

## KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ DVOUSLOUPOVÉHO KOVACÍHO LISU S OHLEDEM NA ZVÝŠENÍ BOČNÍ TUHOSTI

Tom Kost,  
Západočeská univerzita v Plzni,  
Univerzitní 8, 306 14 Plzeň  
Česká republika

### ABSTRAKT

Tato práce se zabývá kovacím lisem s označením CKV 45/50 MN od společnosti TS Plzeň a.s.. Během provozu tohoto lisu dochází ke značnému naklonění, popřípadě rozhoupání při excentrickém zatížení. Z tohoto důvodu je provedena analýza současného řešení a vyhodnoceny slabá místa rámu z ohledem na celkovou tuhost. Pro zvýšení tuhosti jsou navrženy konstrukční úpravy. Dle navrženého výpočetního modelu jsou jednotlivé varianty propočteny a ze získaných výsledků je určen vliv modifikací na výslednou tuhost a zvolena nejlepší varianta. K zahrnutí všech aspektů provozu je podrobena současná varianta a zvolená varianta všem silovým působením vyskytujícím se běžně v provozu.

### KLÍČOVÁ SLOVA

Hydraulický, lis, kování, excentricita, tuhost

### ÚVOD

V praxi se setkáváme se stroji, které jsou zatíženy jediným, či několika charakteristickými průběhy zatížení, které se cyklicky opakují a rovněž tak se stroji, jejichž pracovní využití je velmi pestré. 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 přenášeny uvnitř rámu. Při náročnější práci dochází běžně k vzniku reakcí, které nepůsobí v ose lisu. Takovéto 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.

### 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 údery, 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 kovadly. Konečný tvar výkovku vzniká v závislosti na způsobu manipulace s polotovarem mezi kovadly.

Volné kování se používá k pěchování, prodlužování, dělení, osazování, prosazování, ohýbání a děrování [5].

### LIS CKV 45/50

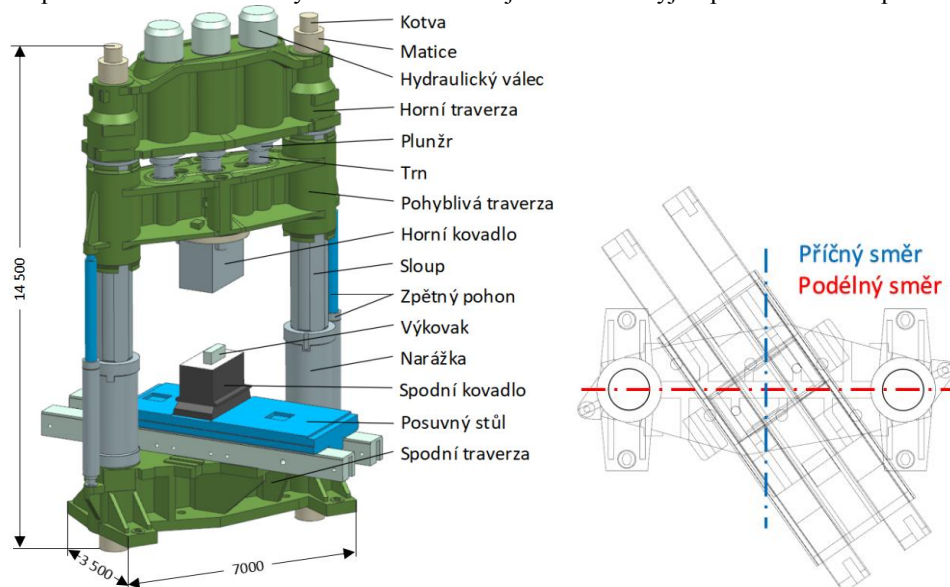
Jedním z produktů nabízených firmou TS Plzeň a.s. je hydraulický kovací lis s horním pohonem CKV 45/50. Lis je určen pro volné kování oceli a neželezných kovů. Primární operace, pro které je tento lis určen, je pěchování, děrování, kování kruhových i n-hraných průřezů a výroba prstenců a dutých válců 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 45MN zprostředkována pracovní kapalinou o tlaku 31,5MPa. Při

potřebě dosažení maximální síly pro pěchování 50MN jsou čerpadla schopna dodávat pracovní kapalinu o tlaku 35MPa.

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. 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 vyvodí sílu 5,06MN. 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.



Obrázek 1 a 2: Lis CKV 45/50MN a zvolený systém pro směr excentricity

## ANALÝZA SOUČASNÉHO ŘEŠENÍ

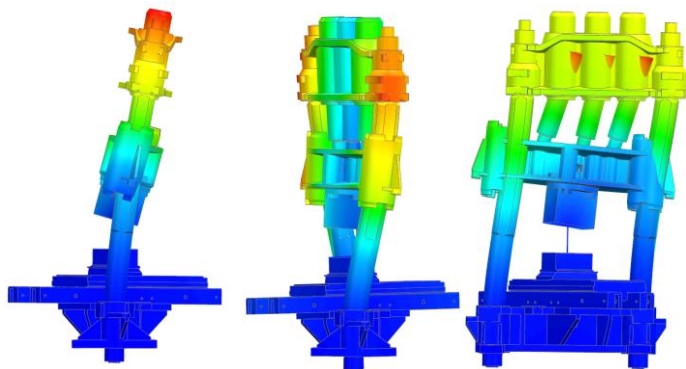
Tato práce je zaměřena na zvýšení boční tuhosti hydraulického kovací lis CKV 45/50. Pro výpočet byl použit program NX12 od společnosti Siemens. Lis má největší poddajnost v příčném směru. Jednotlivé úpravy lisu budou proto zaměřeny na snížení velikosti deformace při excentrickém zatížení v příčném směru o maximální dané hodnotě 250mm. Tvářecí síla je rozdělaná na tři shodně velké síly o velikosti 16,667MN při centrickém zatížení a silou 15MN při excentrickém zatížení působící na plunžry. Tři pracovní válce o stejné velikosti spojené s horní traverzou jsou zatíženy tlakem 35MPa při centrickém zatížení a 31,5MPa při excentrickém zatížení. Momenty a síly vzniklé od excentrického zatížení jsou zachycovány vedením na sloupech. Pro výpočet je uvažovaná minimální možná vůle v pohyblivém vedení 3mm v podélném směru a 1mm v příčném směru. U spojení jednotlivých dílů byla zanedbána vůle. Předepnutí rámu je vyvozeno odsazením spodních matic kotev od spodní traverzy o velikosti 17 mm. Tím se vyvodí předpětí v kotvě o přibližné síle 31,7MN. Závitové spojení mezi kotvou a maticemi je nahrazeno pevným spojením, pro zjednodušení a urychlení výpočtu. Pevná poloha rámu pro výpočet je dána zamezením posuvů v místě přichytných otvorů k základu ve spodní traverze. Posuvy v podélném a příčném směru způsobeny 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 komponent umístěných na horní traverze.

## VARIANTY

### Varianta A – současné řešení

Při nadefinování výpočtů podle výše určených parametrů dochází k největší deformaci lisu v příčném směru. Největší naklonění lisu je 36,2mm v horní části lisu na dnech pohonných válců. Maximální napětí je v místě přechodu mezi kotvou a maticí. Napětí v této oblasti dosahuje hodnot 320MPa.

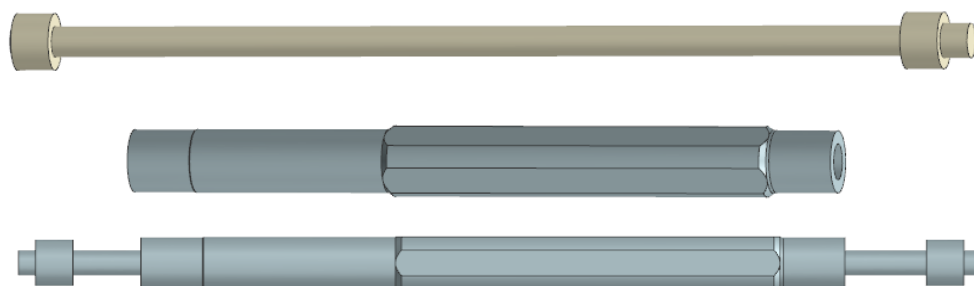
První vlastní frekvence současného provedení rámu dle modální analýzy je 1,93Hz. Při této frekvenci dochází k naklonění lisu v příčném směru. Druhá vlastní frekvence má hodnotu 5,9HZ. Při druhé frekvenci dochází k natáčení horní traverzy okolo osy symetrie.



Obrázek 3, 4 a 5: Tvar vlastních frekvencí

### Varianta B – nepředepnutý rám

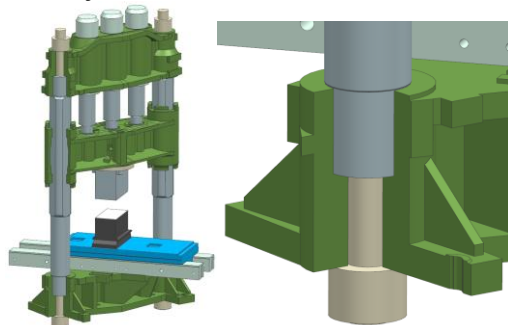
Varianta B je nepředepnutý rám. U současné varianty je rám předepnut samostatnými kotvami v celé své výšce. U nepředepnutého rámu není sloup předepjat podél celé své délky, ale jen v místě spodní a horní traverzy. Pro předepnutí nejsou použity samostatné kotvy, ale vlastní konce sloupu.



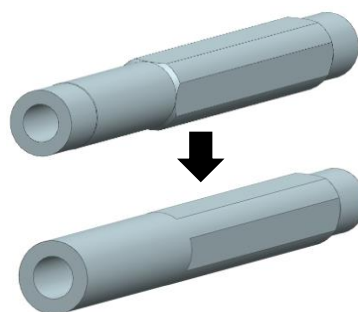
Obrázek 6: Varianta B

### 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. Sloup je uložen v traverze s tolerancí H8/g4. Tomu odpovídá rozsah vůle od 0,49mm do 0,25mm. Předpokladem této úpravy je, že síly vzniklé předepnutím a tvářením se přenáší z traverzy na sloup. Z toho důvodu vzniká v rámu napětí. Závislost velikosti deformace na napětí je lineární, jelikož se během provozu lisu pohybujeme v oblasti Hookova zákona. Pokud tedy vsadíme sloup do menší hloubky, budou síly přenášeny přes větší objem materiálu v traverze. Tím docílíme snížení napětí, od kterého se přímo úměrně odvíjí deformace rámu.



Obrázek 7: Varianta C



Obrázek 8: Varianta D

Hloubka vsazení [mm]	900	700	500	300	100
Deformace [mm]	36,2	35,52	34,99	36,11	39,08

Při umístění sloupu do spodní traverzy o hloubce 100 mm dochází ke ztrátě stability výpočtového modelu. Příčinou ztráty stability byla velikost excentricity zatížení 250 mm, která způsobila naklonění lisu do takové míry, že došlo

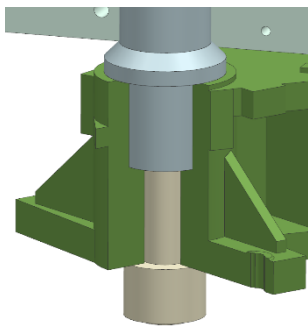
k odlehnutí sloupu od traverzy. Při vsazení do hloubky 500mm došlo ke snížení deformace o 3%. Kromě snížení deformace došlo i nepatrnému navýšení první vlastní frekvence na 1,95Hz.

#### **Varianta D – změna průřezu sloupu ve spodní části na opsanou kružnici**

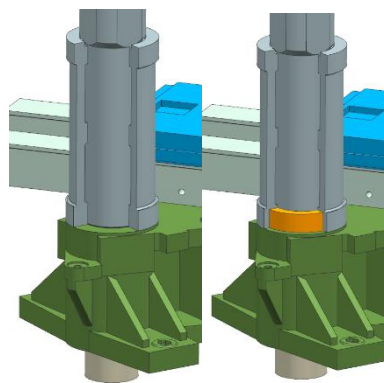
Nejvíce poddajným prvkem v rámu je sloup. Sloup současné varianty má proměnný průřez podél své výšky, kdy nejmenší průřez sloupu se nachází ve spodní části (mezi vedením a spodní traverzou). Tato oblast je však nejvíce namáhána při excentrickém zatížení v příčném směru. Průměr sloupu v této oblasti byl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

#### **Varianta E – vytvoření osazení na horní ploše spodní traverzy**

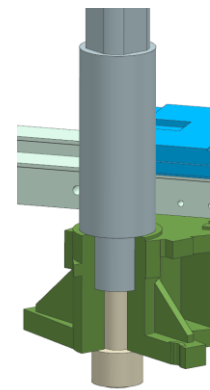
Další úpravou lisu bylo vytvoření osazení na sloupu v místě horní desky spodní traverzy. Toto osazení má průměr 1200 mm a výšku 300 mm. Síly nejsou přenášeny přes konec sloupu do traverzy, ale přes toto osazení. Tato změna by měla zvýšit stabilitu sloupu a snížit jeho naklonění.



**Obrázek 9: Varianta E  
Varianta G**



**Obrázek 10: Varianta F**



**Obrázek 11:**

#### **Varianta F – přidání narážky**

Během provozu je okolo sloupu ve spodní části umístěna narážka. Jak již bylo dříve zmíněno, ta slouží k ochraně sloupu během tváření a zamezuje vyjetí plunžrů z válců při absenci kovadel. Využitím narážky lze ovlivnit vlastnosti rámu. Narážka je v modelu umístěna okolo sloupu bez vůlí. Zanedbání vůlí však může značně ovlivnit výsledky výpočtů. Dalším problémem výpočtu je určení koeficientu tření mezi narážkou, 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 narážek na výslednou tuhost lisu bylo provedeno několik výpočtů.

- Umístění narážek do výpočtu s koeficientem tření 0,1.
- Umístění narážek do výpočtu bez třecích sil.
- Rozdělení narážky ve svislé rovině a spojení polovin šrouby, které jsou předepnuty silou 2KN.
- Vytvoření nákržku na traverze a zahloubení na narážce o průměru 1200mm a výšce 300mm dle obrázku 10.
- Vytvoření nákržku na narážce a zahloubení v traverze o průměru 1200mm a výšce 300mm dle obrázku 10.

#### **Varianta G – integrování narážky do sloupu**

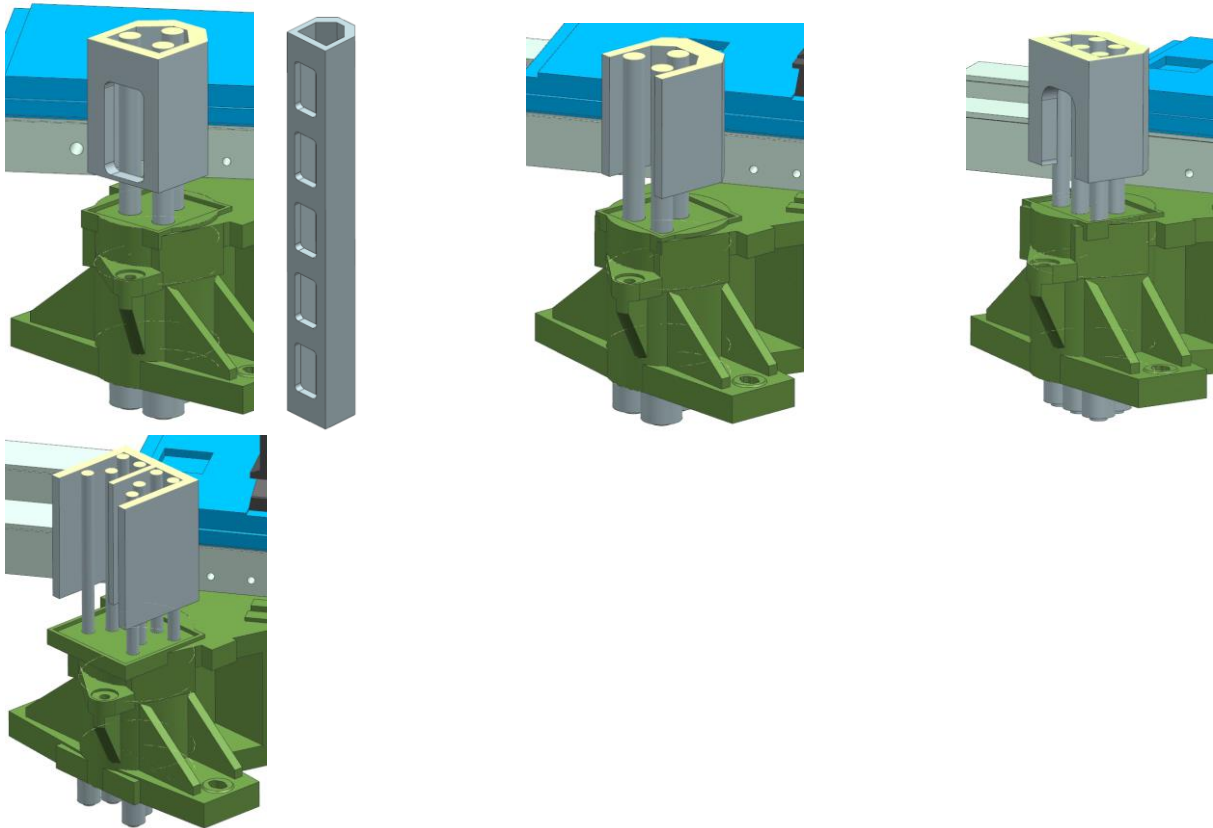
Výšku narážky by bylo možné snížit na minimum s ohledem na možnost vysunutí plunžrů z válců z důvodu opravy. Zbytek narážky je možno nahradit osazením na spodku sloupu. To by značně zvýšilo tuhost sloupu a snížilo naklonění lisu. Za těchto předpokladů bylo vytvořeno osazení o průměru 1200 mm ve spodní části sloupů. Tím však došlo ke zvýšení hmotnosti o 11 034kg (29% hmotnosti sloupu).

#### **Varianta H – uzavřený čtvercový průřez sloupu**

Pro hydraulické kovací lisu se pravidelně využívají také odlévané sloupy. Odlévané sloupy umožňují ekonomicky výhodnou výrobu rozměrné průchozí dutiny skrze sloup. Předepnutí lisu proto může být zprostředkováno větším počtem kotev. Další modifikací rámu je tedy vytvoření čtvercových sloupů s délkou strany 1060mm a tloušťkou stěny 130mm předepnutých třemi kotvami. Zvětšení dutiny ve sloupů způsobuje navýšení vnějších rozměrů

sloupu, za předpokladu shodné hmotnosti sloupů se současným provedením. Touto modifikací dojde ke snížení velikosti pracovního prostoru lisu. Vytvořením zkosení na vnitřních stěnách sloupů lze toto omezení pracovního prostoru do značné míry eliminovat.

Pro realizaci výroby odlévaného sloupu je však za potřeby umístit do formy jádra k vytvoření dutiny. Z toho důvodu byla vytvořena modifikace čtvercového sloupu s odlišnou tloušťkou stěn, otvory a zkosením. Tato úprava je značena jako varianta H.



Obrázek 12: Varianta H  
Varianta 8

Obrázek 13: Varianta I

Obrázek 14: Varianta J

Obrázek 15:

#### 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. U této varianty však nastala změna druhého tvaru kmitu. Na rozdíl od předchozí varianty, které se nakláněla v podélném směru, dochází k natáčení horní traverzy kolem osy symetrie. To je způsobeno nižší tuhostí v křutu U profilů vůči čtvercovému nebo kruhovému profilům. Další nevýhodou U profilu je nižší tuhost vedení, při zachování polohy vedení v ose stěny. Tuhost vedení lze zvýšit přesunutím vedením blíže k ose lisu. Varianta I je U profil sloupu se třemi kotvami a vedením přemístěným o 100mm k ose lisu.

#### Varianta J – obdélníkový průřez sloupu se shodným průřezem

Sloup kromě čtvercového průřezu může mít i průřez obdélníkový. Obdélníkový průřez má různou tloušťku stěn při požadavku shodné tuhosti v podélném a příčném směru. Varianta J má sloup obdélníkového průřezu o délce stran 1250mm a 920mm předepnutého pěti kotvami.

#### Varianta K – průřez sloupu ve tvaru písmene E s osmi kotvami

Poslední modifikace je vytvoření sloupu s průřezem písmene E. Tento průřez má největší vnější rozměry, a proto zapříčiní značné snížení velikosti pracovního prostoru. Z důvodu malé tuhosti vedení v ose plochy sloupu, bylo pro další výpočty vedení přesunuto blíže k ose lisu. Tím dojde ke snížení naklonění lisu a zvýšení první vlastní frekvence. V porovnání se současným provedením lisu dojde ke snížení deformace o 68% a zvýšení první vlastní frekvence o 67%.

U takto vysokého počtu kotev, lze pro dosažení maximální tuhosti uvažovat proměnou hodnotu předpínací síly jednotlivých kotev. Pro určení vlivu proměnného předepnutí kotev jsou vyhotoveny dva způsoby předepnutí.



Prvním je předepnutí čtyř středových kotev o 6% vyšší silou a zbylých kotev silou o 6% nižší. Druhý způsob je změna předepnutí kotev v opačném provedení. To je zvýšení předpínací síly čtyř krajních kotev o 6% a snížení předepjetí středových kotev o 6%.

Kromě modifikací velikosti předpětí je možné v určité míře měnit polohu kotev. Ke zjištění vlivu změny polohy kotev na výslednou tuhost lisu je vytvořen model s posunutými kotvami o 50mm od roviny procházející osami obou sloupů.

## VÝSLEDKY DEFORMACÍ A VLASTNÍCH FREKVENCÍ

Varianta	Počet kotev	Modifikace	Deformace [mm]	První vlastní frekvence [Hz]	Druhá vlastní frekvence [Hz]	
A	jedna	současné řešení	36,2	1,93	5,91	
B		nepředepnutý rám	35,52	1,84	4,63	
C		změna hloubky vsazení do spodní traverzy na 500mm	34,99	1,96	5,92	
D		změna průřezu sloupu na opsanou kružnici	33,94	2,33	6,9	
E		vytvoření osazení na sloupu v místě spodní traverzy	33,06	2,17	6,27	
		využití nárážky	koeficient tření 0,1	31,29	2,23	7,02
			bez tření	35,45	2,38	6,97
			předepnutí	29,84	2,48	7,08
F			nohavice -300	32,2	2,3	6,77
			nohavice +300	32,67	2,2	6,06
G			integrování nárážky do sloupu	23,68	2,81	8,12
			plný čtvercoví průřez se zkosením	18,8	2,67	5,94
			plný čtvercoví průřez se zkosením	18,15	2,7	5,77
H		tři	čtvercový průřez s otvory a zkosením	18,28	2,78	6,16
I			u profil se zkosením	17,2	2,73	5,43
	pět	plný obdélníkový průřez se zkosením	15,13	2,97	5,75	
J		obdélníkový průřez s otvory a zkosením	15,02	3,06	5,73	
	osm	E profil	vedení v ose	12,41	3,16	5,34
K		E profil	vedení přesunuto o 230mm	11,46	3,22	5,55
		Předepnutí kotev: 4x 18mm ve středu a 4x 16 na krajích	11,54	3,28	5,67	
		Předepnutí kotev: 4x 16mm ve středu a 4x 18 na krajích	11,33	3,28	5,66	
		posunutí kotev o 50mm od osy	11,18	3,29	5,64	

## OHODNOCENÍ VARIANT

	Optimální varianta	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
Deformace při excentricitě 250mm	20	5	3	6	8	6	8	11	14	13	17	18
První vlastní frekvence	20	5	5	5	7	7	11	12	14	15	19	18
Druhá vlastní frekvence	10	2	1	2	7	6	9	8	8	8	7	8
Velikost pracovního prostoru	20	18	18	18	16	18	8	11	14	14	9	6
Cena sloupu	20	10	5	11	9	9	5	7	14	12	11	12
Požadavky na opracování	20	5	9	6	5	5	5	6	15	16	14	13
Pevnost materiálu	10	3	1	3	3	3	3	3	6	6	6	6
Tuhost vedení	10	8	8	8	8	8	8	8	6	6	5	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	1	4	2	2	2	1
<b>Celkem</b>	<b>145</b>	<b>63</b>	<b>58</b>	<b>66</b>	<b>69</b>	<b>70</b>	<b>63</b>	<b>74</b>	<b>100</b>	<b>98</b>	<b>97</b>	<b>93</b>

## ZÁVĚR A DOPORUČENÍ

Tato práce se zabírala zvýšením boční tuhosti dvousloupového kovacího lisu CKV 45/50MN od společnosti TS Plzeň a.s.. Dle provedené analýzy je rám lisu nejvíce poddajný ve směru kolmém na rovinu procházející osami obou sloupů. Při maximální excentricitě v tomto směru dochází u výpočetního modelu k naklonění lisu o 36,2mm. Z tohoto důvodu je navrženo 12 variant, které mohou mít vliv na zvýšení tuhosti. Z celkového hlediska provozu lisu se jeví jako nejvhodnější použít čtvercové odlité sloupky předepnuté třemi kotvami. V porovnání se současným řešením došlo ke snížení deformace výpočetního modelu o 50% a první vlastní frekvence se zvýšila na 2,78Hz. Jelikož lis operuje při tvářecích frekvencích do 2Hz, neměla by nastat přímá rezonance rámu od tvářecích sil na rozdíl od současné 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](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 Plzeň: *Hydraulic presses* [online], [cit. 2019-1-14]. Dostupné z: <http://www.czech-presses.eu/hydraulic-presses.htm>