

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2302T013 Stavba výrobních strojů a zařízení

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Konstrukční řešení dvousloupového kovacího lisu s ohledem na zvýšení
boční tuhosti

Autor: **Bc. Tom KOSTĚ**

Vedoucí práce: **Doc. Ing. Václav Kubec, Ph.D.**

Akademický rok 2018/2019

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Tom KOSTĚ**
Osobní číslo: **S17N0025P**
Studijní program: **N2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Stavba výrobních strojů a zařízení**
Název tématu: **Konstrukční řešení dvousloupého kovacího lisu s ohledem na zvýšení boční tuhosti**
Zadávací katedra: **Katedra konstruování strojů**

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

Základní požadavky:

Cílem práce je vypracování rešerše možných konstrukčních uspořádání dvousloupových kovacích lisů. Následně stanovení obecného výpočetního postupu pro kontrolu tuhosti rámu. Výběr optimální konstrukce rámu z hlediska tuhosti a vypracování jeho konstrukčního návrhu.

Základní technické údaje:

Technické parametry jsou uvedeny v příloze zadání.

Osnova diplomové práce:

1. Analýza možných řešení dvousloupových rámu kovacích lisů
2. Návrh variant konstrukce dvousloupových rámu kovacích lisů
3. Sestavení metodiky hodnocení boční tuhosti
4. Vyhodnocení navržených variant

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Rozsah kvalifikační práce: **50-70 stran A4**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:

HOSNEDL, S., KRÁTKÝ, J. Příručka strojího inženýra 1. Brno: Computer Press, 1999

MICHEJEV, V., A. Hydraulické lisy. Praha: SNTL, 1956

RUDOLF, B., KOPECKÝ, M. Tvářecí stroje- základy stavby a využití. Praha: SNTL, 1985

ČECHURA, M., STANĚK, J. Tvářecí stroje- hydraulické lisy. Plzeň: ZČU, 2001

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

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Václav Kubec, Ph.D.**

Katedra konstruování strojů

Konzultant diplomové práce: **Ing. Josef Volena**

TS Plzeň a.s.

Datum zadání diplomové práce: **16. října 2018**

Termín odevzdání diplomové práce: **24. května 2019**

Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.
děkan



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

V Plzni dne 16. října 2018

Prohlášení o autorství

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

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

V Plzni dne:

.....
podpis autora

Poděkování

Touto cestou bych rád poděkoval vedoucímu, panu Doc. Ing. Václavu Kubcovi, Ph.D., za poskytnutí odborných rad, věcných připomínek a pečlivého vedení mé diplomové práce. Dále bych rád poděkoval své rodině a přátelům za podporu během studia a poskytnutí zázemí pro vytvoření této práce.

ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Bc. Kost'	Jméno Tom	
STUDIJNÍ OBOR	N2301 Strojní inženýrství, Stavba výrobních strojů a zařízení		
VEDOUcí PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Doc. Ing. Kubec, Ph.D.	Jméno Václav	
PRACOVÍŠTĚ	ZČU - FST - KKS		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Konstrukční řešení dvousloupového kovacího lisu s ohledem na zvýšení boční tuhosti		

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KKS	ROK ODEVZD.	2019
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	65	TEXTOVÁ ČÁST	52	GRAFICKÁ ČÁST	13
---------------	----	---------------------	----	----------------------	----

<p style="text-align: center;">STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</p> <p>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</p>	<p>Tato diplomová práce se zabývá zvýšením boční tuhosti dvousloupového kovacího lisu CKV 45/50 MN od společnosti TS Plzeň a.s. Práce obsahuje rešerši na zadané téma, analytický výpočet rámu lisu, analýzu současného řešení, návrh variant změny tvaru sloupů pro zvýšení tuhosti lisu a jejich zhodnocení. Zvolená varianta je porovnána se současným řešením lisu při spektrálním zatížení.</p>
<p style="text-align: center;">KLÍČOVÁ SLOVA</p> <p style="text-align: center;">ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</p>	<p style="text-align: center;">Hydraulický lis, kování, tuhost, excentricita, analýza</p>

SUMMARY OF BACHELOR SHEET

AUTHOR	Surname Bc. Kost'	Name Tom	
FIELD OF STUDY	N2301 Mechanical Engineering, Design of Manufacturing Machines and Equipment		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Doc. Ing. Kubec, Ph.D.	Name Václav	
INSTITUTION	ZČU - FST - KKS		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Structural design of two-column forging press aimed at increase of side stiffness		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	Machine Design	SUBMITTED IN	2019
----------------	------------------------	-------------------	----------------	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	65	TEXT PART	52	GRAPHICAL PART	13
----------------	----	------------------	----	-----------------------	----

BRIEF DESCRIPTION	<p>This thesis is focused on the increase of side stiffness of the two-column forging press type CKV 45/50 MN produced by firm TS Pilsen, joint stock company. The thesis contains background research aimed at the defined subject, analytical calculation of the press frame, analysis of actual product solution, design of variants of modified columns aimed to increase the press stiffness and their comparison. Finally the best variant is compared with actual press submitted to spectral loads.</p>
TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	
KEY WORDS	Hydraulic press, forging, stiffness, eccentricity, analysis

Obsah

1.	Úvod.....	11
2.	Tváření kovů	11
3.	Rozdělení tváření.....	11
4.	Kování	12
5.	Hydraulický kovací lis	13
6.	Výrobci kovacích lisů.....	15
7.	Lis CKV 45/50 MN.....	19
8.	Vznik excentricity	20
9.	Tuhost a její vliv na výslednou deformaci	22
10.	Výpočet rámu	23
	Tachov – Kuzněcovovo pravidlo o integraci dvou funkcí	24
	Vyjádření jednotlivých zobecněných posuvů	25
	Vyjádření vnitřních staticky neurčitých veličin M, V, H.....	28
	Velikosti ohybového momentu v jednotlivých částech rámu	28
10.1	Kontrola kotev	29
10.2	Kontrola sloupu.....	31
11.	Analýza současného řešení.....	31
	MKP síť.....	32
	Kontaktní plochy	32
11.1	Nahrazení výkovku	33
11.2	Změna předpětí	34
11.3	Úprava vedení	34
11.4	Zatížení lisu.....	35
11.5	Vlastní frekvence lisu	41
12.	Varianty.....	44
12.1	Varianta A – současné řešení	44
12.2	Varianta B – nepředepnutý rám	45
12.3	Varianta C – změna hloubky vsazení sloupu do spodní traverzy	45
12.4	Varianta D – změna průřezu sloupu ve spodní části.....	46
12.5	Varianta E – vytvoření osazení na sloupu.....	46
12.6	Varianta F – přidání nárážky.....	47
12.7	Varianta G – integrování nárážky do sloupu	48
12.8	Varianta H – čtvercový průřez sloupu	49
12.9	Varianta I – čtvercový U profil sloupu	51

12.10	Varianta J – obdélníkový průřez sloupu	51
12.11	Varianta K – průřez sloupu ve tvaru písmena E	52
13.	Vyhodnocení variant	54
14.	Porovnání zvolené varianty se současným řešením	58
15.	Závěr.....	64
	Literatura	65

Seznam obrázků

Obr. 4-1:	Postupová zápustka [6]	13
Obr. 5-1:	Hydraulický lis s horním a spodním pohonem [8]	14
Obr. 5-2:	Výhody a nevýhody konstrukcí kovací lisů [9]	14
Obr. 6-1:	Hydraulický lis CKV 120 MN a CKW 63/74 MN [9]	15
Obr. 6-2:	Hydraulické kovací lisy pro volné kování [10], [11], [12], [13], [14].....	18
Obr. 7-1:	Lis CKV 45/50 MN	19
Obr. 8-1:	Tvářecí operace.....	20
Obr. 8-2:	Příčiny vzniku excentricity	21
Obr. 10-1:	Tachov – Kuzněcovovo pravidlo o integraci dvou funkcí [4]	25
Obr. 10-2:	Průběh momentů okolo sloupů rámu od vnitřně staticky neurčitých sil a momentů, jejichž velikost je rovna “1“ [4]	25
Obr. 10-3:	Momentové plochy okolo sloupů lisu od jednotkových vnitřních staticky neurčitých veličin $M=1$, $H=1$ [4]	26
Obr. 10-4:	Průběh momentu okolo sloupů rámu od vnějšího zatížení [4]	27
Obr. 10-5:	Velikosti ohybového momentu v jednotlivých uzlech rámu [4]	29
Obr. 10-6:	Diagram předepjatého spoje sloupu a kotvy.....	30
Obr. 11-1:	Směr excentricity a okrajové podmínky výpočtu	32
Obr. 11-2:	Způsoby nahrazení výkovku: těleso, 1D prvek a absolutně tuhý 1D prvek	33
Obr. 11-3:	Napětí a deformace lisu zatíženého předepnutím kotev	35
Obr. 11-4:	Napětí a deformace centricky zatíženého lisu	36
Obr. 11-5:	Napětí a deformace lisu při příčné excentricitě 250 mm.....	37
Obr. 11-6:	Napětí a deformace lisu při příčné excentricitě 375 mm.....	38
Obr. 11-7:	Napětí a deformace lisu při příčné excentricitě a síle 50 MN	38
Obr. 11-8:	Napětí a deformace lisu při podélné excentricitě 330 mm	39
Obr. 11-9:	Napětí a deformace lisu při podélné excentricitě 495 mm	40
Obr. 11-10:	Napětí a deformace lisu při podélné excentricitě a síle 50 MN.....	40
Obr. 11-11:	Napětí v lisu při příčné a podélné excentricitě	41

Obr. 11-12: Tvar vlastních frekvencí lisu při centrickém zatížení.....	42
Obr. 11-13: Tvar vlastních frekvencí lisu při příčné excentricitě	42
Obr. 11-14: Tvar vlastních frekvencí lisu při podélné excentricitě.....	43
Obr. 11-15: Graf závislosti vychýlení lisu na čase při měření [15]	43
Obr. 12-1: Varianta A – tvar lisu a rozložení napětí	44
Obr. 12-2: Varianta B – integrace kotvy	45
Obr. 12-3: Varianta C – změna hloubky vsazení sloupu.....	45
Obr. 12-4: Varianta D – změna tvaru sloupu	46
Obr. 12-5: Varianta E – rozměry osazení.....	47
Obr. 12-6: Varianta F – přidání narážky a připojení ke spodní traverze.....	48
Obr. 12-7: Varianta G – integrování narážky.....	49
Obr. 12-8: Varianta H – čtvercový průřez sloupu.....	50
Obr. 12-9: Varianta H – rozložení napětí v lisu během excentrického zatížení.....	50
Obr. 12-10: Varianta I – U profil sloupu.....	51
Obr. 12-11: Varianta J – obdélníkový průřez sloupu.....	52
Obr. 12-12: Varianta K – E profil sloupu a rozložení napětí během excentrického zatížení...	53
Obr. 13-1: Graf deformace a vlastních frekvencí jednotlivých variant.....	55
Obr. 14-1: Rozložení tlaku v kontaktní ploše mezi kovadlem a výkovkem	59
Obr. 14-2: Porovnání napětí při centrickém zatížení	60
Obr. 14-3: Porovnání napětí při příčné excentricitě zatížení	60
Obr. 14-4: Porovnání napětí při podélné excentricitě zatížení.....	61
Obr. 14-5: Rozložení napětí ve sloupech	62

Seznam tabulek

Tab. 6-1: Seznam nabízených lisů CKV [9]	16
Tab. 6-2: Seznam nabízených lisů CKW [9].....	16
Tab. 11-1: Rozměry deformace lisu v závislosti na typu náhrady výkovku	33
Tab. 11-2: Změna velikosti předeprnutí	34
Tab. 11-3: Vliv velikosti vůle na deformaci lisu.....	34
Tab. 12-1: Vliv hloubky vsazení sloupu na deformaci lisu.....	46
Tab. 13-1: Velikost deformace a vlastních frekvencí navrhovaných variant.....	54
Tab. 13-2: Rozměry lisů a pracovního prostoru.....	56
Tab. 13-3: Bodové ohodnocení variant	57
Tab. 13-4: Pořadí navrhovaných variant dle vyhodnocení	58
Tab. 14-1: Velikost napětí ve sloupech a deformace lisu	63
Tab. 14-2: Porovnání vlastních frekvencí	63

1. Úvod

Tématem diplomové práce je konstrukční řešení dvousloupového kovacího lisu s ohledem na zvýšení boční tuhosti. Tato práce se zabývá kovacím lisem s označením CKV 45/50 MN od společnosti TS Plzeň a.s. V praxi se setkáváme se stroji, které jsou zatíženy jediným, či několika charakteristickými průběhy zatížení, které se cyklicky opakují. Pracovní využití těchto strojů je velmi pestré, od zlomku jmenovitého výkonu, ke stoprocentnímu využití. V některých případech určité parametry zátěže krátkodobě překračují jmenovité hodnoty.

Ve stavu přetížení nastává obvykle riziko nedodržení některých z požadovaných parametrů, například přesnosti, požadované kvality povrchu a samozřejmě i možného intenzivnějšího opotřebení některých částí strojů, či určitá nevratná změna významných parametrů, vyžadující opravu.

Pro velké kovací lisy, určené převážně pro výrobu menších sérií složitějších a rozměrnějších výkovků, je typické právě velké rozpětí zatížení stroje v provozu. Při vlastním procesu kování je pracovní síla vyvozována hydraulickým systémem. Vyvolané reakční síly jsou zachyceny uvnitř rámu. Při náročnější práci dochází běžně k vzniku reakcí, které nepůsobí v ose lisu. Takové zatížení má za následek namáhání sloupů ohybovým momentem a naklonění lisu.

Současné metody pevnostních i dynamických výpočtů s využitím výkonné techniky umožňují stanovit tuhost a vlastní frekvenci soustavy a navrhnout několik variant řešení. Výběr optimální varianty umožní realizaci řešení, které i při mezních rozměrech polotovarů a složitých kovacích postupech zajistí dodržení požadované přesnosti kování a stability lisu.

2. Tváření kovů

Tváření kovů je technologický proces, při kterém dochází ke změně tvaru, struktury a mechanických vlastností vstupního polotovaru. Na rozdíl od obrábění není požadovaný tvar získán odběrem materiálu v podobě třísek, ale vlivem působení vnějších sil. Princip tváření je založen na vzniku trvalých (plastických) deformací, které jsou zachovány i po odeznění pracovních sil. Pro dosažení plastických deformací je zapotřebí překročit napětí na mezi kluzu. Velikost napětí na mezi kluzu je dáno tvářeným materiálem, jeho teplotou a rychlostí tváření.

Tváření je jedním z nejpoužívanějších způsobů zpracování kovů. Při něm se dosahuje vysokého využití materiálu, vysoké produktivity práce a malé tvarové a rozměrové odchylky jednotlivých výrobků. Výrobní proces je možné mechanizovat a automatizovat.

Nevýhodou tváření je vysoká cena strojů a nástrojů, omezené rozměry výrobků a jejich přesnost.

3. Rozdělení tváření

Tváření se dělí podle teploty na tváření za studena a tváření za tepla. Hranicí rozdělující tyto technologie je rekrystalizační teplota. Rekrystalizační teplota materiálu je taková teplota, při které dochází k regeneraci zdeformovaných zrn. Velikost této teploty se pohybuje přibližně okolo 40 % teploty tání tvářeného materiálu.

Tváření lze rozčlenit podle průběhu deformací ve výrobku na [5]:

- objemové
- plošné
- dělení materiálu

Základní tvářecí pochody se dělí na [5]:

- kování
- válcování
- tažení
- vytlačování
- protlačování
- lisování
- ohýbání
- stříhání
- lámaní
- drcení

4. Kování

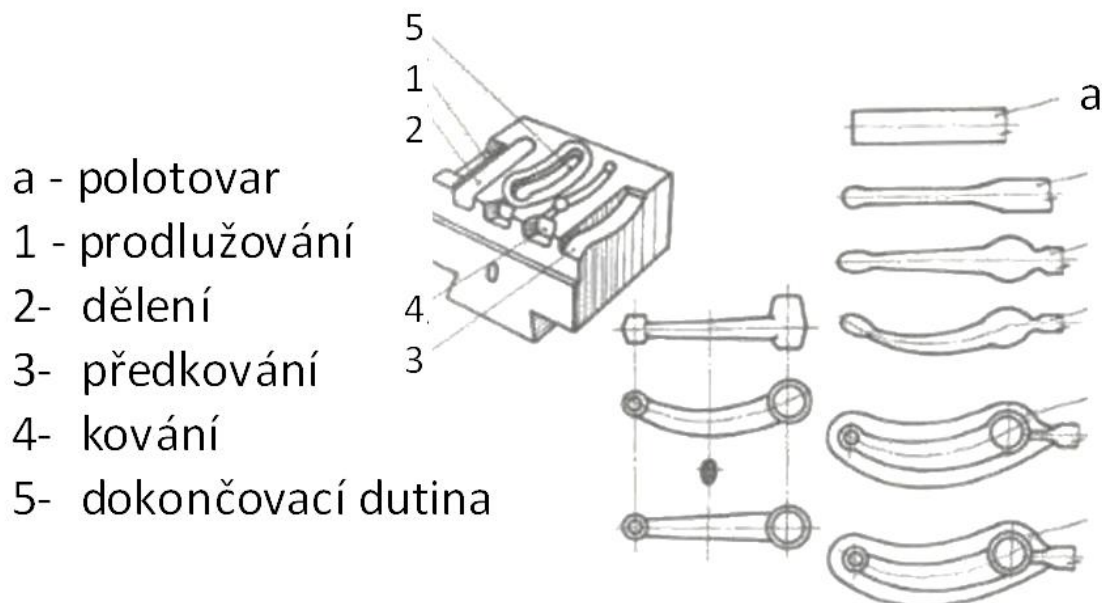
Kování se řadí mezi jeden z prvních způsobů zpracování kovů. Kování je objemové tváření nejčastěji prováděné za tepla. Při kování může být polotovar tvářen buď úderem nebo klidně působící silou. Se zřetelem na tvar, rozměr a hmotnost požadovaného výkovku se volí vhodný druh kování.

Kování lze provádět ručně nebo strojně. Dále se kování dělí na volné a zápustkové. Při volném kování je materiál tvářen mezi kovádky. Konečný tvar výkovku vzniká v závislosti na způsobu manipulace s polotovarem mezi kovádky, volbě kovací síly a zdvihu kovádel.

Volné kování se používá k [5]:

- pēchování
- prodlužování
- dělení
- osazování
- prosazování
- ohýbání
- děrování

Pro zápustkové kování je na kovádku připevněna zpravidla dvoudílná forma s negativním tvarem výkovku. Tato forma se nazývá zápustka. Konečný tvar výkovku je získán vtlačení polotovaru do dutiny vytvořené mezi zápustkami. Vtlačení materiálu do zápustky může být zajištěno rázou nebo klidnou silou. U větších a tvarově složitějších výkovků nelze vytvořit výkovek během jednoho energetického rázu. Tvarově složitější výrobky se proto vyrábějí větším počtem zdvihů stroje. Větší počet zdvihů ale zapříčiní značné opotřebení zápustky a je časově náročný. Proto se v těchto případech používají postupové zápustky. Ty obsahují více tvarově odlišných dutin, které slouží pro předkování a v posledním kroku pro vlastní kování. Výkovek vzniklý zápustkovým kováním v otevřené zápustce má po obvodu nadbytečný materiál, který se nazývá výronek. Výronek je po dokončení kování odstřížen nebo jiným způsobem odstraněn, pokud není požadavek na jeho ponechání. Zápustkové kování se využívá pro menší výkovky vyráběné ve velkém počtu. Pokud hovoříme o kování v uzavřené zápustce, výkovek neobsahuje výronek. Do uzavřené zápustky je nezbytné umístit stejný objem materiálu polotovaru jako má požadovaný výkovek. Výhodné pro kování v uzavřené zápustce jsou rotačně symetrické výkovky při požadavku zvýšené rozměrové přesnosti vstupního polotovaru.



Obr. 4-1: Postupová zápustka [6]

Ke strojnímu kování slouží buchary nebo lisy. Buchary působí na výkovek rázy, na rozdíl od lisů, které působí konstantní silou nebo silou závislou na zdvihu. Buchary mohou být šabotové nebo bezšabotové. Šabota je nehybný podstavec, na kterém je umístěn výkovek. Lisy se dělí na vřetenové, klikové, výstředníkové, kolenové a hydraulické.

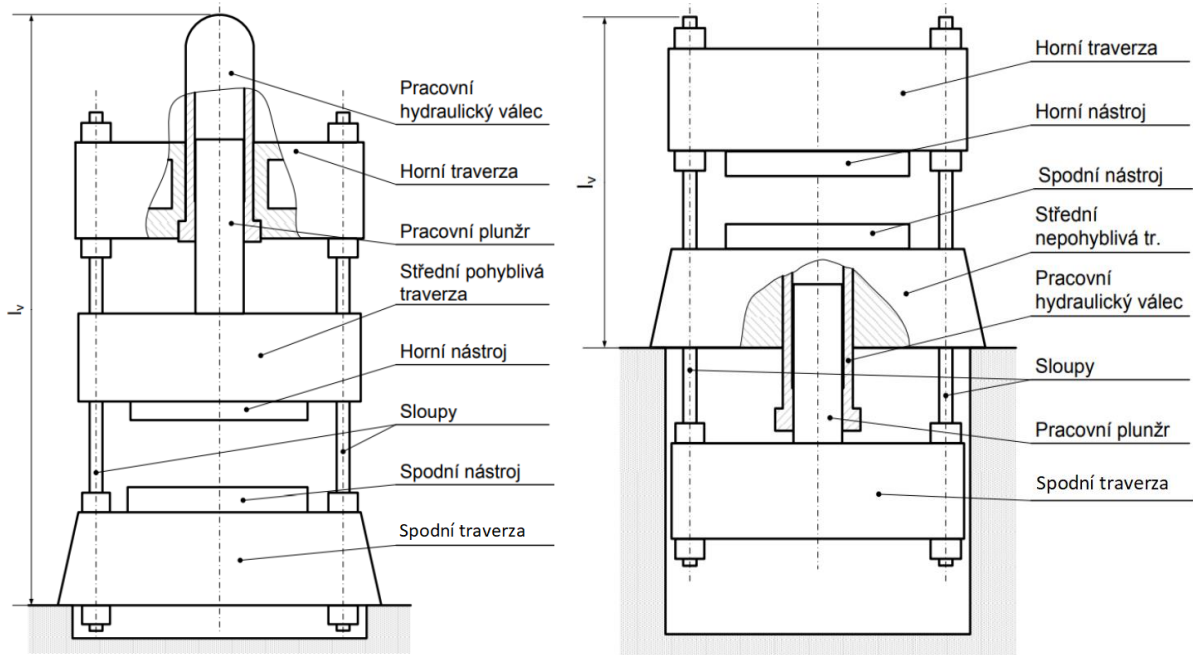
V současné době se kováním zpracovává přibližně 5% celkové výroby oceli. Hmotnost výkoveků se pohybuje od gramů až po stovky tun [7].

5. Hydraulický kovací lis

Hydraulický lis může mít vertikální nebo horizontální konstrukci. Pro kování se výhradně používají lisy s vertikální konstrukcí. Pracovní síla pohyblivé traverzy je vyvozena hydromotorem. Princip hydromotoru vychází z Pascalova zákona. Pascalův zákon pojednává o rovnoměrném šíření tlaku v kapalinách v celém svém objemu při působení vnějších sil. Lis využívá převodu tlakové energie stlačené pracovní kapaliny na sílu pohybujícího se výstupního členu.

Hydromotor se skládá z válce a plunžru. Pracovní pohyb může být vykonáván jak plunžrem, tak i válcem. Plunžrová varianta pohonu zajišťuje spolehlivé těsnění i u velkých průměrů. Nevýhodou této varianty je vyvození síly jen v jednom směru, a tedy nutnost použití zpětných válců. Hydraulický pohon je poháněn čerpadlem přímo nebo nepřímo. Nepřímý pohon využívá akumulátory k dodání požadovaného množství energie [4].

Dále se hydraulický kovací lis skládá z rámu, pohyblivé traverzy, vedení a kovadel. Rám může být otevřený nebo uzavřený. U kování, kde se často vyskytují velké síly, se převážně využívá uzavřený rám. Uzavřený rám má vyšší tuhost a pevnost v porovnání s otevřeným rámem o stejné hmotnosti a rozměrech. Nevýhodou uzavřeného rámu je omezený přístup do tvářecího prostoru. Uzavřený rám může být z jednoho kusu pro menší stroje a dělený pro rozměrné stroje. Dělený rám se nejčastěji skládá ze spodní a horní traverzy, které jsou pevně spojeny sloupy. Pro volné kování se převážně využívá rám se dvěma nebo čtyřmi sloupy. Jen ve speciálních případech se využívá rám s odlišným počtem sloupů. Sloupy jsou předepnuty kotvami buď pouze v místě traverz nebo podél celé své délky.



Obr. 5-1: Hydraulický lis s horním a spodním pohonem [8]

Hydraulický pohon se umísťuje na horní traverzu nebo pod střední traverzu. Pokud je pohon umístěn na horní traverzu, jsou tyto lisy označovány jako lisy s horním pohonem (hornotlaké). U těchto lisů vykovává pracovní pohyb jen střední traverza. Zbytek rámu je nehybný. Lisy se spodním pohonem (pohon je umístěn pod střední traverzou) vykonává pracovní pohyb celým rámem a střední traverza je nehybná. Takové to lisy se také nazývají dolůtažné.

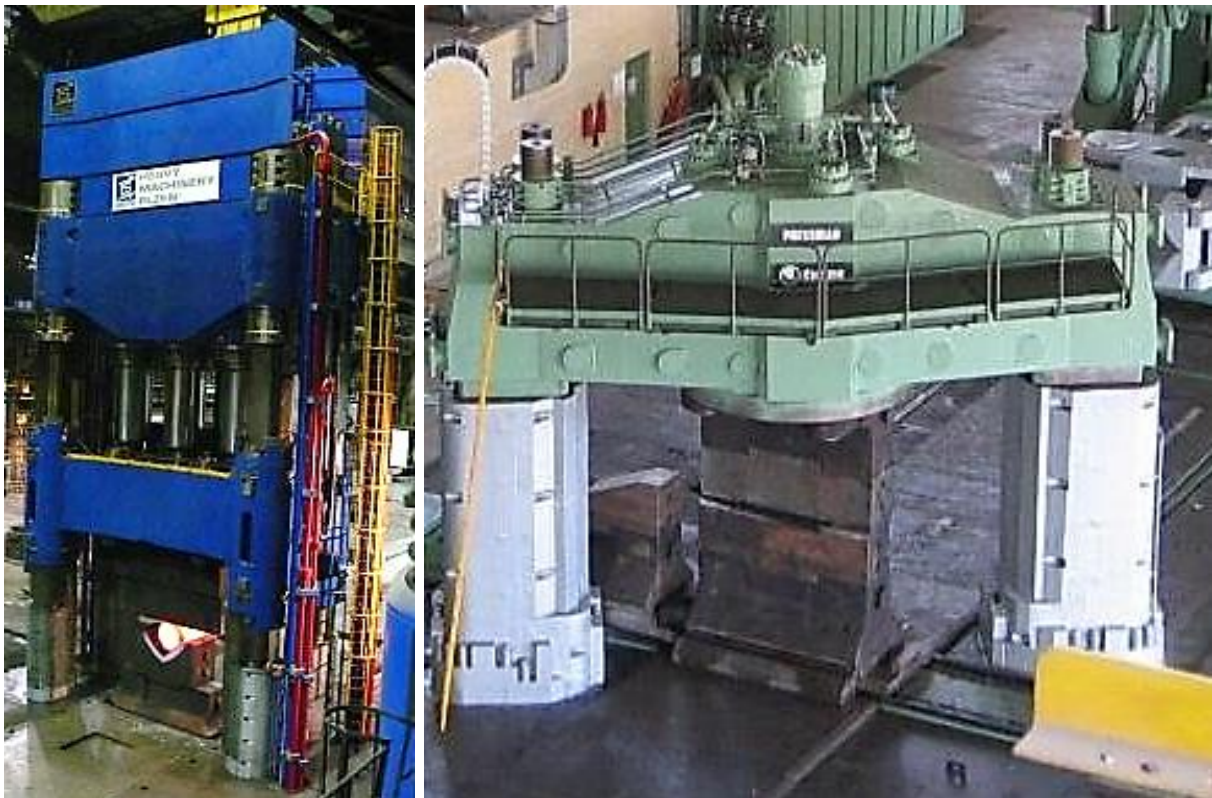
PODLE POČTŮ SLOUPŮ LISU			PODLE TYPU LISU		
ČTYŘSLOUPOVÝ		DVOUSLOUPOVÝ	HORNOTLAKÝ		DOLŮTAŽNÝ
V porovnání k dvousloupovému lisu dvojitý systém vedení	Stabilita lisu	V porovnání k čtyřsloupovému lisu poloviční systém vedení		Požadavek na výšku haly $H \gg h$	
	Rozsah povolené excentricity			Hloubka základu $D \ll d$	
	Pohled na výkovek a čelisti manipulátoru			Pracovní válce, veškeré pohyblivé díly a související vodící systémy jsou uloženy nad podlahou	Pracovní válce, veškeré pohyblivé díly a související vodící systémy jsou uloženy pod podlahou
	Manipulační přístup k lisu			V případě úniku pracovní kapaliny dochází k jejímu styku s horkým výkovek a může dojít k požáru	Bezpečnost v případě úniku pracovní kapaliny u olejového pohonu
	Rozměry výkovek ve tvaru kroužků/disků			V případě úniku pracovní kapaliny proniká kapalina přímo pod lis do záchytných jímek	

Obr. 5-2: Výhody a nevýhody konstrukcí kovacích lisů [9]

6. Výrobci kovacích lisů

TS Plzeň a.s.

Mezi největší české výrobce hydraulických kovacích lisů patří TS Plzeň a.s. Tato společnost (dříve ŠKODA TS) dodává lisy pro volné kování se jmenovitou silou od 6,3 MN do 200 MN. Firma se zaměřuje na výrobu hydraulických lisů pro volné kování ve dvou řadách CKV a CKW. Lisy jsou určeny pro kování ocelí i neželezných kovů. Slouží pro technologické operace pěchování ingotů, děrování, volné kování různých polotovarů s kruhovým i n-hraným průřezem, kování kroužků a dutých válců na trnu. Celý technologický proces na lisech probíhá automatizovaně bez zásahu operátora. Hydraulické lisy řady CKV jsou lisy s horním pohonem s předepnutým dvousloupovým nebo čtyřsloupovým rámem. Sloupy mají kruhový průřez s vyvrtaným otvorem pro kotvu. Střední traverza se pohybuje po kluzném vedení s nastavitelnou vůlí. Lisy řady CKW, které jsou konstruovány se spodním pohonem, jsou dvousloupového nebo čtyřsloupového provedení. Sloupy mají čtvercový nebo obdélníkový průřez. Předlitou dutinou ve sloupu prochází jedna i více kotev pro předepnutí [9].



Obr. 6-1: Hydraulický lis CKV 120 MN a CKW 63/74 MN [9]

Základní typové řady hydraulických kovací lis nabízených společností TS Plzeň a.s. Typy lisů a jejich parametry je možno přizpůsobit do jisté míry požadavkům zákazníka.

Typ lisu	CKV 630	CKV 1000	CKV 1600	CKV 2500	CKV 4000	CKV 6300	CKV 8000	CKV 12000
Pracovní síla [MN]	6,15	9,8	16,6	26,4	42	59,2	84	120
Pracovní tlak [MPa]	25	25	25	25	32	32	32	32
Počet pracovních válců	1	1	3	3	3	3	3	3
Užitečný zdvih [mm]	1000	1250	1400	1800	2250	2500	3000	3000
Výška pracovního prostoru [mm]	2000	2500	2800	3900	4500	6000	7000	6500
Šířka horní traverzy [mm]	1070	1250	1300	1600	2400	2900	3000	4000
Max. excentricita při kování [mm]	150	250	250	250	250	250	250	250
Počet zdvihů 100-200 [l/min]	18-22	15-20	12-16	10-12	10-12	6-8	6-8	5-8
Počet dokončovacích zdvihů 15-25 [l/min]	80-90	70-80	60-70	50-60	50-60	50-60	40-50	50-60
Výška lisu nad úroveň podlahy [mm]	5675	7660	8350	10500	12500	14700	17800	18900

Tab. 6-1: Seznam nabízených lisů CKV [9]

Typ lisu	CKW 8	CKW 12	CKW 16	CKW 25	CKW 30	CKW 40	CKW 63	CKW 70
Pracovní síla [MN]	8	12	16	25	30	40	63	70
Pracovní tlak [MPa]	32	32	32	32	32	32	35	35
Síla vratných válců [MN]	1,7	2,5	3,5	5,15	6,5	8,9	13,7	13,7
Užitečný zdvih [mm]	800	1000	1400	1700	2000	2500	2500	2800
Výška pracovního prostoru [mm]	1900	2300	2900	3500	4200	5100	6100	6400
Průchod mezi sloupy [mm]	1300/ 700	1700/ 900	1800/ 1000	1900/ 1000	2100/ 1140	3000/ 1400	4200/ 2000	4200/ 2000
Max. excentricita při kování [mm]	150	200	250	300	350	400	500	500
Počet pracovních válců	1	1	1	1	1	3	3	3
Výška lisu nad úroveň podlahy [mm]	3800	4900	5800	6600	7500	8700	10440	13500
Výška lisu pod úroveň podlahy [mm]	4200	5000	7000	7400	8300	10100	12750	15750
Celková hmotnost [t]	118	188,8	272	388,5	670	815,5	1638	1736

Tab. 6-2: Seznam nabízených lisů CKW [9]

Šmeral Brno a.s.

Firma Šmeral se zaměřuje na výrobu jak svislých, tak vodorovných kovací lisů. Svislé kovací lisy poskytuje ve dvou řadách LZK a LZM. Tyto lisy jsou určeny pro výrobu přesných zápusťkových výkovků, které se využívají v automobilovém průmyslu. Firma Šmeral dodává lisy o jmenovité síle od 10 MN do 65 MN.

ŽĎAS A.S.

Akciové společnosti ŽĎAS zajišťují dodávky zařízení pro volné i zápusťkové kování se jmenovitou silou od 6,3 MN do 140 MN.

Siempelkamp

Siempelkamp je nadnárodní společnost s hlavním sídlem v Německu, která se zaměřuje na výrobu lisovacích linek, kompletních závodů pro průmyslovou výrobu, komponentů pro jaderný průmysl a výrobu rozměrných odlitků z tvárné litiny. Tato společnost nabízí hydraulické lisy o síle 10 MN až 160 MN. Konstrukce nabízených lisů je dvousloupová s horním pohonem. Sloupy mají čtvercový průřez a jsou předepnuty každý jednou kotvou.

Wepuko PAHNKE GmbH

Tato německá společnost nabízí lisy pro volné kování od 5 MN do 200 MN. Lisy jsou dodávány s horním nebo se spodním pohonem. Sloupy jsou odlévané s obdélníkovým průřezem. Rámy jsou předepnuty větším počtem kotev.

SCHULER

Německá společnost Schuler nabízí lisy o jmenovité síle od 8 MN do 100 MN. Lisy jsou konstruovány jak s horním, tak se spodním pohonem. Sloupy mají čtvercový nebo obdélníkový průřez. Předepnutí rámu je zajištěno dvěma nebo i více kotvami.

RAVNE PRESSES

Ravne presses je nadnárodní společnost nabízející hydraulické lisy o síle od 0,4 MN do 40 MN. Lisy jsou konstruovány s horním pohonem a dvousloupovým rámem. Skrze dutinu sloupu prochází dvě kotvy k předepnutí rámu.

MOSSINI S.p.A.

Mossini je jediným výrobcem hydraulických kovací lisů v Itálii. Firma vyrábí lisy čtyřsloupové konstrukce s horním pohonem. Sloupy mají kruhový průřez a jsou předepnuty pouze v místě horní a spodní traverzy.

Loire Gestamp

Tato španělská společnost se zaměřuje na výrobu hydraulických lisů a lisovacích linek. Nabízí kovací lisy od 5 MN do 25 MN.

LASCO

LASCO je mezinárodní firma vyrábějící kovací lisy ve třech řadách VP, VPA a VPE. Lisy jsou konstruovány s odlišnými typy rámu v závislosti na jmenovité síle, která se pohybuje v rozmezí od 2,5 MN do 100 MN.



Obr. 6-2: Hydraulické kovací lisy pro volné kování [10], [11], [12], [13], [14]

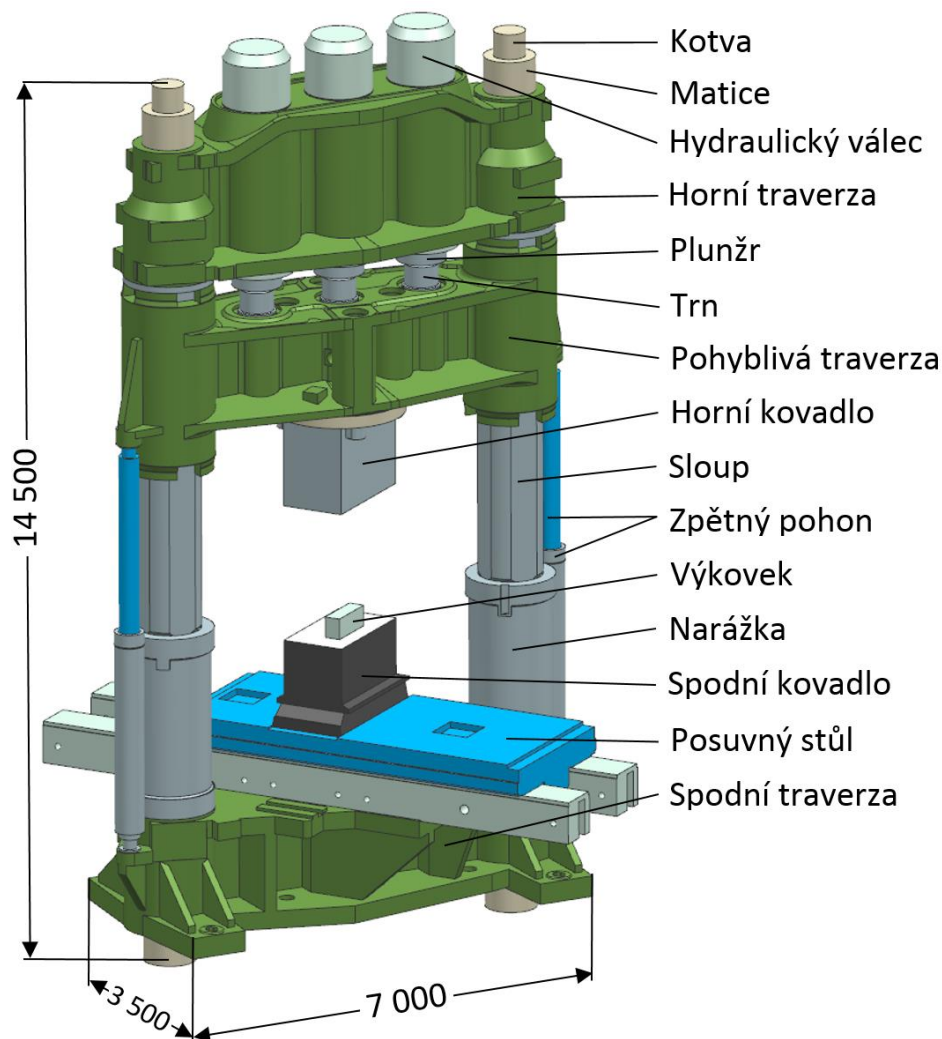
7. Lis CKV 45/50 MN

Jedním z produktů nabízených firmou TS Plzeň a.s. je hydraulický kovací lis s horním pohonem CKV 45/50 MN. Lis je určen pro volné kování ocelí a neželezných kovů. Primární operace, pro které je tento lis určen, je pěchování, děrování, kování kruhových i n-hraných průřezů a výroba prstenců a dutých válců na trnu.

Pohon lisu je zajištěn třemi hydraulickými válci s plunžry o průměru 780 mm. Válce jsou pevně vsazeny do horní traverzy. Při běžném provozu je jmenovitá síla 45 MN zprostředkována pracovní kapalinou o tlaku 31,5 MPa. Při potřebě dosažení maximální síly 50 MN pro pěchování jsou čerpadla schopna dodávat pracovní kapalinu o tlaku 35 MPa.

Rám lisu je tvořen horní, pohyblivou a spodní traverzou, které jsou vyráběny odléváním. Rám dále tvoří dva kované sloupy s kruhovým průřezem a vrtaným průchozím otvorem v ose. Vedení pohyblivé traverzy je zprostředkováno čtyřmi broušenými plochami na obou sloupech. Pro spojení traverz a sloupů jsou použity dvě kotvy procházející skrze sloupy a traverzy. Kotvy jsou předepnuty a zajištěny dělenými maticemi s lichoběžníkovým závitem.

Zdvih pohyblivé traverzy je vykonáván dvěma písty umístěnými na obou vnějších stranách lisu. Tyto písty mají průměr 320 mm a dohromady vyvozuji sílu 5,06 MN. Lis je dále doplněn dvěma narážkami. Ty slouží k ochraně sloupů během kování. Druhým účelem narážek je zabránění vyjetí plunžrů z válců při absenci kovadel.



Obr. 7-1: Lis CKV 45/50 MN

8. Vznik excentricity

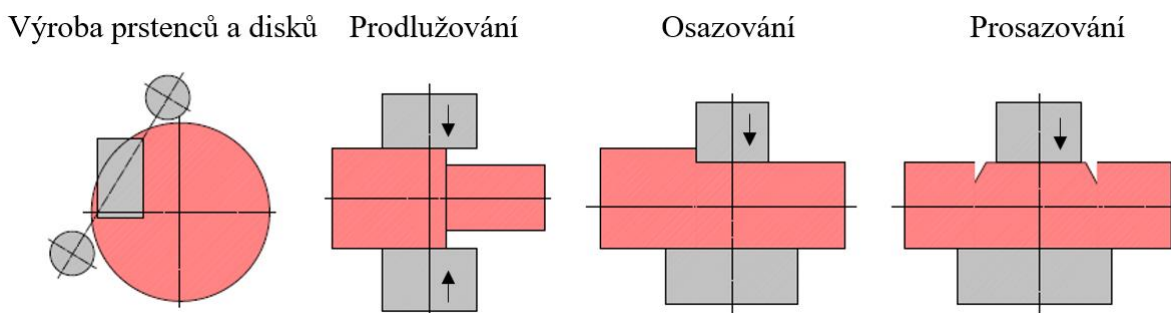
Dvousloupový hydraulický kovací lis je konstruován jako středově symetrický. Odchyly od symetrie z důvodu výroby, montáže nebo umístění pohonu lze pro jejich velikost zanedbávat. Optimální působíště reakčních sil se nachází v ose symetrie. Při tomto zatížení se silové účinky rozloží rovnoměrně do travverz a obou sloupů. Osové zatížení umožňuje využívat lis při maximálních možných parametrech. V tomto případě je to 50 MN. Centrické zatížení deformuje lis převážně ve vertikálním směru. Nedochozí k jeho naklonění v horizontálních směrech.

V reálném provozu je ale velmi obtížné zajistit centrické zatížení, proto se počítá s excentrickým zatížením lisu. Excentrické zatížení působí v určité vzdálenosti od osy symetrie. Tato vzdálenost se nazývá excentricita kování. Excentrické zatížení deformuje lis nerovnoměrně ve všech směrech.

Excentricita může být zapříčiněna mnoha vlivy. Primárním a nejčastěji se vyskytujícím důvodem je špatné umístění výkovku např. při pýchování. Při uvažování homogenních mechanických vlastností výkovku v celém jeho objemu a shodném průřezu v celé jeho výšce tvářecí síla působí v ose procházející těžištěm výkovku. Z důvodu velkých rozměrů, vysoké hmotnosti a zvýšených teplot výkovků nelze zajistit působení tvářecích sil v ose symetrie lisu. V průběhu kování se významně mění tvar, a hlavně průřez výkovku. To má za následek změnu polohy působíště tvářecí síly v průběhu každého pracovního zdvihu.

Speciálním příkladem vzniku excentricity, zapříčiněné špatným umístěním výkovku do lisu, je výroba rozměrných prstenců. Pokud průměr kovaného prstence značně překračuje rozměr pracovního prostoru, není možno zajistit centrické kování lisu. V takovýchto případech je nezbytné v závislosti na velikosti excentricity snížit tvářecí sílu. Kromě snížení tvářecí síly je možné snížit excentrické zatížení lisu úpravou tvaru a rozměrů kovadel, popřípadě změnou jejich polohy.

Kromě umístění výkovku mimo osu symetrie lisu může být zdrojem vzniku excentricity i samotný typ prováděné technologické operace. Reakční síly od prodlužování, osazování, prosazování, dělení a ohýbání v některých případech nemohou působit v ose symetrie. Nositelka reakčních sil nemusí být ani rovnoběžná s osou symetrie, ale je odkloněna o určitý úhel. Takový způsob tváření vyvede kromě excentrického zatížení i síly působící v rovině kolmé na osu symetrie. Síly působící v horizontálním směru navyšují naklonění lisu během tváření.



Obr. 8-1: Tvářecí operace

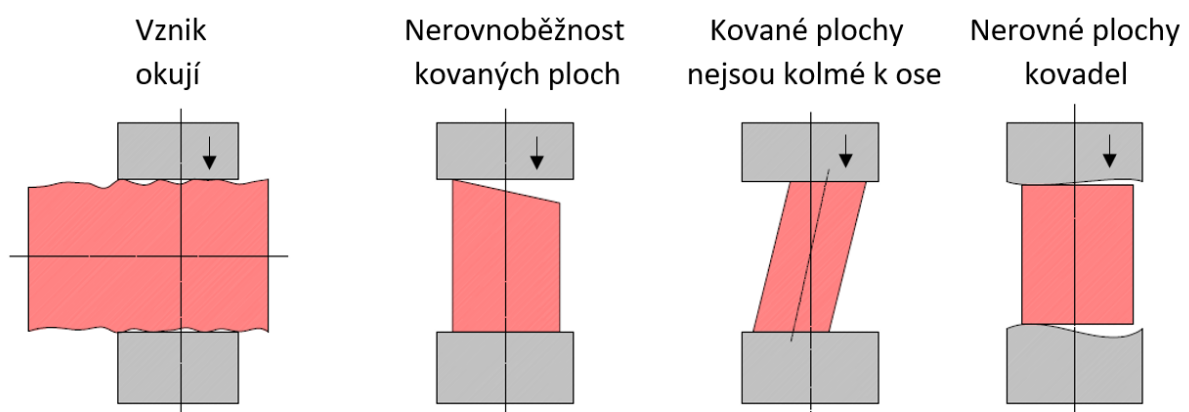
Další příčinou vzniku excentricity je nerovnoměrné prohřátí materiálu. Vlivem nerovnoměrného prohřátí má výkovek ve svém objemu nehomogenní mechanické vlastnosti. V místech s vyšší teplotou má výkovek menší přetvárný odpor a je snáze tvářitelný. Z toho důvodu dochází k nerovnoměrné deformaci výkovku a přesunutí polohy působíště reakčních

sil během kování. Nerovnoměrné prohřátí vzniká už při ohřevu výkovku. Výkovky jsou zpravidla ohřívány v pecích. Pece, které mohou mít odlišný tvar, velikost a způsob vyvození tepla, jsou konstruovány nejčastěji s lokálními zdroji tepla. Lokální zdroj tepla je oblast, ve které dochází ke spalování hořlavých látek nebo k přeměně elektrické energie na tepelnou. V blízkosti těchto míst má výkovek maximální teplotu při ohřevu. Kromě lokálních zdrojů tepla je nerovnoměrné prohřátí dáno tvarem a velikostí výkovků. Výkovky jsou prohřívány od svého povrchu ke svému jádru. Pro docílení rovnoměrného prohřátí je zapotřebí ponechat výkovek v peci určitou dobu. U velkých a tvarově složitých výkovků se doba pro zajištění rovnoměrného prohřátí výkovku může pohybovat v desítkách hodin, či jednotkách dnů. Z ekonomického hlediska je doba pro rovnoměrné prohřátí výkovku časově a finančně příliš náročná. Proto je snaha minimalizovat čas výkovku v peci bez ohledu na jeho rovnoměrné prohřátí.

Příčinou nerovnoměrné teploty výkovku je i nerovnoměrné chladnutí. Během procesu kování, který probíhá v určitém teplotním intervalu, dochází k pozvolnému chladnutí výkovku. Výkovek chladne směrem od povrchu do svého jádra. Tvarově složitě výkovky proto chladnou nerovnoměrně. Primárně je chladnutí způsobeno okolním prostředím. Vlivem termodynamického děje dochází ke vzniku proudění vzduchu okolo výkovku. Teplý vzduch jde vzhůru, a to zapříčiní rychlejší snížení teploty výkovku ve spodní části. Kromě sálání tepla do okolí probíhá i vedení tepla mezi kovadly a výkovkem během jejich styku.

Nerovnoměrné dosednutí kovadel na povrch výkovku je další příčinou vzniku excentricity. Jak již bylo zmíněno, většina výkovků je před kovááním ohřívána. Ohřev způsobí vznik okují na povrchu výkovků (okuje jsou zoxidované šupiny kovu). Taková degradace povrchu výkovku způsobí změnu tvaru a rozměrů. To může být jednou z příčin nerovnoměrného dosednutí kovadel. Další příčinou může být počáteční tvar výkovku. Pokud kované plochy nejsou rovnoběžné nebo dosedací plocha a osa výkovku nejsou na sebe kolmé, reakční síla nebude působit ve vertikálním směru.

Opotřebení kovadel je taktéž důvodem vzniku excentricity. Kovadla jsou namáhána mechanicky při zvýšených teplotách cyklickým zatěžováním. Takový provoz se po čase projeví na změně tvaru tvářecích ploch kovadla. Pokud nedochází k pravidelné údržbě a orovnění kovadel, může být toto zanedbání zdrojem nerovnoměrného dosednutí kovadel a vzniku excentrického zatížení lisu.



Obr. 8-2: Příčiny vzniku excentricity

Kování může probíhat při frekvenci přesahující 2 Hz. To odpovídá provedení více jak 120 kovacíh cyklů za minutu. Při takovém typu kování se nejčastěji vyrábí výkovky s kruhovým průřezem. Aby bylo možné vytvořit kruhový tvar výkovku, je zapotřebí při každém cyklu měnit polohu a natočení výkovku. K tomu slouží kovací manipulátory. Při takto vysokých

frekvencích kování může být obtížné sladit působení manipulátoru s kovacím lisem. Chybným řízením může dojít ke snaze posunout či pootočit výkovek i přes jeho sevření mezi kovádla. Taková chyba způsobí přenesení sil vyvozených manipulátorem na lis. U velkých výkovek jsou zapotřebí pro manipulaci značné síly, které při přenesení na lis způsobí měřitelnou deformaci lisu.

9. Tuhost a její vliv na výslednou deformaci

Jedním z primárních parametrů určujících přesnost, statickou a dynamickou stabilitu lisu je tuhost. Tuhost je definována jako poměr mezi zatížením a přetvořením jím způsobeným. Rozeznáváme dva základní typy tuhosti, a to tuhost v posunutí a tuhost v natočení.

Tuhost v posunutí je dána poměrem působící normálové síly a vzniklé deformace v témže směru. Na rozdíl od tuhosti v natočení, která je vyjádřena jako poměr krouticího momentu a vzniklého natočení.

V závislosti na zkoumaném objektu je možné definovat tuhost jednotlivých dílů nebo tuhost celkovou. Tuhost celková je dána jednotlivými součástmi soustavy a jejich spojením. Na výslednou deformaci má kromě tuhosti značný vliv dynamická stabilita. Dynamická stabilita se zabývá kmitáním a chvěním, které významně snižuje přesnost a životnost stroje.

Tuhost dvousloupového hydraulického kovacího lisu je určena tuhostmi jednotlivých členů soustavy a tuhostí jejich spojení. Na tuhost jednotlivých částí má vliv jejich tvar, rozměr, materiál a způsob zatížení. Hlavními členy určujícími tuhost rámu jsou horní, spodní a pohyblivá traverza, sloupy, kotvy a pohon. Sloupy patří u lisu k prvkům s nejmenší tuhostí. Nízká tuhost sloupu je způsobena malým průřezem vůči značné délce sloupu. Oproti tomu traverzy mají několikanásobně vyšší tuhost než sloupy. I přes vysokou tuhost je traverza při zatížení značně deformována. To je zapříčiněno kombinací silového a momentového zatížení.

Kromě tuhosti jednotlivých součástí má velký význam na celkovou tuhost jejich spojení. Velikost tuhosti spojení je určena z převážné míry vůlí. Výroba takto velkých dílů je spojena se značnou odchylkou rozměrů. Z důvodu zajištění bezproblémové montáže je vůle nezbytná. Například současné provedení otvorů o průměru 886 mm pro uložení sloupů do spodní traverzy jsou tolerovány třídou přesnosti H8. Tomu odpovídá odchylka rozměru v rozsahu 0,14 mm. Tuhost spojení je dále určena tuhostí styku jednotlivých ploch. Tuhost styku určují mikronerovnosti a makronerovnosti stykových ploch vzniklých při výrobě součástí. Mikronerovnosti způsobují malé deformace v řádech mikrometrů a z velké části po prvních několika cyklech odezní. Proto u takto velkého zařízení mají zanedbatelný vliv na výslednou tuhost. Na rozdíl od makronerovností, které u takto velkých součástí mohou způsobit patrnou změnu celkové tuhosti. Mezi makronerovnosti se řadí nedodržení rovinnosti nebo kruhovitosti jednotlivých stykových ploch. Stykové plochy s makronerovnostmi jsou v kontaktu jen v určitých oblastech, což má za následek nelineární průběh tuhosti daného spojení.

Kromě tuhosti, která je určována při statickém zatížení, můžeme dále zmínit dynamickou stabilitu. Dynamická stabilita pojednává o chování stroje a jeho deformaci při proměnném zatížení. Hlavními parametry, určujícími chování stroje při dynamickém zatížení, jsou vlastní frekvence a koeficient tlumení. Lis, který je zatěžován při shodných frekvencích, jako jsou jeho vlastní frekvence, začne rezonovat. Pokud by nedocházelo k útlumu kmitání, amplituda rezonance by narůstala až do destrukce stroje. Rezonance je proto nežádoucím jevem u převážné většiny výrobních strojů. U hmotných těles dochází k přeměně energie kmitající soustavy na jiný druh energie. Tato ztráta energie kmitání se nazývá útlum. Za útlum je

považována přeměna energie kmitání na teplo, hluk, reakce působící do základů a v poslední řadě změna struktury materiálu a vznik plastických deformací [5].

10. Výpočet rámu

Síly vyvozené hydromotory jsou zachyceny uvnitř rámu. Toto zatížení vyvolá adekvátní ohybový moment působící na všechny části lisu. Vstupní hodnotou pro výpočet momentů uvnitř rámu je velikost excentricity zatížení a tvářecí síly. Kromě výpočtu celkového zatížení lisu je provedena pevnostní kontrola kotev a sloupů.

Předpoklady výpočtu:

- 1) Sloupy jsou pevně ukotveny v traverzách
- 2) Rám je zatížen osamělými silami působícími v jednotlivých bodech přímo na rámu
- 3) Neuvažuje se s možností výskytu dodatečných napětí vlivem špatné montáže
- 4) Horní a spodní traverzy jsou považovány za nekonečně tuhé vůči sloupům
- 5) Excentricita lisovací síly je uvažována jako konstantní vzdálenost ε

Rovinný dvousloupový rám je 3x vnitřně staticky neurčitý. Staticky neurčité veličiny (V, H, M) získáme z podmínky, že deformační práce celé soustavy je minimální. K tomu využijeme Castiglianovu větu.

$$\frac{\partial A}{\partial M} = 0$$

$$\frac{\partial A}{\partial H} = 0$$

$$\frac{\partial A}{\partial V} = 0$$

Obecně pro deformační práci platí vztah:

$$A = \oint_r \frac{M_c^2}{2 \cdot E \cdot J} \cdot dx$$

Velikost celkového momentu M_c bude:

$$M_c = \Pi + M \cdot \Pi_M + H \cdot \Pi_H + V \cdot \Pi_V$$

Π - moment okolo sloupů lisu od vnějšího zatížení rámu

Π_M - moment okolo sloupů lisu od jednotlivé staticky neurčité veličiny "M"

Π_H - moment okolo sloupů lisu od jednotlivé staticky neurčité veličiny "H"

Π_V - moment okolo sloupů lisu od jednotlivé staticky neurčité veličiny "V"

Z podmínky, že ve staticky neurčité soustavě jsou zobecněné posuvy, odpovídající každé z neznámých zobecněných sil V, H, M rovny nule. Po úpravě potom dostaneme vztah:

$$\frac{\partial A}{\partial M} = \oint_r M_c \cdot \frac{\partial M_c}{\partial M} \cdot \frac{1}{E \cdot J} \cdot dx = \frac{1}{E \cdot J} \cdot \oint_r \Pi_M \cdot (\Pi + M \cdot \Pi_M + H \cdot \Pi_H + V \cdot \Pi_V) \cdot dx$$

Na základě předpokladu, že traverzy uvažujeme vůči sloupům jako nekonečně tuhé, se tvar kanonických rovnic zjednoduší:

$$\oint_r (\Pi \cdot \Pi_M) \cdot dx + M \cdot \oint_r \Pi_M^2 \cdot dx + H \cdot \oint_r (\Pi_H \cdot \Pi_M) \cdot dx + V \cdot \oint_r (\Pi_V \cdot \Pi_M) \cdot dx =$$

$$\Downarrow$$

$$\oint_r (\Pi \cdot \Pi_M) \cdot dx = \partial_{FM}$$

$$\oint_r \Pi_M^2 \cdot dx = \partial_{MM}$$

$$\oint_r (\Pi_H \cdot \Pi_M) \cdot dx = \partial_{HM}$$

$$\oint_r (\Pi_V \cdot \Pi_M) \cdot dx = \partial_{VM}$$

$$\Downarrow$$

Tři kanonické rovnice:

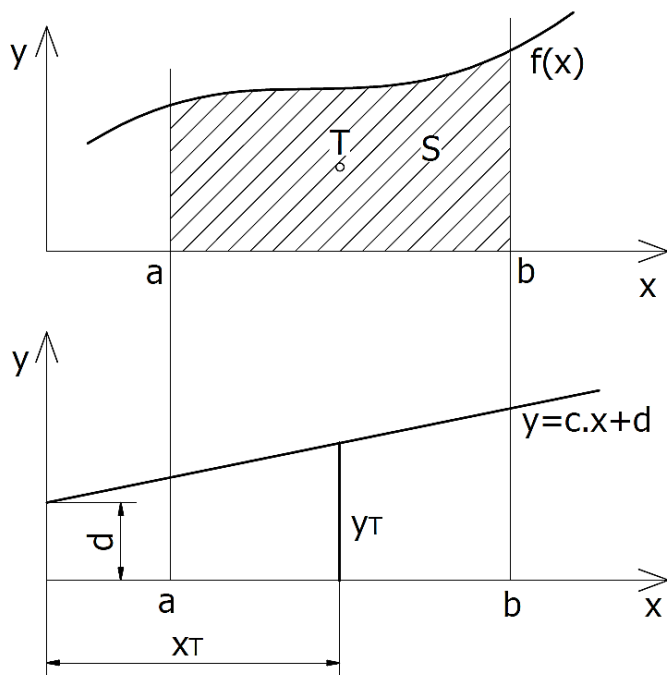
$$\begin{aligned} \partial_{FM} + M \cdot \partial_{MM} + H \cdot \partial_{MH} + V \cdot \partial_{MV} &= 0 \\ \partial_{FH} + M \cdot \partial_{HM} + H \cdot \partial_{HH} + V \cdot \partial_{HV} &= 0 \\ \partial_{FV} + M \cdot \partial_{VM} + H \cdot \partial_{VH} + V \cdot \partial_{VV} &= 0 \end{aligned}$$

Řešením kanonických rovnic získáme neznámé vnitřní staticky neurčité veličiny (V, H, M). Pro stanovení jednotlivých zobecněných posuvů využijeme Tachov – Kuzněcovovo pravidlo o integraci součinu dvou funkcí, kdy jedna musí být přímková. Abychom dodrželi toto pravidlo, zavedeme si že V=1, H=1 a M=1. Tím můžeme určit momentové plochy potřebné ke stanovení jednotlivých zobecněných posuvů.

Tachov – Kuzněcovovo pravidlo o integraci dvou funkcí

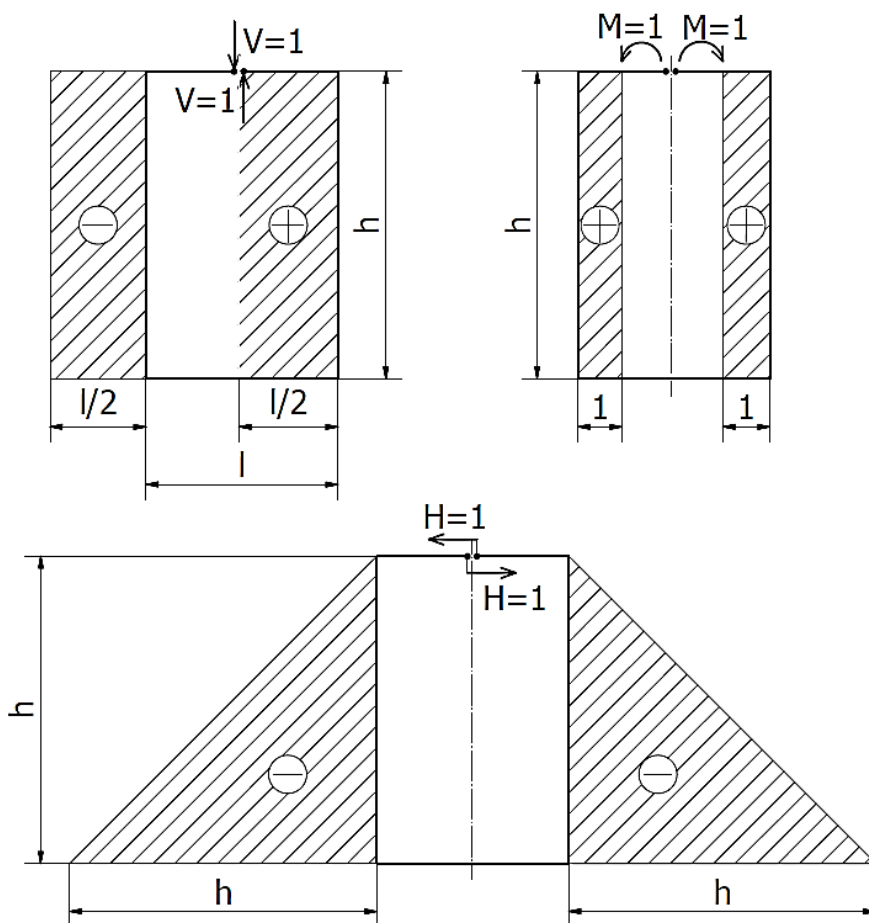
Toto pravidlo říká, že integrál součinu dvou funkcí, z nichž je jedna lineární, můžeme převést na součin plochy pod nelineární funkcí a velikosti lineární funkce v místě těžiště zmíněné plochy.

$$\int_a^b (c \cdot x + d) \cdot f(x) \cdot dx = (c \cdot x_T + d) \cdot \int_a^b f(x) \cdot dx = y_T \cdot S$$



Obr. 10-1: Tachov – Kuzněcovovo pravidlo o integraci dvou funkcí [4]

Vyjádření jednotlivých zobecněných posuvů

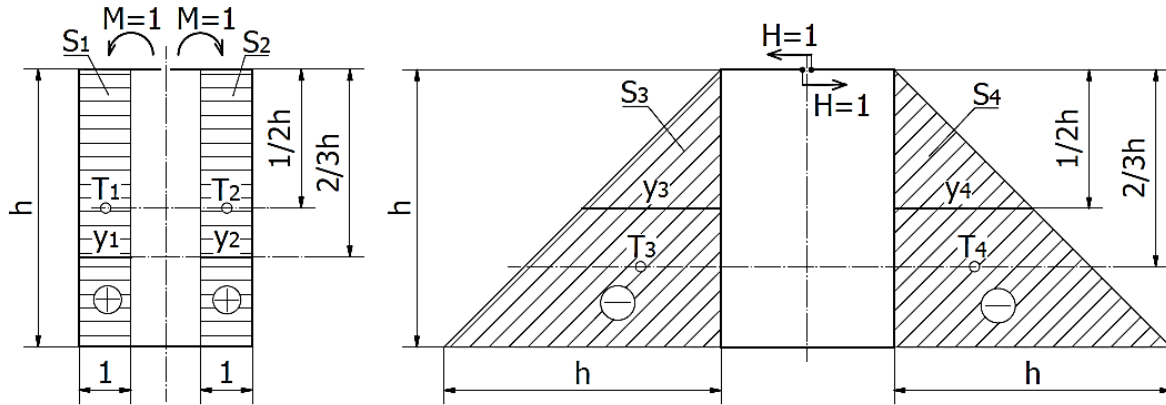


Obr. 10-2: Průběh momentů okolo sloupů rámu od vnitřně staticky neurčitých sil a momentů, jejichž velikost je rovna "1" [4]

Výpočet je možno provést dvěma způsoby:

$$\partial_{MH} = y_T \cdot S = S_1 \cdot y_3 + S_2 \cdot y_4 = (h \cdot 1) \cdot \left(-\frac{1}{2} \cdot h\right) + (h \cdot 1) \cdot \left(-\frac{1}{2} \cdot h\right) = -h^2$$

$$\partial_{HM} = S_3 \cdot y_1 + S_4 \cdot y_2 = \left(-\frac{1}{2} \cdot h^2\right) \cdot 1 + \left(-\frac{1}{2} \cdot h^2\right) \cdot 1 = -h^2$$



Obr. 10-3: Momentové plochy okolo sloupů lisu od jednotkových vnitřních staticky neurčitých veličin $M=1$, $H=1$ [4]

Jednotlivé dopočtené součinitele jsou:

$$\partial_{HH} = \frac{2 \cdot h^3}{3}$$

$$\partial_{VV} = \frac{h \cdot l^2}{2}$$

$$\partial_{MM} = 2 \cdot h$$

$$\partial_{HM} = \partial_{MH} = -h^2$$

$$\partial_{VM} = \partial_{MV} = 0$$

$$\partial_{VH} = \partial_{HV} = 0$$

Vyjádření vnitřních staticky neurčitých veličin M , V , H

Výpočet velikosti síly F_Q

Ze silové rovnováhy ve vertikálním směru platí:

$$F = 3F_1$$

F – pracovní síla lisu

Na základě momentové rovnováhy rámu dále platí

$$F_Q = \frac{F \cdot \varepsilon}{2 \cdot c} = \frac{45\,000\,000 \cdot 0,33}{2 \cdot 2} = 3\,712\,500 \text{ N}$$

$$V = \frac{F_2}{2} + F_Q \cdot \frac{2 \cdot c}{h \cdot l} \cdot \left(d + \frac{c}{2}\right) = \frac{15\,000\,000}{2} + 3\,712\,500 \cdot \frac{2 \cdot 2}{10,6 \cdot 5,9} \cdot \left(7 + \frac{2}{2}\right) = 9\,399\,584 \text{ N}$$

$$H = 0 \text{ N}$$

$$M = -\frac{1}{2} \cdot F_1 \cdot (a + 3 \cdot b) = -\frac{1}{2} \cdot 15\,000\,000 \cdot (1,42 + 3 \cdot 1,53) = -45\,075\,000 \text{ Nm}$$

Velikosti ohybového momentu v jednotlivých částech rámu

$$M_a = M = -45\,075\,000 \text{ Nm}$$

$$M_b = M + (F_1 - V) \cdot a = -45\,075\,000 + (15\,000\,000 - 9\,399\,584) \cdot 1,42 = -37\,122\,409 \text{ Nm}$$

$$M_c = M + (F_1 - V) \cdot (a + b) + F_1 \cdot b = -45\,075\,000 + (15\,000\,000 - 9\,399\,584) \cdot (1,42 + 1,53) + 15\,000\,000 \cdot 1,53 = -5\,603\,773 \text{ Nm}$$

$$M_d = M_c = -5\,603\,773 \text{ Nm}$$

$$M_e = M_d + F_Q \cdot c = -5\,603\,773 + 3\,712\,500 \cdot 2 = 1\,821\,227 \text{ Nm}$$

$$M_f = M_e = 1\,821\,227 \text{ Nm}$$

$$M_g = M - F_1 \cdot a + F_Q \cdot c = -45\,075\,000 - 15\,000\,000 \cdot 1,42 + 3\,712\,500 \cdot 2 = -58\,950\,000 \text{ Nm}$$

$$M_h = M + V \cdot \varepsilon - F_1 \cdot (a - \varepsilon) - F_Q \cdot c = -45\,075\,000 + 9\,399\,584 \cdot 0,33 - 15\,000\,000 \cdot (1,42 - 0,33) - 3\,712\,500 \cdot 2 = -65\,748\,137 \text{ Nm}$$

$$M_n = M = -45\,075\,000 \text{ Nm}$$

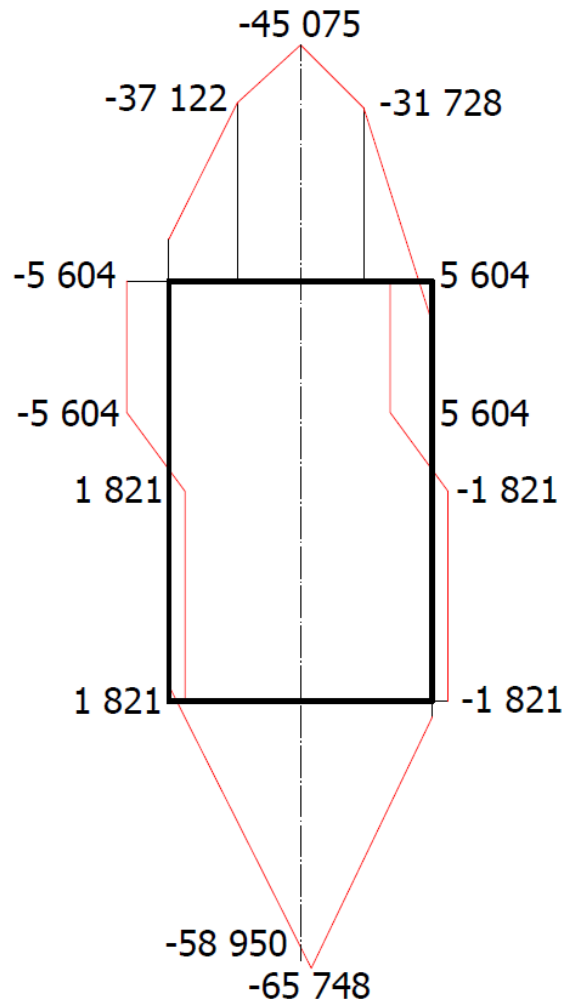
$$M_m = M + V \cdot a = -45\,075\,000 + 9\,399\,584 \cdot 1,42 = -31\,727\,591 \text{ Nm}$$

$$M_l = M + V \cdot (a + b) + F_1 \cdot b = -45\,075\,000 + 9\,399\,584 \cdot (1,42 + 1,53) + 15\,000\,000 \cdot 1,53 = 5\,603\,773 \text{ Nm}$$

$$M_k = M_l = 5\,603\,773 \text{ Nm}$$

$$M_j = M_k - F_Q \cdot c = 5\,603\,773 - 3\,712\,500 \cdot 2 = -1\,821\,227 \text{ Nm}$$

$$M_i = M_j = -1\,821\,227 \text{ Nm}$$



Obr. 10-5: Velikosti ohybového momentu v jednotlivých uzlech rámu [4]

Velikost ohybového momentu působícího na sloup při maximální excentricitě v příčném směru

$$M_1 = \frac{F}{2} \cdot \varepsilon_1 = \frac{45\,000\,000}{2} \cdot 0,25 = 5\,625\,000 \text{ Nm}$$

Celkový ohybový moment působící na sloup

$$M = \sqrt{M_1^2 + M_2^2}$$

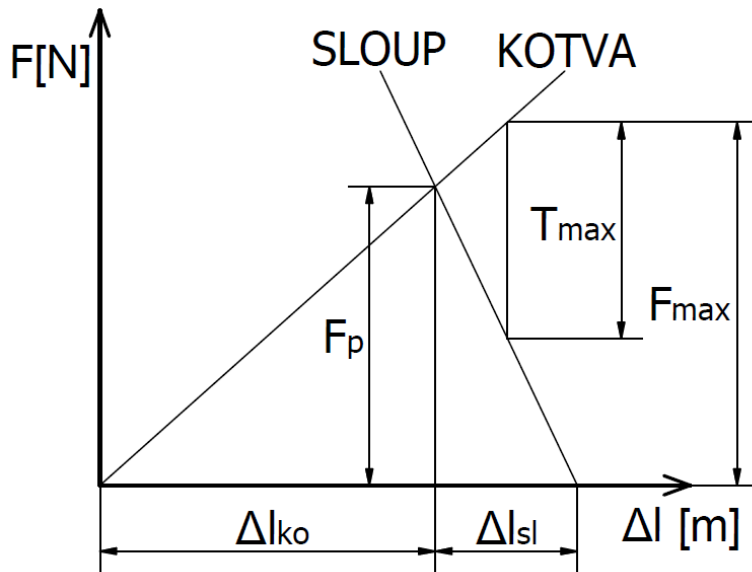
M_1 - ohybový moment působící na sloup od příčné excentricity

M_2 - ohybový moment působící na sloup od podélné excentricity

Sloup je zatížen kombinací ohybového momentu a silou závislou na předpětí rámu a velikosti tvářecí síly.

10.1 Kontrola kotev

Kotva je vyráběna jako výkovek kruhového průřezu. Na obou svých koncích má vytvořeny lichoběžníkové závity pro dělené matice. Matice zajišťují zachování axiální síly v kotvě, která prochází skrze otvor v ose sloupu a slouží k předeptnutí rámu.



Obr. 10-6: Diagram předepjatého spoje sloupu a kotvy

Určení maximálního napětí v kotvě a koeficientu bezpečnosti:

$$T_{max} = V + F_1 = 9\,399\,584 + 15\,000\,000 = 24\,399\,584\,N$$

$$F_p = 1,2 \cdot T_{max} = 1,2 \cdot 24\,399\,584 = 29\,279\,501\,N$$

Určení poměru tuhosti kotvy ku tuhosti sloupu:

$$\Delta l = \frac{F \cdot l}{E \cdot S} \rightarrow \frac{\Delta l_{ko}}{\Delta l_{sl}} = \frac{S_{ko}}{S_{sl}} = \frac{D_{ko}^2}{D_{slp}^2 - d_{sl}^2} = \frac{435^2}{980^2 - 510^2} = 0,27$$

$$F_{max} = F_p + \frac{\Delta l_{ko}}{\Delta l_{sl}} \cdot T_{max} = 29\,279\,501 + 0,27 \cdot 24\,399\,584 = 35\,867\,389\,N$$

$$S_{ko} = \frac{\pi \cdot D_{ko}^2}{4} = \frac{\pi \cdot 435^2}{4} = 148\,617\,mm^2$$

$$\sigma_{Dko} \geq \sigma_{ko} = \frac{F_{max}}{S_{ko}} = \frac{35\,867\,389}{148\,617} = 241\,MPa$$

$$k_{ko} = \frac{\sigma_{Dko}}{\sigma_{ko}} = \frac{650}{241} = 2,70$$

T_{max} - maximální provozní síla

F_p - síla předepnutí

F_{max} - maximální síla v kotvě při zatížení

Δl_{ko} - prodloužení kotvy

Δl_{sl} - prodloužení sloupu

S_{ko} - plocha průřezu kotvy

S_{sl} - průměrná plocha průřezu sloupu

D_{ko} - průměr kotvy

D_{slp} - zprůměrovaný vnější průměr sloupu

d_{sl} - průměr otvoru ve sloupu

σ_{Dko} - dovolené napětí v kotvě

σ_{ko} - napětí v kotvě

k_{ko} - koeficient bezpečnosti kotvy

10.2 Kontrola sloupu

Napětí vzniklé předeprnutím

$$S_{slmin} = \frac{\pi \cdot (D_{slmin}^2 - d_{sl}^2)}{4} = \frac{\pi \cdot (886^2 - 510^2)}{4} = 412\,252 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_{slmax} = \frac{F_p}{S_{slmin}} = \frac{29\,279\,501}{412\,252} = 71 \text{ MPa} < \sigma_{Dsl}$$

Napětí při excentricitě 250 mm v příčném směru

$$F_{ex} = 19\,500\,000 \text{ N}$$

$$M_{max} = 5,625 \cdot 10^9 \text{ Nmm}$$

$$W_{sl} = \frac{\pi \cdot (D_{slmin}^4 - d_{sl}^4)}{32 \cdot D_{sl}} = \frac{\pi \cdot (886^4 - 510^4)}{32 \cdot 886} = 60\,784\,888 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_{slmax} = \frac{F_{max}}{S_{sl}} + \frac{M_{max}}{W_{sl}} = \frac{19\,500\,000}{412\,252} + \frac{5,625 \cdot 10^9}{60\,784\,888} = 140 \text{ MPa} < \sigma_{Dsl}$$

$$k_{sl} = \frac{\sigma_{Dsl}}{\sigma_{slmax}} = \frac{345}{140} = 2,46$$

S_{slmin} - minimální plocha průřezu sloupu

D_{slmin} - minimální vnější průměr sloupu

F_{ex} - axiální síla působící na sloup při excentricitě 250 mm

M_{max} - maximální ohybový moment ve sloupu

W_{sl} - průřezový modul v ohybu sloupu

σ_{slmax} - maximální napětí ve sloupu

k_{sl} - koeficient bezpečnosti sloupu

11. Analýza současného řešení

Tato práce je zaměřena na zvýšení boční tuhosti hydraulického kovacího lisu CKV 45/50 MN. Pro výpočet byl použit program NX12 od společnosti Siemens. Tvářecí síla je rozdělena na tři shodně velké síly o velikosti 16,667 MN při centrickém zatížení a 15 MN při excentrickém zatížení působící na plunžry. Tři pracovní válce o stejné velikosti pevně spojené s horní travrzou jsou zatíženy tlakem 35 MPa při centrickém zatížení a 31,5 MPa při excentrickém zatížení. Směr excentricity je pevně spojen s lisem dle obr. 11-1. Směr označený jako podélný je v následujících výpočtech shodný s rovinou procházející skrze osy obou sloupů a příčný směr je shodný s rovinou procházející mezi sloupy. Závitové spojení mezi kotvou a maticemi je nahrazeno pevným spojením pro zjednodušení a urychlení výpočtu. Předeprnutí rámu je

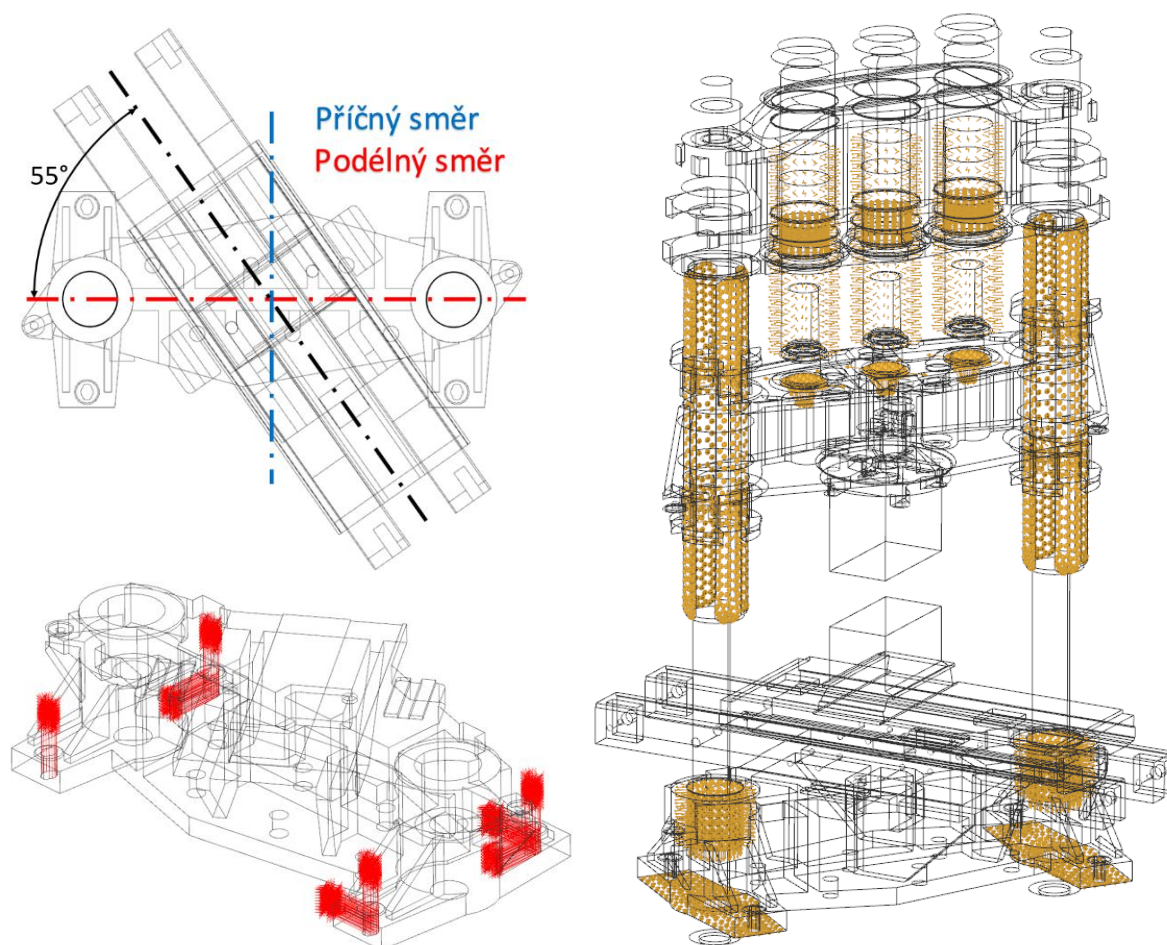
zprostředkováno odsazením matic od spodní traverzy. Tím vzniknou tahové síly v kotvách. Pevná poloha rámu pro výpočet je dána zamezením posuvů v místě otvorů pro kotevní šrouby ve spodní traverze. Posuvy v podélném a příčném směru vzniklé deformací traverzy jsou povoleny. Ve výpočtech je ke středu horní traverzy připevněn hmotný bod o hmotnosti 3 000 kg. Tento hmotný bod slouží jako náhrada hmoty pracovní kapaliny ve válcích a hydraulických komponentů umístěných na horní traverze.

MKP síť

Všechny díly lisu jsou nasítovány tetraedrovou sítí s meziuzly o maximální velikosti elementu 200 mm. V místech kontaktních ploch a informačně důležitých oblastí byla síť zjemněna, z důvodu získání přesnějších výsledků.

Kontaktní plochy

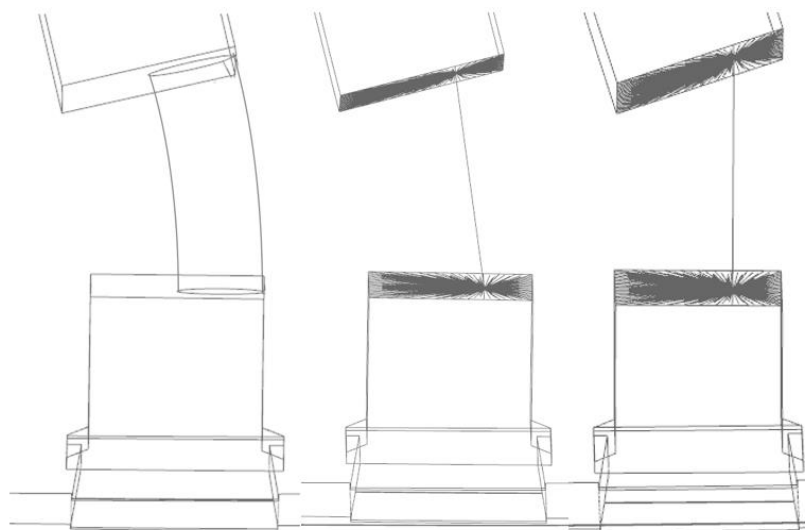
Pracovní síla je vyvozena vlivem pohybu střední traverzy. Pro zajištění shody mezi výpočtem a reálným provozem lisu je zapotřebí umožnit jednotlivým částem lisu vzájemný pohyb. Vzájemné silové působení dvou dílů lisu umožňující pohyb je zprostředkováno kontaktními vazbami. Ve výpočtu je zaveden kontakt mezi plunžry a válci v místě vodících pouzder. Kontaktní plochy, které jsou mezi trny a pohyblivou traverzou, umožňují naklopení traverzy. Střední traverza je dále vedena po sloupech ze čtyř stran v horní a spodní části pohyblivé traverzy. Pro sjednocení výpočtu jednotlivých variant je sloup uložen do spodní traverzy pomocí kontaktů. Koeficient tření u všech vazeb má hodnotu 0,1.



Obr. 11-1: Směr excentricity a okrajové podmínky výpočtu

11.1 Nahrazení výkovku

Cílem tváření je vyvození trvalých změn tvaru výkovku. Výpočet tohoto děje je velmi časově náročný. Jelikož tato práce se zabývá konstrukčními úpravami pro zvýšení tuhosti lisu, je zapotřebí nahradit výkovek zjednodušeným prvkem. Pro nahrazení výkovku jsou použity tři varianty. První je hmotné těleso s modulem pružnosti v tahu 1,6 GPa. Tato hodnota modulu pružnosti v tahu zastupuje obtížně tvářitelné materiály. Modul pružnosti v tahu běžných ocelí se pohybuje okolo 2,1 GPa. Převážná část tvářených materiálů je ohřívána z důvodu zvýšení tvárnosti, a tím dochází ke snížení modulu pružnosti. Materiál tělesa má lineární závislost poměrné deformace na velikosti napětí. U tvářených materiálů je tato závislost při překročení meze úměrnosti nelineární. Těleso kruhového průřezu o průměru 500 mm je pevně spojeno s plochou spodního kovádla. Plocha horního kovádla a těleso umožňují vzájemný posuv s koeficientem tření 0,3. Druhým způsobem náhrady výkovku je 1D prvek o shodných parametrech jako popisované těleso. Oba konce 1D prvku jsou pevně spojeny k plochám kovádel. Přenášené síly jsou rozloženy do celé tvářecí plochy horního a spodního kovádla. Poslední náhradou výkovku je absolutně tuhý 1D prvek. Spodní konec je pevně spojen s plochou spodního kovádla. Horní konec je spojen k ploše horního kovádla s možností natáčení (kloubové spojení). Přenášené síly jsou taktéž rovnoměrně rozloženy do celých ploch kovádel.



Obr. 11-2: Způsoby nahrazení výkovku: těleso, 1D prvek a absolutně tuhý 1D prvek

U jednotlivých variant je vypočtena maximální deformace lisu při excentrickém zatížení v podélném a příčném směru silou 45 MN, kdy pohyblivá traverza je umístěna v horní úvrati, střední poloze a spodní úvrati. Pro porovnání vlivu zjednodušení je vytvořen výpočet s použitím analyticky vypočtených sil.

Deformace lisu [mm]				
	Nahrazení výkovku			
Excentricita	Těleso	1D prvek	Absolutně tuhý 1D prvek	Síly
v podélném směru	49/38/24	43/34/14	27/31/32	64/59/53
v příčném směru	4/5/11	17/14/8	5/4/9	17/19/20
Poloha traverzy v: horní/ střední/ spodní poloze				

Tab. 11-1: Rozměry deformace lisu v závislosti na typu náhrady výkovku

Z vypočtených hodnot se nejvíce přibližuje reálnému chování lisu hmotné těleso jako náhrada výkovku. Nevýhodou této varianty je obtížné určení velikosti excentricity. Z tohoto důvodu a z důvodu úspory výpočetního času je za náhradu výkovku zvolen absolutně tuhý 1D prvek. Absolutně tuhý 1D prvek minimálně navyšuje poddajnost lisu, a tím zprostředkovává nejmenší odchylku při porovnávání jednotlivých variant.

11.2 Změna předpětí

V praxi se používají nejčastěji dva způsoby k vytvoření předpětí v rámu. První je ohřev předepnutého členu. Tím dojde k prodloužení. Při tomto stavu se utáhnou dělené matice a po vyrovnání teplot dojde ke vzniku předpínací síly. Druhým způsobem je použití hydraulického přípravku. Pro jednotlivé varianty se uvažuje použití hydraulického přípravku k předepnutí rámu, který je přesnější a umožňuje v určitém rozmezí měnit velikost sil v kotvách. To může mít vliv na změnu velikosti deformace rámu a jeho vlastní frekvence. Předepnutí rámu u výpočetních modelů je vyvozeno odsazením spodních matic kotev od spodní traverzy. K určení vlivu velikosti předpětí je spočten model s proměnnou velikostí odsazení spodních matic v rozmezí od 15 mm do 21 mm při excentrickém zatížení 250 mm v příčném směru silou 45 MN.

Velikost předepnutí [mm]	15	17	19	21
Deformace lisu [mm]	37,08	36,2	35,63	36,02
Maximální síla v kotvě [MN]	31,6	35,2	38,8	42,6

Tab. 11-2: Změna velikosti předepnutí

Nejmenší deformace lisu nastává při natažení kotvy o 19 mm. Během takového stavu však v kotvě dosahují špičky napětí hodnot 360 MPa. S přihlédnutím na to, že lis je namáhán míjivým zatížením s počtem cyklů přesahující miliony, je pro předepnutí zvoleno natažení kotvy 17 mm. Tím se vyvodí maximální síla v kotvě 35,2 MN při tváření. Analyticky určená maximální síla je 35,9 MN. Z toho lze usuzovat, že natažení kotvy o 17 mm splňuje předpoklady analytického výpočtu.

11.3 Úprava vedení

Na výslednou tuhost lisu má značný vliv vůle ve vedení pohyblivé traverzy. Konstrukce současného řešení vedení umožňuje nastavení její velikosti. Proto je provedena analýza vlivu změny vůle ve vedení na výslednou deformaci výpočetního modelu. Vůle ve vedení je nastavena v rozsahu od 5 mm v obou směrech až po minimální vůli s ohledem na teplotní roztažnost traverzy. Předpokladem je, že při minimální vůli by deformace lisu měla být nejmenší. Lis je zatížen excentricky 250 mm v příčném směru silou 45 MN.

Vůle v podélném a příčném směru [mm]	5/5	4/4	3/3	3/2	3/1
Deformace lisu [mm]	42,24	37,61	36,36	36,25	36,2

Tab. 11-3: Vliv velikosti vůle na deformaci lisu

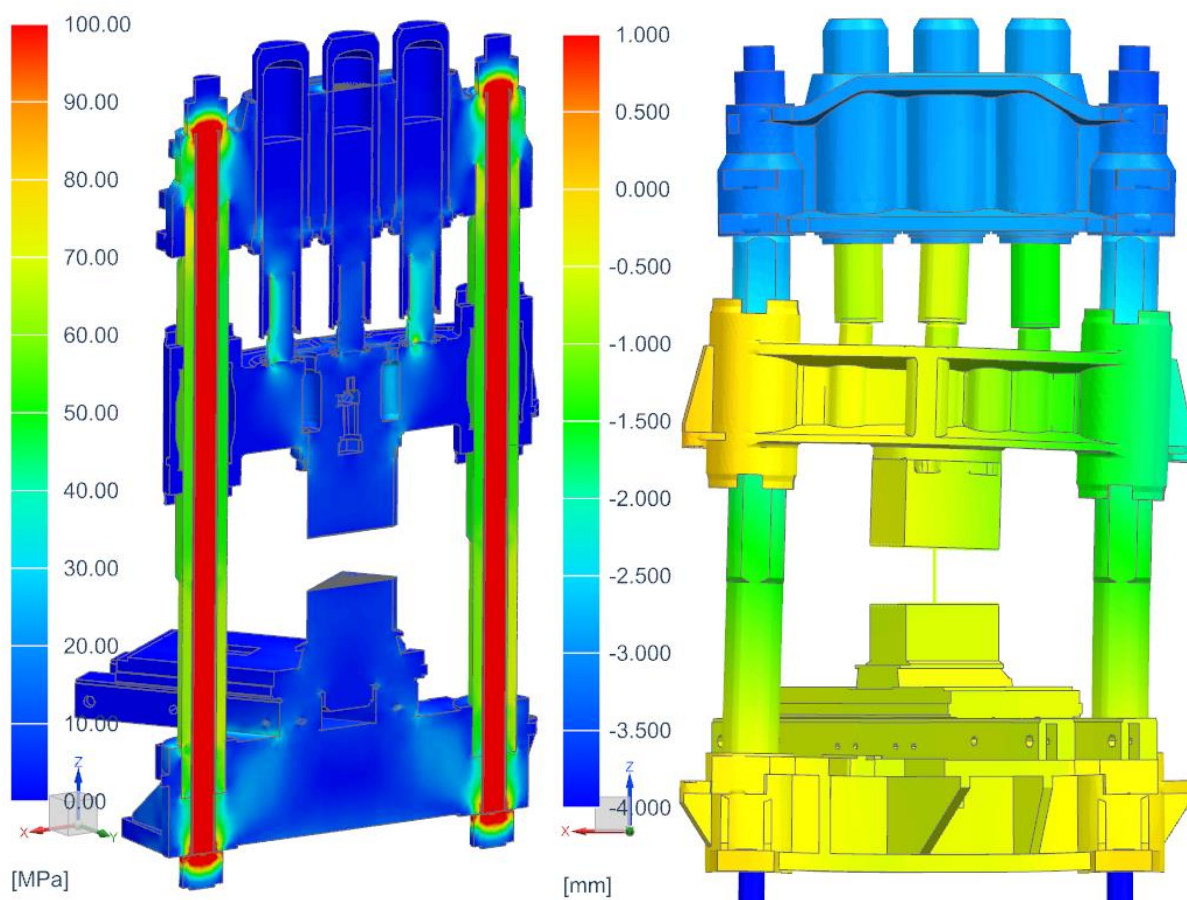
Z provedené analýzy vyplývá, že na výslednou deformaci má převažující vliv vůle ve směru shodném s excentricitou zatížení. Při snížení vůle z 5 mm na 3 mm v příčném směru se deformace lisu snížila o 16 %.

11.4 Zatížení lisu

Výpočetní model dle výše nadefinovaných parametrů je podroben několika základním zátěžným stavům. Důvodem je určení rozložení napětí a tvaru deformace lisu. V závěru práce budou tyto výpočty sloužit jako podklad k porovnání současného řešení a navrhované změny tvaru sloupů.

Předepnutí rámu

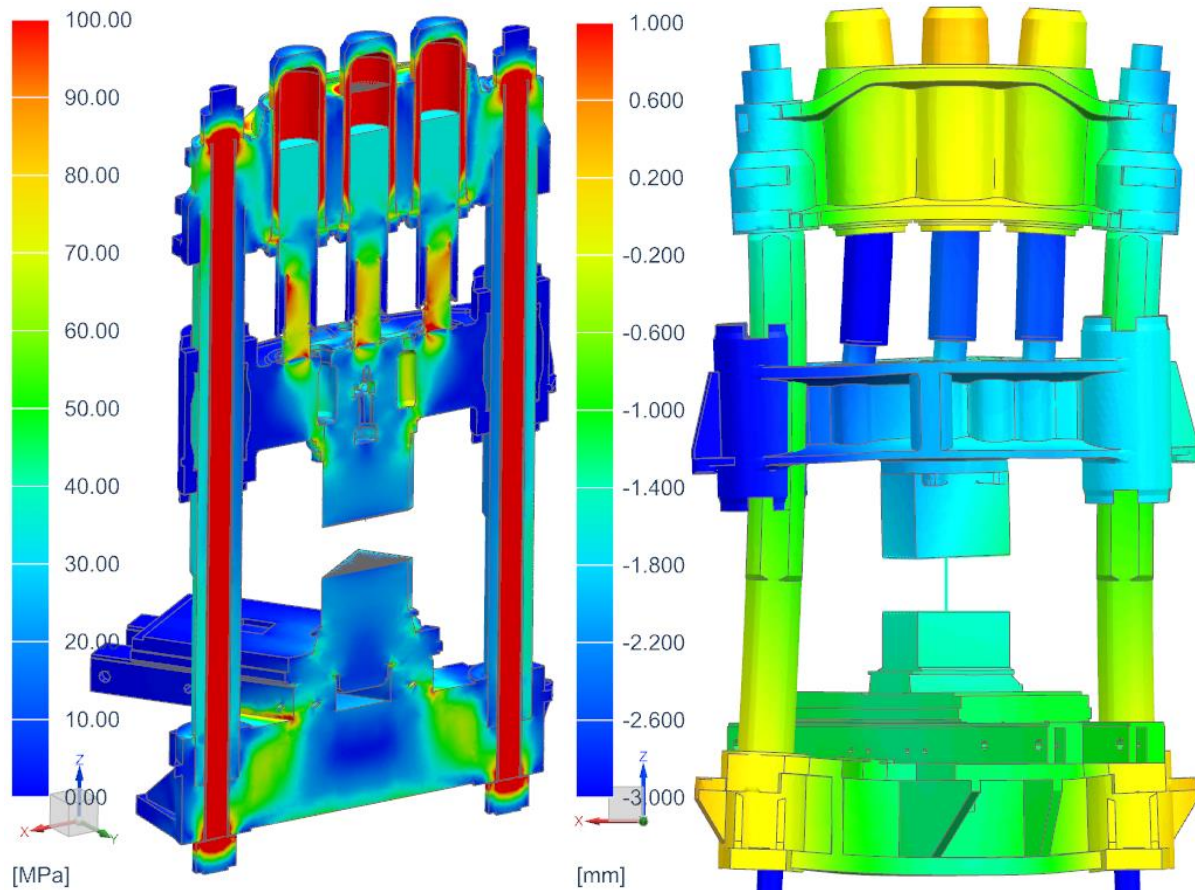
Primárním výpočtem je předepnutý rám bez zatížení vzniklého tvářením. Tento způsob zatížení nastává v době, kdy nedochází ke tváření výkovek nebo je prováděna údržba a oprava lisu. Maximálně zatěžované oblasti se nachází v blízkosti kotev z důvodu působení předpínací síly. Napětí ve sloupu dosahuje hodnoty 115 MPa v oblasti konců. Sloup je stlačován předpětím a zbylé části lisu jsou zatíženy gravitační tíhou. Horní traverza se vlivem těchto sil přesune o více jak 3 mm níže.



Obr. 11-3: Napětí a deformace lisu zatíženého předepnutím kotev

Centrické zatížení

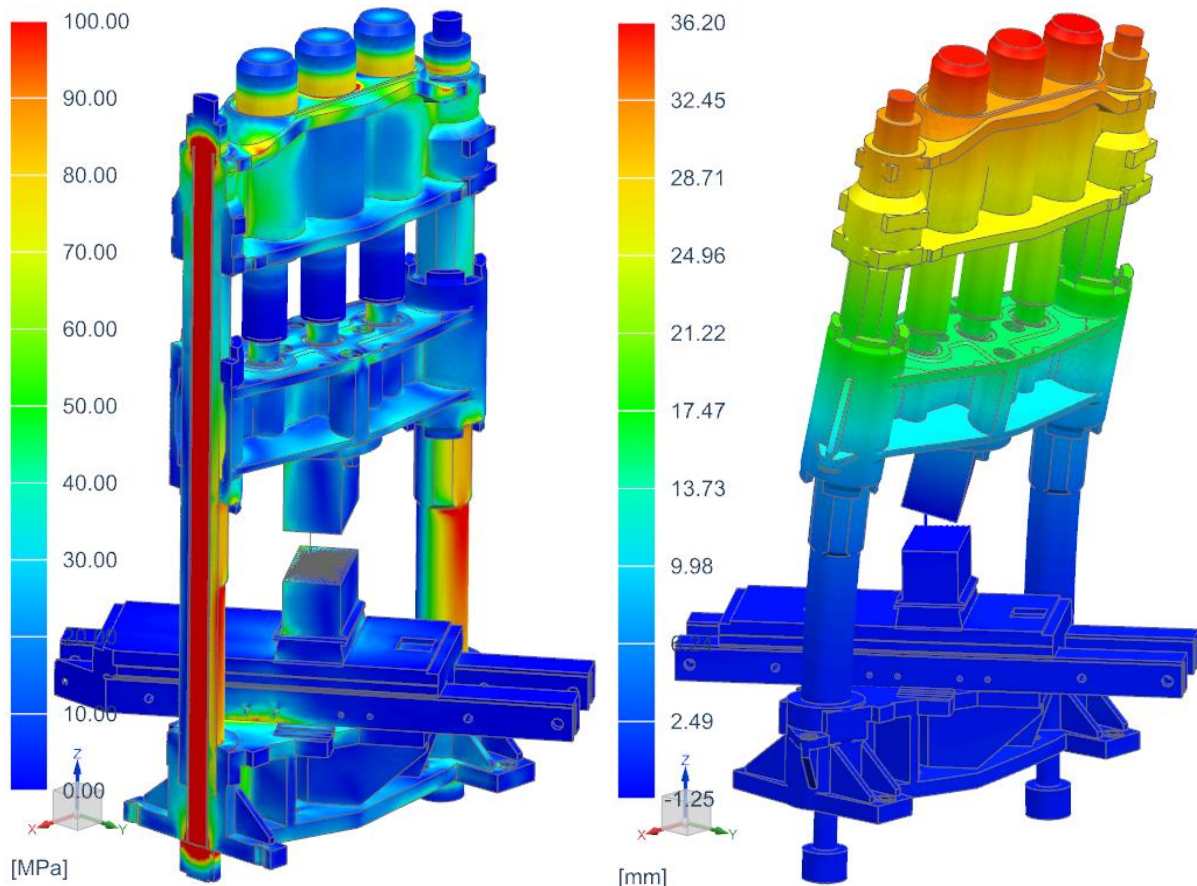
Maximální síla lisu 50 MN se používá pro pýchovací operace u nejrozměrnějších výkovků. Podmínkou využití maximální síly lisu je zajištění centrického zatížení s minimálními odchylkami. Při tomto způsobu zatížení dochází k odlehčení sloupů, ve kterých dosahuje napětí hodnoty 69 MPa. Současně ovšem při centrickém zatížení silou 50 MN dochází k maximálnímu zatížení traverz a válců. Maximální napětí v traverzách je 130 MPa. Pracovní válce jsou nejvíce zatíženy na vnitřní ploše napětím 145 MPa v místě působení pracovní kapaliny. Během tohoto způsobu zatížení nedochází k naklonění lisu a celková deformace rámu se pohybuje do 2 mm.



Obr. 11-4: Napětí a deformace centricky zatíženého lisu

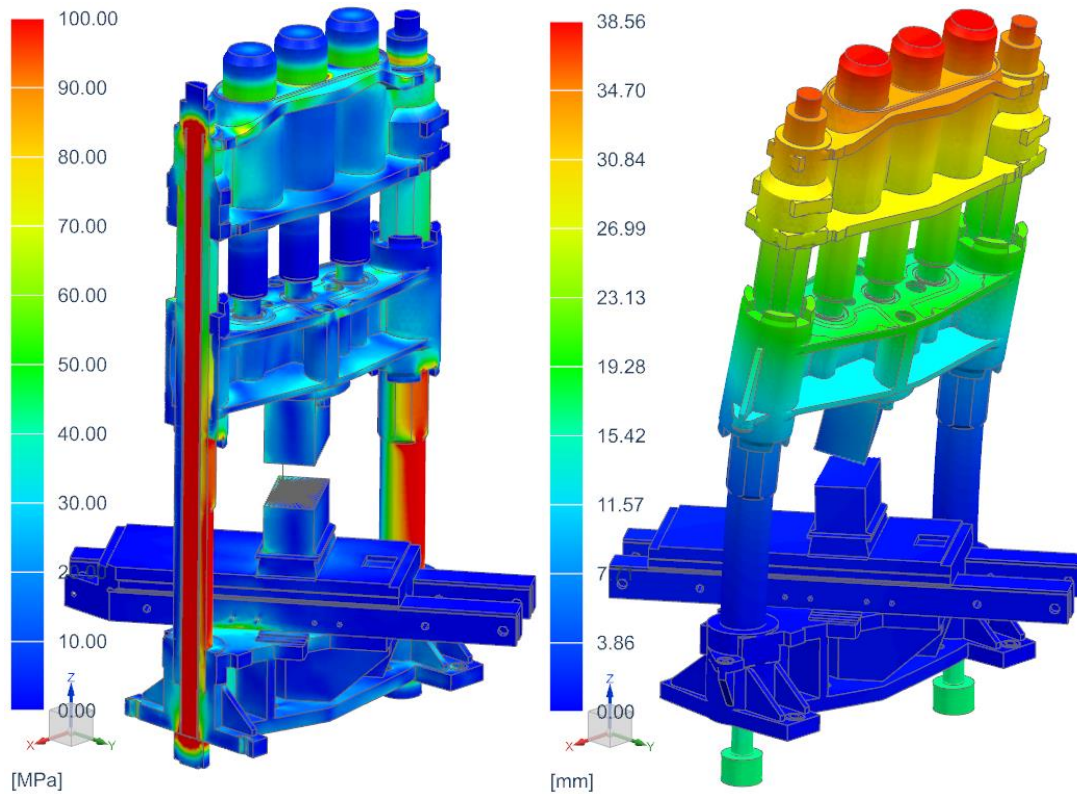
Příčná excentricita zatížení

Při tváření je nezbytné uvažovat i s umístěním výkovku mimo osu symetrie. Proto se při běžném provozu využívá nižší tvářecí síla 45 MN, která zohledňuje vychýlení působíště reakčních sil. Poloha reakčních sil v horizontální rovině u dvousloupového rámu je nejčastěji vymezena elipsou. Rozměry této elipsy jsou dány v závislosti na konstrukci lisu. U lisu CKV 45/50 MN je maximální příčná excentricita nadefinována na 250 mm. Lis zatížený tvářecí silou 45 MN při excentricitě 250 mm v příčném směru se nakloní o 36,20 mm v místě dna středového válce. Špička napětí ve sloupu se přesunula do oblasti přechodu z vedení na spodní kruhový průřez a má hodnotu 122 MPa.



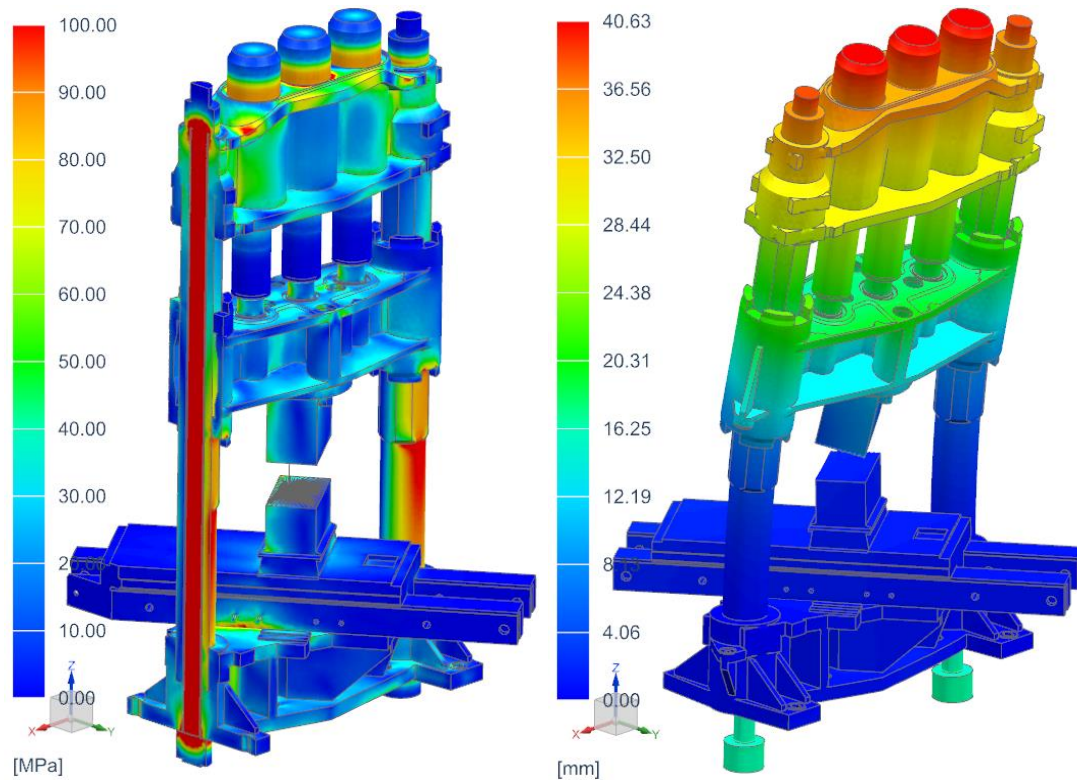
Obr. 11-5: Napětí a deformace lisu při příčné excentricitě 250 mm

V některých případech může být požadavek na zvýšení excentricity tváření. Důvodem toho je potřeba výroby specifického tvaru výkovku, rozměrných disků nebo prstenců. Průměr disků nebo prstenců může přesahovat velikost šířky pracovního prostoru. Tváření čelních ploch výkovků tohoto tvaru může vyžadovat zatížení lisu o větší excentricitě. Lis je proto zatížen účinky od tváření silou 30 MN o excentricitě kování 375 mm (o 50% vyšší excentricita než dovolená hodnota). Ve sloupu narostlo maximální napětí na hodnotu 137 MPa. Naklonění lisu se zvýšilo o 6,5 % na 38,56 mm.



Obr. 11-6: Napětí a deformace lisu při příčné excentricitě 375 mm

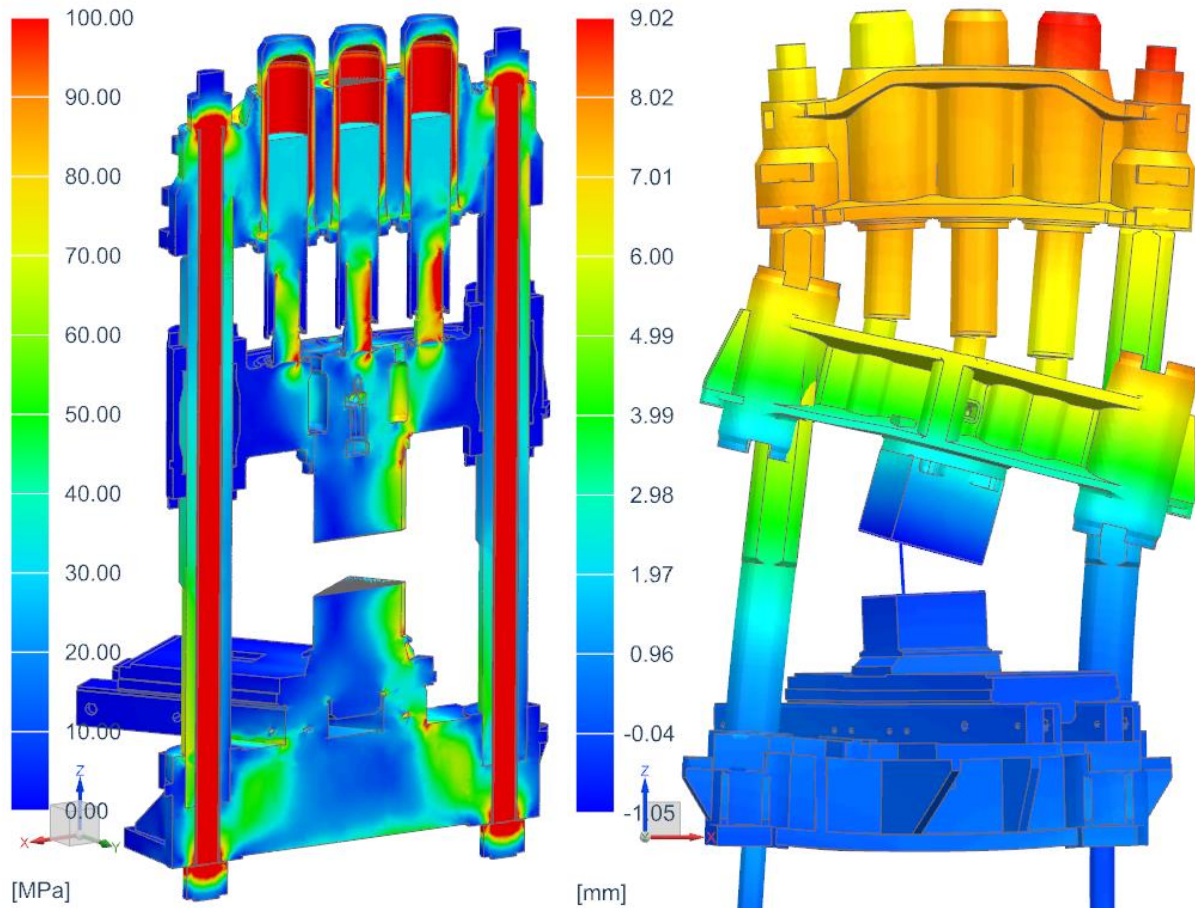
Mezní situací je, že obsluha zanedbá podmínku centrického zatížení pro vyvození maximální síly lisu. Lis je podroben zatížení 50 MN při excentricitě 250 mm. Takovýto způsob zatížení by v provozu neměl nastat. Napětí ve sloupu i přes přetížení lisu dosahuje maximální hodnoty 123 MPa a naklonění lisu je 40,63 mm.



Obr. 11-7: Napětí a deformace lisu při příčné excentricitě a síle 50 MN

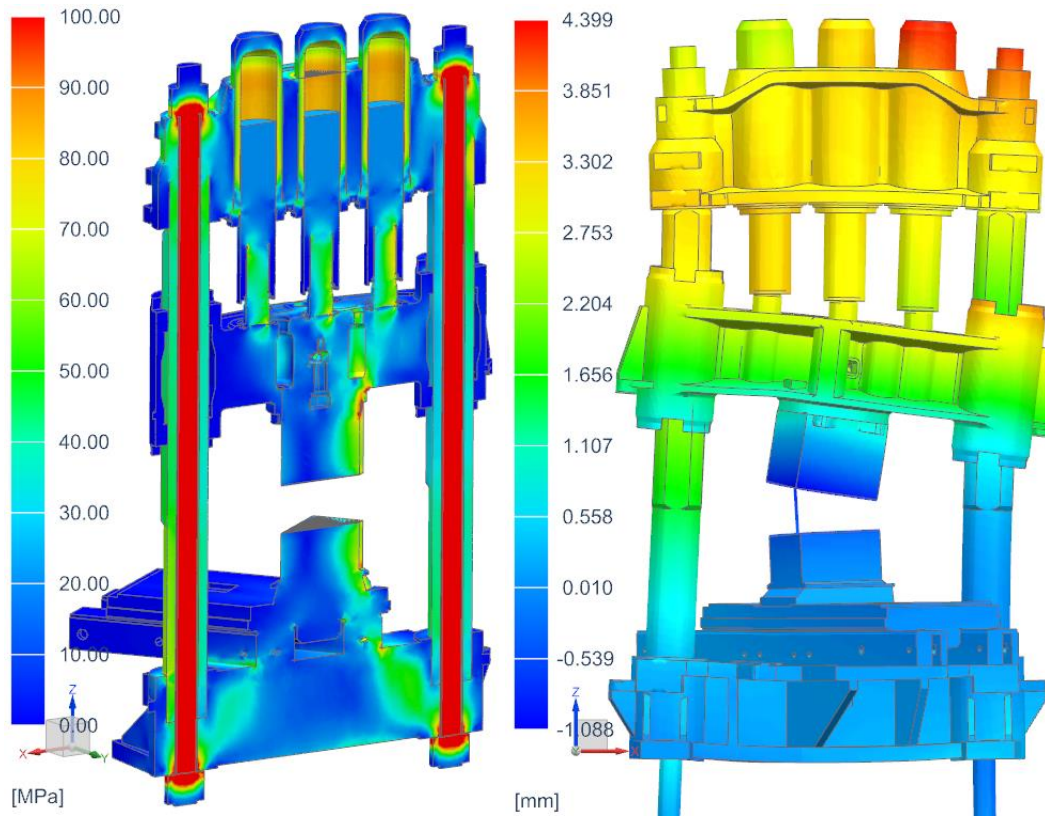
Podélná excentricita zatížení

Dovolené vychýlení působíště reakčních sil v podélném směru může dosahovat maximálně hodnoty 330 mm. Lis zatížený tvářecí silou 45 MN při maximální excentricitě v podélném směru se nakloní o 9,02 mm. Maximální napětí ve sloupu 101 MPa se vyskytuje na horním konci v oblasti vložené části sloupu do horní traverzy.



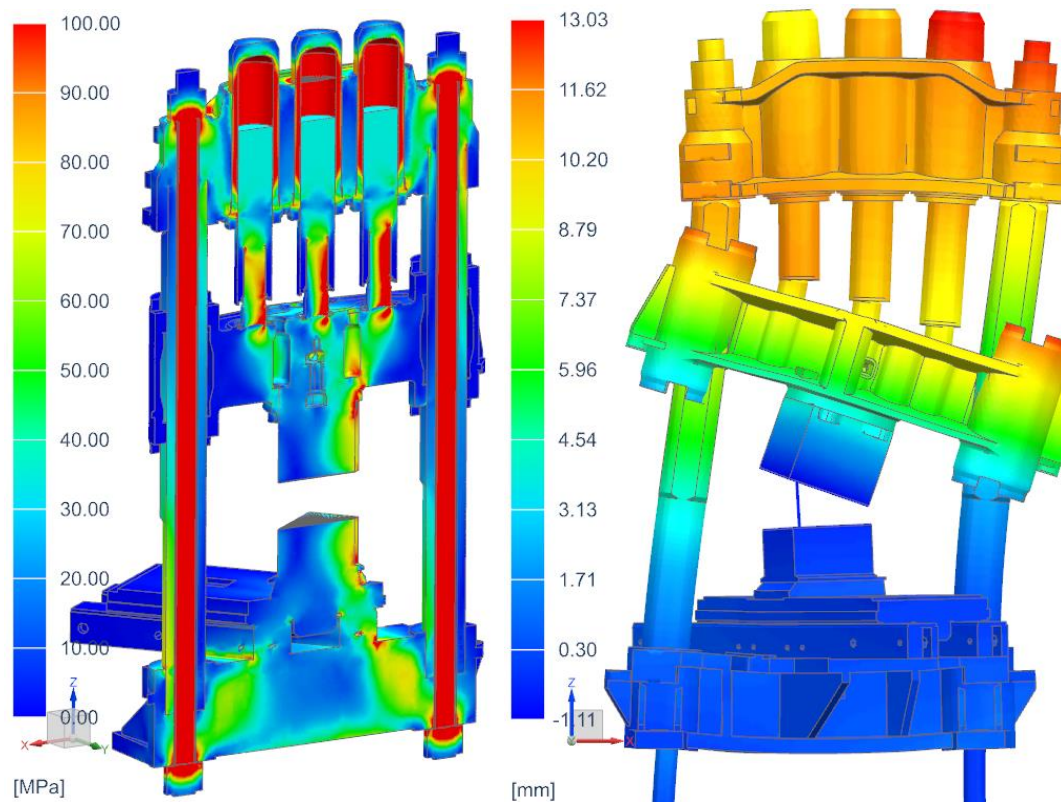
Obr. 11-8: Napětí a deformace lisu při podélné excentricitě 330 mm

Výroba tvarově složitých výkovků o specifických rozměrech může vyžadovat překročení dovolené excentricity i v podélném směru. Tato situace je v provozu velmi ojedinělá. Dovolená hodnota excentricity je navýšena o 50 % na 495 mm a tvářecí síla je snížena na 30 MN. Napětí ve sloupu během takto výjimečného způsobu zatížení vzrostlo jen nepatrně na 103 MPa. U ostatních dílů rámu došlo ke snížení maximálního napětí.



Obr. 11-9: Napětí a deformace lisu při podélné excentricitě 495 mm

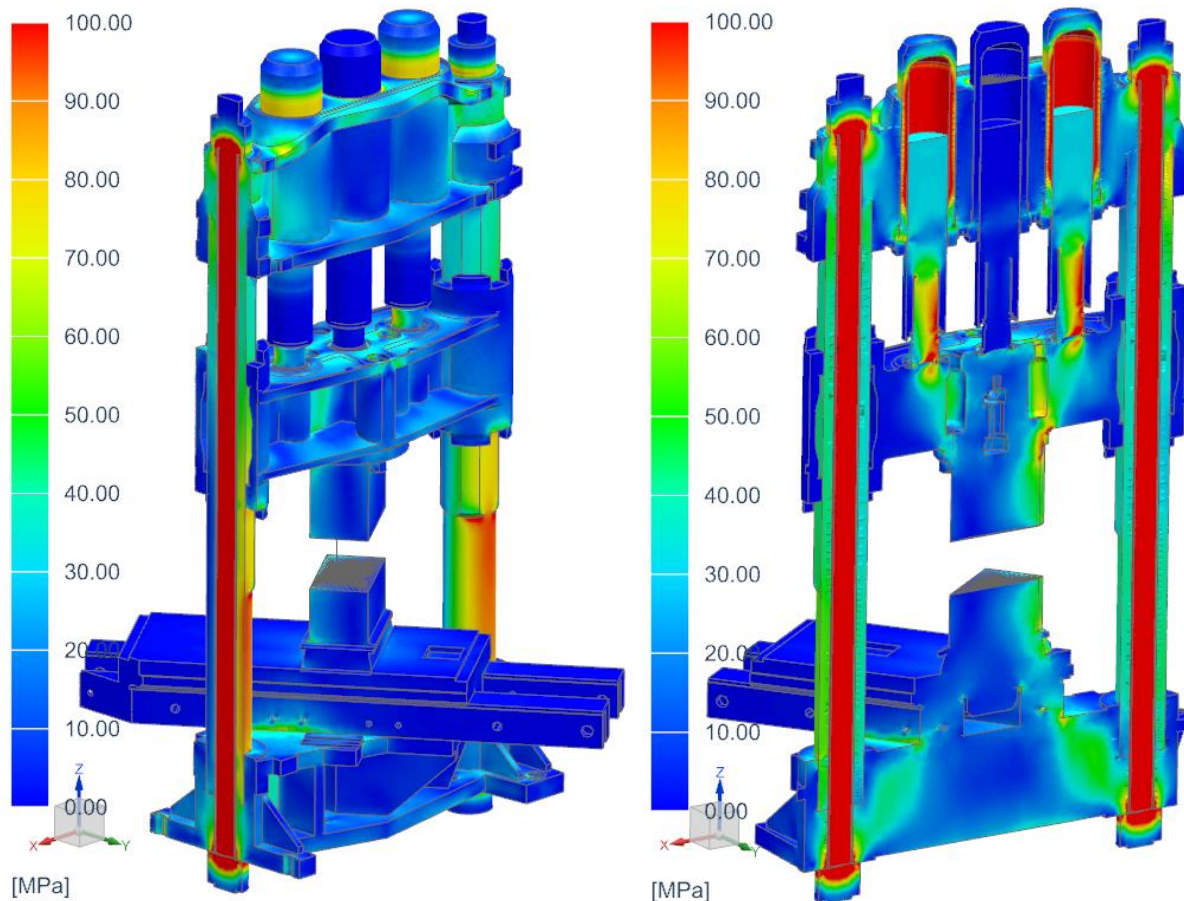
Při zatížení 50 MN excentricky 330 mm v podélném směru napětí ve sloupu vzrostlo na 121 MPa. Výrazný nárůst napětí nastal u trnů spojujících plunžry s traverzou. Při tvářecí síle 45 MN je napětí v trnech maximálně 140 MPa, ale síla 50MN navýší napětí na 180 MPa.



Obr. 11-10: Napětí a deformace lisu při podélné excentricitě a síle 50 MN

Pohon dvěma krajními válci

Požadavek nižších tvářecích sil může být realizován využitím pouze dvou krajních válců. Použitá tvářecí síla vyvozená dvěma krajními válci je 30 MN. Během excentrického zatížení v příčném směru se celkové naklonění lisu snížilo na 27,81 mm. Výrazná změna nastala při zatížení lisu podélnou excentricitou. Naklonění lisu kleslo na 3,36 mm. Napětí při příčné excentricitě ve sloupu je 116 MPa a podélné excentricitě je 107 MPa



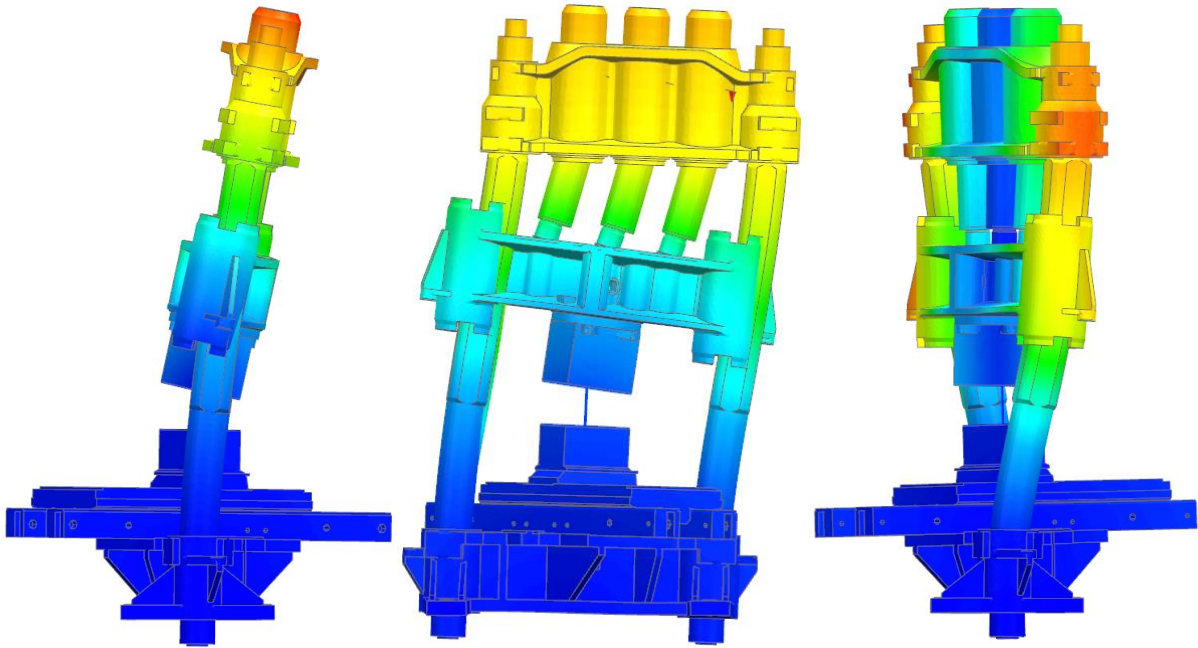
Obr. 11-11: Napětí v lisu při příčné a podélné excentricitě

11.5 Vlastní frekvence lisu

Chování lisu v provozu je kromě deformace při statickém zatížení závislé na velikosti a tvaru vlastních frekvencí. Hodnoty vlastních frekvencí lisu se mění v závislosti na tvaru, hmotnosti, tuhosti, tlumení lisu a dalších parametrech. Na celkovou tuhost lisu má vliv i poloha výkovku.

Centrické umístění výkovku

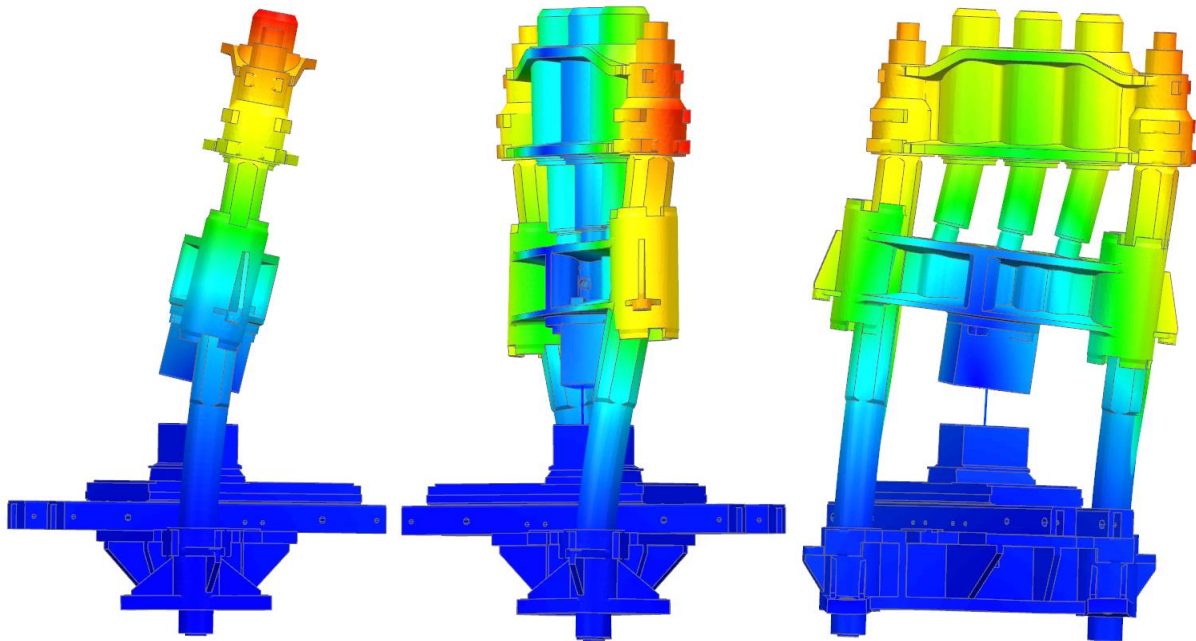
První vlastní frekvence při centrickém umístění výkovku má hodnotu 1,9 Hz a dochází k naklonění lisu v příčném směru. Druhá vlastní frekvence je naklonění lisu v podélném směru při frekvenci 6,27 Hz a třetí vlastní frekvence je zkrut rámu během frekvence 6,58 Hz. Při zvýšení předpínací síly v kotvě z 35,2 MN na 40 MN první vlastní frekvence klesla na 1,8 Hz.



Obr. 11-12: Tvar vlastních frekvencí lisu při centrickém zatížení

Příčná excentricita výkovku

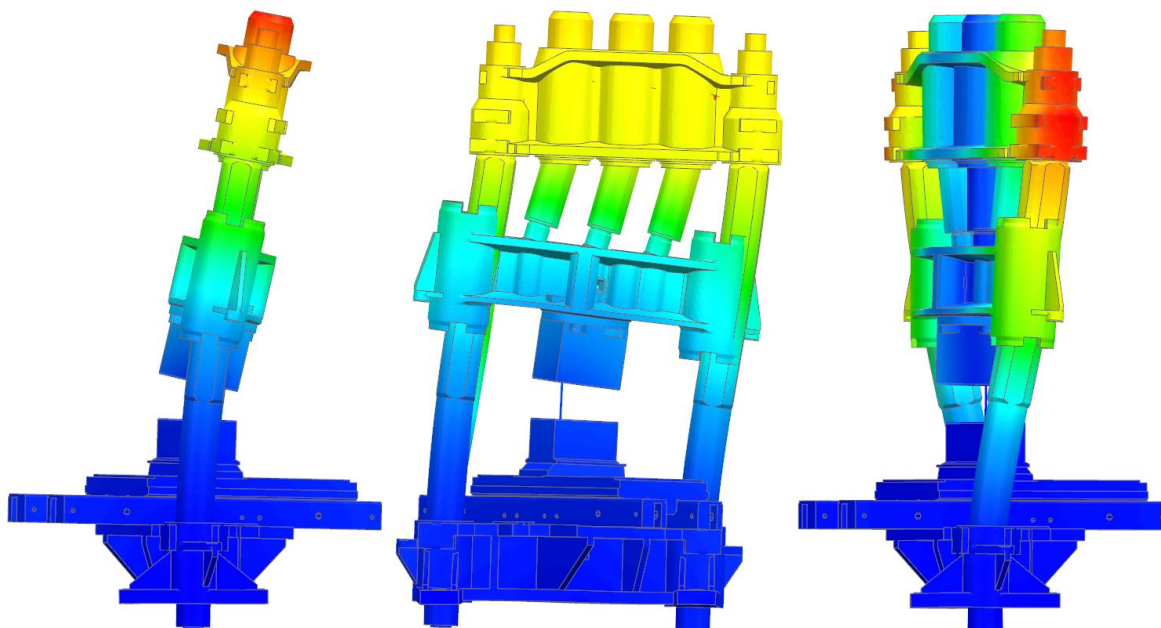
Při umístění výkovku excentricky 250 mm v příčném směru došlo ke změně vlastních frekvencí rámu. První vlastní frekvence má hodnotu 1,93 Hz a nastává naklonění lisu v příčném směru. Tvar druhé vlastní frekvence se změnil na zkrut rámu při frekvenci 5,92 Hz a třetí vlastní frekvence je naklonění rámu v podélném směru při frekvenci 6,74 Hz.



Obr. 11-13: Tvar vlastních frekvencí lisu při příčné excentricitě

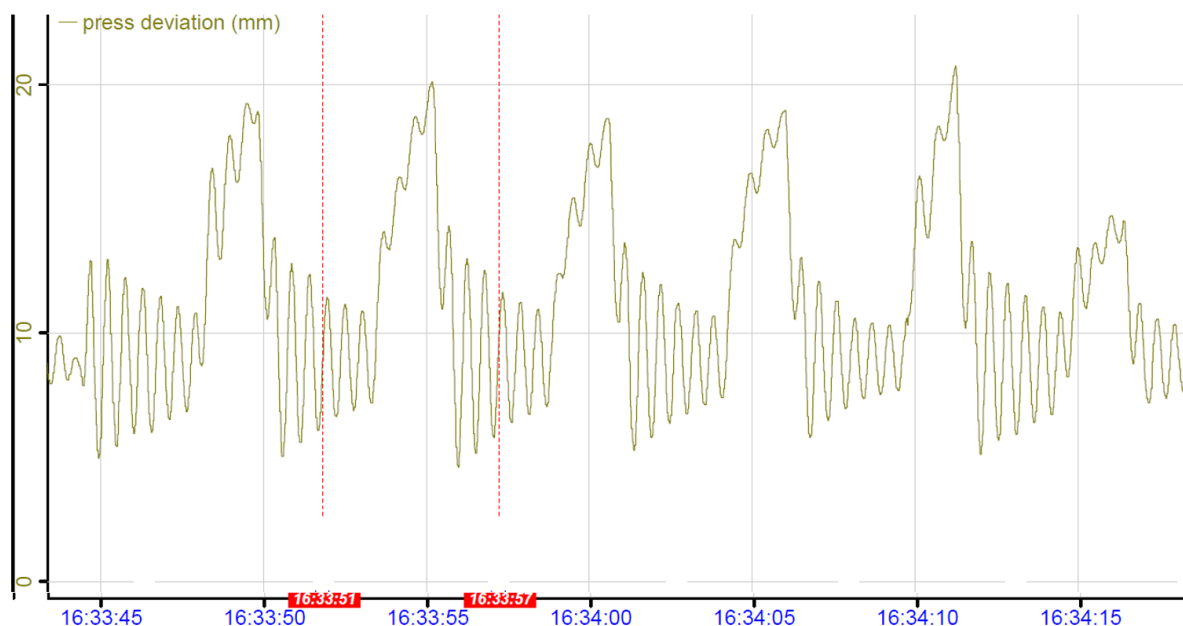
Podélná excentricita výkovku

Tvar vlastních frekvencí při umístění výkovku centricky a excentricky v podélném směru je shodný. Rozdíl je v hodnotách vlastních frekvencí. První vlastní frekvence má hodnotu 2,11 Hz, druhá 6,29 Hz a třetí 6,70 Hz.



Obr. 11-14: Tvar vlastních frekvencí lisu při podélné excentricitě

Dle poskytnutých výsledků měření na skutečném lisu v provozu je určeno, že první vlastní frekvence lisu se pohybuje v rozmezí od 1,9 Hz do 2 Hz. Hodnota vlastní frekvence je určena z měření prováděných při odlišném způsobu zatížení. Zatížení se mění ve velikosti síly, excentricity, zdvihu a rychlosti lisu. Příkladem je obrázek 11-5, kde je zobrazeno vychýlení lisu v závislosti na čase. U tohoto měření lis provádí 12 zdvihů o výšce 426 mm za minutu.



Obr. 11-15: Graf závislosti vychýlení lisu na čase při měření [15]

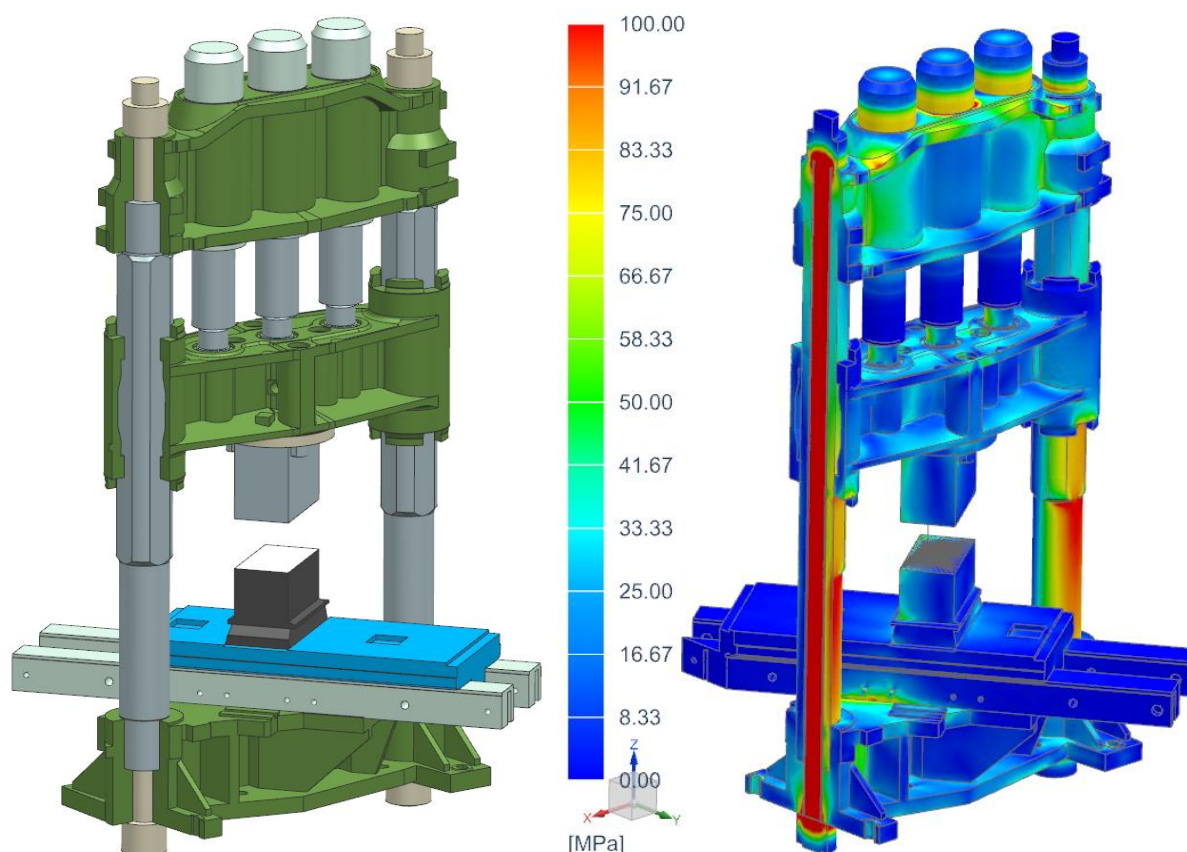
Zdrojem rozhoupání lisu v praxi je tvářecí síla. Lis je nejvíce poddajný v příčném směru, proto určení vlastních frekvencí jednotlivých variant je při umístění výkovku excentricky 250 mm v příčném směru.

12. Varianty

Jednotlivé úpravy lisu jsou zaměřeny na snížení velikosti deformace při excentrickém zatížení v příčném směru o vzdálenosti 250 mm silou 45 MN. Momenty a síly vzniklé od excentrického zatížení jsou zachycovány vedením na sloupech. Pro výpočet je uvažovaná minimální možná vůle v pohyblivém vedení 3 mm v podélném směru a 1 mm v příčném směru. U spojení jednotlivých dílů je zanedbána vůle. Předepnutí rámu je zprostředkováno odsazením spodních matic kotev od spodní traverzy o velikosti 17 mm. Tím se vyvodí předpětí v kotvě o přibližné síle 31,7 MN. U jednotlivých variant je snaha zachovat shodnou celkovou hmotnost lisu. Jelikož jsou jednotlivé varianty posuzovány podle jednoho způsobu zatížení, je nezbytné zajistit shodný ohybový modul sloupu v podélném a příčném směru.

12.1 Varianta A – současné řešení

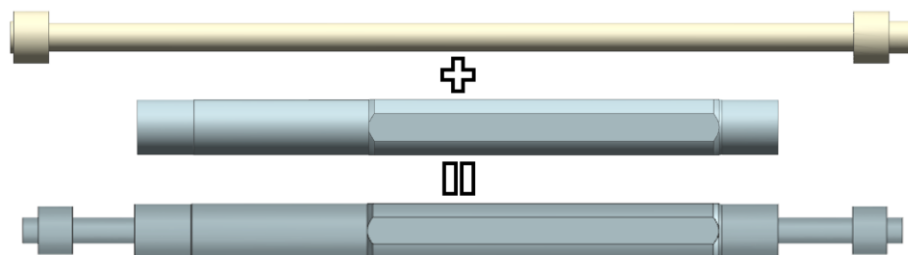
Celková hmotnost výpočetního modelu je 678 t. Každý ze sloupů váží 38,8 t a kotva s maticí má hmotnost 19,7 t. Při nadefinování výpočtů podle výše určených parametrů dochází k největší deformaci lisu v příčném směru. Největší naklonění lisu je 36,2 mm v horní části lisu na dnech pohonných válců. Deformace lisu v všech variant je pro sjednocení výpočtů měřena ve stejném místě. Maximální napětí je v místě přechodu mezi kotvou a maticí. Napětí v této oblasti dosahuje hodnot 330 MPa. Jak již bylo zmíněno výše, první vlastní frekvence současného provedení rámu dle modální analýzy je 1,93 Hz. Při této frekvenci dochází k naklonění lisu v příčném směru.



Obr. 12-1: Varianta A – tvar lisu a rozložení napětí

12.2 Varianta B – nepředepnutý rám

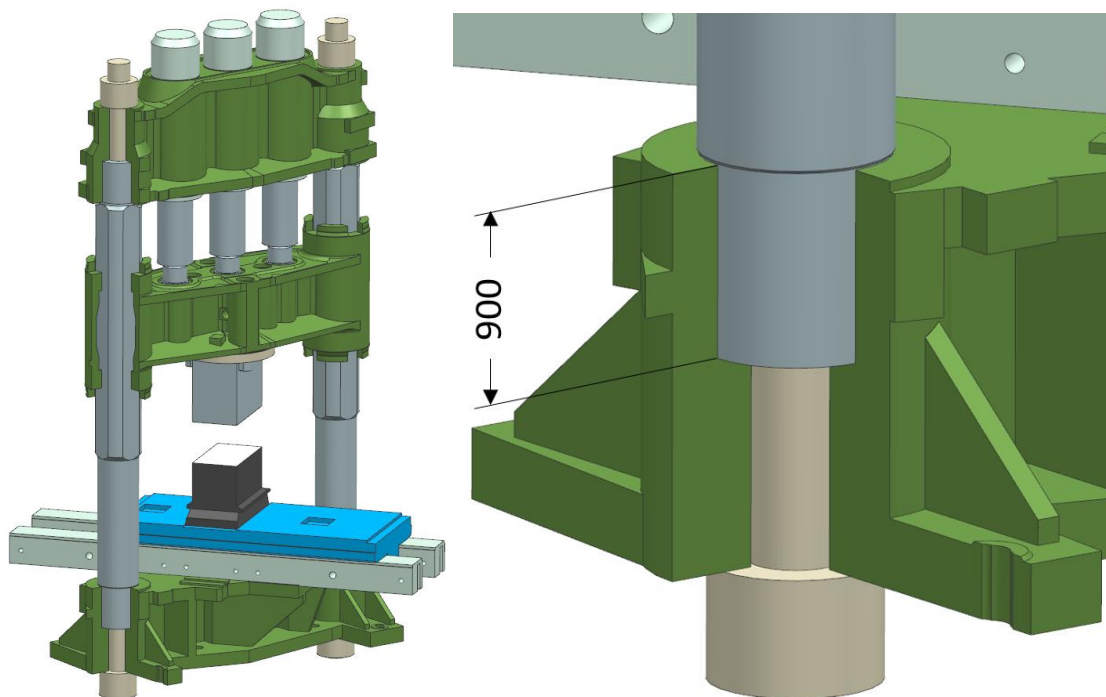
Varianta B je nepředepnutý rám. U současné varianty je rám předepnut samostatnými kotvami v celé své výšce. U nepředepnutého rámu není sloup předepnut podél celé své délky, jen v místě spodní a horní traverzy. Pro předepnutí nejsou použity samostatné kotvy, ale vlastní konce sloupů. Mezi kotvou a sloupem u současného provedení je vůle 37,5 mm. Tento prostor je vyplněn materiálem, aby došlo ke spojení kotvy se sloupem. Tím se však zvýšila hmotnost o 4 346 kg. Naklonění lisu se snížilo o 2 % na 35,52 mm a první vlastní frekvence má hodnotu 1,94 Hz.



Obr. 12-2: Varianta B – integrace kotvy

12.3 Varianta C – změna hloubky vsazení sloupu do spodní traverzy

Druhou úpravou lisu je změna hloubky vsazení sloupu do spodní traverzy. U současné varianty je hloubka vsazení 900 mm. Otvor v traverze má průměr 886 mm s výrobní tolerancí H8. Tolerance spodního průměru sloupu je -0,25/-0,35 mm. Tomu odpovídá rozsah vůle od 0,49 mm do 0,25 mm u spojení sloupu a spodní traverzy. Předpokladem této úpravy je, že síly působící v lisu vyvolávají v materiálu tahové a tlakové napětí. Velikost a rozložení napětí určuje výslednou deformaci lisu. Závislost velikosti deformace na napětí je lineární, jelikož se během provozu lisu pohybujeme v oblasti Hookova zákona. Pokud tedy vsadíme sloup do menší hloubky otvoru, budou síly přenášeny přes větší objem materiálu v traverze. Tím docílíme snížení napětí, od kterého se přímo úměrně odvíjí deformace rámu.



Obr. 12-3: Varianta C – změna hloubky vsazení sloupu

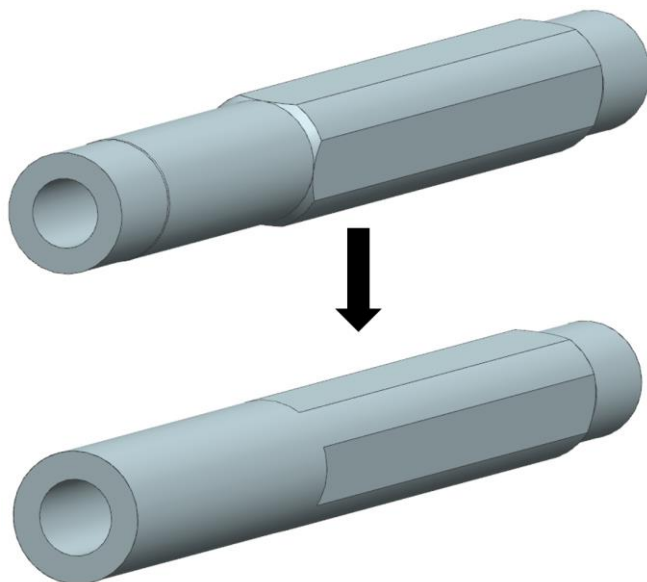
Hloubka vsazení [mm]	900	700	500	300	100
Deformace lisu [mm]	36,2	35,5	35	36,1	39,1

Tab. 12-1: Vliv hloubky vsazení sloupu na deformaci lisu

Při umístění sloupu do spodní traverzy o hloubce 100 mm dochází ke ztrátě stability výpočtového modelu. Příčinou ztráty stability je velikost excentricity zatížení 250 mm, která způsobí naklonění lisu do takové míry, že dojde k odlehnutí spodní plochy sloupu od traverzy. Vsazení do hloubky 500 mm zprostředkuje snížení deformace výpočetního modelu o 3 %. Kromě snížení deformace došlo i k nepatrnému navýšení první vlastní frekvence na 1,96 Hz.

12.4 Varianta D – změna průřezu sloupu ve spodní části

Nejvíce poddajným prvkem v rámu je sloup. Sloup současné varianty má proměnný průřez podél své výšky. Nejmenší průřez sloupu se nachází ve spodní části (mezi vedením a spodním koncem). Tato oblast je však nejvíce namáhána při excentrickém zatížení v příčném směru. Průměr sloupu v této oblasti je proto zvýšen z 900 mm na 1005 mm, který je shodný s průměrem v místě vedení. Pro zajištění shodné hmotnosti se stávajícím provedením, je zároveň navýšen průměr otvoru ve sloupu z 510 mm na 580 mm.



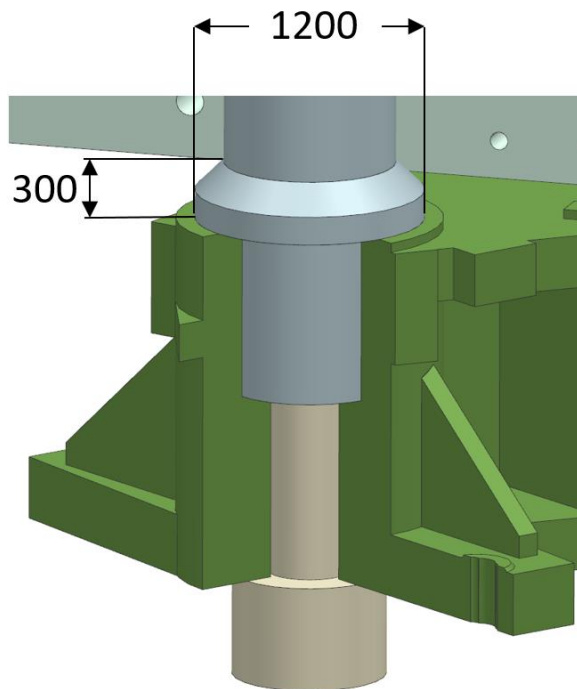
Obr. 12-4: Varianta D – změna tvaru sloupu

Úpravou spodní části sloupu dojde ke snížení maximálního napětí ve sloupu ze 122 MPa na 108 MPa. Naklonění lisu se snížilo na 33,94 mm. První vlastní frekvence lisu se dostává mimo oblast frekvence tváření na hodnotu 2,33 Hz. Nevýhodou této úpravy sloupu je, že dojde ke snížení průřezu horního konce sloupu. Tato oblast je nejvíce namáhána při excentrickém zatížení v podélném směru. Z toho důvodu by bylo nezbytné rozšířit i průměr horního konce sloupu nebo ponechat stávající průměr otvoru v ose sloupu.

12.5 Varianta E – vytvoření osazení na sloupu

Další úpravou lisu je vytvoření osazení na sloupu v místě horní desky spodní traverzy. Osazení má průměr 1200 mm a výšku 300 mm. K plynulému přechodu sil mezi osazením a sloupem je použito zkosení 45°. Síly nejsou přenášeny přes konec sloupu do traverzy, jak je uvažováno u předešlých variant, ale přes osazení. Tato změna by měla zvýšit stabilitu sloupu a snížit jeho naklonění. K výraznějšímu zvýšení tuhosti lisu je lepší rovnoměrné přenesení sil ze sloupu

na traverzu jak přes osazení, tak v místě konce sloupu. To by vyžadovalo absolutně přesnou výrobu, kterou nelze realizovat z technologického hlediska.



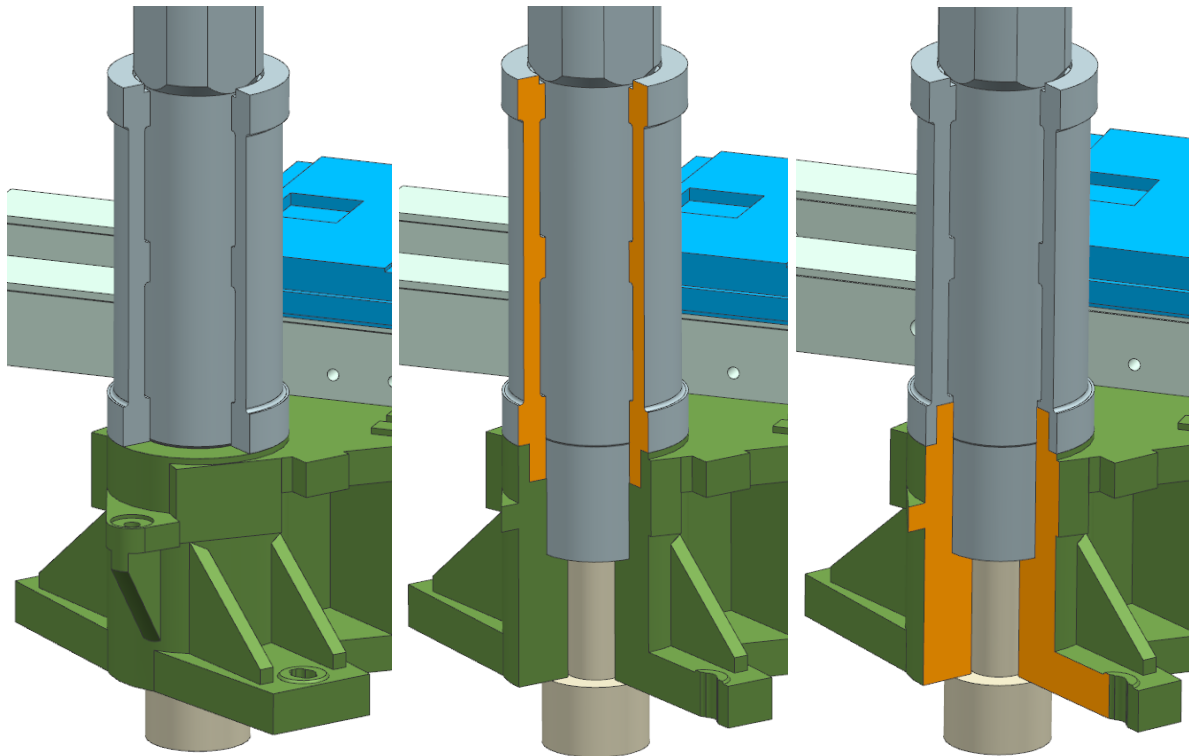
Obr. 12-5: Varianta E – rozměry osazení

Přidáním osazení na sloup se zvýší hmotnost o 860 Kg. To jsou 2 % hmotnosti sloupu. Tuto odchylku hmotnosti varianty E je možné nebrat v potaz při porovnání s celkovou hmotností lisu. Naklonění lisu je 33,06 mm. První vlastní frekvence má hodnotu 2,17 Hz.

12.6 Varianta F – přidání nárazky

Během provozu je okolo sloupu ve spodní části umístěna nárazka. Model zastupující nárazku má hmotnost 14,4 t. Jak již bylo dříve zmíněno, nárazka slouží k ochraně sloupu během tváření a zamezuje vyjetí plunžrů z válců při absenci kovadel. Využitím nárazky lze v jisté míře ovlivnit vlastnosti rámu. Nárazka je nejčastěji tvořena dvěma polovinami, které jsou rozděleny ve svislém směru. Tyto poloviny se umístí okolo sloupu a jsou spojeny několika šrouby. Na rozdíl od praxe je model nárazky tvořen jedním kusem pro zjednodušení výpočtu. Nárazka je v modelu umístěna okolo sloupu bez vůlí. Zanedbání vůlí však může značně ovlivnit výsledky výpočtů. Dalším problémem výpočtu je určení koeficientu tření mezi nárazkou, sloupem a spodní traverzou. Během deformace dochází k vzájemnému přemísťování stykových ploch. Při těchto vzájemných pohybech vznikají odporové síly, které snižují deformaci. Pro určení vlivu nárazek na výslednou tuhost lisu bylo provedeno několik výpočtů.

- Umístění nárazek do výpočtu s koeficientem tření 0,1.
- Umístění nárazek do výpočtu bez třecích sil.
- Rozdělení nárazky ve svislé rovině a spojení polovin šrouby, které jsou předepruty celkovou silou 2 MN.
- Vytvoření nákržku na traverze a zahloubení na nárazce o průměru 1200 mm a výšce 300 mm dle obrázku 12-6.
- Vytvoření nákržku na nárazce a zahloubení v traverze o průměru 1200 mm a výšce 300 mm dle obrázku 12-6 (opačné spojení s předešlým způsobem).

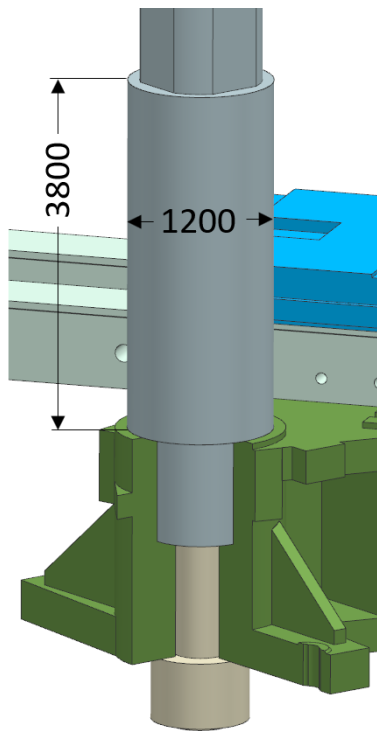


Obr. 12-6: Varianta F – přidání nárazky a připojení ke spodní traverze

Při umístění nárazek do výpočtu s koeficientem tření 0,1 dojde k naklonění lisu o 31,29 mm. První vlastní frekvence má hodnotu 2,12 Hz. Pokud jsou odporové síly zanedbány (koeficient tření je 0), dochází ke značné změně naklonění lisu na 35,45 mm a první vlastní frekvence klesla na hodnotu 1,96 Hz. Nejvíce se reálnému způsobu montáže nárazky přibližuje použití dvou polovin spojených předepnutými šrouby o celkové síle 2 MN u jedné nárazky. Šrouby umístěné v blízkosti horní a spodní hrany jsou značně přetíženy během deformace lisu. Naklonění se snížilo na 29,84 mm a první vlastní frekvence má hodnotu 2,48 Hz. Z důvodu proměnných výsledků předchozích výpočtů umístění nárazky je uvážena změna tvaru jednotlivých dílů. Jedním ze způsobů spojení je rozšíření spodní traverzy o nákrůžek, na který je nasazena nárazka. Nákrůžek zapadá do zahloubení ve spodní části nárazky. Naklonění lisu je 32,2 mm a první vlastní frekvence je 2,3 Hz. Kromě rozšíření traverzy o nákrůžek lze uvažovat o opačném principu spojení. Nárazka je ve spodní části rozšířena o nákrůžek a u otvoru ve spodní traverze pro sloup přibude zahloubení. Naklonění lisu se zvýšilo na hodnotu 32,67 mm. První vlastní frekvence je 2,2 Hz. Na základě provedených výpočtů je za variantu F vybráno vytvoření nákrůžku na spodní traverze k připojení nárazky.

12.7 Varianta G – integrování nárazky do sloupu

Výšku nárazky je možné snížit na minimum s ohledem na potřebu vysunutí plunžrů z válců z důvodu údržby a opravy. Zbytek nárazky je nahrazen osazením na spodku sloupu. To značně zvýší tuhost sloupu a sníží naklonění lisu. Za těchto předpokladů je vytvořeno osazení o průměru 1200 mm ve spodní části sloupů. Hmotnost vzrostla o 11 034 kg, což je přibližně 29 % hmotnosti sloupu. Naklonění lisu při této modifikaci kleslo na 23,68 mm. První vlastní frekvence má hodnotu 2,81 Hz.



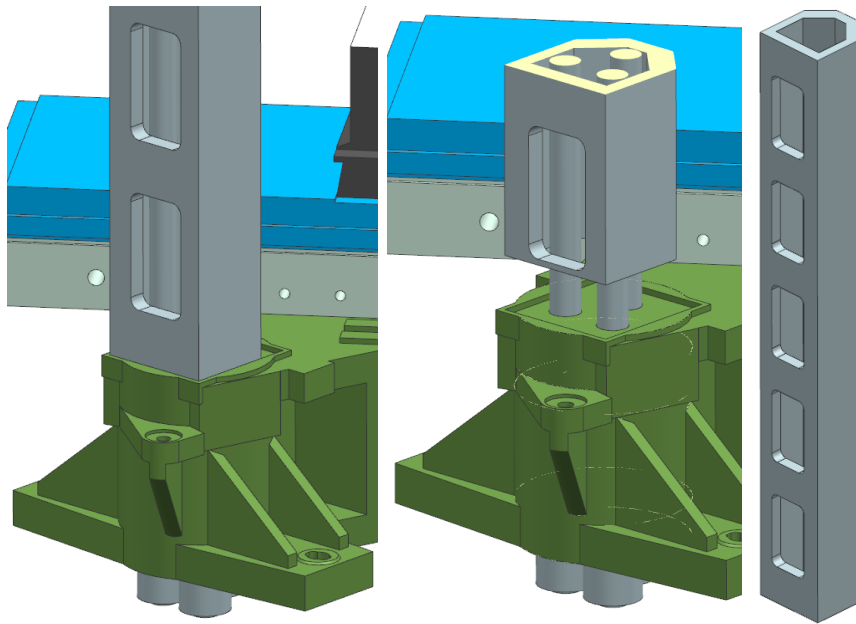
Obr. 12-7: Varianta G – integrování nárazky

12.8 Varianta H – čtvercový průřez sloupu

Pro hydraulické kovací lisy se pravidelně využívají taktéž odlévané sloupy. Odlévané sloupy umožňují ekonomicky výhodnou výrobu rozměrné průchozí dutiny skrze sloup. Předepnutí lisy proto může být zprostředkováno větším počtem kotev. Další modifikací rámu je tedy vytvoření čtvercových sloupů předepnutých třemi kotvami. Zvětšení dutiny ve sloupu má za následek navýšení vnějších rozměrů sloupu, za předpokladu shodné hmotnosti se současnou konstrukcí. Délka strany čtvercového průřezu je 1060 mm a tloušťka stěn je 133 mm. Rozměry sloupu vyplývají z potřebného prostoru pro umístění třech kotev. Průměr kotev je 250 mm. Součet průřezu všech kotev je shodný s minimální odchylkou s plochou průřezu kotev současného řešení. Tím je zprostředkováno vyvození totožných předpínacích sil při odsazení spodních matic o 17 mm. Rozteč umístění jednotlivých kotev je 500 mm a umožňuje použití hydraulického napínacího zařízení pro montáž. Touto modifikací dojde ke snížení velikosti pracovního prostoru lisy. Za předpokladu vytvoření zkosení 200 mm na vnitřních stěnách sloupů lze toto omezení pracovního prostoru do značné míry eliminovat. Naklonění lisy je 18,15 mm a první vlastní frekvence má hodnotu 2,7 Hz.

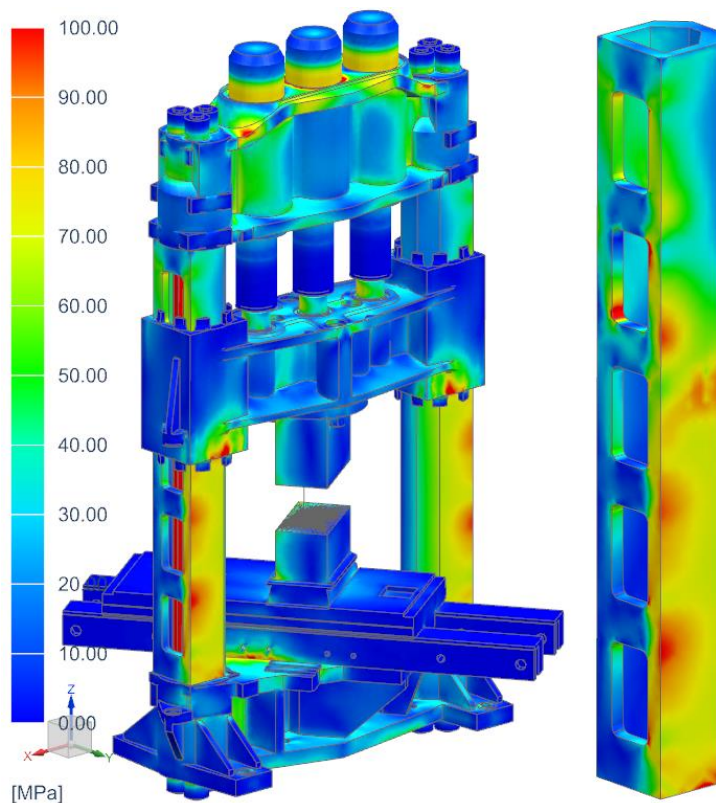
Abychom určili vliv navýšení počtu kotev je vytvořen model se shodným tvarem sloupu. Předepnutí sloupu je ale zprostředkováno jednou kotvou s rozměry současného provedení. Naklonění lisy se zvýšilo o 3,6 % a první vlastní frekvence se snížila o 1,1 %. To poukazuje na zvýšení stability lisy při použití většího počtu kotev.

Pro realizaci výroby odlévaného sloupu je však zapotřebí umístit do formy jádra k vytvoření dutiny. Z toho důvodu byla vytvořena modifikace čtvercového sloupu s proměnnou tloušťkou stěn, přidanými otvory a zkosením. Otvory mají výšku 1100 mm a šířku 600 mm. I přes proměnný průřez sloupu podél své výšky, je zachován shodný modul v ohybu sloupu v podélném a příčném směru s minimální odchylkou. Tato úprava je značena jako varianta H. Naklonění lisy má hodnotu 18,28 mm a první vlastní frekvence je 2,78 Hz.



Obr. 12-8: Varianta H – čtvercový průřez sloupu

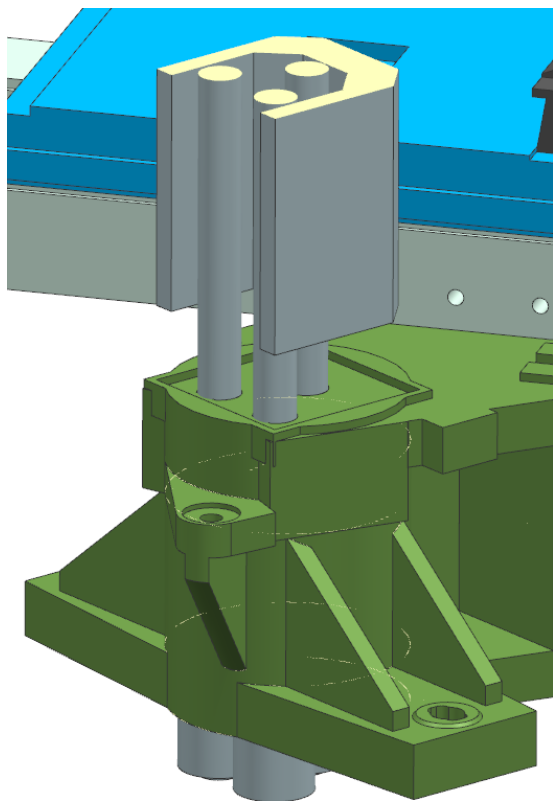
Odlévaný sloup u varianty H má značně odlišné rozložení napětí od současného provedení. Špičky napětí se vyskytují v rádiusech zaoblení otvoru ve sloupu v místě pohyblivé traverzy dle obrázku 12-9. Napětí zde dosahuje hodnoty 156 MPa. Rádus má poloměr 100 mm. Použitím většího poloměru rádiusu by došlo ke snížení špičky napětí nebo k jejímu odstranění z této oblasti. Maximální napětí na vnější stěně v příčném směru je 101 MPa. Toto napětí je nižší než špička napětí u současného provedení sloupu. Snížení maximálního napětí je dáno zvětšením vzdálenosti krajních vláken sloupu (rozšíření rozměrů průřezu), které jsou namáhány největšími silami během excentrického tváření.



Obr. 12-9: Varianta H – rozložení napětí v lisu během excentrického zatížení

12.9 Varianta I – čtvercový U profil sloupu

Dle výrobního hlediska se dále nabízí U profil průřezu sloupu. Tato úprava odstraní potřebu jader během odlévání a umožní snadný přístup ke kotvám. K možnosti snadného porovnání je zachována shodná tloušťka stěn sloupů v příčném směru s variantou H. Stěna směřující do středu lisu má dvojnásobnou tloušťku. Z toho důvodu nemá tento sloup shodný modul v ohybu v příčném a podélném směru, ale nižší v podélném směru v porovnání s předchozí variantou. Tato odchylka není brána v úvahu u kompletního vyhodnocení variant. Kotvy jsou umístěny ve stejné poloze jako u čtvercového průřezu sloupu a mají totožný průměr 250 mm. Naklonění lisu se nepatrně zvýšilo od předchozí varianty na 18,71 mm a první vlastní frekvence je 2,72 Hz.



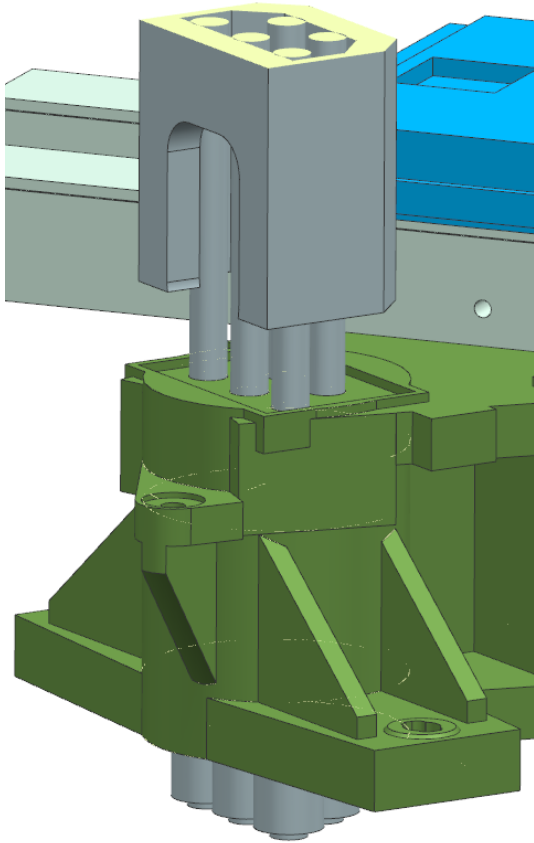
Obr. 12-10: Varianta I – U profil sloupu

U tohoto provedení dochází ke značnému snížení tuhosti vedení při zachování jeho polohy v ose sloupu. Vedení v příčném směru bylo proto přesunuto o 100 mm k ose lisu. Taková změna polohy vedení snížila naklonění lisu o 8 % na 17,2 mm a zvýšila nepatrně první vlastní frekvenci na 2,73 Hz. Změna sloupu na U profil i s přesunutým vedením je značena jako varianta I.

12.10 Varianta J – obdélníkový průřez sloupu

Sloup kromě čtvercového průřezu může mít i odlišnou délku stěn. Proto je použit obdélníkový průřez. Při požadavku shodné tuhosti v podélném a příčném směru budou tloušťky stěn rozdílné. Obdélníkový průřez má rozměr stran 1250 mm na 920 mm. K rozšíření pracovního prostoru je ponecháno zkosení 200 mm směrem k ose lisu. Předepnutí na požadovanou hodnotu zprostředkovává pět kotev o průměru 195 mm. Naklonění lisu je 15,13 mm a první vlastní frekvence má hodnotu 2,97 Hz.

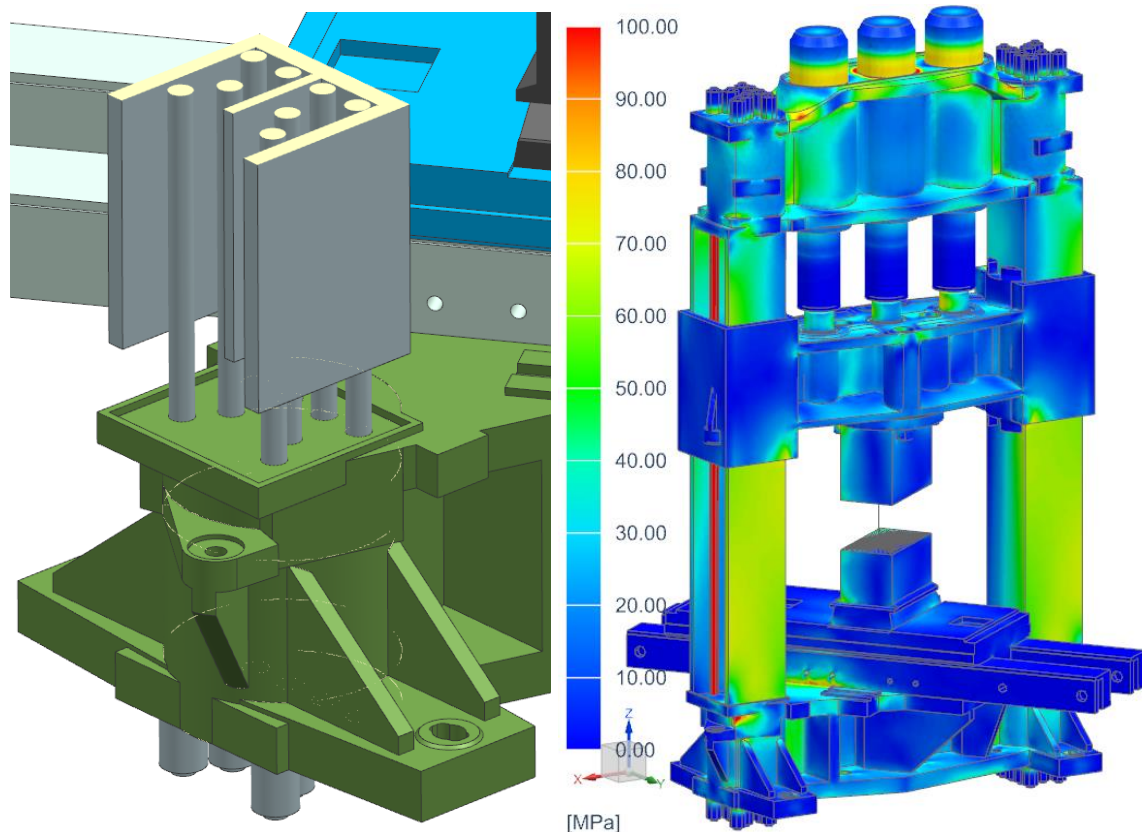
Varianta J má shodné rozměry stran obdélníkového průřezu s výše popsaným modelem, ale odlišnou tloušťku stěn. Zároveň jsou umístěny na vnější stěně otvory o výšce 1100 mm a šířce 700 mm z důvodu technologie výroby. Naklonění lisu se i přesto snížilo na 15,02 mm a první vlastní frekvence má hodnotu 3,06 Hz.



Obr. 12-11: Varianta J – obdélníkový průřez sloupu

12.11 Varianta K – průřez sloupu ve tvaru písmena E

Poslední modifikace je vytvoření sloupu s průřezem písmena E. Tento model vychází z konkurenčního řešení od společnosti Creusot Forge. Firma využívá tvaru sloupu, kterým prochází osm kotev. Toto řešení umožňuje značný rozsah modifikací tvaru a rozměrů sloupů. Nevýhodou sloupů ve tvaru písmena E je, že mají největší vnější rozměry z navrhovaných variant, a proto zapříčiní značné snížení velikosti pracovního prostoru. Naklonění lisu je 12,41 mm a první vlastní frekvence má hodnotu 3,16 Hz.



Obr. 12-12: Varianta K – E profil sloupu a rozložení napětí během excentrického zatížení

Z důvodu malé tuhosti vedení v ose plochy sloupu jsou pro další výpočty vodící plochy v příčném směru přesunuty blíže k ose lisu. Tím dojde ke snížení naklonění lisu na 11,46 mm a zvýšení první vlastní frekvence na 3,22 Hz. V porovnání se současným provedením lisu dojde ke snížení deformace o 68 % a zvýšení první vlastní frekvence o 67 %.

Tato varianta obsahuje celkem 16 kotev. Vysoký počet kotev umožňuje nastavit proměnnou hodnotu jednotlivých předpínacích sil pro navýšení tuhosti lisu. Pro vyhodnocení vlivu proměnného předepnutí kotev jsou použity dva způsoby předepnutí. První je předepnutí čtyř středových kotev o 6 % vyšší silou a zbylých kotev silou o 6 % nižší. U tohoto způsobu předepnutí se zvýšilo naklonění lisu 0,7 % a vlastní frekvence se zvýšila o 1,9 %. Druhým způsobem je změna předepnutí kotev v opačném provedení. To znamená zvýšení předpínací síly čtyř krajních kotev o 6 % a snížení předpětí středových kotev o 6 %. Deformace se snížila o 1,1 % a vlastní frekvence se zvýšila o 1,9 %.

Jak už bylo zmíněno, u této varianty lze v určitém rozmezí měnit rozměry a tvar sloupů i polohu kotev. Kromě modifikací velikosti předpětí je určen vliv změny polohy kotev. Ke zjištění vlivu změny polohy kotev na výslednou tuhost lisu je vytvořen model s posunutými kotvami o 50 mm od roviny procházející osami obou sloupů. Tím se snížila deformace o 2,4 % a zvýšila první vlastní frekvence o 2,2 %.

13. Vyhodnocení variant

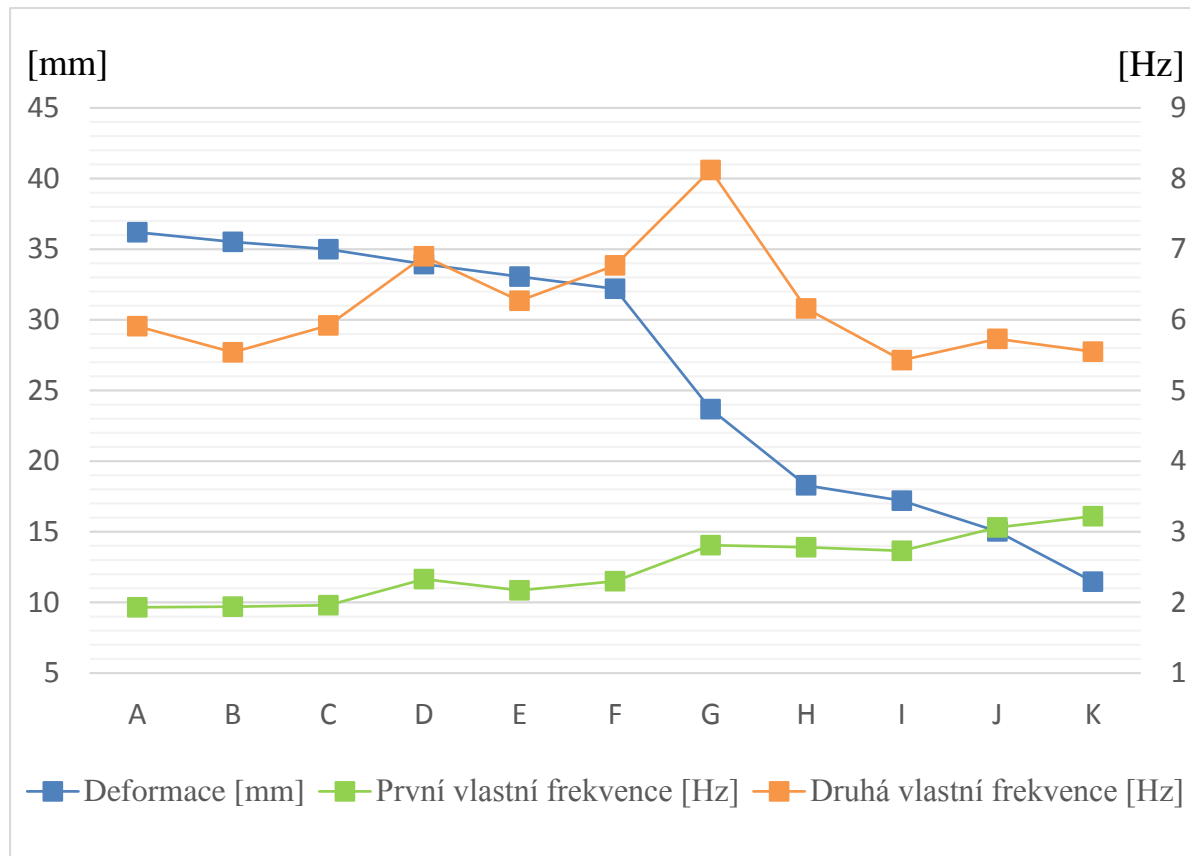
Shrnutí vypočtených hodnot jednotlivých úprav hydraulického lisu CKV 45/50 MN.

Varianta	Počet kotev	Modifikace	Deformace [mm]	První vlastní frekvence [Hz]	Druhá vlastní frekvence [Hz]	
A	jedna	současné řešení	36,2	1,93	5,92	
B		nepředepnutý rám	35,52	1,94	5,54	
C		změna hloubky vsazení sloupu	100 mm	39,08	1,91	5,87
		500 mm	34,99	1,96	5,92	
D		změna průřezu sloupu ve spodní části	33,94	2,33	6,90	
E		vytvoření osazení na sloupu	33,06	2,17	6,27	
F		využití narážky	koeficient tření 0,1	31,29	2,23	7,02
			bez tření	35,45	1,96	6,70
			předepnuté šrouby	29,84	2,48	7,08
			nákrůžek na traverze	32,20	2,30	6,77
			nákrůžek na narážce	32,67	2,20	6,06
G		integrování narážky do sloupu	23,68	2,81	8,12	
H		tři	plný čtvercový průřez se zkosením	18,80	2,67	5,94
			plný čtvercový průřez se zkosením	18,15	2,70	5,77
			čtvercový průřez s otvory a zkosením	18,28	2,78	6,16
	U profil se zkosením		vedení v ose	18,71	2,72	5,53
I		přemístění vedení	17,20	2,73	5,43	
J	pět	plný obdélníkový průřez se zkosením	15,13	2,97	5,75	
		obdélníkový průřez s otvory a zkosením	15,02	3,06	5,73	
K	osm	E profil	vedení v ose	12,41	3,16	5,34
			přemístění vedení	11,46	3,22	5,55
		předepnutí kotev: 4 x 18 mm ve středu a 4 x 16 mm na krajích	11,54	3,28	5,67	
		předepnutí kotev: 4x 16 mm ve středu a 4 x 18 mm na krajích	11,33	3,28	5,66	
		posunutí kotev o 50 mm od osy	11,18	3,29	5,64	

Tab. 13-1: Velikost deformace a vlastních frekvencí navrhovaných variant

Cílem této práce je navýšit boční tuhost lisu. Tomu odpovídá snížení deformace jednotlivých variant vůči současnému provedení. Průběh změny deformace je naznačen v grafu na obrázku 13–1. Graf poukazuje na skokové snížení deformace u variant využívajících odlité sloupy (varianta H, I, J a K). Přečodem u snížení deformace mezi řešeními s tvářenými a odlitými sloupy je varianta G, která však nespĺňuje podmínku shodné hmotnosti se současným řešením. Druhým důležitým parametrem hodnocení variant je první vlastní frekvence. Hodnota první vlastní frekvence by se měla pohybovat nad hodnotou 2 Hz, aby nenastala rezonance s frekvencí tváření. Tváření probíhá v rozsahu od 0 do 2 Hz. Požadavek nespĺňuje pouze varianta A, B a C. Varianta A je současné provedení lisu. Varianta B a C mají natolik shodné hodnoty první vlastní frekvence, že výsledný vliv na zvýšení tuhosti je minimální. V grafu je

taktéž zobrazena hodnota druhé vlastní frekvence. Varianty jsou vyhodnocovány při excentrickém zatížení v příčném směru. Velikost druhé vlastní frekvence poukazuje na změnu tuhosti rámu v dalších směrech. Tento parametr se u jednotlivých variant výrazně nesnížil oproti variantě A. Tuhost v podélném směru by proto měla být porovnatelná se současným řešením.



Obr. 13-1: Graf deformace a vlastních frekvencí jednotlivých variant

Pro určení nejlepší varianty je zapotřebí zavést měřítko hodnocení, které zahrne v úvahu všechny nezbytné parametry. Z tohoto důvodu je vybrána pro vyhodnocení navržených variant bodovací metoda. Jak je vidět z grafu na obrázku 13-1, z výpočetních modelů byla vyhodnocována deformace lisu a velikost vlastních frekvencí.

Z provozního hlediska je nezbytné vyhodnotit i další kritéria pro zahrnutí navrhovaných úprav do provozu. Jedním z nich je velikost pracovního prostoru. U dvousloupové konstrukce hydraulických kovací lisů je s výhodou využíván princip pootočení směru přísuvů výkovků a výměny kovadel vůči směru shodným s rovinou procházející osami obou sloupů (u této práce nadefinovaný jako podélný směr). Z technologického hlediska je zachován pravoúhlý směr přísuvu výkovků a výměny kovadel. Pokud by tyto dva souřadné systémy byly vůči sobě natočeny o 45° , tak prostor pro výkovky by byl shodný s prostorem pro výměnu kovadel. Potřeba výroby rozměrnějších výkovků a menší rozměry kovadel poukazuje na výhodnější natočení souřadného systému lisu a přísuvu výkovků. Současné provedení spodní traverzy a posuvného stolu je navrženo s pootočením o 55° vůči podélnému směru. Tím se zvýší rozměr prostoru pro výkovky na úkor prostoru pro výměnu kovadel. Kromě pracovního prostoru je dále nezbytné brát v potaz i rozšíření šířky lisu. Změna celkového rozměru lisu je způsobena shodnou polohou těžišť sloupů jednotlivých variant se současným provedením. To umožňuje porovnání tuhostí rámu s menší odchylkou. V tabulce 13-2 je zobrazena změna pracovního

prostoru a šířky lisu. Na základě tabulky jsou ohodnoceny jednotlivé varianty z pohledu velikosti pracovního prostoru.

Varianta	A, B, C a E	D	F	G	H a I	J	K
Pracovní prostor [mm]	3943	3838	3443	3643	3568	3602	3396
Prostor mezi sloupy [mm]	5000	4895	4500	4700	4834	4980	5044
Vnější šířka lisu [mm]	7300	7300	7300	7300	7466	7320	7444

Tab. 13-2: Rozměry lisů a pracovního prostoru

U variantního návrhu je nezbytné též vyhodnotit náklady na realizaci navržených úprav. Změny jednotlivých variant jsou zaměřeny především na sloupy lisu. V některých případech však došlo i na nezbytnou změnu tvaru dalších částí. Příkladem toho je změna počtu použitých kotev k předepnutí rámu u varianty H, I, J a K. To zapříčinilo rozšíření vnějších rozměrů sloupu a potřebu změny tvaru spodní, horní a pohyblivé traverzy. Změny jsou realizovány s ohledem na zachování stávající hmotnosti lisu. Navýšení nákladů na výrobu traverz je závislé na změně tvaru formy pro odlitky. Takové náklady jsou nízké v porovnání s celkovou pořizovací cenou. Vyhodnocení ekonomického hlediska navržených variant je proto zprostředkováno pouze s ohledem na cenu sloupů.

Změna tvaru sloupů je pevně spjatá s potřebou odlišného způsobu výroby. Současné provedení kovaných sloupů vyžaduje kompletní obrobení všech svých ploch. Konce sloupu jsou vsazeny do spodní a horní traverzy s minimální vůlí, která klade vyšší požadavky na přesnost výroby. V ose sloupu je vrtán otvor o průměru 510 mm v celé délce sloupu (10 350 mm). V neposlední řadě je zapotřebí vyfrézovat a brousit čtyři vodící plochy. Tato výroba je jak časově, tak finančně značně náročná, jelikož vyžaduje použití speciálních strojů pro takto rozměrné výrobky. Varianta H, I, J a K, na rozdíl od současného provedení sloupů, eliminuje potřebu tváření. Na druhou stranu je však nezbytné pro odlévané sloupy vytvořit formy pro odlití. Dutinu ve sloupu není zapotřebí vrtat, ale je vytvořena během lití za pomoci jader. Tvar jader je možno v určitém rozsahu měnit pro docílení lepších vlastností sloupů. Odlité sloupy vyžadují pouze očištění a obrobení funkčních ploch. Ty jsou tvořeny konci sloupů a vedením. Tyto obráběcí operace mohou být prováděny i na méně specializovaných strojích, které mají nižší hodinovou sazbu.

Vyšší pevnost materiálu nemusí mít pozitivní přínos. Tuhost materiálu je možno vyjádřit modulem pružnosti v tahu při uvažování shodného tvaru sloupů. Pružnost vysokopevnostních ocelí použitých u současného provedení sloupů je nepatrně vyšší než u ocelí používaných na odlitky. To poukazuje na přínos s ohledem na zvýšení tuhosti rámu. Kromě modulu pružnosti materiálu má na výslednou deformaci převažující vliv napětí. Napětí ve sloupech vysokopevnostních ocelí může dosahovat vyšších hodnot než u ocelí určených pro odlitky. Vyšší napětí vyvodí větší deformace sloupu. Proto použití odlitých sloupů může mít pozitivní vliv na výslednou tuhost. Odlité sloupy jsou dimenzovány na nižší napětí, které zapříčiní menší deformaci.

Z provedené analýzy současného řešení je patrné, že na výslednou deformaci má vliv vůle ve vedení. Kromě toho lze sledovat vliv tuhosti vedení. Současné řešení sloupů má natolik velkou tloušťku stěn, že tuhost vedení má zanedbatelný vliv na celkovou deformaci lisu. U variant s odlitými sloupy však došlo k rozšíření rozměrů průřezu sloupu na úkor tloušťky stěn. Tato změna zapříčinila snížení tuhosti vedení do takové míry, že bylo nezbytné provést úpravu jeho polohy. I přes tuto úpravu dojde ke snížení tuhosti vedení u odlitých sloupů. Snížení

tuhosti vedení také zapříčiní zvýšení odchylek pohybu střední traverzy a snížení životnosti vedení. Tyto negativní vlivy je zapotřebí zahrnout do vyhodnocení variant.

Tvar současného provedení sloupu je optimalizován z pevnostního hlediska. Kromě rovnoměrného rozložení napětí ve sloupu během všech provozních zátěžných stavů, je možnost optimalizace tvaru některých variant s přihlédnutím na zvýšení tuhosti při určitých typech zatížení. Toto hledisko je dobré zohlednit při vyhodnocení variant.

Hydraulický kovací lis je cyklicky zatěžován po dobu desítek let. Během provozu dochází k rozšiřování mikroskopických i makroskopických vad v materiálu sloupů. Poškození stroje o takovýchto parametrech a rozměrech nese rizika finanční, ekologická i bezpečnostní. Předběžné vyhodnocení rizik může spočívat v úvaze nad náchylností materiálů k únavě. Kromě typu materiálu je dobré brát v potaz i tvar sloupů.

Rozhodovací tabulka	Optimální varianta	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
Deformace	20	4	4	6	7	7	8	11	14	15	16	18
První vlastní frekvence	20	5	5	5	9	8	9	13	13	12	14	16
Druhá vlastní frekvence	10	4	3	4	6	5	6	8	5	3	4	3
Velikost pracovního prostoru	20	18	18	18	16	18	10	13	14	15	14	10
Cena sloupu	20	10	5	11	9	9	5	6	13	14	11	12
Technologie výroby	10	3	4	4	3	3	2	3	7	8	7	6
Pevnost materiálu	10	3	1	3	3	3	3	3	7	7	7	6
Tuhost vedení	10	8	8	8	8	8	8	8	6	5	4	3
Možnost optimalizace tvaru	10	3	4	3	2	4	5	4	7	6	7	8
Náchylnost na únavu a poškození	5	4	4	4	4	4	2	4	2	2	2	1
Celkem	135	62	56	66	67	69	58	73	88	87	86	83

Tab. 13-3: Bodové ohodnocení variant

Po vyhodnocení jednotlivých parametrů všech variant vychází jako nejlepší varianta H. Výhodou této varianty je kompaktní tvar sloupu (shodná délka stan), zvýšení první vlastní frekvence nad oblast frekvence tváření, možnost optimalizace tvaru v širokém měřítku, jednodušší výroba v porovnání se současným provedení sloupu, předepnutí větším počtem kotev zvyšuje stabilitu lisu a v neposlední řadě potřeba minimálních úprav ostatních dílů lisu pro aplikaci tohoto řešení.

H	čtvercový průřez s otvory a zkosením
I	čtvercový U profil se zkosením
J	obdélníkový průřez s otvory a zkosením
K	E profil sloupu
G	integrování narážky do sloupu v podobě osazení
E	přidání osazení na sloup v místě horní desky spodní traverzy
D	změna průřezu sloupu ve spodní části na opsanou kružnici
C	vsazení sloupu do spodní traverzy 500 mm
A	současné řešení
F	využití narážky
B	nepředeprnutý rám

Tab. 13-4: Pořadí navrhovaných variant dle vyhodnocení

Jako druhá nejlepší modifikace současného provedení lisu je zvolena varianta I. Ta má totožné parametry tuhosti a vlastních frekvencí s nejlepší variantou. Výhodou je rovnoměrnější rozložení sil podél celé výšky sloupu. Nevýhodou U profilu sloupu je nižší tuhost v krutu a rozdělení vedení na vnější straně lisu do dvou menších ploch.

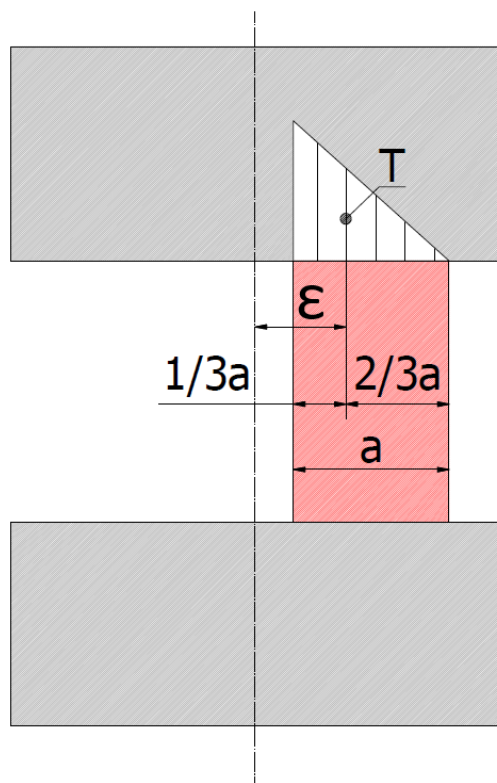
Jako třetí se umístila varianta J. Výhodou obdélníkového průřezu je vyšší tuhost sloupu. Navýšení rozměrů sloupu v příčné směru má minimální vliv na snížení pracovního prostoru. To je dáno změnou poměru prostoru určeného pro přísuv výkovků a výměnu kovadel. Nevýhodou je nižší tuhost vedení a znatelné snížení prostoru pro výměnu kovadel.

14. Porovnání zvolené varianty se současným řešením

Odlitý sloup čtvercového průřezu má odlišné vlastnosti oproti současnému provedení. Z toho důvodu je podrobena vybraná varianta a současné řešení rámu několika zátěžným stavům. Pro finální výpočet jsou jednotlivé modely zjednodušeny. Zjednodušení spočívá v odstranění všech detailních prvků vyskytujících se na reálném lisu. Příkladem toho jsou otvory, kapsy, drážky, dutiny a výstupky. To sníží výpočetní čas a umožní nahrazení výkovku 3D tělesem. Modul pevnosti v tahu 3D tělesa má hodnotu 0,9 GPa. Tato hodnota pevnosti zastupuje konstrukční oceli při tváření za tepla. Nižší pevnost materiálu snižuje celkovou tuhost lisu.

Při náhradě výkovku tělesem je zapotřebí k zajištění shodné excentricity zatížení lisu změnit jeho polohu. Z obrázku 14-1 je vidět, že rozložení tlaku v tělese není během tváření konstantní. Pro zjednodušení lze uvažovat lineární průběh růstu tlaku v tělese od vnější stěny směrem k ose lisu. Takový průběh tlaku ve výkovku je možné aplikovat za předpokladu zajištění nulového tlaku na vnější hraně tělesa a homogenních vlastností materiálu. Stávající a zvolená varianta jsou zatěžovány proměnnými tvářecími silami a různými velikostmi excentricity, které odlišným způsobem deformují rám a mění vzájemnou polohu kovadel. Výkovek by musel mít pro každý výpočet odlišnou polohu s ohledem na dodržení excentricity zatížení lisu. Pro zjednodušení je použito navýšení excentricity umístění těžiště výkovku o 50 mm. Tomu odpovídá excentricita 300 mm v příčném směru a 380 mm v podélném směru. Tento způsob umístění výkovku zvýhodňuje současnou variantu s nižší tuhostí. Nižší tuhost rámu zapříčiní navýšení tlaku na vnitřní ploše výkovku a přesunutí výsledné reakční síly blíže k ose lisu.

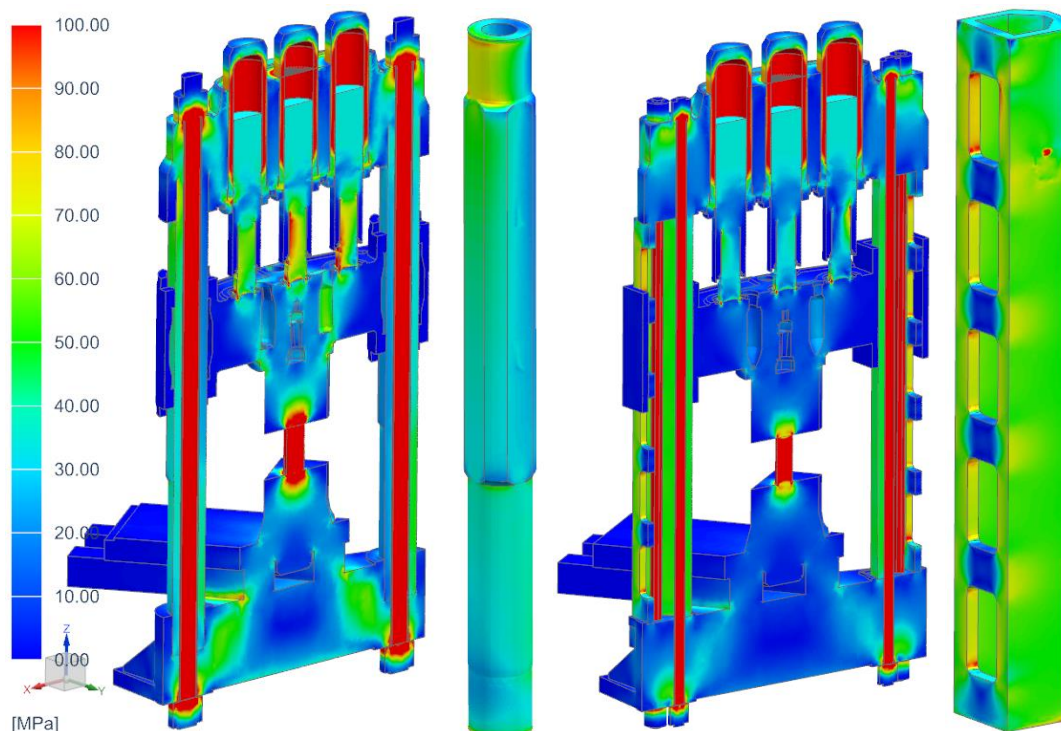
Jelikož změna excentricity zatížení je v řádech jednotek milimetrů, není brána v úvahu při porovnání variant.



Obr. 14-1: Rozložení tlaku v kontaktní ploše mezi kovadlem a výkovkem

Centrické zatížení

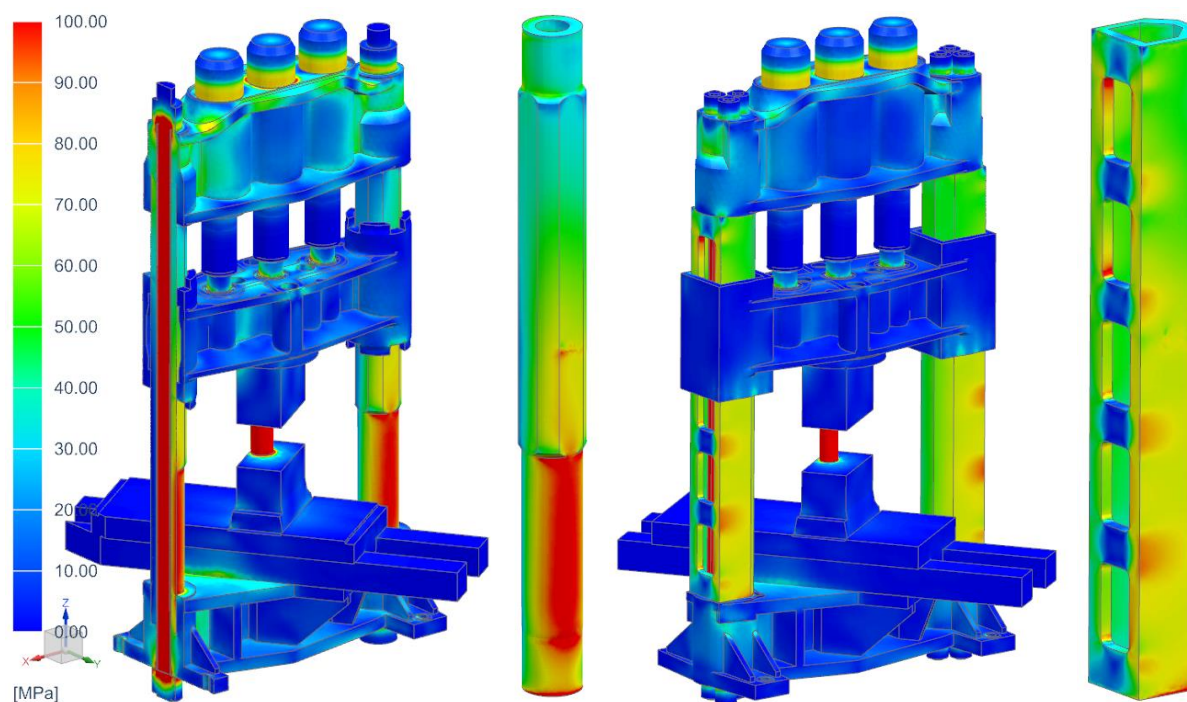
Obě varianty jsou zatíženy silou 50 MN. Velikosti a rozložení napětí u současného tvaru lisu jsou odlišné od provedené analýzy v kapitole 11.4. To je zapříčiněno výše popsanými změnami ve výpočetním modelu. Maximální napětí u sloupu současného provedení lisu je 126 MPa a nachází se v místě spodní plochy sloupu. U čtvercového sloupu je maximální napětí 112 MPa v místě rádiusu ve spodním otvoru. Kromě odlišného průběhu rozložení zatížení ve sloupech došlo k výraznému snížení napětí u zbylých částí rámu lisu navrhované varianty. Tato změna je výsledkem zvýšení tuhosti lisu. Deformace sloupu vzniklá zatížením se přenáší na traverzy. Spojení sloupu s traverzou se při zjednodušení uvažuje jako pravoúhlé. V případě absolutně tuhé sloupy by byly konce traverz ve vodorovné poloze. Traverza by se deformovala pouze ve středu v závislosti na velikosti zatížení a vlastní tuhosti. Celkový průhyb traverzy s absolutně tuhými sloupy by byl výrazně nižší než při použití poddajných sloupů. Vlivem deformace traverzy dochází ke vzniku druhotných zatížení. Průhyb horní traverzy zapříčiní vznik ohybového momentu v plunžrech a trnech. Trny mají výrazně nižší průměr než plunžry, proto jejich tuhost je nižší a tento ohybový moment se na nich projeví větším nárůstem napětí. Výrazný rozdíl napětí v trnech mezi porovnávanými variantami je patrný z obrázku 14-2. Maximální napětí v trnech současného provedení lisu je 128 MPa a u varianty se čtvercovými sloupy je 108 MPa. Rozdíl je i v průměrném napětí uvnitř trnů. Trny současného provedení lisu jsou zatíženy průměrným napětím 83 MPa a trny zvolené varianty průměrným napětím 56 MPa. Zvýšení tuhosti lisu se čtvercovými sloupy se projevilo i v traverzách, kde průměrné napětí u zvolené varianty kleslo o více jak 15 %. Hodnota maximálního napětí a jeho poloha v traverzách zůstává přibližně shodná.



Obr. 14-2: Porovnání napětí při centrickém zatížení

Příčná excentricita zatížení

Naklonění lisu se čtvercovými sloupy je výrazně nižší než u současného provedení lisu při příčné excentricitě zatížení silou 45 MN. Současné provedení lisu se nakloní o 33,6 mm. U zvolené varianty se náklon lisu snížil o 63 % na 9,1 mm. Tento rozdíl deformace lisů se projevil i na rozdílných hodnotách napětí v jednotlivých částech. Maximální napětí ve sloupech je téměř totožné, kdy špička napětí ve sloupu současného provedení je 163 MPa a zvolené varianty 167 MPa. Průměrné napětí v traverzách a trnech se snížilo o více jak 15 %.

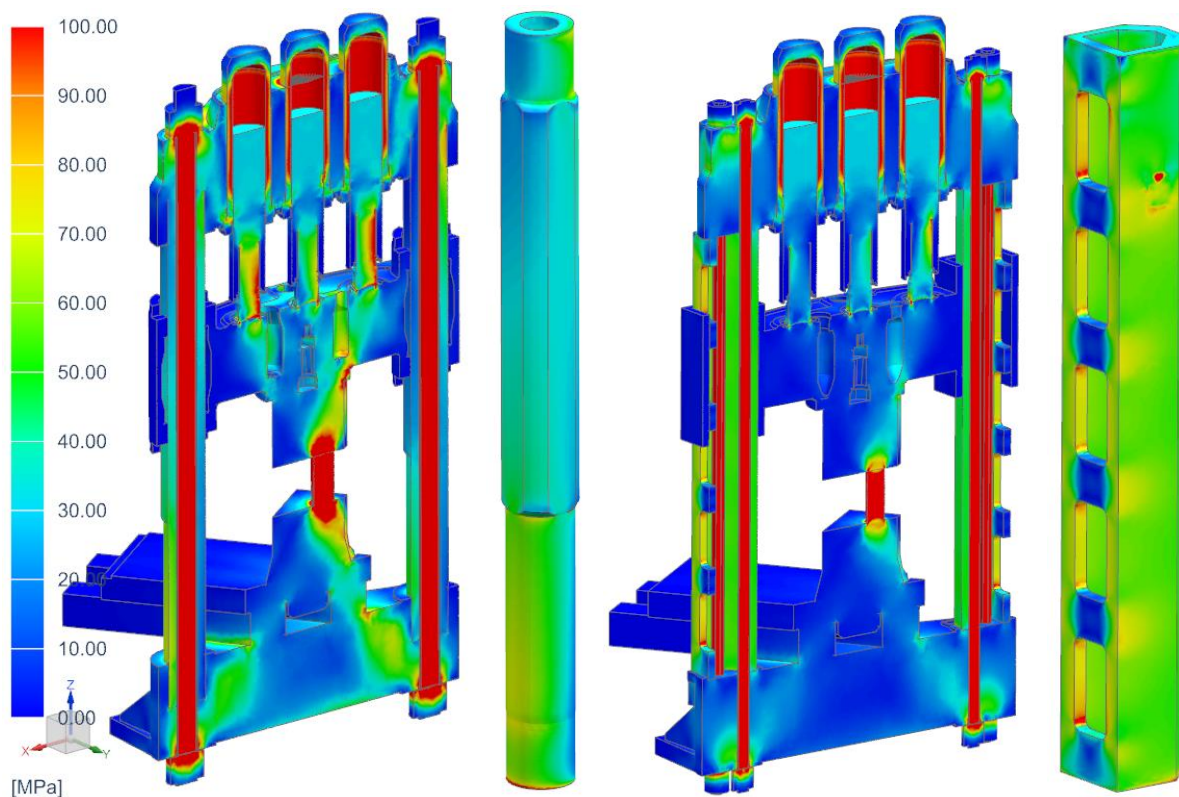


Obr. 14-3: Porovnání napětí při příčné excentricitě zatížení

Kromě zatížení silou 45 MN a příčné excentricitě 250 mm jsou obě varianty lisu podrobeny přetížení. Síla je navýšena na 50 MN. Naklonění současného provedení lisu vzroste na 42,95 mm. Přetížení má menší vliv na naklonění lisu se čtvercovými sloupy, kde hodnota vzrostla na 9,46 mm. Hodnoty a způsob rozložení napětí ve sloupech zůstává téměř totožný. Rozdíl nastává u traverz a trnů současného provedení lisu, kde maximální napětí vzroste o více jak 10 %. U zvolené varianty dojde k nárůstu napětí v těch částech o méně jak 5 %.

Podélná excentricita zatížení

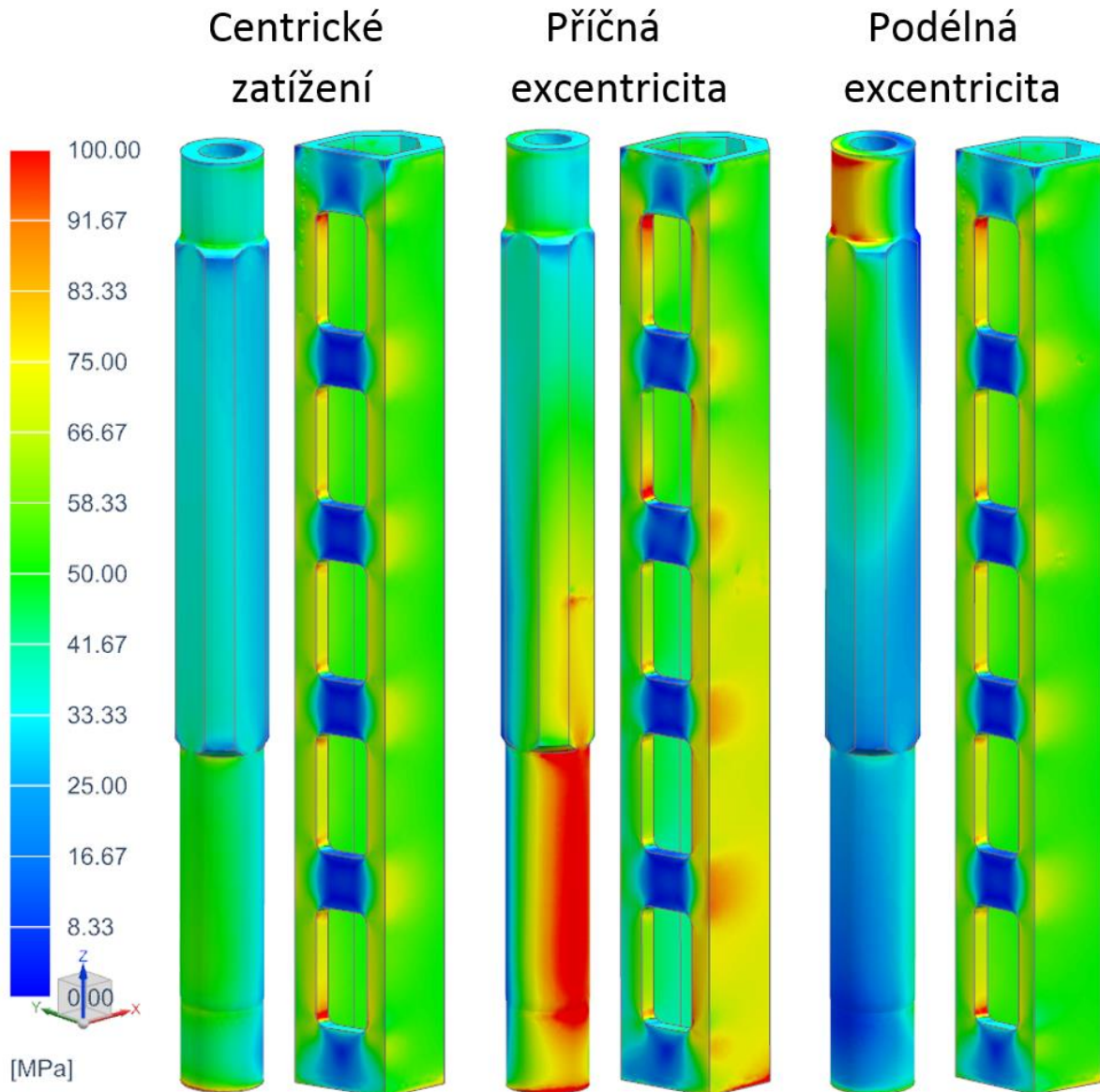
Naklonění lisu se čtvercovými sloupy je 1,52 mm a současného provedení je 9,05 mm při podélné excentricitě 330 mm a síle 45 MN. Maximální napětí ve sloupech má hodnotu 138 MPa u současného provedení a 114 MPa u čtvercového tvaru sloupů. U zvolené varianty dochází ke shodnému snížení napětí v ostatních částech lisu z důvodu zvýšení tuhosti jako v předchozích výpočtech.



Obr. 14-4: Porovnání napětí při podélné excentricitě zatížení

Navýšení zátěžné síly na 50 MN nakloní lis současného provedení o 15,37 mm a zvolené varianty o 1,57 mm. Nárůst deformace současného provedení o 70 % zapříčiní, že maximální napětí v trnu vzroste ze 140 MPa na 180 MPa. Přetížení v podélném směru se na traverzách projeví shodně jako při přetížení v příčném směru. Tomu odpovídá nárůst napětí o více jak 10 % u současného provedení a méně jak 5 % u provedení se čtvercovými sloupy.

Celkové porovnání velikosti a způsobu rozložení napětí ve sloupech je zobrazeno na obrázku 14-5. Lisy jsou podrobeny třem základním způsobům zatížení. Centrickému zatížení silou 50 MN, excentrickému zatížení 250 mm v příčném směru silou 45 MN a excentrickému zatížení 330 mm v podélném směru silou 45 MN.



Obr. 14-5: Rozložení napětí ve sloupech

Všechny provedené výpočty porovnávající současné provedení lisu a zvolenou variantu jsou shrnuty v tabulce 14-1. Zde je zobrazena jak maximální hodnota napětí ve sloupech, tak celková deformace lisu.

Provedení	Typ zatížení	Tvářecí síla [MN]	Napětí ve sloupu [MPa]	Deformace rámu [mm]
Současné řešení	centrické zatížení	50	126	1,5
	příčná excentricita	45	163	33,6
	podélná excentricita	45	138	9,05
	příčná excentricita	50	166	42,95
	podélná excentricita	50	151	15,37
Čtvercový průřez	centrické zatížení	50	112	1,1
	příčná excentricita	45	167	9,1
	podélná excentricita	45	114	1,52
	příčná excentricita	50	169	9,46
	podélná excentricita	50	128	1,57

Tab. 14-1: Velikost napětí ve sloupech a deformace lisu

Navrhovanou variantu lze považovat za vyhovující s ohledem na rozložení a velikost napětí ve sloupech.

Kromě rozložení napětí a deformace rámu je porovnána změna vlastních frekvencí. Velikost vlastních frekvencí a tvar se liší od hodnot zmíněných u vyhodnocení všech variant. To je zapříčiněno změnou tvaru výpočetního modelu a způsobem nahrazení tvářeného výkovku. Výkovek je umístěn ve výpočtu jak centricky, tak excentricky v příčném směru. Při centrickém umístění výkovku je první vlastní frekvence současného tvaru lisu 2,07 Hz a dochází k naklonění lisu v příčném směru. Druhý tvar vlastní frekvence je naklonění v podélném směru a třetí je zkrut rámu. Při umístění výkovku excentricky v příčném směru se hodnota první vlastní frekvence zvýší na 2,22 Hz. Rám se čtvercovým sloupem má hodnotu první vlastní frekvence při umístění výkovku centricky 2,71 Hz. Tvar prvních třech vlastních frekvencí je shodný se současným provedením. Při umístění výkovku excentricky v příčném směru se první vlastní frekvence zvýší na 2,77 Hz.

Provedení	Poloha výkovku	První vlastní frekvence [Hz]	Druhá vlastní frekvence [Hz]
Současné řešení	v ose lisu	2,07	5,13
	v příčném směru	2,22	6,14
Čtvercový průřez	v ose lisu	2,71	5,86
	v příčném směru	2,77	5,79

Tab. 14-2: Porovnání vlastních frekvencí

15. Závěr

Tato práce se zaměřuje na zvýšení boční tuhosti dvousloupového kovacího lisu. V první části je všeobecně popsána technologie tváření kovových materiálů, a to zejména v oblasti těžkého strojírenství. Tento obor se vyznačuje značnou šíří sortimentu produktů z hlediska materiálů, hmotností vyráběných dílů i počtem výrobků (od kusové výroby, až po výrobu sériovou nebo hromadnou). Tváření kovů má mnohaletou tradici, na kterou navazují soudobé poznatky. V průběhu historie tváření materiálů docházelo k neustálému vývoji technologií, materiálů nebo organizace výroby. Tyto inovace progresivně narůstají od počátku první průmyslové revoluce. V současné době globalizace je proto nezbytné zajistit maximální hodnotu provozních parametrů lisu k udržení konkurenceschopnosti.

Pro určení již realizovaných úprav je proveden průzkum a porovnány hydraulické lisy uvedené kategorie významných světových výrobců, včetně jejich základních technických dat. Každý z výrobců používá specifický tvar konstrukce lisů, který přináší zřetelné i těžko odhalitelné výhody a nevýhody.

Cílem práce je nalezení konstrukčních úprav pro zvýšení boční tuhosti lisu CKV 45/50 MN. Poznatky lze aplikovat i na další varianty dvousloupových lisů. Zadavatelem práce a výrobcem lisu je společnost TS Plzeň a.s. Během provozu tohoto lisu dochází ke značnému naklonění při excentrickém zatížení. Proto je proveden rozbor zdrojů vniku excentrického zatížení. Snížením těchto vlivů lze zajistit menší deformaci lisu.

Dále jsou provedeny technické výpočty rozložení sil uvnitř rámu dvousloupového hydraulického lisu se zaměřením na možnosti zvýšení tuhosti. Nejvíce poddajnými prvky rámu jsou sloupy, které mají největší vliv na výslednou boční tuhost. Navrhované varianty upravují tvar těchto členů rámu.

Po provedení analýzy současného řešení je navrženo jedenáct variant, které jsou vyhodnoceny při zatížení vyvozujičím největší naklonění lisu. Kromě výpočtu základních variant jsou provedeny i přidružené výpočty úprav, nabízejících se v závislosti na tvaru sloupu. Pro vyhodnocení je použita rozhodovací tabulka.

Jako nejvýhodnější úprava sloupu pro zvýšení boční tuhosti lisu je zvolen odlitý sloup se čtvercovým průřezem. Sloup má shodnou hmotnost se současným řešením, ale významně vyšší tuhost v ohybu. Délka stran sloupu je 1060 mm na rozdíl od současného řešení kovaného sloupu o kruhovém průřezu s průměrem 900 mm. Výhodou tohoto řešení, kromě zvýšení boční tuhosti lisu, je možnost snadné výroby rozměrnějších dutin. Sloup této varianty je předepnut třemi kotvami. Větší počet kotev přispívá ke zvýšení stability lisu. Nevýhodou tohoto řešení je snížení velikosti pracovního prostoru, která je minimalizována použitím zkosení hran sloupu směřujících k ose lisu.

Pro určení všech aspektů použití navržené varianty, je proveden porovnávací výpočet se současným řešením. Čtvercový tvar sloupu a současné řešení jsou podrobeny pěti typům zatížení. Vyhodnocení těchto výpočtů je prováděno jak s ohledem na tuhost lisu, tak i na průběh napětí ve sloupu. U zvolené varianty došlo k výraznému zvýšení tuhosti lisu. Hodnoty maximálního napětí ve sloupech se pohybují v přibližně shodných oblastech. U některých způsobů zatížení došlo i ke snížení maximálního napětí u zvolené varianty.

Literatura

- [1] HOSNEDL, S., KRÁTKÝ, J.: Příručka strojního inženýra 1. Brno: Computer Press, 1999
- [2] MICHEJEV, V., A.: Hydraulické lisy. Praha: SNTL, 1956
- [3] RUDOLF B., KOPECKÝ M. *Tvářecí stroje – základy stavby a využití*. Praha: SNTL, 1985
- [4] ČECHURA M., STANĚK J. *Tvářecí stroje – hydraulické lisy*. Plzeň: ZČU, 1999
- [5] STANĚK J. *Základy stavby výrobních strojů – tvářecí stroje*. Plzeň: ZČU, 2001
- [6] LENFELD P.: *Technologie II* [online], [cit. 2018-12-8]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/obsah_kovy.htm
- [7] FABÍK R.: *Tváření kovů* [online], [cit. 2018-11-15]. Dostupné z: <http://www.person.vsb.cz/archivcd/FMMI/TVKB/Tvareni%20kovu.pdf>
- [8] ČECHURA M., HLAVÁČ J., STANĚK J. *Konstrukce tvářecích strojů*. Plzeň: Editační středisko ZČU, 2014
- [9] TS Plzen: *Hydraulic Presses* [online], [cit. 2019-1-14]. Dostupné z: <http://www.czech-presses.eu/hydraulic-presses.htm>
- [10] Siempelkamp: *Open-die forging press* [online], [cit. 2019-1-25]. Dostupné z: <http://products.siempelkamp.com/en/metallumformung/detail/typ/metall/id/4>
- [11] Wepuko PAHNKE GmbH: *Hydraulic Forging Pressses* [online], [cit. 2019-1-25]. Dostupné z: [Dostupné z: https://www.wepuko.de/en/hydraulic-forging-presses/](https://www.wepuko.de/en/hydraulic-forging-presses/)
- [12] SCHULER: *Hydraulic Presss Technology* [online], [cit. 2019-1-25]. Dostupné z: <https://www.schulergroup.com/index.html>
- [13] RAVNE PRESSES: *Single die presses* [online], [cit. 2019-1-25]. Dostupné z: <http://www.ravnepresses.com/#>
- [14] MOSSINI PRESSE: *PRESSE PER FORGIATURA* [online], [cit. 2019-1-25]. Dostupné z: <https://www.mossini.com/prodotti/presse-per-forgiatura/>
- [15] Podkladový materiál, výkresy, katalogy apod. poskytnuté zadavatelem úkolu.