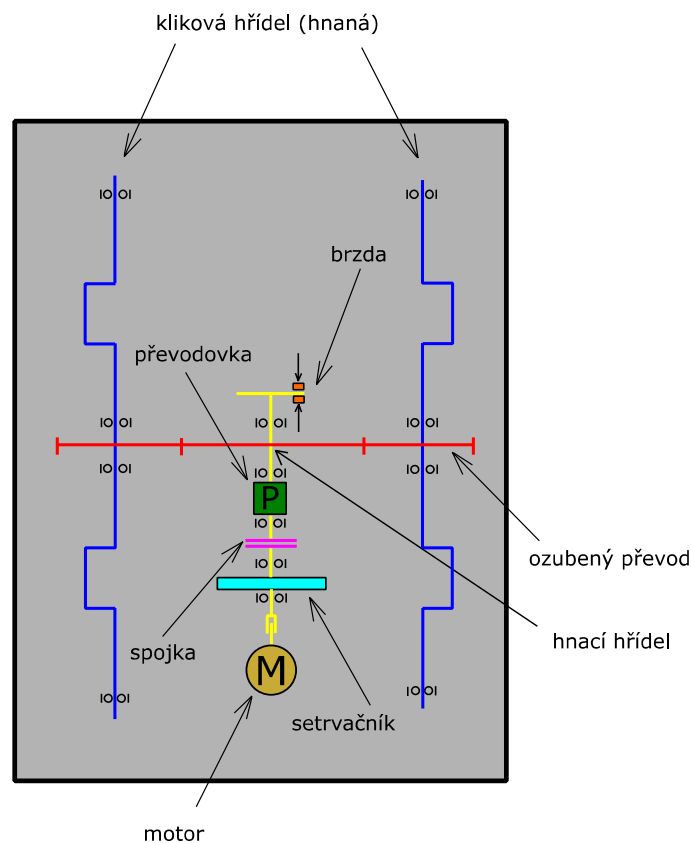
- velmi dobrý přístup do pracovního prostoru stroje díky umístění pohonného systému na hluboký základ

Nevýhody:

- obtížná a nákladná montáž lisu
- velké náklady spojené s provedením hlubokého základu
- riziko pronikání spodní vody do součástí pohonu lisu
- velmi špatná přístupnost pro údržbu pohonu a výměnu součástí

Jak již bylo řečeno, tak se tato koncepční varianta lisu podobá variantě B, tím pádem jsou i výhody a nevýhody těchto variant téměř totožné. Velký rozdíl je ovšem v provedení pohonu lisu, který je u této varianty značně komplikovaný. Pohonný systém je nutné navrhnout tak, aby obě klikové hřídele konaly pohyb současně a ve stejném okamžiku. Možností, jak tento pohonný systém navrhnout, je více. Nyní si tedy ukážeme tři možné varianty tohoto pohonu. U první varianty bude pro lepší pochopení problematiky udělán slovní popis.

5.6.1 Varianta 1 - 1 pohon; hnací hřídel pohání dvě hnané hřídele



Obrázek 17: Varianta pohonu lisu koncepční varianty E - 1 pohon; 2 hnané hřídele

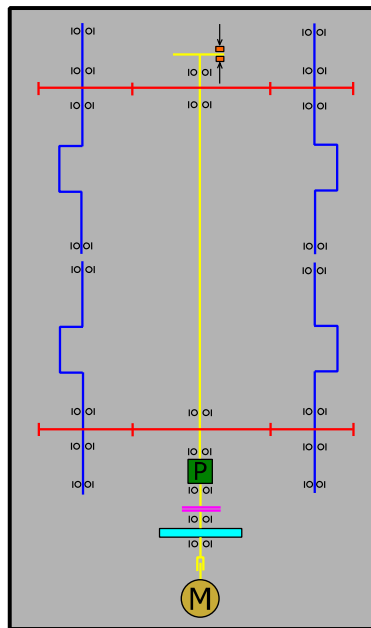
Výhody:

- jeden pohonný systém

Nevýhody:

- je nutné mít jednu hnací a více hnaných hřídelí
- hnané hřídele mají velkou délku, což může způsobovat velké deformace během namáhání hřídelí (vysoká pružnost)
- synchronní otáčky u obou hnaných hřídelí zároveň je nutné zajistit pomocí ozubení, či jiných převodových mechanismů
- rázový přenos točivého momentu stále na stejných zubech - zvýšené riziko poruchovosti převodu (ulomení zubu, zadrhávání)
- špatná údržba a demontáž ozubených převodů (mazání, výměna ozubení)

5.6.2 Varianta 2 - 1 pohon; hnací hřídel pohání více hnaných hřídelí



Obrázek 18: Varianta pohonu lisu koncepční varianty E - 1 pohon; více hnaných hřídelí

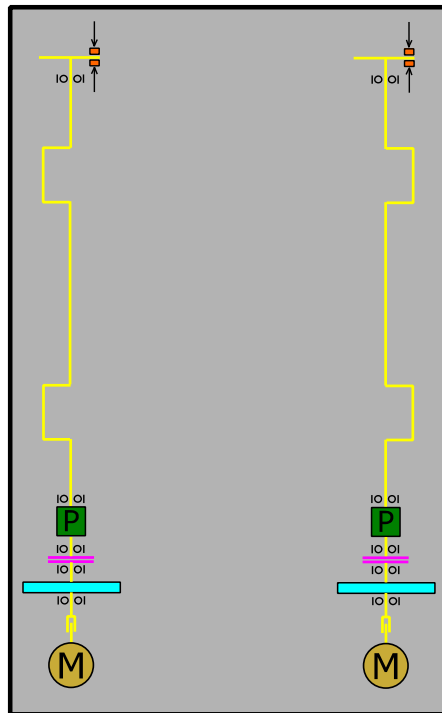
Výhody:

- jeden pohonný systém
- dva páry ozubených převodů zajišťující lepší záběr ozubení

Nevýhody:

- je nutné mít jednu hnací a více hnaných hřídelí
- hnané hřídele mají velkou délku, což může způsobovat velké deformace během namáhání hřídelí (vysoká pružnost)
- synchronní otáčky u obou hnaných hřídelí zároveň je nutné zajistit pomocí ozubení, či jiných převodových mechanismů
- rázový přenos točivého momentu stále na stejných zubech - zvýšené riziko poruchovosti převodu (ulomení zubu, zadrhávání)
- špatná údržba a demontáž ozubených převodů (mazání, výměna ozubení)

5.6.3 Varianta 3 - dvě hnací hřídele se samostatnými pohony



Obrázek 19: Varianta pohonu lisu koncepční varianty E - 2 hnací hřídele se samostatnými pohony

Výhody:

- není zde žádný převod mezi hnanými hřídelemi
- jednoduchá výroba a montáž

Nevýhody:

- je nutné mít dvě pohonné jednotky (pro každou hnanou hřídel jednu) a tyto spolu synchronizovat

Nyní jsme si ukázali tři možné varianty pohonu lisu koncepční varianty E a řekli si jejich výhody a nevýhody. Bohužel se ani jedna z výše uvedených variant nedá v praxi použít. Problém je v tom, že u variant 1 a 2 budou ozubená kola vždy zabírat právě v jednom místě a tím pádem by docházelo ke značnému napětí vždy pouze v daném místě. Museli bychom mít na každé hnané hřídeli vždy samostatnou pohonnou jednotku, čímž by vznikla situace, která je znázorněná na variantě 3. Tato varianta by ovšem byla značně nákladná, neboť by musely být tyto pohonné jednotky synchronizovány na 100 %. Z těchto důvodů je tedy možné variantu E považovat za experimentální variantu, která nebude zahrnuta do výsledného hodnocení koncepčních variant lisu se spodním pohonem.

5.7 Hodnocení koncepčních variant klikového lisu se spodním pohonem

Z předchozích čtyř variant klikového kováčského lisu se spodním pohonem je potřeba vybrat jednu vhodnou variantu, u které bude následně provedeno podrobné konstrukční řešení. Pro výběr té nejvhodnější varianty je nejvhodnější použít bodové hodnocení vhodnosti, jež můžeme rozdělit do dvou samostatných skupin a to pro dodanou kvalitu a vynaložené náklady.

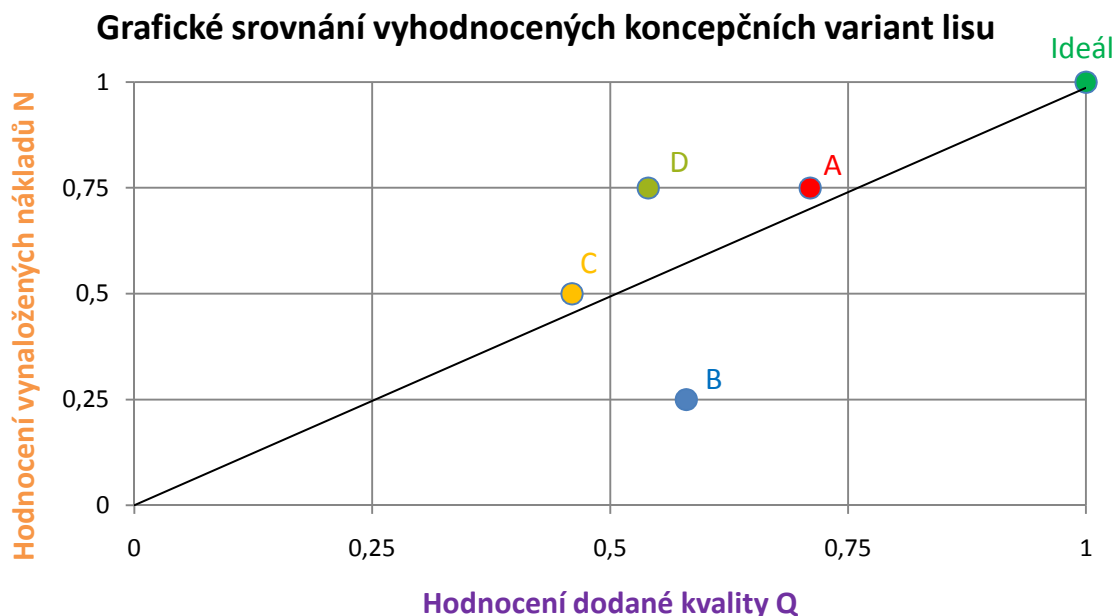
V případě hodnocení pro dodanou kvalitu je potřeba ještě určit konkrétní kritéria, podle kterých budu jednotlivé varianty hodnotit. Celkem bylo vybráno 6 kritérií, podle nichž bylo provedeno hodnocení, které můžeme vidět v následující tabulce (viz Tabulka 1). Pro vynaložené náklady bylo zvoleno pouze jedno kritérium.

Tabulka 1: Hodnocení koncepčních variant lisu se spodním pohonem

Varianta		A	B	C	D	Ideál	
Symbol	Kritéria hodnocení	Hodnocení vhodnosti { 0 až 4 }					
Q	pro dodanou kvalitu:	přístup do pracovního prostoru stroje	3	4	1	3	4
		přístup k pohonu stroje	3	2	3	1	4
		bezpečnost při provozu	3	4	1	3	4
		velikost zástavbového prostoru pro zařízení	3	1	2	3	4
		pohybující se hmoty	2	2	2	1	4
		montáž zařízení	3	1	2	2	4
	součet hodnocení:	$\{ 0 \div \text{součet Ideál} \} = \{ 0 \div 24 \}$	17	14	11	13	24
normované hodnocení:	$(\text{součet} / \text{součet Ideál}) = \{ 0 \div 1 \}$	0,71	0,58	0,46	0,54	1	
N	pro vynaložené náklady:	výrobní náklady	3	1	2	3	4
	součet hodnocení:	$\{ 0 \div \text{součet Ideál} \} = \{ 0 \div 4 \}$	3	1	2	3	4
	normované hodnocení:	$(\text{součet} / \text{součet Ideál}) = \{ 0 \div 1 \}$	0,75	0,25	0,5	0,75	1

(varianta **A** – pohon na střední příčce, **B** – pohon na základu, **C** – dvojitý pohon na střední příčce, **D** – pohon na spodní pohyblivé příčce)

Z tabulky hodnocení koncepčních variant (viz Tabulka 1) je patrné, že byla stanovena tzv. ideální varianta stroje, která má celkové hodnocení všech zvolených kritérií pro dodanou kvalitu rovno 24. Z toho vyplývá, že stupnice bodování byla stanovena od 1 do 4. Každá varianta byla obodována dle pečlivého posouzení všech kritérií a následně byly body sečteny. Varianta s počtem bodů nejvíce se blízcím k ideálu byla zvolena jako nejvhodnější z hlediska dodané kvality. Hodnocení pro vynaložené náklady je zpracováno stejným způsobem. Nejvhodnější varianta je pak následně zvolena podle grafického porovnání všech variant, které můžeme vidět na následujícím grafu (viz Graf 1).



Graf 1: Grafické srovnání vyhodnocených variant lisu

Na základě hodnocení jednotlivých koncepčních variant kovacího klikového lisu se spodním pohonem bylo zjištěno, že nejvýhodnější navrženou variantou lisu, je **varianta A**, jež je v grafu, umístěném výše, znázorněna červenou barvou. Tato varianta se bodově nejvíce přibližuje k ideální variantě (tmavě zelená barva). Jako náhradní řešení by mohla být použita také varianta D (světle zelená barva), která se od varianty A liší pouze umístěním pohonného mechanismu na spodní příčku. Na tuto variantu je potřeba vynaložit přibližně stejné množství výrobních nákladů, jako na variantu A, ovšem umístění pohonného mechanismu není příliš vhodné, jelikož se při práci stroje pohybuje pohon současně s celým rámem. Varianta B (modrá barva) nabízí oproti ostatním variantám lepší přístup do pracovního prostoru. Jedná se ovšem o komplikované a příliš nákladné řešení. Varianta C (oranžová barva) je pak vhodnější pro mimo centrické kování, avšak za cenu horšího přístupu do pracovního prostoru. Také řešení pohonného mechanismu je u této varianty složitější, než u ostatních variant lisu. Pro variantu A bude v následující části práce zpracováno konstrukční řešení.

6 Konstrukční řešení klikového lisu se spodním pohonem pro variantu A (pohon na střední příčce)

Provedení konstrukčního řešení zvolené varianty klikového lisu se spodním pohonem je důležitou částí této práce. Zatímco v předchozí kapitole byl vytvářen pouze návrh koncepčních variant lisu v podobě schematických obrázků, v této kapitole je jeden z těchto návrhů detailněji rozpracován od technických výpočtů až po pevnostní analýzu stroje, pro kterou byl zhotoven zjednodušený model celé sestavy lisu. Aby byl tento model sestaven, bylo nejprve potřeba provést základní technické výpočty pro stanovení vstupních rozměrů stroje, zejména pro jednotlivé části stojanu lisu. Před samotnými výpočty však bylo ještě třeba určit základní technické parametry stroje, které musí vytvořený model splňovat.

6.1 Základní technické parametry stroje

Při určení vhodných technických parametrů stroje bylo vhodné zjistit, jaké parametry jsou uváděny různými výrobci těchto strojů na trhu. Důvodem je fakt, že každý stroj by měl mít určité parametry, podle kterých se daní zákazníci orientují při výběru vhodného stroje. Mezi tyto parametry patří například jmenovitá síla, sevření, průchod, zdvih, upínací plocha stolu a v neposlední řadě také celkové rozměry stroje. Jelikož byla v této práci již provedena rešerše výrobců (viz kapitola 4), jejíž součástí je také příloha obsahující porovnání různých strojů daných výrobců podle určitých technických parametrů (viz Příloha A), byly pro naše konstrukční řešení zvoleny stejné výchozí parametry, jako jsou v dané příloze. Hodnoty těchto parametrů byly zvoleny tak, aby byl udržen přibližný standard, jaký uvádějí i ostatní výrobci těchto strojů na trhu. Tyto parametry jsou včetně hodnot uvedeny v následující tabulce (viz Tabulka 2).

Tabulka 2: Základní technické parametry stroje

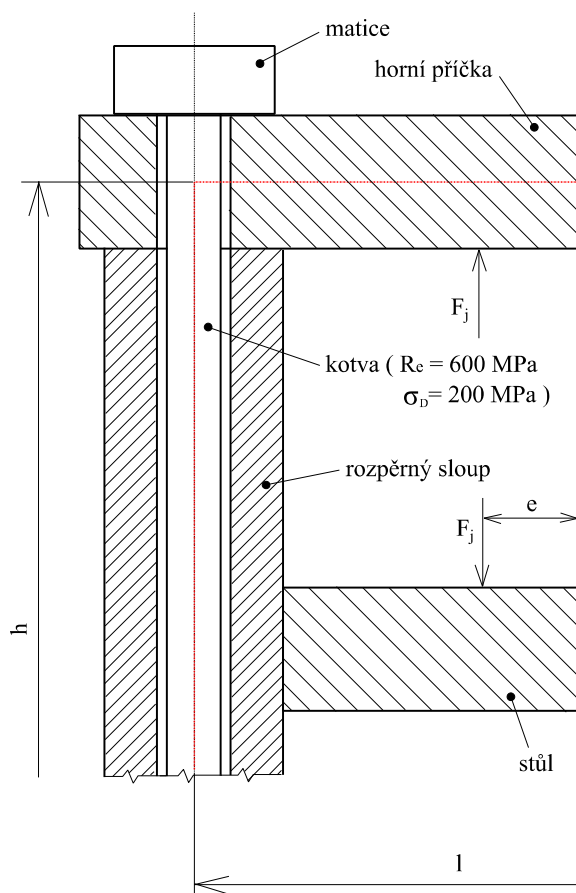
Základní technické parametry stroje		
Jmenovitá síla	[MN]	16
Sevření	[mm]	840
Průchod	[mm]	1 260
Zdvih	[mm]	270
Počet zdvihů	[1/min]	75
Upínací plocha beranu	[mm]	1 100 x 1 050
Upínací plocha stolu	[mm]	1 250 x 1 150
Instalovaný výkon	[kW]	95
Rozměry stroje (výška x šířka x hloubka)	[m]	5,5 x 4 x 3,8

6.2 Technické výpočty pro určení vstupních rozměrů stojanu lisu

V předchozí podkapitole byly uvedeny základní technické parametry, které musí stroj splňovat. Nyní je však třeba určit, jaké vstupní rozměry mají mít jednotlivé části stojanu lisu, aby bylo možno podle nich sestavit model. Abychom mohli stanovit jednotlivé rozměry, je třeba provést řadu výpočtů, které zahrnují výpočty sil v kotvě a ve sloupu, stanovení ohybového momentu od jmenovité síly a v neposlední řadě kontrolu normálových a tečných napětí působících na stojan lisu. Postup jednotlivých výpočtů bude názorně popsán v následujících částech této podkapitoly.

6.2.1 Výpočet maximální síly ve sloupu a kotvě

Aby bylo možné spočítat maximální sílu ve sloupu a kotvě, je napřed potřeba znát velikost jmenovité síly lisu (F_j) a také vzdálenosti jednotlivých sloupů od sebe (l). Jmenovitá síla je zadána, neboť se jedná o základní technický parametr stroje. Její velikost tedy známe a je rovna 16 MN . Dále je potřeba určit vzdálenost mezi sloupy. Ta je s ohledem na potřebný průchod mezi sloupy, který je rovněž daný v základních parametrech a jeho hodnota činí 1 260 mm , zvolena pro všechny vzdálenosti mezi sloupy stejná a její hodnota je zvolena 1 580 mm . Poslední hodnotu, kterou je potřeba znát pro výpočet, je excentricita (e). Její velikost byla zvolena 200 mm . Nyní známe tedy všechny potřebné veličiny pro výpočet maximální síly ve sloupu a kotvě a je tedy možné pustit se do samotného výpočtu. Všechny tyto veličiny jsou pro lepší pochopení znázorněny na následujícím obrázku (viz Obrázek 20).



Obrázek 20: Znázornění základních rozměrů a veličin působících na stojan

Zadané hodnoty tedy jsou:

$$F_j = 16 \text{ [MN]} = 16\,000\,000 \text{ [N]}$$

$$e = 200 \text{ [mm]} = 0,2 \text{ [m]}$$

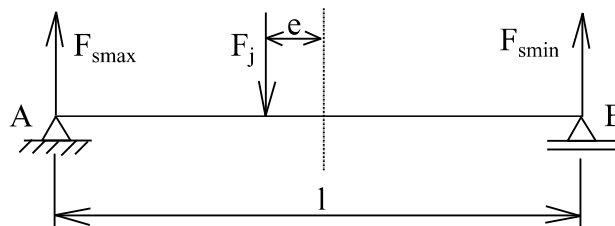
$$l = 1\,580 \text{ [mm]} = 1,580 \text{ [m]}$$

pro kotvu:

$$\sigma_D = 200 \text{ [MPa]}$$

$$R_e = 600 \text{ [MPa]}$$

Prvním krokem celého výpočtu je stanovit maximální sílu ve sloupu (F_{smax}). Tu je možno spočítat přes rovnice pro určení rovnováhy na nosníku na dvou podporách, který je zobrazen níže (viz Obrázek 21).



Obrázek 21: Nosník pro výpočet maximální síly ve sloupu

Rovnice jsou následující:

$$+\uparrow \sum F_{iy} = 0 : F_{smax} - F_j + F_{smin} = 0$$

$$\sum M_{iB} = 0 : F_{smax} \cdot l - F_j \cdot \left(e + \frac{l}{2} \right) = 0 \Rightarrow F_{smax} = \frac{F_j \cdot \left(e + \frac{l}{2} \right)}{l}$$

$$F_{smax} = \frac{16 \cdot 10^6 \cdot \left(0,2 + \frac{1,580}{2} \right)}{1,580} = 10\,025\,316 \text{ N}$$

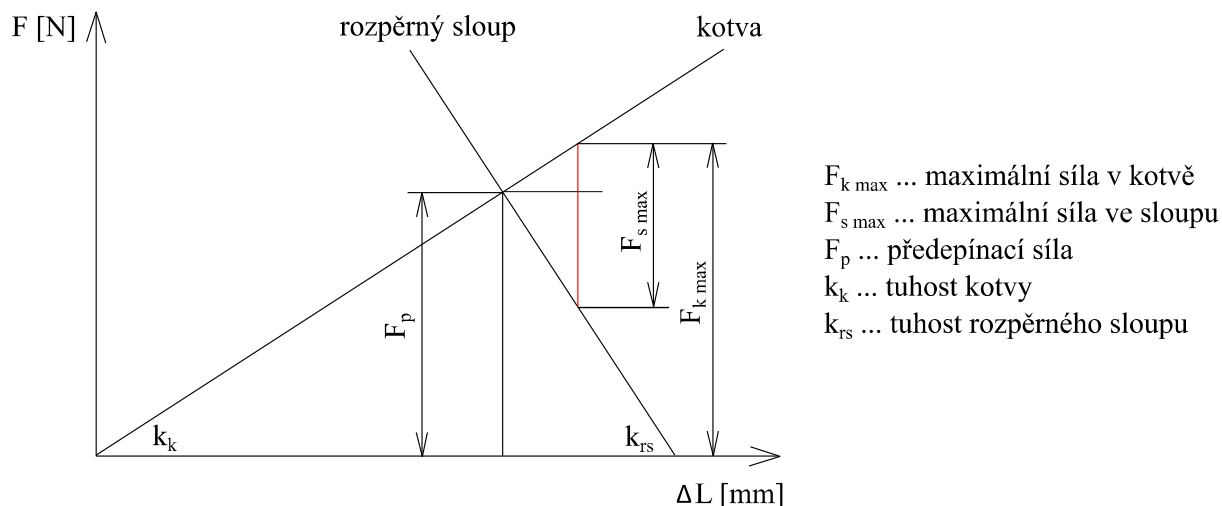
V nosníku jsou uvažovány dva sloupy na každé straně. Z toho důvodu musí být síla ještě podělena dvěma, abychom dostali skutečnou maximální sílu na jeden sloup.

$$F_{smax} = \frac{10\,025\,316}{2} = 5\,012\,658 \text{ N}$$

Dále je potřeba stanovit předepínací sílu (F_p), která se vypočte z následujícího výpočtu.

$$F_p = 1,3 \cdot F_{smax} = 1,3 \cdot 5\,012\,658 = 6\,516\,456 \text{ N}$$

Nyní je potřeba stanovit maximální sílu v kotvě. K tomuto výpočtu využijeme znalosti z diagramu předepnutého spoje, který je znázorněn na následujícím obrázku (viz Obrázek 22).



Obrázek 22: Diagram předepnutého spoje

Maximální sílu v kotvě (F_{kmax}) pak vypočítáme z následujícího vztahu.

$$F_{kmax} = F_p + F_{smax} \cdot \frac{k_k}{k_k + k_{rs}} [N]$$

Z předchozího vztahu je patrné, že k výpočtu je potřeba znát ještě velikosti tuhostí pro rozpěrný sloup a kotvu. Tuhosti je možno vypočítat z následujících vztahů.

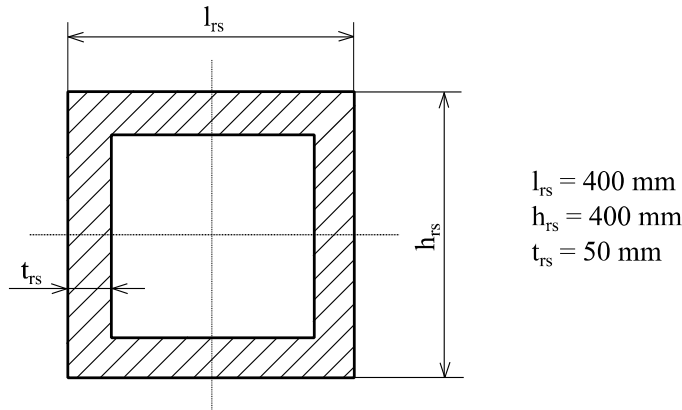
$$k_k = \frac{E \cdot S_k}{l_k} [N/mm]$$

$$k_{rs} = \frac{E \cdot S_{rs}}{l_k} [N/mm]$$

Pro výpočet tuhosti kotvy je potřeba znát její rozměry a také materiál. Jako výchozí materiál byla zvolena ocel, pro kterou má modul pružnosti v tahu (E) velikost $2,1 \cdot 10^5 MPa$. Výchozí rozměry kotvy byly zvoleny následující: průměr $d_k = 235 mm$ a délka $l_k = 4 200 mm$. Dosazením těchto hodnot do předchozího vztahu dostaneme následující hodnoty.

$$k_k = \frac{E \cdot S_k}{l_k} = \frac{E \cdot \pi \cdot \frac{d_k^2}{4}}{l_k} = \frac{2,1 \cdot 10^5 \cdot \pi \cdot \frac{235^2}{4}}{4 200} = 2 168 681 N/mm$$

Pro výpočet tuhosti rozpěrného sloupu je opět potřeba znát jeho rozměry a materiál. Materiál byl zvolen stejný jako u kotvy, tedy modul pružnosti v tahu má stejnou velikost. Rozměry sloupu byly zvoleny s ohledem na jeho průřez. Sloup je vytvarován z plechu o určité tloušťce a jeho konce jsou následně svařeny. Průřez sloupu je detailněji znázorněn na samostatném obrázku, u něhož jsou také uvedeny konkrétní rozměry (viz Obrázek 23).



Obrázek 23: Průřez rozpěrného sloupu

Dosazením hodnot do vztahu pro výpočet tuhosti dostaneme:

$$k_{rs} = \frac{E \cdot S_{rs}}{l_k} = \frac{E \cdot [(h_{rs} \cdot l_{rs}) - (h_{rs} - 2 \cdot t_{rs}) \cdot (l_{rs} - 2 \cdot t_{rs})]}{l_k}$$

$$k_{rs} = \frac{2,1 \cdot 10^5 \cdot [(400 \cdot 400) - (400 - 2 \cdot 50) \cdot (400 - 2 \cdot 50)]}{4\,200}$$

$$k_{rs} = 3\,500\,000 \text{ N/mm}$$

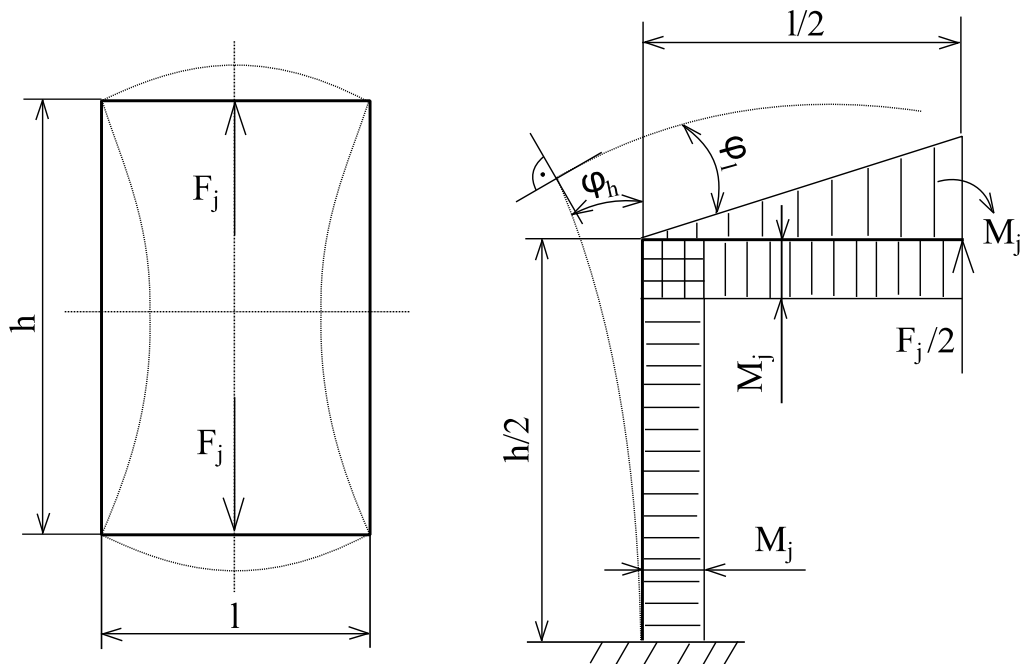
Nyní již můžeme spočítat maximální sílu v kotvě.

$$F_{kmax} = F_p + F_{smax} \cdot \frac{k_k}{k_k + k_{rs}}$$

$$F_{kmax} = 6\,516\,456 + 5\,012\,658 \cdot \frac{2\,168\,681}{2\,168\,681 + 3\,500\,000} = 8\,434\,160 \text{ N}$$

6.2.2 Výpočet staticky neurčitého momentu

Již známe velikosti maximálních sil působících v kotvě a rozpěrném sloupu. Dále je tedy nutné spočítat a zkontrolovat normálová a tečná napětí působící na sloup a horní příčku. Nejdříve je ale nutné spočítat staticky neurčitý moment působící na stojan lisu. Působení tohoto momentu na stojan je znázorněno na následujícím obrázku (viz Obrázek 24).



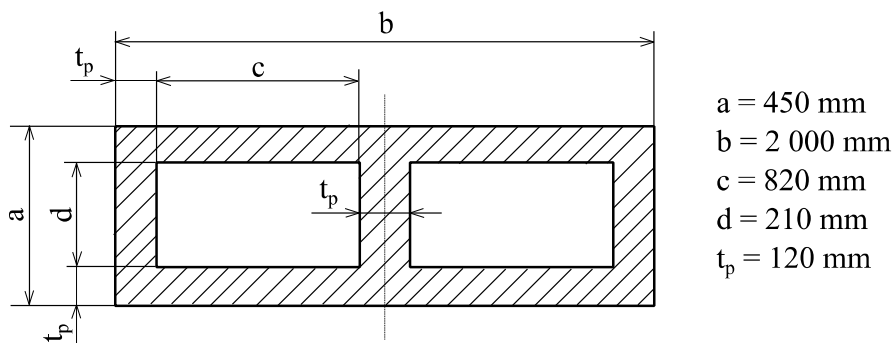
Obrázek 24: Působení staticky neurčitého momentu na stojan lisu

Staticky neurčitý moment vypočítáme z následujícího vztahu.

$$M_j = F_j \cdot \frac{l}{8} \cdot \frac{1}{\frac{J_l}{J_h} \cdot \frac{h}{l} + 1} \quad [N \cdot mm]$$

kde: l – vzdálenost mezi rozpěrnými sloupy vzata od středu průřezu, h – délka kotvy, J_l – kvadratický moment průřezu příčky, J_h – kvadratický moment průřezu sloupu

Abychom mohli spočítat moment, je nejprve nutné spočítat kvadratické momenty. Dříve, než si ukážeme vzorce pro výpočet kvadratických momentů, tak si ještě stanovíme rozměry průřezu příčky, jež jsou pro výpočet kvadratického momentu nezbytné. Průřez příčky i s rozměry je znázorněn na následujícím obrázku (viz Obrázek 25).



$a = 450 \text{ mm}$
 $b = 2000 \text{ mm}$
 $c = 820 \text{ mm}$
 $d = 210 \text{ mm}$
 $t_p = 120 \text{ mm}$

Obrázek 25: Průřez horní příčky lisu

Nyní známe všechny rozměry a můžeme tedy spočítat kvadratické momenty z následujících vztahů.

$$J_l = \frac{b \cdot a^3}{12} - \frac{2 \cdot c \cdot d^3}{12} = \frac{2000 \cdot 450^3}{12} - \frac{2 \cdot 820 \cdot 210^3}{12} = 13\,921\,830\,000 \text{ mm}^4$$

$$J_h = \frac{h_{rs} \cdot l_{rs}^3}{12} - \frac{(h_{rs} - 2 \cdot t_{rs}) \cdot (l_{rs} - 2 \cdot t_{rs})^3}{12}$$

$$J_h = \frac{400 \cdot 400^3}{12} - \frac{(400 - 2 \cdot 50) \cdot (400 - 2 \cdot 50)^3}{12} = 1\,458\,333\,333 \text{ mm}^4$$

Dosažením do vztahu pro staticky neurčitý moment dostaneme jeho velikost.

$$M_j = F_j \cdot \frac{l}{8} \cdot \frac{1}{\frac{J_l}{J_h} \cdot \frac{h}{l} + 1}$$

$$M_j = 16\,000\,000 \cdot \frac{1\,580}{8} \cdot \frac{1}{\frac{13\,921\,830\,000}{2} \cdot \frac{4\,200}{1\,458\,333\,333} + 1} = 230\,854\,928 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

6.2.3 Výpočet normálových, tečných a redukovaných napětí na příčce a sloupu

Před tímto výpočtem je nejprve nutno si uvědomit, jakými napětími jsou příčka a sloup namáhány. Příčka je namáhána zejména na ohyb a smyk. Sloup je také namáhán na ohyb a dále na tlak. Ostatní napětí ve svých výpočtech zanedbám. Nyní si provedeme výpočty těchto napětí.

Příčka – napětí v ohybu:

$$\sigma_{op} = \frac{M_{op}}{W_{op}} = \frac{F_j \cdot \frac{l}{4} - M_j}{\frac{J_l}{a} \cdot 2} = \frac{16\,000\,000 \cdot \frac{1\,580}{4} - 230\,854\,928}{\frac{13\,921\,830\,000}{450} \cdot 2} = 98 \text{ MPa}$$

Příčka – napětí ve smyku:

$$\tau_{sp} = \frac{F_j}{S_p} = \frac{F_j}{a \cdot b - 2 \cdot c \cdot d} = \frac{16\,000\,000}{450 \cdot 2\,000 - 2 \cdot 820 \cdot 210} = 29 \text{ MPa}$$

Příčka – redukované napětí:

$$\sigma_{redp} = \sqrt{\sigma_{op}^2 + 4 \cdot \tau_{sp}^2} = \sqrt{98^2 + 4 \cdot 29^2} = 114 \text{ MPa}$$

Nyní je ještě potřeba zkontrolovat, zda vypočtené redukované napětí vyhovuje v rámci dovoleného napětí pro příčku. Pro příčku byl zvolen materiál **S 235** a dovolené napětí je $\sigma_D = 120 \text{ MPa}$. Rozměry příčky jsou tedy vyhovující, neboť redukované napětí je menší, než dovolené napětí.

Rozpěrný sloup – napětí v ohybu:

$$\sigma_{ors} = \frac{M_j}{W_{ors}} = \frac{M_j}{\frac{J_h}{h_{rs}} \cdot 2} = \frac{230\,854\,928}{\frac{1\,458\,333\,333}{400} \cdot 2} = 32 \text{ MPa}$$

Rozpěrný sloup – napětí v tlaku – jen předepnuto:

$$\sigma_{drs\ predep} = \frac{F_p}{S_{rs}} = \frac{F_p}{h_{rs} \cdot l_{rs} - (h_{rs} - 2 \cdot t_{rs}) \cdot (l_{rs} - 2 \cdot t_{rs})}$$

$$\sigma_{drs\ predep} = \frac{6\,516\,456}{400 \cdot 400 - (400 - 2 \cdot 50) \cdot (400 - 2 \cdot 50)} = 93 \text{ MPa}$$

Rozpěrný sloup – napětí v tlaku – odlehčeno pracovní silou:

$$\sigma_{drs prac} = \frac{F_{prac}}{S_{rs}} = \frac{F_{kmax} - F_{smax}}{h_{rs} \cdot l_{rs} - (h_{rs} - 2 \cdot t_{rs}) \cdot (l_{rs} - 2 \cdot t_{rs})}$$

$$\sigma_{drs prac} = \frac{8\,434\,160 - 5\,012\,658}{400 \cdot 400 - (400 - 2 \cdot 50) \cdot (400 - 2 \cdot 50)} = 49 \text{ MPa}$$

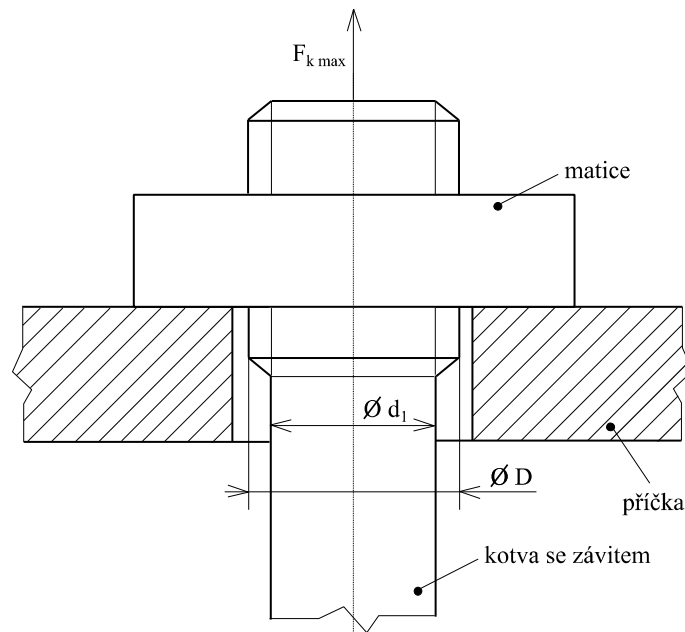
Rozpěrný sloup – redukované napětí:

$$\sigma_{redrs} = \sigma_{ors} + \sigma_{drs prac} = 32 + 49 = 81 \text{ MPa}$$

Vypočtené redukované napětí by mělo být opět menší než dovolené napětí. Pro rozpěrný sloup byl zvolen stejný materiál, jako pro příčku, tedy materiál **S 235**, jehož dovolené napětí je stejné jako pro příčku, tedy $\sigma_D = 120 \text{ MPa}$. Rozměry sloupu tedy vyhovují z hlediska působících napětí.

6.2.4 Výpočet závitů kotvy

Na závěr tohoto celého výpočtu je potřeba ještě spočítat velikost lichoběžníkového nerovnoramenného závitů na konci kotvy a provést jeho kontrolu na tah a otláčení za předpokladu, že závit má 5 nosných závitů. Závit na konci kotvy je zjednodušeně znázorněn na následujícím obrázku (viz Obrázek 26).



Obrázek 26: Závit na kotvě

Jak již bylo řečeno dříve, tak materiál kotvy má následující parametry: $\sigma_D = 200 \text{ [MPa]}$ a $R_e = 600 \text{ [MPa]}$. Závit je vyrobený na zakázku, takže si zvolíme jeho rozměry. Průměry volím následující: $\varnothing D = 280 \text{ mm}$ a $\varnothing d_1 = 240 \text{ mm}$. Stoupání závitů je $s = 20 \text{ mm}$.

Nejprve si spočteme tah v jádru závitů z následujícího vztahu.

$$\sigma_{tk} = \frac{F_{kmax}}{S_k} = \frac{F_{kmax}}{\frac{\pi}{4} \cdot d_1^2} = \frac{8\,434\,160}{\frac{\pi}{4} \cdot 240^2} = 186 \text{ MPa}$$

Vypočtené napětí pro tah v závitě je menší než dovolené napětí pro kotvu σ_D . Průměr kotvy $\varnothing d_1$ je tedy vyhovující.

Nyní zbývá provést kontrolu závitu na otláčení. Pro tento výpočet je potřeba znát maximální dovolené napětí pro tlak. Toto napětí zjistíme z následujícího vztahu.

$$P_D = \frac{R_e}{k} = \frac{600}{5} = 120 \text{ MPa}$$

Pro výpočet tlaku v závitu použijeme následující vztah.

$$P_z = \frac{F_{kmax}}{S_z} = \frac{F_{kmax}}{z \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d_1^2)} = \frac{8\,434\,160}{5 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (280^2 - 240^2)} = 103 \text{ MPa}$$

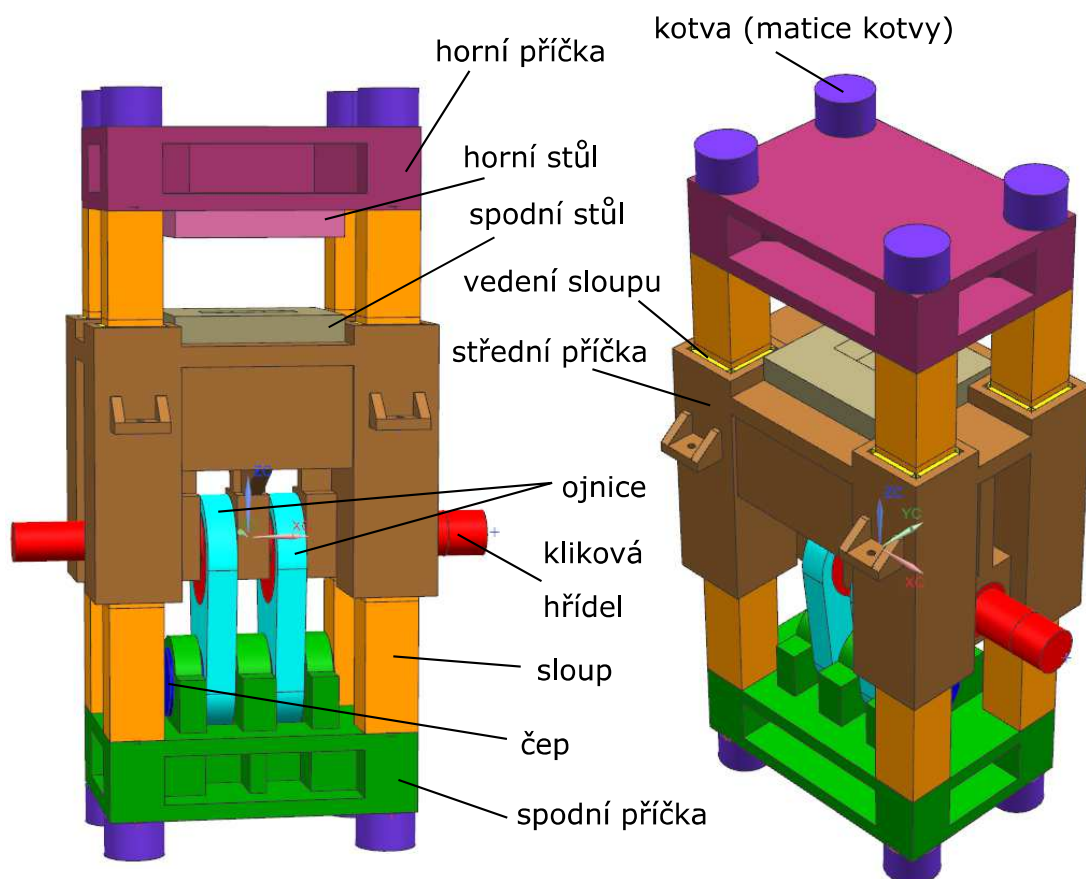
Vypočtený tlak je menší než dovolený, takže rozměry závitu vyhovují.

7 Virtuální simulace

V předchozí kapitole byly provedeny prvotní výpočty vybraných částí klikového lisu se spodním pohonem. Tyto výpočty byly nutné pro prvotní stanovení některých rozměrů, na jejichž základě bylo možné začít vytvářet virtuální model. Některé z těchto rozměrů byly v průběhu modelování změněny, aby výsledný model lépe splňoval požadované vlastnosti. Po vytvoření virtuálního modelu bylo nutné tento model zasíťovat a definovat okrajové podmínky a silové zatížení modelu pro provedení následné virtuální simulace. Všechny tyto operace budou podrobně rozebrány v následujících podkapitolách. Veškeré virtuální operace byly řešeny v programu Siemens NX 10.

7.1 Virtuální model

Virtuální model klikového lisu je složen z několika samostatně vymodelovaných částí, poskládaných do jedné sestavy. Do sestavy nebyl zahrnut pohonný systém stroje, který nebyl v této bakalářské práci řešen. Virtuální model sestavy lisu je znázorněn na obrázku níže (viz Obrázek 27). Model je znázorněn ve dvou pohledech a to zepředu a z pohledu izometrického. U obou pohledů je také použita perspektiva, aby byl model lépe znázorněn v prostoru. Při modelování lisu bylo z důvodu lepší efektivity zařízení rozhodnuto, že lis bude mít dvě ojnice místo původní jedné. Obě ojnice jsou propojeny se spodní příčkou pomocí čepu.



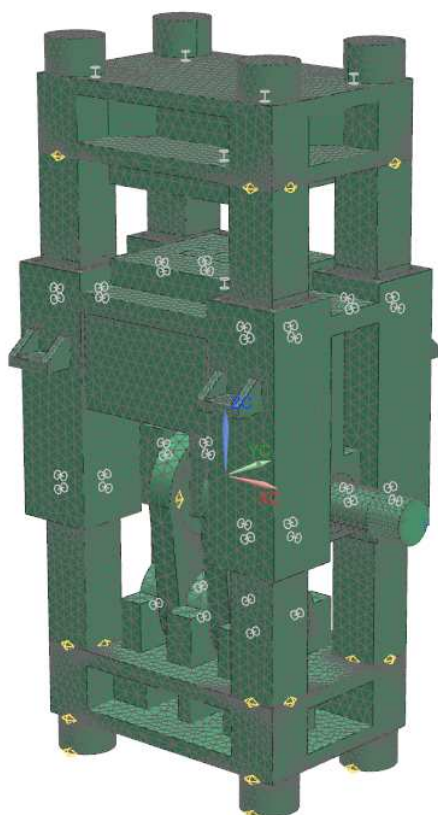
Obrázek 27: Virtuální model sestavy lisu

7.2 Sít'ový model

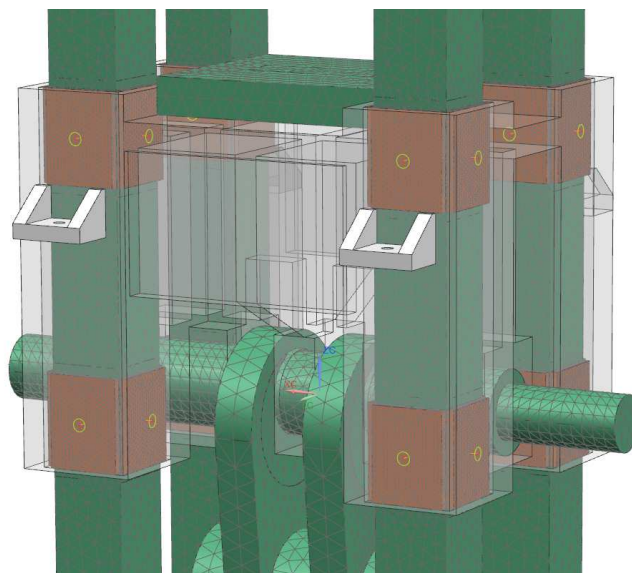
Po zhotovení virtuálního modelu bylo nutné tento model zasít'ovat. Celá sít' byla vytvořena pomocí 3D Tetrahedral elementů, jejichž velikost byla zvolena 25 mm a 100 mm (viz Obrázek 28). Velikostí 25 mm bylo nasít'ováno vedení sloupu, jehož sít' byla vyznačena oranžovou barvou (viz Obrázek 29). Ostatní části lisu byly nasít'ovány elementy o velikosti 100 mm . Některé části byly také naříznuty a pomocí funkce MeshControl byly tyto plochy a některé hrany určitých částí lisu přesít'ovány na jemnější sít' s elementy o velikosti 25 mm . Některé MeshControl elementy jsou znázorněny v Obrázku 28 žlutou barvou. Jako materiál pro vedení sloupu byl zvolen bronz, pro ostatní části lisu byla zvolena ocel. Mechanické vlastnosti těchto materiálů jsou uvedeny v tabulce (viz Tabulka 3). Mezi některé části lisu byla přidána spojení sítí pomocí funkce MeshMating. Tato spojení jsou nezbytná pro správné výsledky virtuální simulace, o níž pojednává podkapitola 7.4. Jako příklad je možno uvést spojení mezi vedením sloupu a rozpěrným sloupem, případně spojení mezi upínacím stolem a horní příčkou. Všechna tato spojení vytvářejí soudržnost mezi danými částmi a ty se nemohou vzájemně od sebe pohybovat. Spojení sítí také zjednodušují simulaci na požadovanou úroveň. Spojení jsou znázorněna v Obrázku 28 šedou barvou.

Tabulka 3: Mechanické vlastnosti materiálů (modul pružnosti v tahu - E, modul pružnost ve smyku - G, hustota - ρ a Poissonova konstanta - μ)

	E [MPa]	G [MPa]	ρ [kg/m ³]	μ [-]
ocel	$2,1 \cdot 10^5$	$81 \cdot 10^3$	7 850	0,3
bronz	$1,17 \cdot 10^5$	$41 \cdot 10^3$	8 800	0,31



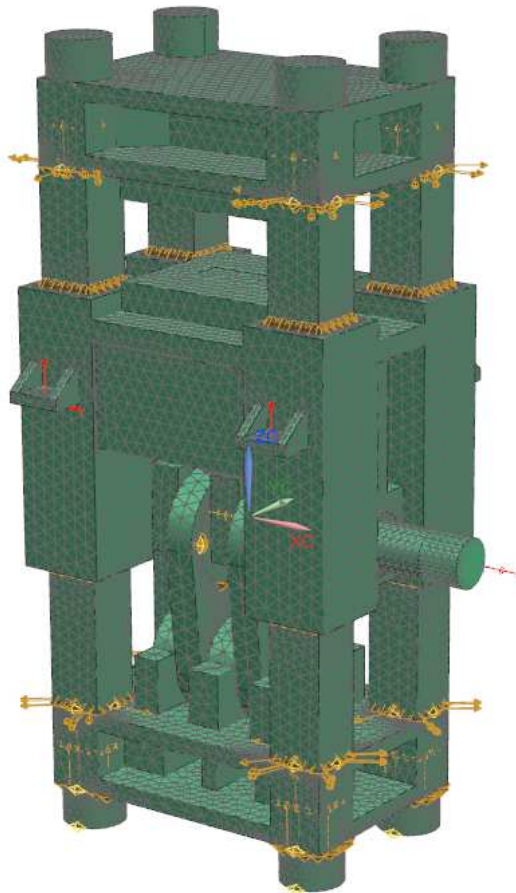
Obrázek 28: Model s 3D sítí, MeshMating (šedá barva) a MeshControl elementy (žlutá barva)



Obrázek 29: Detail na vedení sloupu s 3D sítí (oranžová barva)

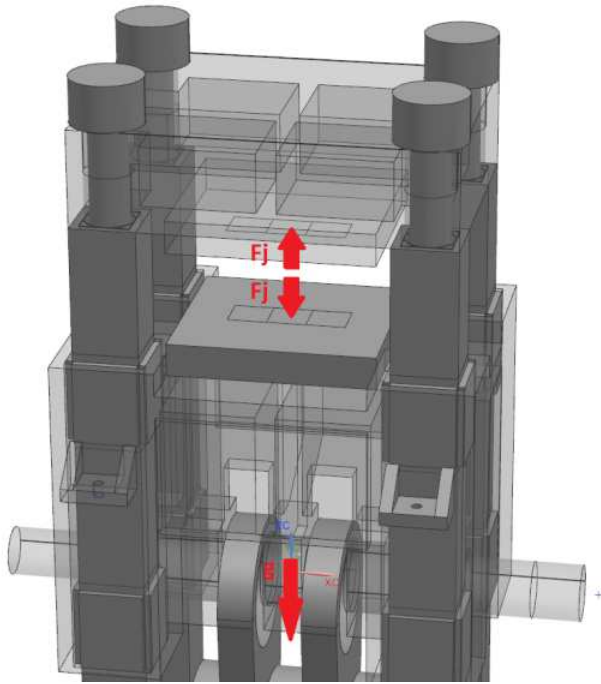
7.3 Okrajové podmínky simulace a silové zatížení

Virtuální simulace vyžaduje ke správnému průběhu správně definované okrajové podmínky a silové zatížení. Tyto dva kroky jsou nezbytné pro dosažení správných výsledků simulace. Okrajové podmínky byly definovány pomocí funkce Constraint Type. Jedná se o pět okrajových podmínek, které byly použity na klikovou hřídel a montážní oka na střední nepohyblivé příčce. U klikové hřídele byla zafixována rotace kolem osy x , zatímco montážní oka byly zafixovány proti posuvu ve směru souřadnicových os, přičemž první oko bylo zafixováno ve všech třech směrech (tedy x , y a z), další dvě oka byla zafixována pouze ve dvou směrech (buď x , z , nebo y , z) a poslední oko bylo zafixováno pouze v jednom směru, a to ve směru osy z . Takto zvolené podmínky nám zajistí správný průběh deformace. Tyto podmínky je možno vidět na obrázku níže, kde jsou zobrazeny červenou barvou (viz Obrázek 30). Kromě okrajových podmínek bylo ještě nutné definovat, jak se budou chovat některé plochy vybraných částí vůči sobě. Tyto podmínky byly definovány pomocí funkce Simulation Object Type a na obrázku níže jsou zobrazeny zlatou barvou. Jedná se o nasimulování kontaktů ploch mezi následujícími dvojicemi: matice kotvy a spodní příčka (koeficient tření $0,3$ a maximální vzdálenost 1 mm), sloupy a vedení sloupu (koeficient tření $0,08$ a maximální vzdálenost 1 mm), kliková hřídel a střední nepohyblivá příčka (koeficient tření $0,08$ a maximální vzdálenost 1 mm), kliková hřídel a ojnice (koeficient tření $0,08$ a maximální vzdálenost 1 mm), ojnice a čep (koeficient tření $0,08$ a maximální vzdálenost 1 mm), horní příčka a sloupy (koeficient tření $0,3$ a maximální vzdálenost 1 mm) a spodní příčka a sloupy (koeficient tření $0,3$ a maximální vzdálenost 1 mm).

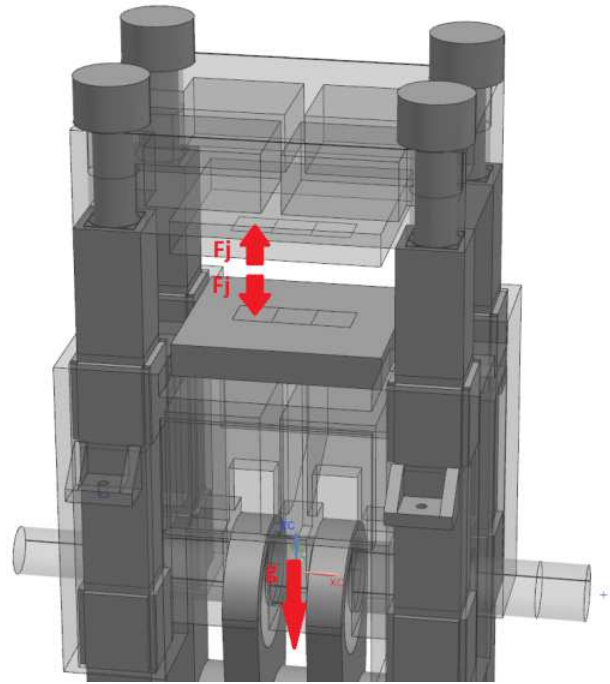


Obrázek 30: Okrajové podmínky simulace (červená barva) a simulace kontaktů ploch (zlatá barva)

Po definování okrajových podmínek bylo nutné definovat silové zatížení virtuálního modelu. Bez silového zatížení by nebylo možné provést virtuální simulaci. Virtuální model byl zatížen třemi způsoby, na základě kterých byly poté získány tři možné výsledky simulace. Jedná se o zatížení centrické, kde působí na stroj gravitační zrychlení (g) a síla jmenovitá (F_j) ve středu pracovní plochy (viz Obrázek 31). Dále zatížení excentrické, kdy na stroj působí gravitační zrychlení a jmenovitá síla, která má působiště na mimostředné pracovní pozici (viz Obrázek 32). Poslední typ zatížení je zatížení stroje při předepnutí, kdy na stroj působí pouze gravitační zrychlení. Gravitační zrychlení působí vždy ve středu hmotnosti tělesa, v případě modelu se jedná o počátek souřadnicového systému.



Obrázek 31: Zatížení centrické (F_j - jmenovitá síla stroje, g - gravitační zrychlení)

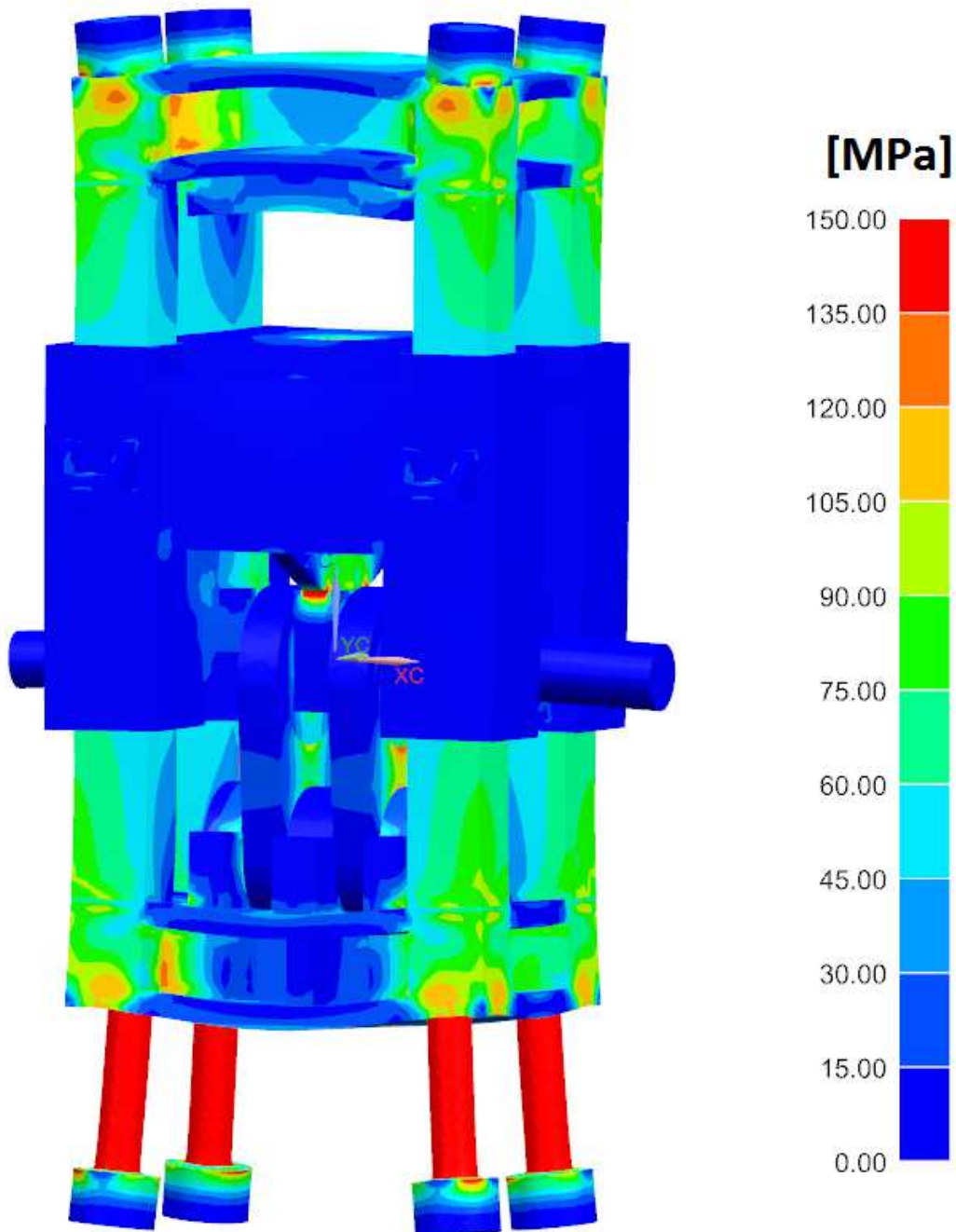


Obrázek 32: Zatížení excentrické (F_j - jmenovitá síla stroje, g - gravitační zrychlení)

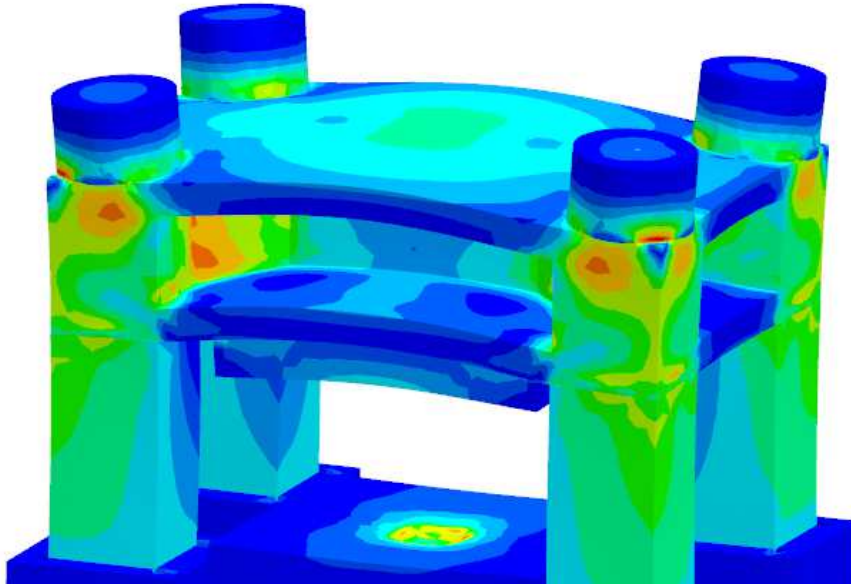
7.4 Výsledky simulace

Poté co byly nadefinovány okrajové podmínky a silové zatížení, bylo možno spustit virtuální simulaci. Po dokončení výpočtu bylo dosaženo několika výsledků, z nichž nejdůležitější jsou výsledky výpočtu elementárních napětí pro námi definované zatížení. Jednotlivé výsledky pro daná zatížení jsou uvedeny níže.

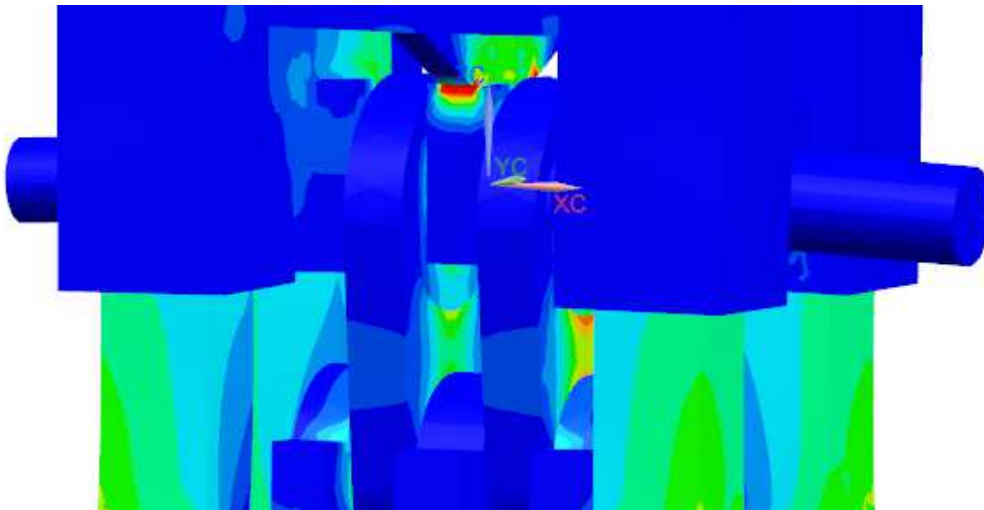
7.4.1 Výsledky napětí pro centrické zatížení stroje



Obrázek 33: Výsledky redukovaného napětí Von-Mises pro centrické zatížení stroje



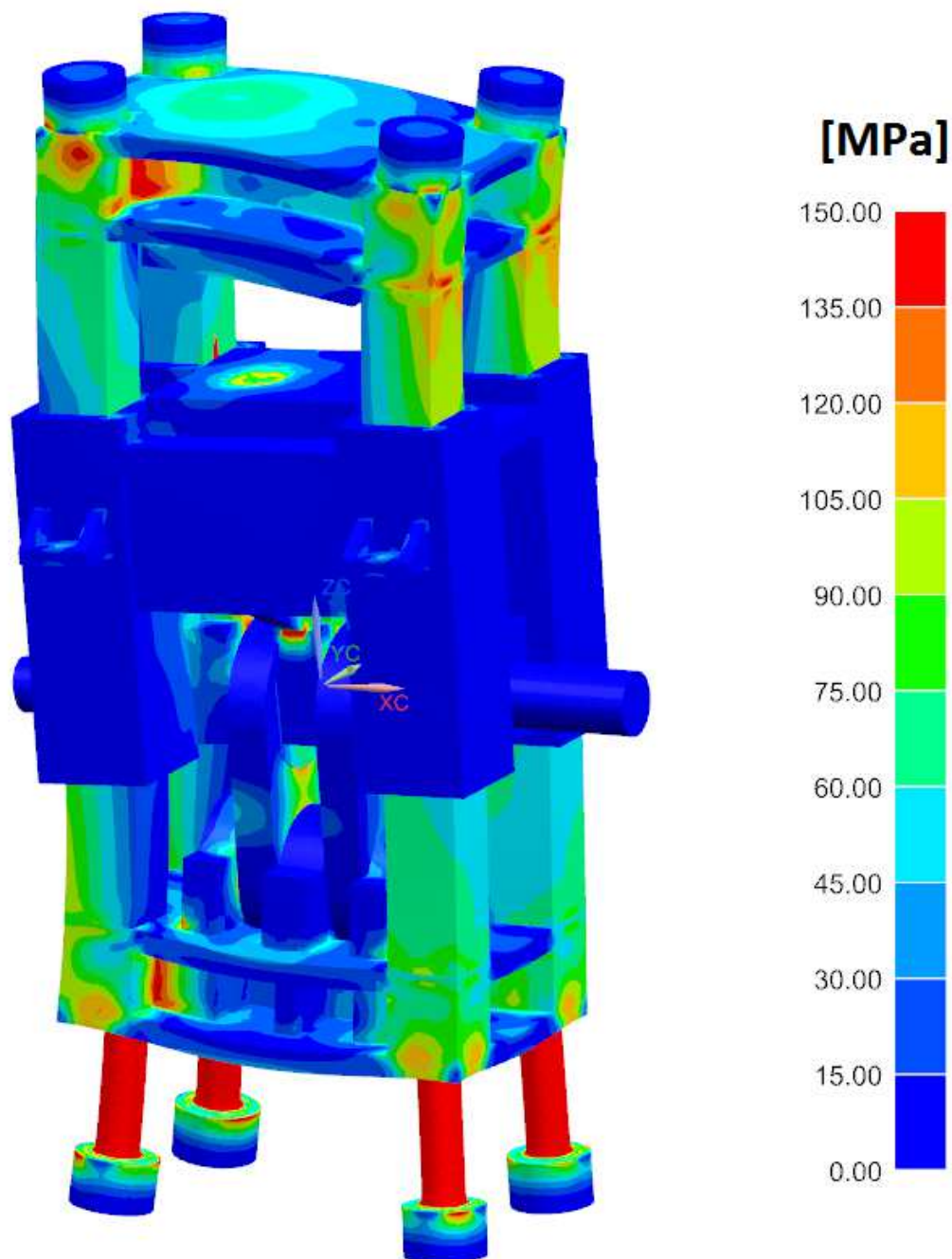
Obrázek 34: Výsledky redukovaného napětí Von-Mises pro centrické zatížení stroje - detail horní příčky



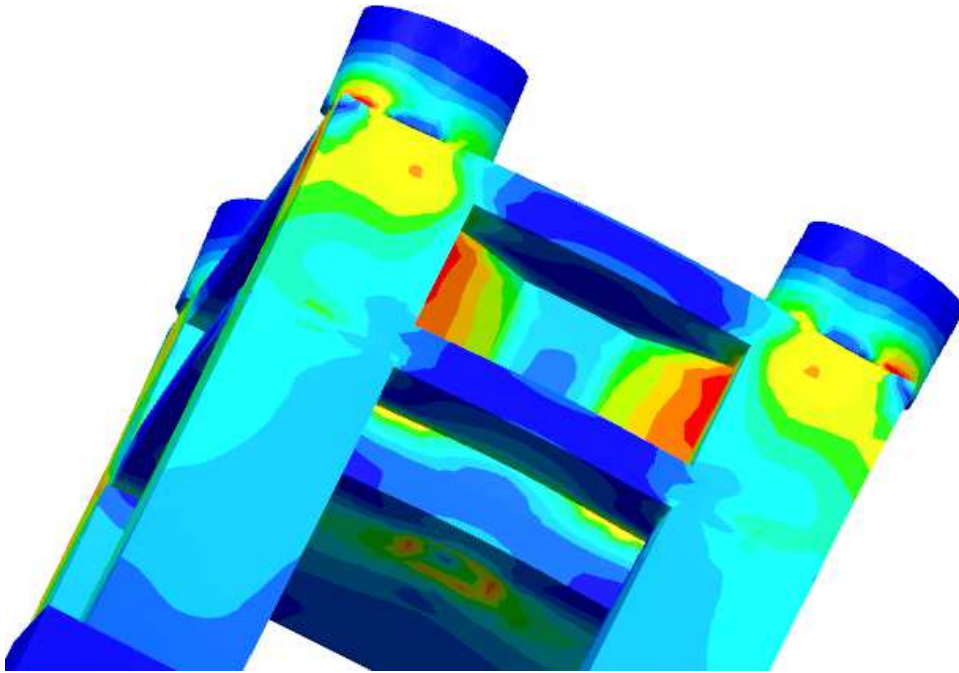
Obrázek 35: Výsledky redukovaného napětí Von-Mises pro centrické zatížení stroje - detail ojnice

Jak je možno vidět na obrázcích výše (viz Obrázek 33, Obrázek 34 a Obrázek 35), jsou výsledky napětí poměrně pozitivní. Největší napětí je v kotvách, které odpovídá 150 MPa . Toto napětí je menší, než je dovolené napětí pro kotvu $\sigma_D = 200 \text{ [MPa]}$. Výsledky napětí na ostatních částech lisu vykazují relativně dobré hodnoty s výjimkou místa na střední příčce mezi ojnicemi. Zde by bylo nutné mírně upravit model lisu. Výsledky by bylo vhodné porovnat s původně uvažovanými hodnotami napětí. Před samotným výpočtem simulace byly ovšem modely některých částí lisu mírně či více upraveny a tím pádem se liší od návrhů, podle kterých byly provedeny prvotní výpočty. Zejména se jedná o příčky. Z tohoto důvodu by bylo porovnání těchto prvotních výpočtů a výsledků konečné simulace nereálné.

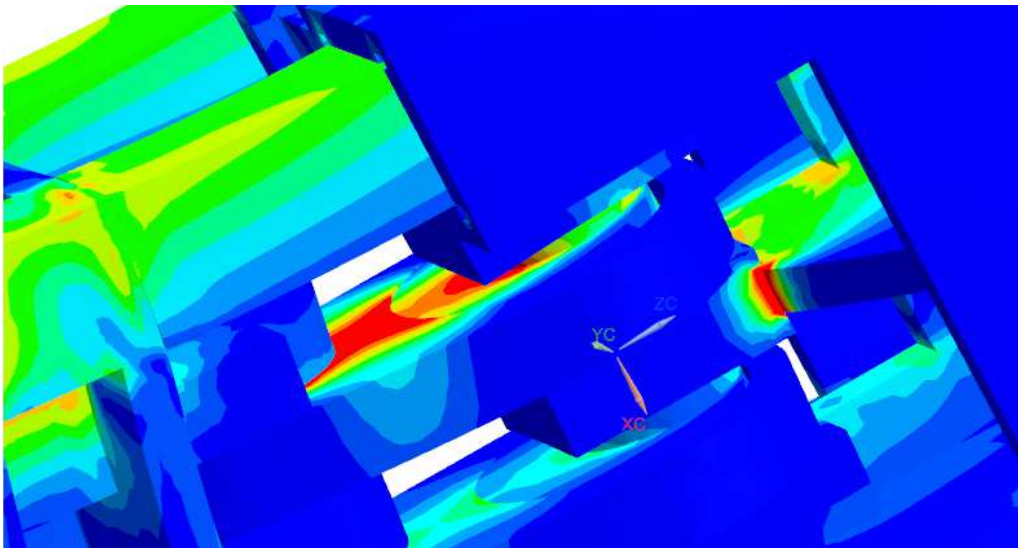
7.4.2 Výsledky napětí pro excentrické zatížení stroje



Obrázek 36: Výsledky redukovaného napětí Von-Mises pro excentrické zatížení stroje



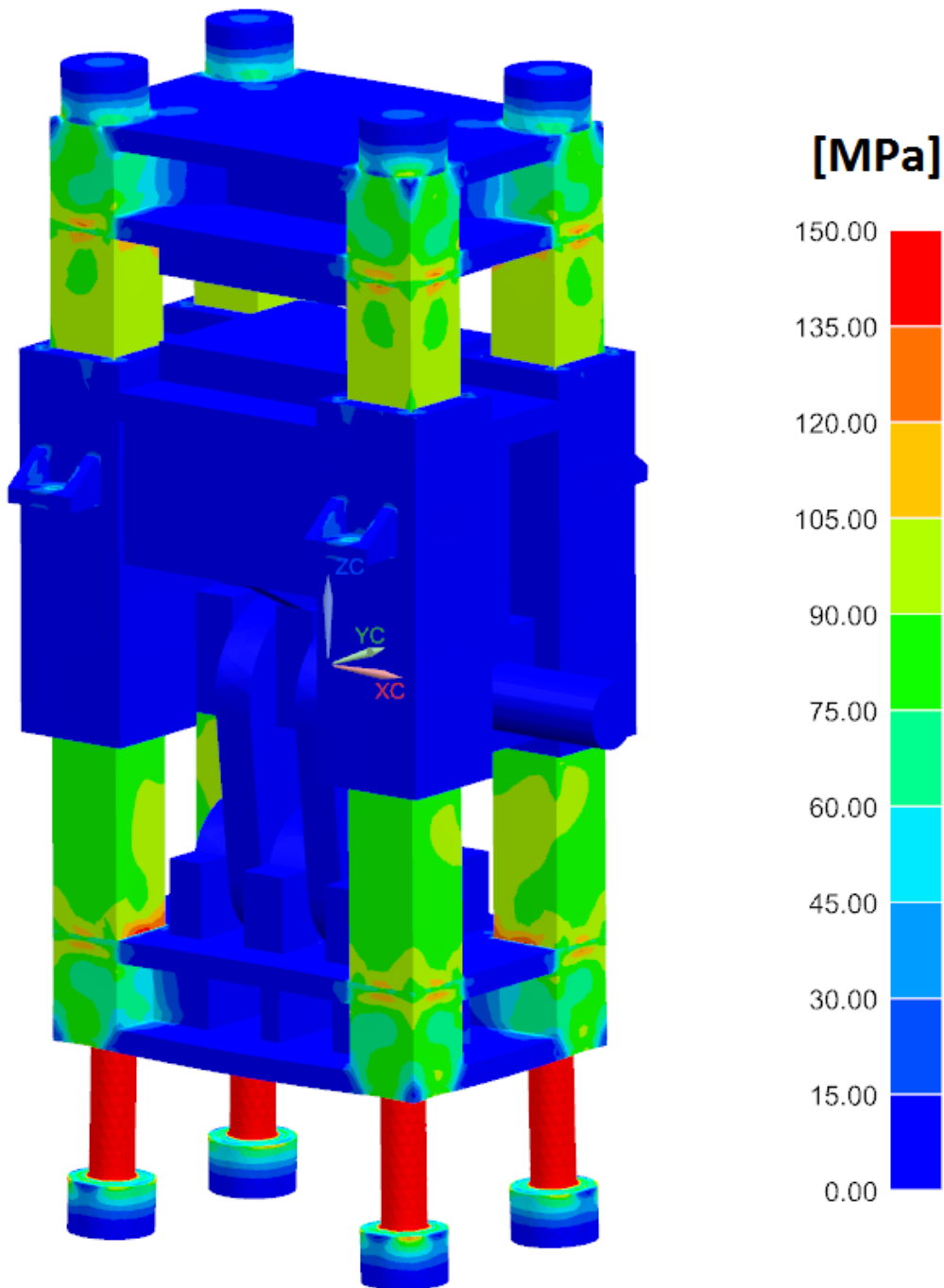
Obrázek 37: Výsledky redukovaného napětí Von-Mises pro excentrické zatížení stroje - detail horní příčky



Obrázek 38: Výsledky redukovaného napětí Von-Mises pro excentrické zatížení stroje - detail ojnice

Při pohledu na obrázky výše (viz Obrázek 36, Obrázek 37 a Obrázek 38) je patrné, že při tomto typu zatížení také dochází ke zvýšenému napětí v ojnici a horní a spodní příčce na zatěžované straně lisu. Toto napětí vzniká v důsledku excentrického zatížení stroje, při kterém je jedna strana lisu namáhána více, než druhá. Výsledky napětí jsou však celkově přijatelné.

7.4.3 Výsledky napětí pro zatížení stroje při předeptnutí



Obrázek 39: Výsledky redukovaného napětí Von-Mises pro zatížení stroje při předeptnutí

U tohoto zatížení jsou výsledky napětí vyhovující a korespondují s výsledky očekávanými dle prvotních výpočtů. Původní vypočítané napětí ve sloupu při předeptnutí na tlak je rovno $\sigma_{drs\ preddep} = 93\text{ MPa}$. Při pohledu na obrázek výše (viz Obrázek 39) je patrné, že skutečné hodnoty napětí ve sloupu se pohybují kolem požadované hodnoty.

Výsledky virtuální simulace byly uznány jako vyhovující pro rozsah této práce a nyní je tedy možno zpracovat výkresovou dokumentaci, skládající se z výkresu sestavy ukotvení lisu a výrobního výkresu kotvy. Celá výkresová dokumentace je součástí příloh vložených za vázanou částí této práce (viz Příloha B).

8 Závěr

V této bakalářské práci jsem provedl hrubý návrh kovacího klikového lisu se spodním pohonem od prvotních návrhů koncepčních variant lisu až po konstrukční řešení jedné zvolené varianty.

Před samotným řešením koncepčních variant jsem zpracoval teoretický základ z oblasti klikových lisů a zápustkového kování pro lepší pochopení problematiky těchto tvářecích strojů a provedl důkladnou rešerši z oblasti klikových kovacích lisů, abych následně navrhl takový produkt, který by měl šanci udržet krok se současným světovým trhem. Rešerši vybraných výrobců lisů jsem zpracoval a do práce vložil jako samostatnou přílohu ve formě tabulky.

Poté jsem navrhl jednotlivé koncepční varianty lisu a všechny důkladně rozkreslil do základních technických pohledů a následně u každé varianty uvedl její výhody a nevýhody. Ze všech variant jsem bodovou metodou hodnocení vybral nejvhodnější variantu lisu, pro kterou jsem následně vypracoval podrobné konstrukční řešení.

Toto řešení zahrnovalo stanovení základních technických parametrů stroje a technické výpočty vybraných částí lisu pro stanovení důležitých vstupních rozměrů, ze kterých jsem následně sestavil virtuální model lisu v programu Siemens NX a spustil jsem virtuální simulaci pro mě definované zatížení lisu třemi různými způsoby. Výsledky simulace jsem uvedl v práci a poté jsem zpracoval příslušnou výkresovou dokumentaci.

Konstrukční řešení kovacího lisu se spodním pohonem se běžně nepoužívá. Má práce prokázala, že by takové řešení bylo možné, ale výhody zřejmě nepřevýší vzniklé komplikace. Problematické by zřejmě bylo zajistit dynamickou stabilitu s ohledem na zvýšené pohyblivé hmoty.

Seznam použité literatury

- [1] **AJAX**. Forging Presses. *Ajax CECO*. [Online] [Citace: 6. 10 2016.] http://www.ajax-ceco.com/applications/documentlibrary/documentlibrary_docs/forging_press_brochure.pdf.
- [2] —. Ajax CECO. *Forging Presses*. [Online] [Citace: 6. 10 2016.] <http://www.ajax-ceco.com/default.asp?ID=42>.
- [3] **ČECHURA, M., HLAVÁČ, J. a STANĚK, J.** *Konstrukce tvářecích strojů*. Plzeň : Fakulta strojní ZČU v Plzni, 2015. ISBN 978-80-261-0540-4.
- [4] **BENEŠOVÁ, S. a BERNÁŠEK, V.** *Technologie tváření*. Plzeň : Fakulta strojní ZČU v Plzni, 2014. ISBN 978-80-261-0449-0.
- [5] **SCHULER**. Forging Technology. *SCHULER* . [Online] [Citace: 6. 10 2016.] https://www.schulergroup.com/major/download_center/broschueren_uebersichten/download_uebersichten/uebersicht_broschuere_produkte_massivumformung_e.pdf.
- [6] —. History of Schuler Inc. *SCHULER*. [Online] [Citace: 6. 10 2016.] <https://www.schulergroup.com/major/us/unternehmen/historie/index.html>.
- [7] **STAMTEC**. Company. *STAMTEC*. [Online] [Citace: 6. 10 2016.] <http://www.stamtec.com/company/about-us>.
- [8] —. WF1 Series. *STAMTEC*. [Online] [Citace: 6. 10 2016.] http://www.stamtec.com/uploads/resource/filename/WF_Series_Catalog_March_2017.pdf.
- [9] **ŠMERAL**. Historie společnosti. *ŠMERAL*. [Online] [Citace: 6. 10 2016.] <http://www.smeral.cz/historie.html>.
- [10] —. Klikové lisý. *ŠMERAL*. [Online] [Citace: 6. 10 2016.] http://www.smeral.cz/klikove_lisy.html.
- [11] **TMP**. Our Company. *TMP*. [Online] [Citace: 6. 10 2016.] <http://www.tmp-press.com/about/>.
- [12] —. Die Forging Equipment. *TMP*. [Online] [Citace: 6. 10 2016.] <http://www.tmp-press.com/products/die-forging/>.
- [13] **SUMITOMO**. History. *Sumitomo Heavy Industries, Ltd.* [Online] [Citace: 6. 10 2016.] <http://www.shi.co.jp/english/company/history/index.html>.
- [14] —. Forging Presses - FPX Series. *Sumitomo Heavy Industries, Ltd.* [Online] [Citace: 6. 10 2016.] <http://www.shi.co.jp/stf/english/pro0103.html>.
- [15] —. Forging Presses - FPW Series. *Sumitomo Heavy Industries, Ltd.* [Online] [Citace: 6. 10 2016.] <http://www.shi.co.jp/stf/english/pro0102.html>.
- [16] **ERIE**. Forging Presses. *ERIE Press Systems*. [Online] [Citace: 6. 10 2016.] <http://www.eriepress.com/Forging-Presses/index.html>.

Seznam použitých obrázků

Obrázek 1: Klikový lis	12
Obrázek 2: Klikový mechanismus	12
Obrázek 3: Postup záпустkového kování [4]	14
Obrázek 4: Výrobní linka firmy STAMTEC [8]	15
Obrázek 5: Klikový lis s horním pohonem - pohled zepředu a z boku	19
Obrázek 6: Klikový lis s horním pohonem - pohled shora	20
Obrázek 7: Klikový lis se spodním pohonem - varianta A - pohled zepředu a z boku	21
Obrázek 8: Klikový lis se spodním pohonem - varianta A - pohled shora	21
Obrázek 9: Klikový lis se spodním pohonem - varianta B - pohled zepředu a z boku	22
Obrázek 10: Klikový lis se spodním pohonem - varianta B - pohled shora	23
Obrázek 11: Klikový lis se spodním pohonem - varianta C - pohled zepředu	24
Obrázek 12: Klikový lis se spodním pohonem - varianta C - pohled shora	24
Obrázek 13: Klikový lis se spodním pohonem - varianta D - pohled zepředu a z boku	25
Obrázek 14: Klikový lis se spodním pohonem - varianta D - pohled shora	26
Obrázek 15: Klikový lis se spodním pohonem - varianta E - pohled zepředu a z boku	27
Obrázek 16: Klikový lis se spodním pohonem - varianta E - pohled shora	27
Obrázek 17: Varianta pohonu lisu koncepční varianty E - 1 pohon; 2 hnané hřídele	28
Obrázek 18: Varianta pohonu lisu koncepční varianty E - 1 pohon; více hnaných hřídelí	29
Obrázek 19: Varianta pohonu lisu koncepční varianty E - 2 hnací hřídele se samostatnými pohony	30
Obrázek 20: Znázornění základních rozměrů a veličin působících na stojan	34
Obrázek 21: Nosník pro výpočet maximální síly ve sloupu	35
Obrázek 22: Diagram předepnutého spoje	36
Obrázek 23: Průřez rozpěrného sloupu	37
Obrázek 24: Působení staticky neurčitého momentu na stojan lisu	38
Obrázek 25: Průřez horní příčky lisu	38
Obrázek 26: Závít na kotvě	40
Obrázek 27: Virtuální model sestavy lisu	42
Obrázek 28: Model s 3D sítí, MeshMating (šedá barva) a MeshControl elementy (žlutá barva)	43
Obrázek 29: Detail na vedení sloupu s 3D sítí (oranžová barva)	43
Obrázek 30: Okrajové podmínky simulace (červená barva) a simulace kontaktů ploch (zlatá barva)	44
Obrázek 31: Zatížení centrické (F_j - jmenovitá síla stroje, g - gravitační zrychlení)	45
Obrázek 32: Zatížení excentrické (F_j - jmenovitá síla stroje, g - gravitační zrychlení)	45
Obrázek 33: Výsledky redukováného napětí Von-Mises pro centrické zatížení stroje	46
Obrázek 34: Výsledky redukováného napětí Von-Mises pro centrické zatížení stroje - detail horní příčky	47
Obrázek 35: Výsledky redukováného napětí Von-Mises pro centrické zatížení stroje - detail ojnice	47
Obrázek 36: Výsledky redukováného napětí Von-Mises pro excentrické zatížení stroje	48
Obrázek 37: Výsledky redukováného napětí Von-Mises pro excentrické zatížení stroje - detail horní příčky	49
Obrázek 38: Výsledky redukováného napětí Von-Mises pro excentrické zatížení stroje - detail ojnice	49
Obrázek 39: Výsledky redukováného napětí Von-Mises pro zatížení stroje při předepnutí	50