ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ
KATEDRA KONSTRUOVÁNÍ STROJŮ

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

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Analýza konstrukce stojanu kovacího lisu s ohledem na šířku pracovního prostoru

Autor: **Bc. Adam Ježek**
Vedoucí práce: **Doc. Ing. Jan Hlaváč, Ph.D.**
Konzultant: **Ing. Martin Volejníček**

Akademický rok 2018/2019

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta strojní
Akademický rok: **2018/2019**

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení:	**Bc. Adam JEŽEK**
Osobní číslo:	**S17N0024P**
Studijní program:	**N2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor:	**Stavba výrobních strojů a zařízení**
Název tématu:	**Analýza konstrukce stojanu kovacího lisu s ohledem na šířku pracovního prostoru**
Zadávající katedra:	**Katedra konstruování strojů**

Zásady pro vypracování:

Základní požadavky:
V úvodu práce bude provedena rešerše na téma klikové kovací lisy. V práci budou vypracovány varianty řešení prostředního ložiska klikové hřídele. Pro vybranou variantu bude zpracováno konstrukční řešení včetně jeho ověření. Na závěr práce bude vypracována výkresová dokumentace vybraných dílů.

Základní technické údaje:
Technické parametry jsou uvedeny v příloze zadání.

Osnova diplomové práce:

1. Provedení rešerše na téma klikové kovací lisy
2. Návrh konstrukčních variant
3. Konstrukční návrh zvoleného řešení
4. Vypracování zadané výkresové dokumentace

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**

Rozsah kvalifikační práce: **50-70 stran A4**

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

KOVÁČ, A., JENKUT, M. *Tvárniace stroje*. **Bratislava: Vydavatelstvo technickej a ekonomickej literatúry, 1978**

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

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

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

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

Vedoucí diplomové práce: **Doc. Ing. Jan Hlaváč, Ph.D.**
Katedra konstruování strojů

Konzultant diplomové práce: **Ing. Martin Volejníček**
ŠMERAL Brno a.s.

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

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

Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.
děkan

Západočeská univerzita v Plzni
Fakulta strojní
L.S.

Doc. Ing. Václava Lašová, 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

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu mé diplomové práce Doc. Ing. Janu Hlaváčovi, Ph.D za nesčetné množství rad, připomínek a drahocenného času, který mi věnoval během zpracování této práce. Dále také děkuji své rodině, která mi po celou dobu studia podporovala a přítelkyni která mi byla po celou dobu studia oporou.

ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

AUTOR	**Příjmení** Ježek	**Jméno** Adam	
STUDIJNÍ OBOR	2301R016 „Stavba výrobních strojů a zařízení“		
VEDOUCÍ PRÁCE	**Příjmení (včetně titulů)** Doc. Ing. Hlaváč, Ph.D.	**Jméno** Jan	
PRACOVIŠTĚ	ZČU - FST - KKS		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	~~BAKALÁŘSKÁ~~	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Analýza konstrukce stojanu kovacího lisu s ohledem na šířku pracovního prostoru		

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

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	79		**TEXTOVÁ ČÁST**	72		**GRAFICKÁ ČÁST**	7

STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK) **ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY**	Práce se zabývá klikovými lisy a problematikou deformací stojanu ovlivněnou šířkou jejich pracovního prostoru. V práci je popsán problém svírání beranu v jeho vedení, vlivem průhybu příček, na lise LKMK a jsou navrženy možné způsoby řešení problému. Dále jsou v práci provedeny konstrukční návrhy pro minimalizaci problému a porovnány s výchozí konstrukcí.
KLÍČOVÁ SLOVA **ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE**	lis; mechanický; stojan; výstředník; hřídel; příčník; síla; deformace; svírání

SUMMARY OF BACHELOR SHEET

AUTHOR	**Surname** Ježek	**Name** Adam	
FIELD OF STUDY	2301R016 " Design of Manufacturing Machines and Equipment"		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Doc. Ing. Hlaváč, Ph.D.	Name Jan	
INSTITUTION	ZČU - FST - KKS		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	~~BACHELOR~~	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Analysis of the design of the forging press stand considering the width of the workspace		

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

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	79		**TEXT PART**	72		**GRAPHICAL PART**	7

BRIEF DESCRIPTION	Diploma thesis deals with crank presses and the issue of influencing the width of their working space by deformation of the stand.
TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	The problem of pinching the ram in the LKMK press is described and possible ways of solving the problem are suggested. Furthermore, there are design proposals for minimizing the problem and compared with the initial construction.
KEY WORDS	press; mechanic; stand; eccentric; shaft; crossbar; force; deformation; pinching

Obsah

1 Úvod ... 10
2 Šmeral Brno a.s. ... 11
2.1 Historie společnosti ... 11
2.2 Současnost ... 11
3 Mechanické lisy ... 13
3.1 Princip činnosti ... 13
3.2 Historický vývoj ... 14
3.3 Rozdělení mechanických lisů ... 17
4 Výstředníkové kovací lisy ... 18
4.1 Průběh síly na výstředníkovém kovacím lise ... 18
4.2 Výstředníkové kovací lisy společnosti Šmeral Brno a.s. ... 19
4.2.1 Aktuální nabídka produktů ... 19
4.3 Konkurenční produkty na světovém trhu ... 21
4.3.1 SHI ... 21
4.3.2 JING DUANN ... 23
4.3.3 SCHULER ... 24
5 Kovací lisy LKMK ... 27
5.1 Popis problému v dosavadní konstrukci lisu ... 27
5.2 Možné způsoby řešení problému ... 29
5.2.1 Zajištění neustálé vůle mezi beranem a vedením zvětšením vůle ve vedení ... 29
5.2.2 Zvýšení tuhosti horní příčky ... 29
5.2.3 Odstranění prostředního ložiska ... 30
5.2.4 Změna v konstrukci horního příčníku ... 30
5.3 Výchozí konstrukce – LKMK 6500 ... 31
5.3.1 Simulace zatížení – výchozí konstrukce ... 32
5.3.2 Napěťové a deformační výsledky simulace ... 35
5.3.3 Reakční síly ve výchozí konstrukci ... 37
5.3.4 Reakční síly ve výchozí konstrukci ... 38
6 Návrhy možných variant řešení ... 39
6.1 Návrh 0 ... 39
6.1.1 Napěťové a deformační výsledky simulace ... 40
6.1.2 Odečtení reakčních sil ... 42
6.2 Návrh 1 ... 43

6.2.1 Napěťové a deformační výsledky simulace ... 44
6.2.2 Odečtení reakčních sil ... 45
6.3 Návrh 2 ... 46
6.3.1 Napěťové a deformační výsledky simulace ... 47
6.3.2 Odečtení reakčních sil ... 48
6.4 Návrh 3 ... 49
6.4.1 Napěťové a deformační výsledky simulace ... 50
6.4.2 Odečtení reakčních sil ... 51
6.5 Návrh 4 - s vloženou deformační příčkou ... 52
6.5.1 Ideální uložení příčky ... 52
6.5.2 Hertzova teorie kontaktu ... 54
6.6 Úprava návrhu ... 57
6.6.1 Výpočet průřezu hranolů ... 57
6.6.2 Tlak ve válcových plochách ... 58
6.6.3 Výpočet šroubů fixujících deformační příčku ... 59
6.6.4 Napěťové a deformační výsledky simulace ... 61
6.6.5 Odečtení reakčních sil ... 63
7 Diskuze výsledků ... 64
8 Závěr ... 66
Použité zdroje ... 67
Seznam obrázků ... 69
Seznam tabulek ... 72
Přílohy - HORNÍ PŘÍČNÍK DP01-2019-200
DEFORMAČNÍ PŘÍČKA DP01-2019-010
PÁNEV DP01-2019-001

Přehled použitých veličin

Název	Označení	Jednotka
Hmotnost	m	[kg]
Vzdálenost	a; b; l; h; y; H; d; D; R; X	[mm]
Bezpečnost	k	[-]
Tlak	p	[MPa]
Plocha	S	[mm^2]
Síla	F; Q	[N]
Zrychlení	g	[$m \cdot s^{-2}$]
Modul pružnosti	E	[MPa]
Poissonova konstanta	μ	[-]
Napětí	σ; R	[MPa]

1 Úvod

Ve své diplomové práci se zabývám mechanickými kovacími lisy. Konkrétně tvářecími stroji, které jsou určeny pro zápustkové kování. Zaměřuji se na kovací lis typu LKMK vyvíjený ve spolupráci se společností Šmeral Brno a.s. Jedná se o svislý kovací lis.

V práci se zaměřuji konkrétně na, v současné době vyvíjený, typ lisu LKMK, který má výrazně širší pracovní prostor, než mají současné lisy Šmeral Brno a.s. Z důvodu šířky pracovního prostoru je výstředníková hřídel nově uložena zleva doprava a podepřena prostředním ložiskem. Právě podepření prostředním ložiskem způsobuje značný průhyb horní příčky, jejíž konstrukce je v porovnání s příčkou spodní značně subtilní. Přestože jsou příčky spojeny se stojinami kotvami předepnutým dotykem, tak dochází k přenosu ohybového momentu do stojin, které se jeho působením prohýbají. Průhyb stojin je takový, že může docházet až k sevření beranu v jeho vedení (upevněném na stojinách).

Nosnou myšlenkou práce je navrhnout takovou konstrukci horní příčky, aby byl snížen přenos ohybového momentu do stojinové části.

2 Šmeral Brno a.s.

Šmeral Brno a.s. je společnost, která se zabývá vývojem a výrobou tvářecích strojů.

Obr. 1 - Šmeral Brno a.s. (1)

2.1 Historie společnosti

Historie firmy sahá až od roku 1861. Za více než 150-let svojí existence prošla společnost dlouhým vývojem svého zaměření, který začal slévárenskou výrobou, následovalo doplnění o strojírenskou výrobu až po rozhodnutí vyrábět tvářecí stroje vlastní značky v roce 1925. (1)

2.2 Současnost

Základem výrobního programu firmy jsou v současnosti tvářecí linky na klíč automatizované pomocí robotů nebo transferů, samostatné tvářecí stroje a další zařízení pro kovárny, například lisy a buchary pro zápustkové kování za tepla nebo kovací válce. Šmeral Brno je přední světový dodavatel strojů pro příčné klínové válcování ocelí a hliníkových slitin. (1)

Další části výrobního programu společnosti jsou generální opravy a modernizace jakýchkoli tvářecích strojů bez ohledu na jejich značku, typ či stáří. Zbývající část společnosti se zabývá strojírenskou výrobou na základě individuálních požadavků zákazníků. (1)

Obr. 2 - Produkty společnosti Šmeral Brno a.s. (1)

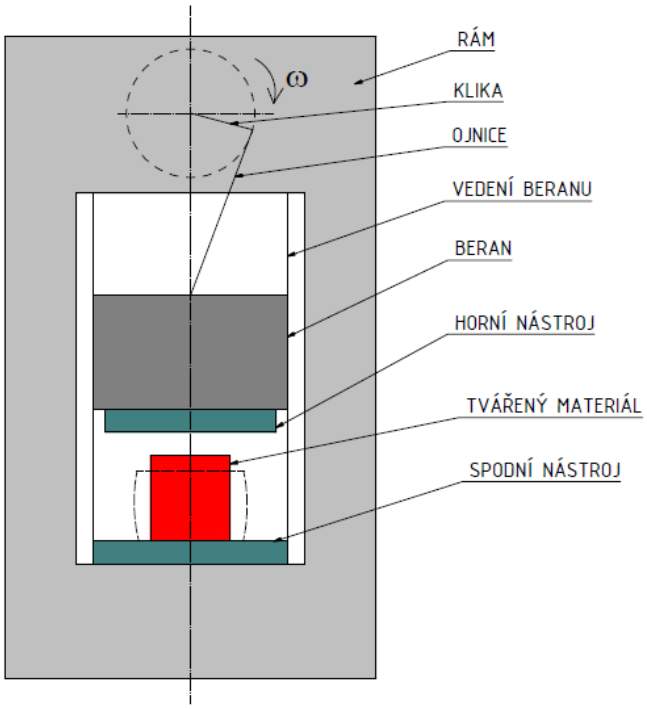
Převážná část produkce společnosti je vyvážena do zahraničí. Mezi státy, do kterých probíhá export patří například SRN, Itálie, Velká Británie, Španělsko, Francie, Rakousko, Polsko, Maďarsko, Rusko, Turecko, USA, Japonsko, Jižní Korea, Thajsko, Malajsie, Čína, Argentina, Brazílie, Saudská Arábie, Indie, Alžírsko, Egypt a další. (1)

V současné době má společnost přibližně 500 zaměstnanců. Patří mezi významnější zaměstnavatele jihomoravského regionu. (1)

Obr. 3 - Montážní hala Šmeral Brno a.s. (1)

3 Mechanické lisy

Mechanické lisy jsou rozšířeným typem tvářecích strojů. Mohou se využívat pro různé technologické operace tváření. Nejpoužívanějším pohonným mechanismem těchto lisů je klikový mechanismus. (2)

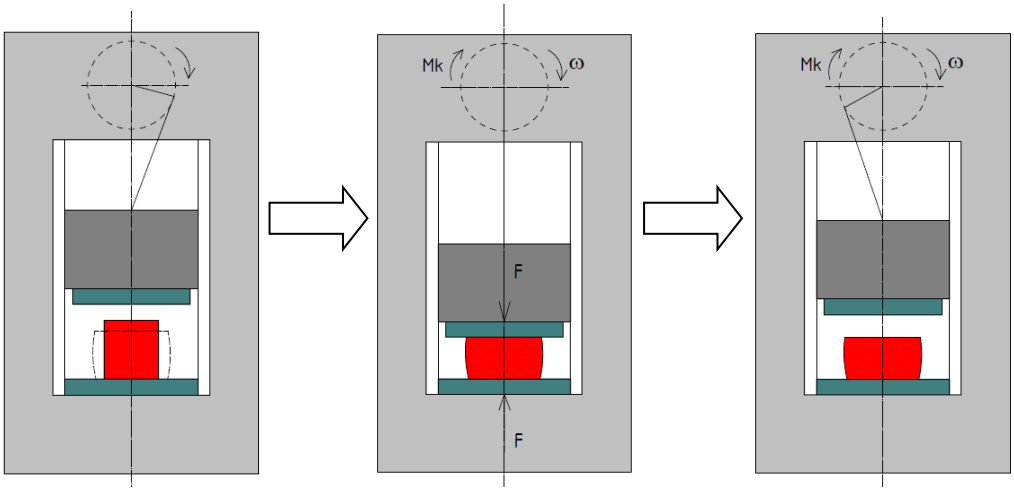


Obr. 4 - Schéma klikového lisu

3.1 Princip činnosti

Úkolem klikového mechanismu je měnit otáčivý pohyb pohonu na přímočarý pohyb beranu (smýkadla). Kroutící moment na klikovém hřídeli je transformován na sílu beranu (smýkadla), pomocí kterého je vykonána deformační práce při technologické operaci. (2)

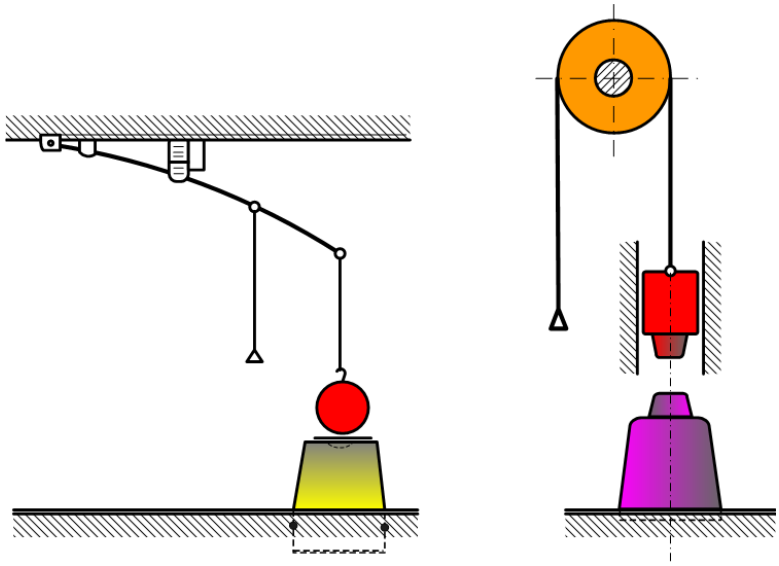
Činnost mechanického lisu je založena na využívání pracovního zdvihu pomocí klikového mechanismu. Pomocí mechanismu dochází k přeměně kinetické energie z rotačního pohynu na deformační práci. (2)



Obr. 5 - Princip činnosti klikového lisu

3.2 Historický vývoj

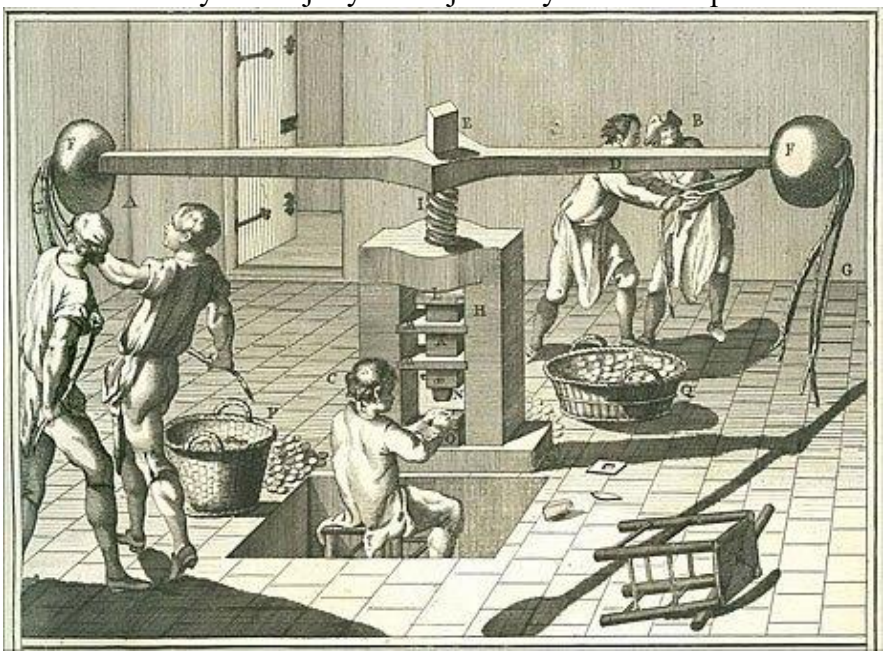
Vývoj tvářecích strojů je nerozlučně spjat s vývojem poznání lidské společnosti. Jakmile lidstvo poznalo možnosti využití kovů, začal člověk postupně rozvíjet i hutní technologie (kování a slévání). Vývoj se ubíral od nejjednodušších metod ručního kování s využitím lidské síly, přes primitivní padací buchary, kde je využívána pro tváření kinetická energie padajícího beranu. První zmínky o zpracování železa ručním kováním pochází již od Homéra (druhá polovina 8. stol. př. Kr.) (3)



Obr. 6 - Jednoduchá mechanická kladiva (3)

Přibližně od počátku našeho letopočtu se v Řecku začalo využívat šroubového mechanismu jako pohonného mechanismu u lisů, konstruovaných pro lisování vinné révy a olivového oleje. (3)

Dále se vřetenové lisy začínají využívat jako lisy tiskařské a pro ražbu mincí. (3)

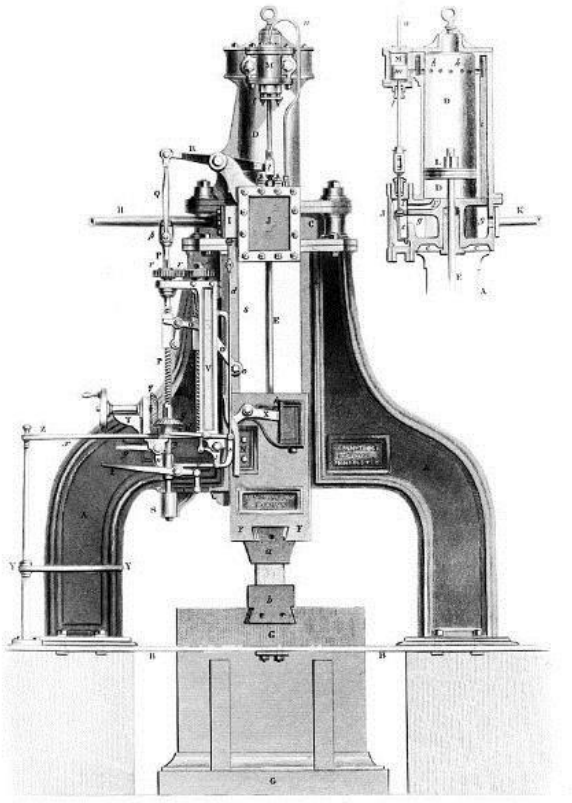


Obr. 7 - Vřetenový lis pro ražbu mincí (4)

Později bylo zapotřebí zpracovávat stále hmotnější součásti, proto začala být využívána pro pohon tvářecích mechanismů energie vody. V místech s příhodnými podmínkami vznikly již ve 14. století ve střední Evropě železářské vodní hamry. (3)

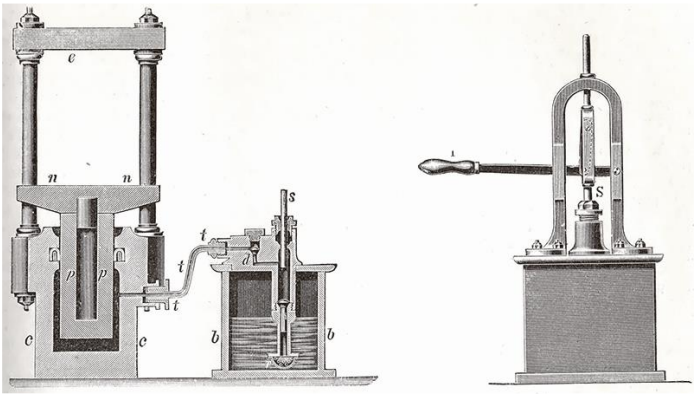
Obr. 8 - Vodní hamr (5)

Dalším pokrokem v konstrukci tvářecích strojů byl vynález parního pohonu. Ruční a vodní pohon dosavadních tvářecích strojů byl v 18. století postupně nahrazován pohonem parním. Na základě rozvoje lodní dopravy na počátku 19. století a tím potřeby velkých zaoceánských lodí vznikla potřeba výroby velkých komponent těchto parníků. Z tohoto důvodu začaly vznikat rozměrné padací buchary, které byly poháněny pomocí parního stroje. (3)



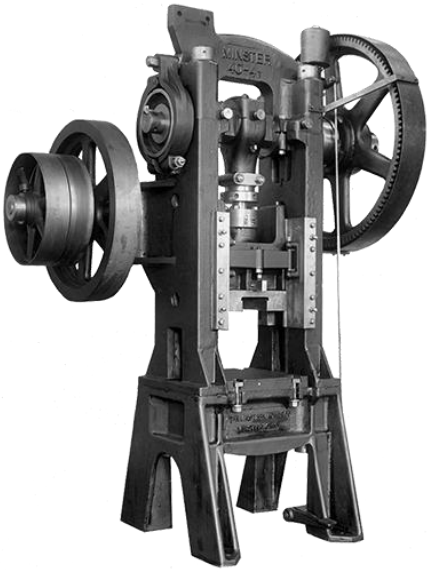
Obr. 9 - Nesmythův parní buchar (3)

Koncem 18. století byl sestrojen první hydraulický lis poháněný ručním čerpadlem. (3)



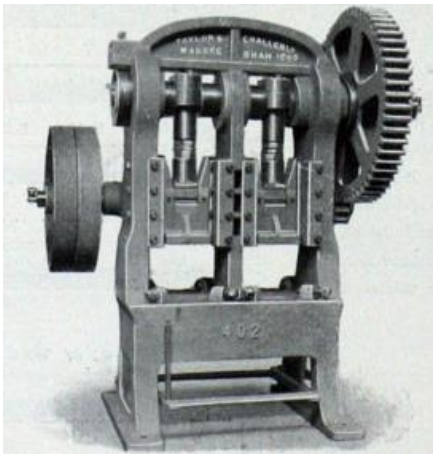
Obr. 10 - Hydraulický lis s ručním pohonem (3)

Největší rozvoj lisů mechanických přišel počátkem 19. století hlavně díky vysoké výrobní produktivitě. Pro pohon byla již využívána energie elektrická.



Obr. 11 - Klikový lis společnosti MINSTER (6)

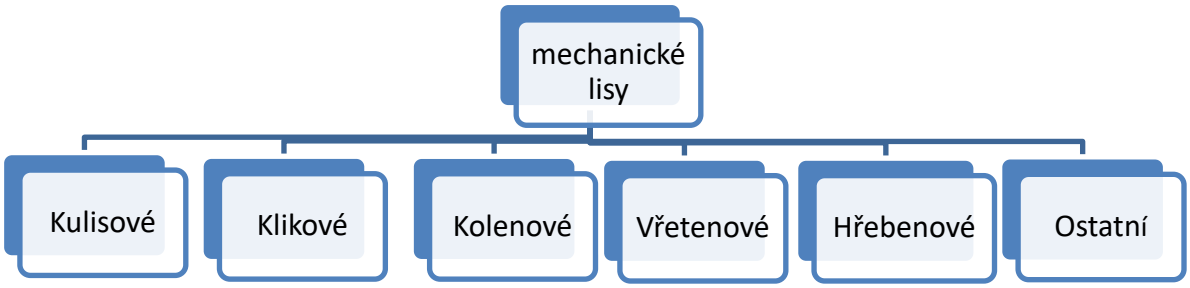
V současné době je pro pohon tvářecích strojů využíváno hlavně energie elektrické, která je dále transformována na energii pohybu mechanických pohonných systémů nebo energii tlaku kapaliny.



Obr. 12 - Klikový lis TAYLOR and CHALLEN (7)

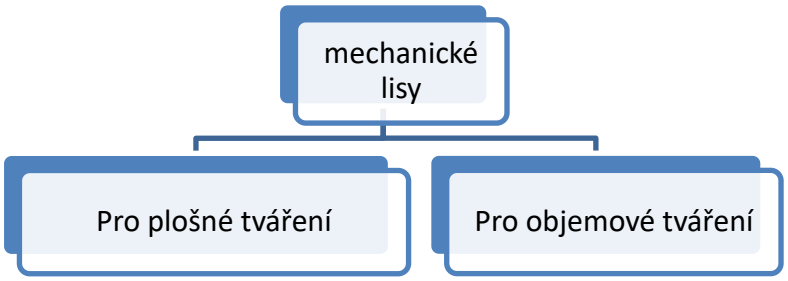
3.3 Rozdělení mechanických lisů

Mechanické tvářecí stroje využívají pro přenos energie mechanické převodové systémy. Podle použitého mechanismu přenosu energie v konečném stupni lze mechanické lisy dělit na:



(8)

Podle druhu technologického tvářecího pochodu se mechanické lisy rozdělují na:



(8)

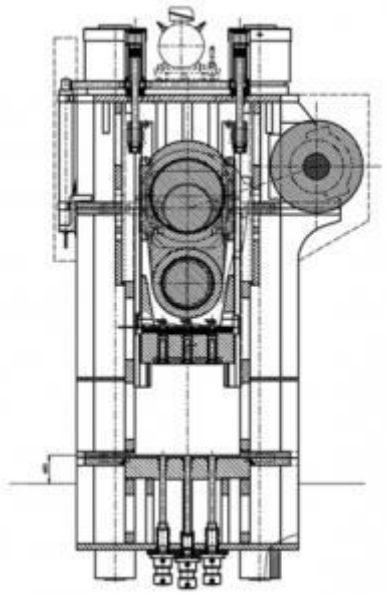
Lisy pro plošné tváření jsou například běžné výstředníkové lisy, lisy pro mělké tažení, ohýbací a ohraňovací lisy, tabulové nůžky, speciální postupové automaty a podobně. (8)

Mezi lisy pro objemové tváření patří výstředníkové kovací lisy pro tváření za tepla i za studena, vodorovné kovací stroje, razící a kalibrovací lisy, ohýbací a rovnací lisy, ostřihovací lisy, tažné lisy, vodorovné kovací automaty, redukovací stroje pro přesné kování a podobně. (8)

Lisy pro objemové tváření překonávají při pracovním zdvihu mnohem větší odpory než lisy pro plošné tváření. Z tohoto důvodu pracují s vyšším výkonem, jsou mohutnější a mají větší tuhost pracovního prostoru. (8)

4 Výstředníkové kovací lisy

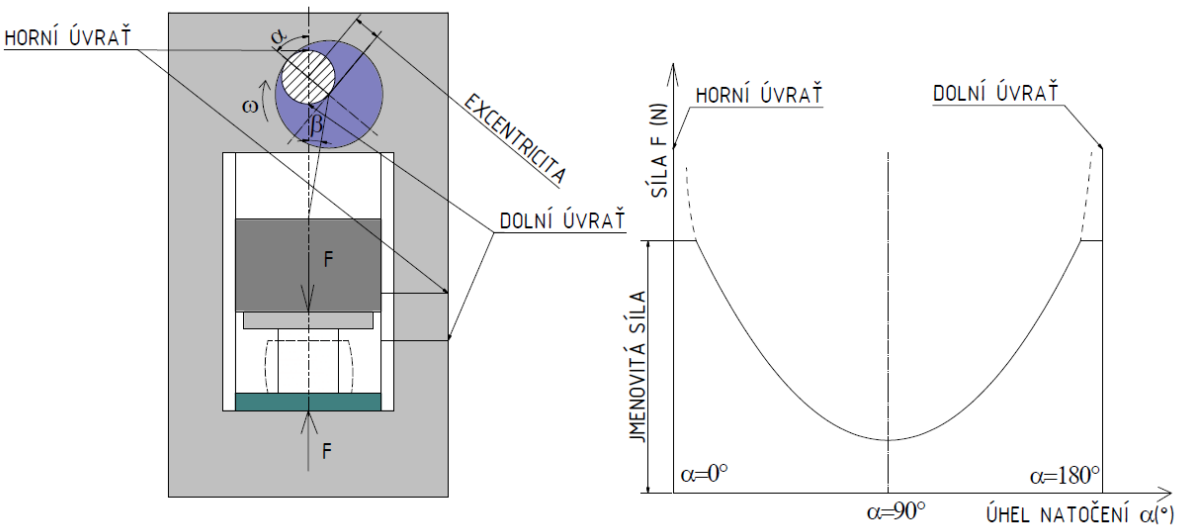
Jedná se o lisy určené zejména pro přesné kování, tedy objemové tváření za tepla, v sériové a hromadné výrobě. Jsou vhodné pro zařazení do mechanizovaných kovacích linek. K přenosu síly je zde využito výstředníkového mechanismu s příčně nebo podélně uspořádaným výstředníkovým hřídelem. (8)



Obr. 13 - Výstředníkový kovací lis Šmeral LZK (9)

4.1 Průběh síly na výstředníkovém kovacím lise

Síla na beranu lisu F je funkcí úhlu natočení výstředníkového hřídele α. V úvratích dosahuje teoreticky nekonečné velikosti. Naopak přibližně v 90°se nachází silové minimum. Technologická operace (průběh potřebné síly) musí vždy ležet pod křivkou danou konstantním jmenovitým pohonným momentem.



Obr. 14- Průběh síly na výstředníkovém lise

4.2 Výstředníkové kovací lisy společnosti Šmeral Brno a.s.

Svislé kovací výstředníkové lisy jsou používány pro výrobu přesných zápustkových výkovků s využitím v automobilovém průmyslu. Tyto lisy jsou určeny pro kování za tepla i za poloohřevu s tvářecími silami 10 - 80 MN, s vysokou tuhostí a rozsáhlou diagnostikou, včetně moderních, přesných a tuhých upínačů a dalšího rozsáhlého příslušenství. (10)

Společnost Šmeral Brno aktuálně nabízí kovací lisy ve dvou typových řadách a to LMZ a LZK. V současné době je však vyvíjena další řada lisů.

4.2.1 Aktuální nabídka produktů

Tabulka 1 - Svislé kovací lisy Šmeral (10)

Označení stroje	Tvářecí síla	Sevření	Průchod	Upínací plocha stolu	Upínací plocha beranu	Přestavení beranu	Zdvih / Počet zdvihů	Počet využitelných zdvihů	Celkový instalovaný výkon	Rozměry stroje v x š x h	Hmotnost
	MN	mm	mm	mm	mm	mm	mm / min^{-1}	min^{-1}	kW	m	t
LMZ1000 A/S	10	660	1120	1080 x 950	1010 x 850	10	220/100		65	4,9 x 2,3 x 3	
LZK 1000 P/SH	10	620	1040	1000 x 950	968 x 750	10	220/100		65	4,6 x 2,6 x 3	
LMZ 1600	16	800	1290	1240 x 1150	1160 x 1035	10	270/85		85	5,8 x 3,2 x 3,7	
LZK 1600	16	760	1230	1180 x 1120	1138 x 920	10	280/85		85	5,5 x 2,9 x 3	
LMZ 2500	25	910	1470	1420 x 1400	1350 x 1250	10	320/70		145	6 x 4,2 x 3,7	
LZK 2500	25	905	1410	1340 x 1400	1320 x 1100	10	320/65		145	6,7 x 4 x 3,8	
LZK 3150	31,5	1000	1580	1520 x 1520	1450 x 1450	20	360/65		175	6,5 x 4,6 x 4,3	
LMZ 4000	40	1100	1850	1800 x 1700	1550 x 1700	20	380 / 60		220	7 x 5,3 x5	
LZK 4000 B	40	1000	1580	1520 x 1600	1450 x 1500	20	380 / 60		220	7,6 x 4,7 x 4,6	
LZK 5000	50	1100	1670	1710 x 1710	1540 x 1650	20	400 / 55		330	7,8 x 5,9 x 4,9	
LMZ 6500	65	1380	2300	2200 x 2000	2100 x 1890	20	480 / 45		410	8,8 x 7 x 5,9	
LZK 6500	65	1150	2100	1950 x 1900	1900 x 1700	15	450 / 40		420	7,7 x 7,3 x 6,3	
LMZ 8000	80	1380	2400	2300 x 2300	2240 x 2190	30	500 / 40		650		

Obr. 15 - Kovací lis Šmeral LZK 4000 (vlevo) Kovací lis Šmeral LMZ 1600 (vpravo) (10)

V současní době probíhá vývoj nové řady kovacích lisů LKMK. Tento stroj má oproti předchozím dvěma řadám značně jinou konstrukci. Ta plyne ze současného požadavku zákazníků na velkou šířku pracovního prostoru, tedy velký průchod mezi stojinami lisu. Z toho důvodu je nyní obtížné využívat koncepce krátkého výstředníkového hřídele uloženého zepředu dozadu opatřeného jedním výstředníkem. Využívá se tedy delšího výstředníkového hřídele uloženého zleva doprava opatřeného dvěma výstředníky.

Obr. 16 -Kovací lis Šmeral LKMK 8000 (10)

4.3 Konkurenční produkty na světovém trhu

Konkurenčními výrobci kovacích lisů jsou pro společnost Šmeral Brno na světovém trhu například AJAX (USA), FARINA (IT), NKMZ (UA), SHI (JP), TMP (RU), YADON (CN), SCHULLER (DE) nebo JING DUANN (CN).

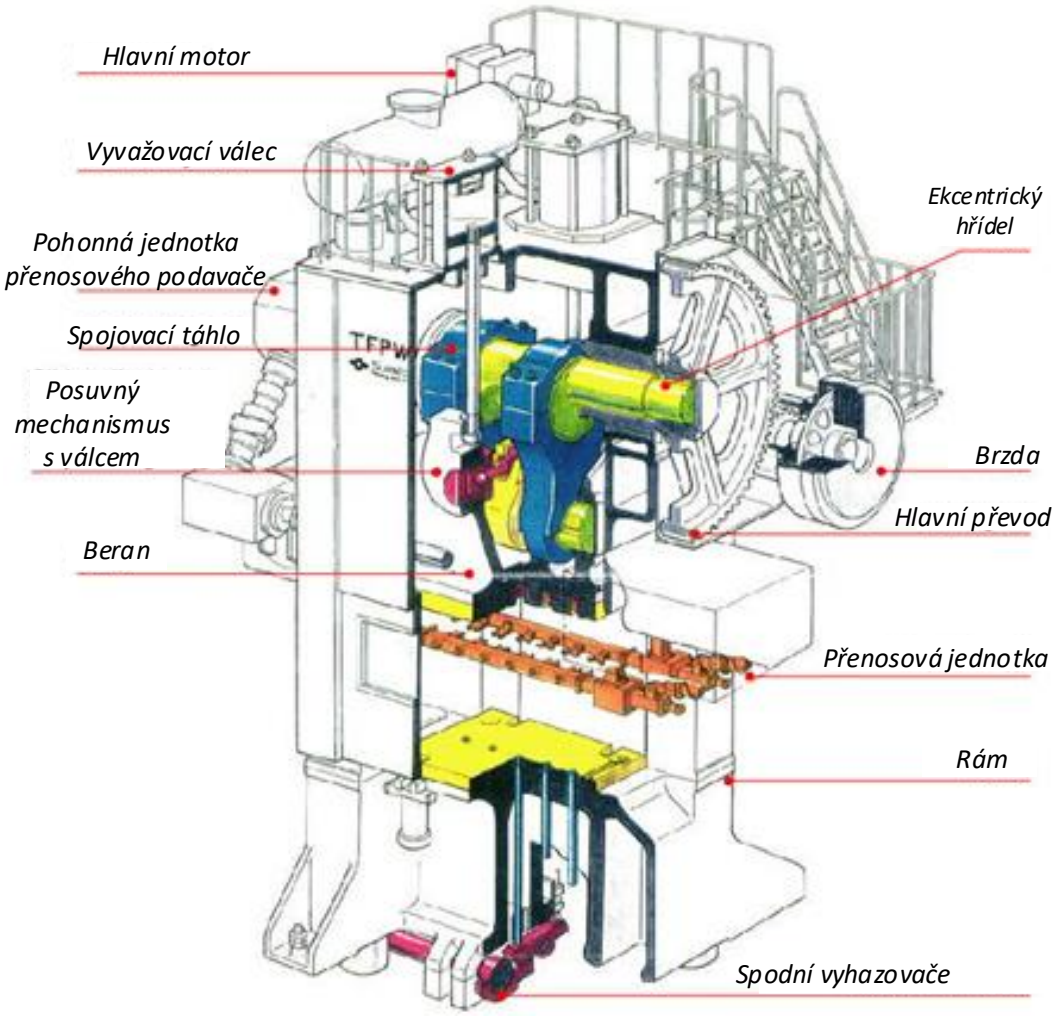
Pro porovnání strojů společnosti Šmeral Brno se světovým trhem bylo vybráno několik dalších výrobců kovacích lisů.

4.3.1 SHI

SHI (Sumitomo Heavy Industries) je japonská firma s výrobními závody v Tokyu, Osace a Nagoye. Tato firma nabízí kovací lisy ve 3 typových řadách a to FPA, FPX a FPW.

Tabulka 2 - Kovací lisy SHI (11)

Označení stroje	Tvářecí síla	Sevření	Průchod	Upínací plocha stolu	Upínací plocha beranu	Přestavení beranu	Zdvih / Počet zdvihů	Počet využitelných zdvihů	Celkový instalovaný výkon	Rozměry stroje v x š x h	Hmotnost
	MN	mm	mm	mm	mm	mm	mm / min^{-1}	min^{-1}	kW	m	t
FPA	40	1100		1500 x 1600		10	380 / 50	20	220		
FPA	50	1250		1800 x 1850		15	400 / 45	18	260		
FPA	65	1350		1840 x 1900		15	450 / 40	16	300		
FPA	80	1700		1950 x 2150		15	520 / 38	15	400		
FPX	16	800		1250 x 1100		7	330 / 80	25	90		
FPX	20	900		1300 x 1300		8	350 / 75	25	110		
FPX	25	1040		1500 x 1500		8	360 / 70	25	150		
FPX	30	1200		1600 x 1600		8	360 / 65	25	190		
FPX	35	1200		1800 x 1700		8	420 / 55	25	220		
FPX	40	1200		2200 x 1900		10	500 / 45	20	355		
FPX	50	1300		2300 x 2100		10	500 / 43	20	400		
FPW	20	1200		1800 x 1500		8	400 / 40	20	200		
FPW	25	1200		1801 x 1500		8	401 / 40	20	200		
FPW	30	1300		1802 x 1600		8	402 / 40	20	300		



Obr. 17 - Schéma kovacího lisu SHI řady FPA (11)

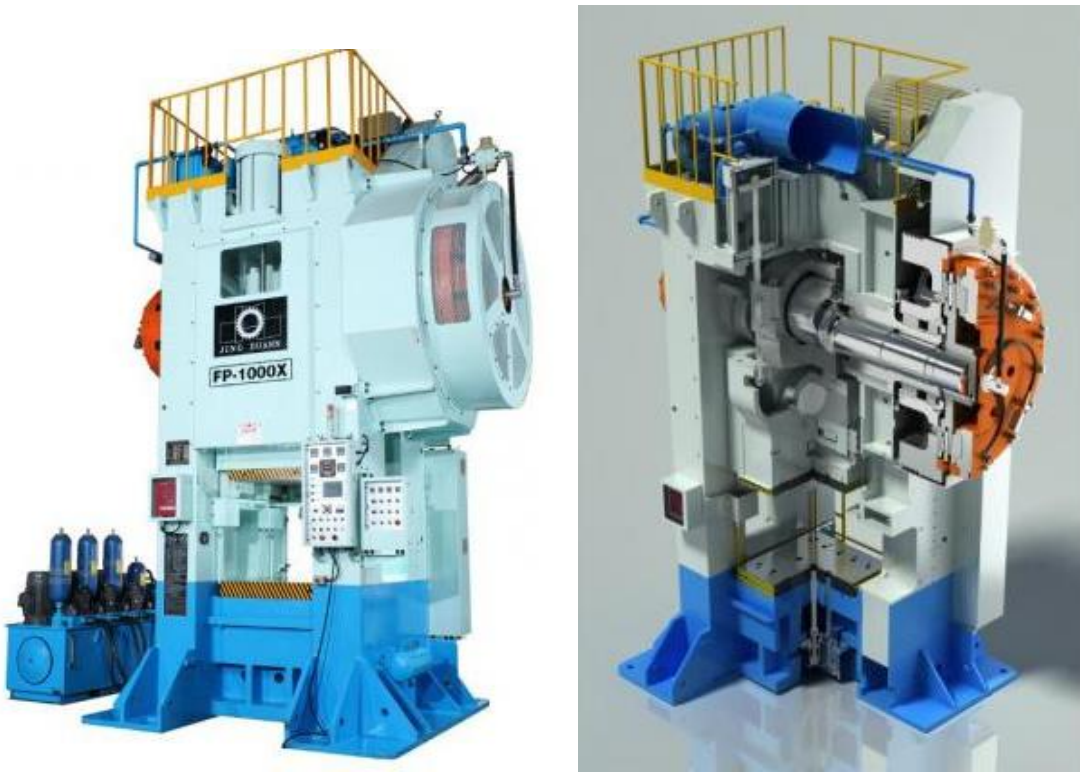
Předchozí obrázek schematicky zobrazuje kovací lis řady FPA produkovaný společností SHI (Sumitomo Heavy Industries). Z obrázku je možné porovnat výstředníkový (excentrický) hřídel a jeho uložení v horním příčníku s lisem LKMK společnosti Šmeral Brno a.s.. Hřídel je u lisu FPA uložen zleva doprava stejně jako u lisu LKMK a rovněž je opatřen dvěma výstředníky. Hlavním rozdílem oproti lisu LKMK je uložení výstředníkového hřídele ve stojanu lisu. V případě lisu FPA je hřídel uložen pouze ve dvou krajních ložiscích bez podepření uprostřed mezi výstředníky, jako je tomu v případě lisu LKMK.

4.3.2 JING DUANN

Jing Duann je čínský výrobce kovacích lisů s výrobními závody v Číně a na Taiwanu .Tato firma nabízí 3 typové řady kovacích lisů a to FP-X, FP-XG a FP(G).

Tabulka 3 - Kovací lisy Jing Duann (12)

Označení stroje	Tvářecí síla	Sevření	Upínací plocha stolu	Upínací plocha beranu	Přestavení beranu	Zdvih / Počet zdvihů	Počet využitelných zdvihů	Celkový instalovaný výkon	Rozměry stroje v x š x h	Hmotnost
	MN	mm	mm	mm	mm	mm / min^{-1}	min^{-1}	kW	m	t
FP-X	10	950	1040 x 1080	880 x 1050	10	250/85	18	55	6,145 x 3,840 x 3,225	82
FP-X	13	950	1140 x 1140	1020 x 1080	10	280/80	18	75	6,675 x 4,1 x 3,45	100
FP-X	16	1100	1200 x 1200	1050 x 1130	10	300/65	18	75	8,1 x 4,32 x 3,505	130
FP-XG	10	950	1040 x 1080	880 x 1050	10	250/60	18	75	6,15 x 3,96 x 3,975	90
FP-XG	13	950	1140 x 1140	1020 x 1080	10	280/60	16	90	6,675 x 4,2 x 4,2	105
FP-XG	16	1100	1200 x 1200	1050x 1130	10	300/50	16	110	7,8 x 4,41 x 4,435	140
FP (G)	10	800	1100 x 1050	940 x 850	10	250/85	16	75	5,5 x 3 x 4,3	75
FP (G)	13	900	1140 x 1140	1000 x 990	10	280/80	16	90	6,335 x 4,25 x 3,81	95
FP (G)	16	800	1200 x 1200	1080 x 1040	10	300/70	16	110	7,5 x 4,3 x 4,4	130
FP (G)	25	1050	1500 x 1500	1490 x 1430	10	350/65	16	150	9,03 x 5,367 x 4,74	200



Obr. 18 - Kovací lis JING DUANN řady FP-X (vlevo) Kovací lis FP-X – řez (vpravo) (12)

Na předchozích obrázcích je zobrazen lis typu FP-X, produkovaný společností Jing Duann. Z obrázku zobrazujícího řez lisem je možné porovnat výstředníkový hřídel a jeho uložení v horním příčníku s lisem LKMK společnosti Šmeral Brno a.s.. Hřídel je u lisu FP-X uložen zleva doprava stejně jako u lisu LKMK. Hlavním rozdílem oproti lisu LKMK je to, že je v tomto případě hřídel opatřen pouze jedním výstředníkem, z čehož plyne i druhý rozdíl. Tímto druhým rozdílem je uložení výstředníkového hřídele ve stojanu lisu. V případě lisu FP-X je hřídel uložen pouze ve dvou krajních ložiscích.

4.3.3 SCHULER

Společnost SCHULER je korporátní společnost s hlavním sídlem v německém Göppingenu zabývající se nejen kovacími lisy, ale i dalšími odvětvími strojírenského průmyslu. Zastoupení této společnosti se nachází ve 26 zemích světa. Výroba kovacích lisů pak probíhá hlavně v Německu, Velké Británii a USA. Společnost nabízí kovací lisy v 5 typových řadách a to MME2. MSE2, MML, MME a PK. (13)

Tabulka 4 - Kovací lisy SCHULER (13)

Označení stroje	Tvářecí síla	Sevření	Průchod	Upínací plocha stolu	Upínací plocha beranu	Přestavení beranu	Zdvih / Počet zdvihů	Počet využitelných zdvihů	Celkový instalovaný výkon	Rozměry stroje v x š x h	Hmotnost
	MN	mm	mm	mm	mm	mm	mm / min^{-1}	min^{-1}	kW	m	t
MME2	10	1360		1500 X 850	1500 X 850		500/(25-45)		210		

MSE2	10	1360		1500 X 850	1500 X 850		630/(18-36)		210		
MME2	12	1360		1500 X 850	1500 X 850		500/(25-45)		210		
MSE2	12	1360		1500 X 850	1500 X 850		630/(18-36)		210		
MME2	16	1600		2300 X 1000	2300 X 1000		630/(18-40)		300		
MSE2	16	1600		2300 X 1000	2300 X 1000		800/(20-38)		250		
MME2	20	1600		2300 X 1000	2300 X 1000		630/(18-40)		360		
MSE2	20	1600		2300 X 1000	2300 X 1000		800/(20-38)		360		
MML	10	1140/ 1360		1000 X 1500			400/(25-50) 630/(18-38)				
MML	12,5	1180/ 1360		1000 X 1500			400/(25-50) 630/(18-38)				
MML	16	1360/ 1420/ 1520		1000 X 1800			630/(18-40) 800/(16-36)				
MML	20	1360/ 1420/ 1521		1000 X 1800			630/(18-40) 800/(16-36)				
MML	25	1420/ 1520		1000 X 2200			630/(18-36) 800/(16-32)				
MME	10	1360		1000 X 1500			400/(25-50) 630/(18-38)				
MME	12	1360		1000 X 1500			400/(25-50) 630/(18-38)				
MME	16	1600		1000 X 1750/2300			630/(18-40) 800/(16-36)				
MME	20	1600		1000 X 1750/2300			630/(18-40) 800/(16-36)				
PK	12,5	850		1280/1050			300/70				
PK	20	1200		1500/1640			300/65				
PK	31,5	1500		1390/2170			400/60				
PK	40	1600		1450/2200			425/60				
PK	50	1700		1500/2250			450/50				
PK	63	1700		1600/2300			450/40				

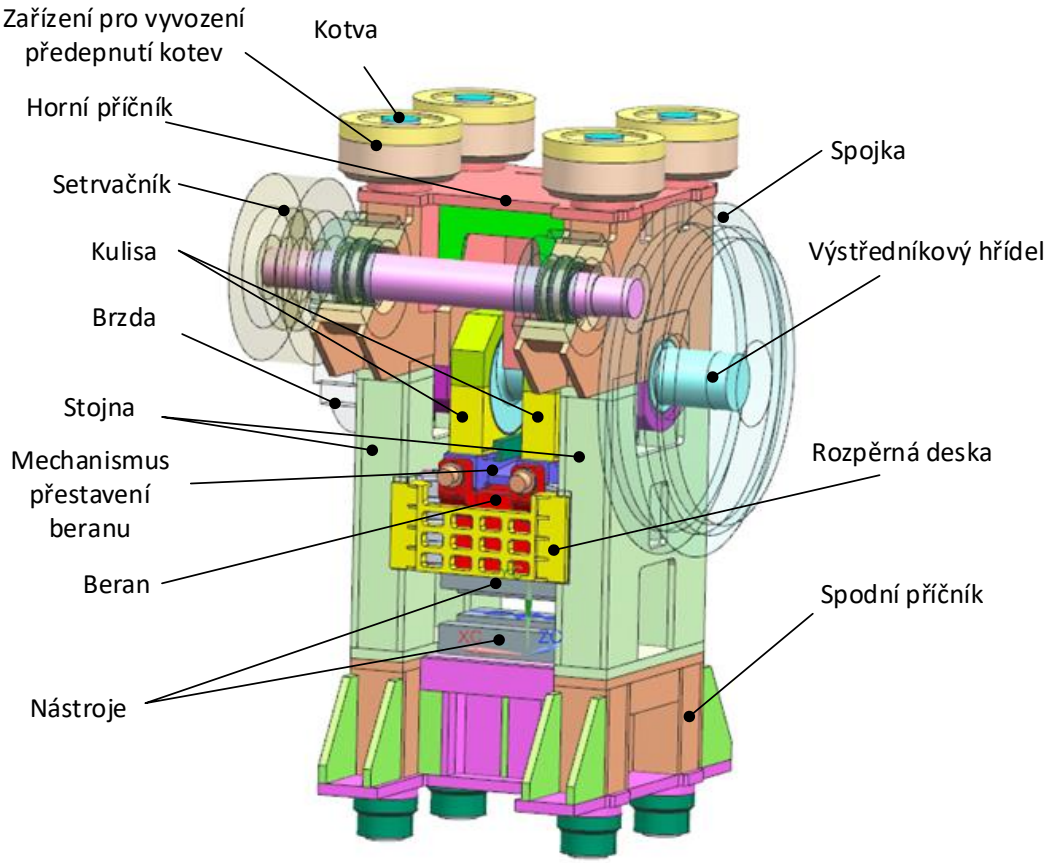
1 Hlavní pohon
2 Věnec
3 Setrvačník a spojka/brzda
4 Vyhazovač s nastavením vačky
5 Ekcentrické převody
6 Vedení
7 Stojany
8 Převod
9 Nastavení zápustek

Obr. 19 - Kovací lis SCHULER řady MME (13)

Předchozí obrázek zobrazuje kovací lis řady MME produkovaný společností Schuler Porovnání výstředníkového hřídele a jeho uložení v horním příčníku s lisem LKMK společnosti Šmeral Brno a.s.: Hřídel je u lisu MME uložen zleva doprava stejně jako u lisu LKMK a rovněž je opatřen dvěma výstředníky. Hlavním rozdílem oproti lisu LKMK je opět uložení výstředníkového hřídele ve stojanu lisu. V případě lisu MME je hřídel uložen pouze ve dvou krajních ložiscích bez podepření uprostřed mezi výstředníky, jako je tomu v případě lisu LKMK.

5 Kovací lisy LKMK

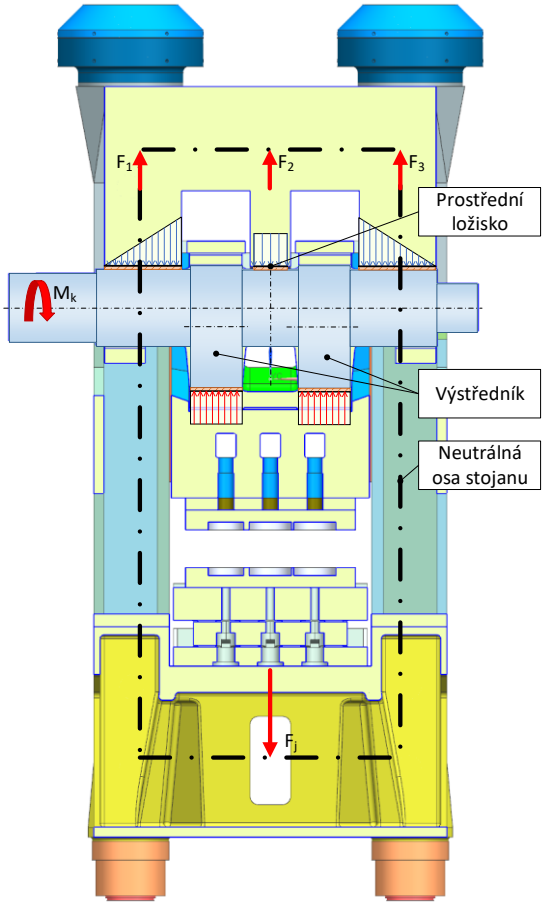
Kovací lisy LKMK jsou nejmodernější řadou kovacích lisů společnosti Šmeral Brno a.s. Největším konstrukčním rozdílem mezi dosavadními produkty a novou řadou LKMK je, jak bylo již zmíněno, výstředníkový hřídel a jeho uložení. Hřídel je nyní uložen příčně a je opatřen dvěma výstředníky.



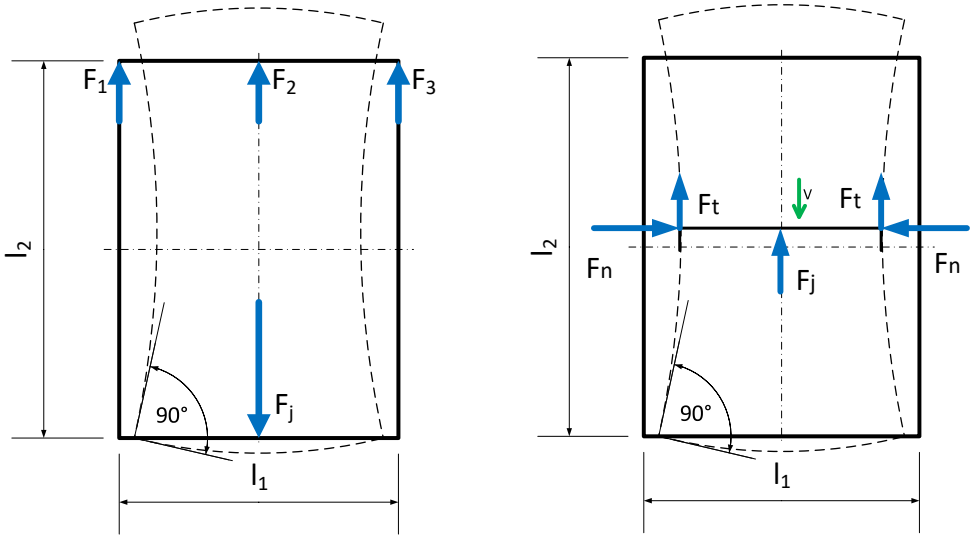
Obr. 20 - Lis LKMK

5.1 Popis problému v dosavadní konstrukci lisu

Klikový hřídel je uprostřed (mezi výstředníky) podepřen středním bronzovým ložiskem. Toto prostřední uložení odebírá část reakční síly působící od klikového hřídele do rámu lisu. Vlivem této síly a omezené tuhosti horního příčníku dochází k jeho deformaci zároveň s deformací výstředníkového hřídele. Od síly vyvozené při procesu kování dochází zároveň k deformaci spodního příčníku. Deformace obou příčníků značně ovlivňuje celý rám lisu. Vlivem průhybů příčníků dochází k deformaci - „svírání“ stojin. Tato deformace nepříznivě ovlivňuje činnost lisu tak, že dochází ke svírání beranu ve vedení. Při svírání vzniká normálová síla mezi vedením a beranem a zároveň třecí síla, která působí proti pohybu beranu. Tento jev (svírání) již omezují rozpěrné desky (Obr. 20), stále k němu však dochází. Vlivem svírání beranu ve vedení dochází například ke ztrátám energie ve vedení beranu, ke snížení životnosti vodících ploch a dalším nežádoucím skutečnostem.



Obr. 21 - Řez lisem LKMK se zobrazením zatížení klikové hřídele



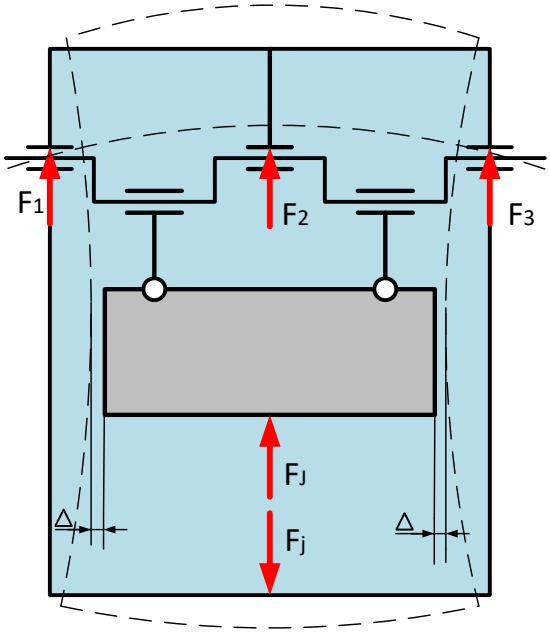
Obr. 22 - Zobecněné schéma deformace stojanu lisu (vlevo) Zobrazení sil působících od technologie a rámu lisu do beranu při svírání (vpravo)

Do dalších částí práce je uvažováno, že spodní příčník má značně vyšší tuhost než příčník horní. Jeho deformace tedy bude výrazně menší než deformace příčníku horního. Z tohoto důvodu je uvažován spodní příčník jako tuhý a jeho vliv na svírání rámu je zanedbán.

5.2 Možné způsoby řešení problému

5.2.1 Zajištění neustálé vůle mezi beranem a vedením zvětšením vůle ve vedení

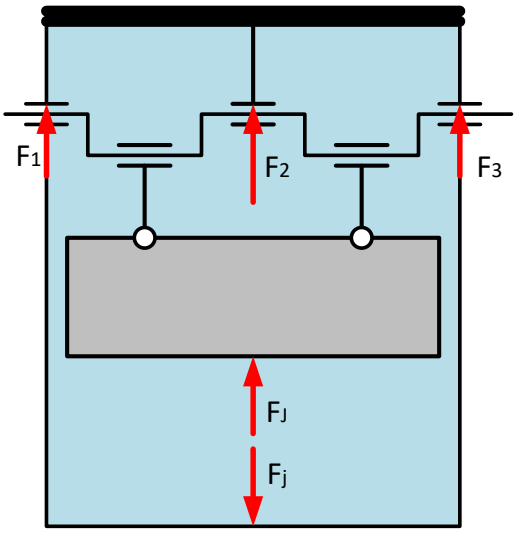
Vyloučení svírání beranu lze dosáhnout zvětšením vůle ve vedení beranu na takovou hodnotu, která by zajistila, že i při deformaci stojanu by se beran mohl stále volně pohybovat. I při deformaci stojanu lisu by byla zajištěna vůle ve vedení beranu. Tato možnost je však nemyslitelná z hlediska požadované výrobní přesnosti lisu.



Obr. 23 - Vůle ve vedení

5.2.2 Zvýšení tuhosti horní příčky

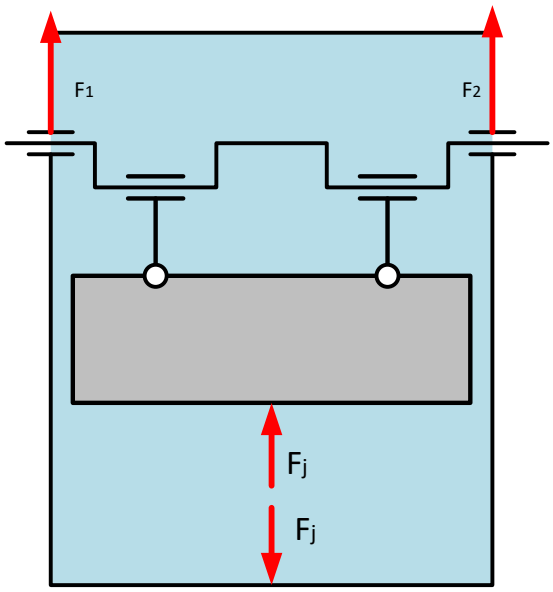
Varianta je postavena na předpokladu, že zvýšení tuhosti horní příčky by jev svírání omezilo. Vedlejším výsledkem by však bylo zvýšení reakční síly v prostředním ložisku což by nepříznivě ovlivnilo zatížení prostředního ložiska výstředníkového hřídele. (vzrostl by tlak v prostředním ložisku.) Prostor pro prostřední ložisko je omezen výstředníky a nelze jej významně zvětšit.



Obr. 24 - Zvýšení tuhosti horní příčky

5.2.3 Odstranění prostředního ložiska

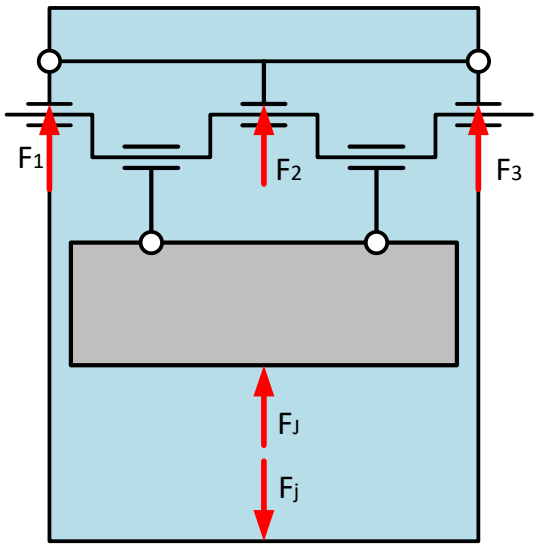
Oproti předchozímu návrhu naprosto opačné řešení je, že by došlo k odstranění prostředního ložiska, což by jev svírání výrazně omezilo. Vedlo by však rovněž ke značně nepříznivějšímu namáhání výstředníkového hřídele a tedy i nutnosti zvýšení jeho dimenzování. (Z důvodu požadavků zadavatele je však nutné prostřední ložisko zachovat.)



Obr. 25 - Odstranění prostředního ložiska

5.2.4 Změna v konstrukci horního příčníku

Změnou v konstrukci horního příčníku je myšlena její konstrukční úprava do takového stavu, kdy bude v části příčníku stále docházet k deformaci společně s deformací výstředníkového hřídele, jako je tomu v současném stavu. Touto částí bude zachována tuhost uložení prostředního podpěrného ložiska. Zároveň však ovlivnění zbytku horního příčníku od této části bude minimální. Tím pádem bude minimální i vliv horního příčníku na deformaci stojin. Tím by se mělo předejít svírání rámu.

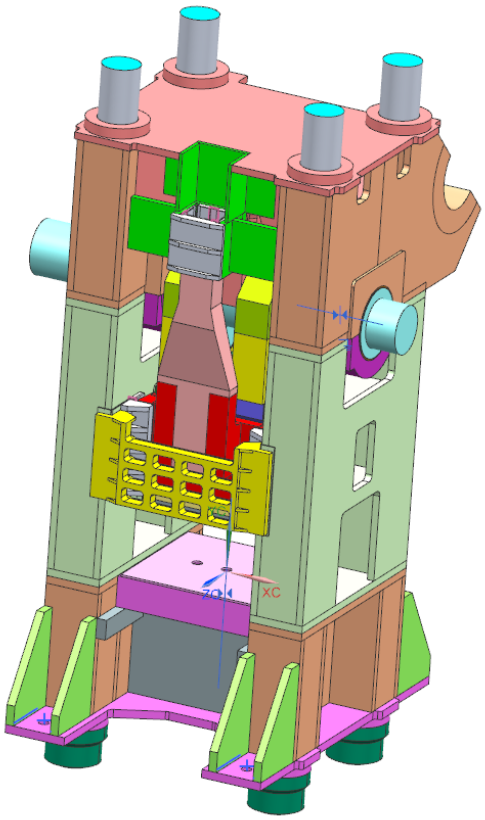


Obr. 26 - Změna konstrukce horního příčníku

Pro další řešení bylo zvoleno, z požadavků na přesnost stroje, použít jako způsob řešení problému svírání rámu změnu v konstrukci horního příčníku.

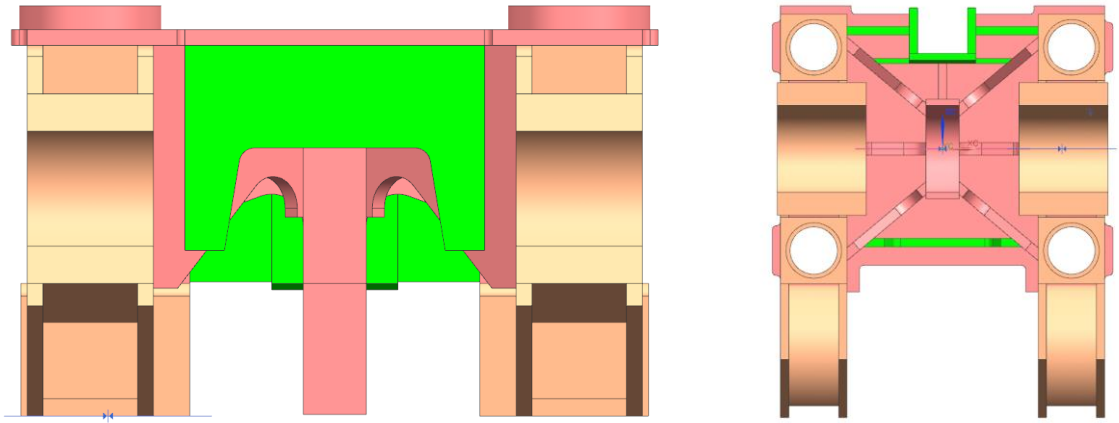
5.3 Výchozí konstrukce – LKMK 6500

Jako výchozí konstrukce pro další uvažování konstrukčních úprav je vybrána jedna z posledních vývojových variant výstředníkového lisu LKMK 6500 (65 MN). Stojan lisu je tvořen spodním příčníkem, stojinami a horním příčníkem, které jsou spolu svázány pomocí kotev. Stojiny a příčníky jsou svařence z ocelových plechů.

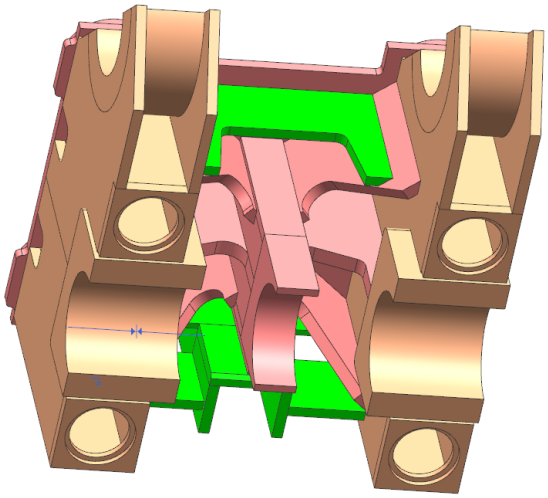


Obr. 27 - Výchozí konstrukce – návrh LKMK 6500

Výchozí konstrukce horního příčníku je zobrazena na Obr. 28 a 29.



Obr. 28 - Horní příčník výchozí konstrukce



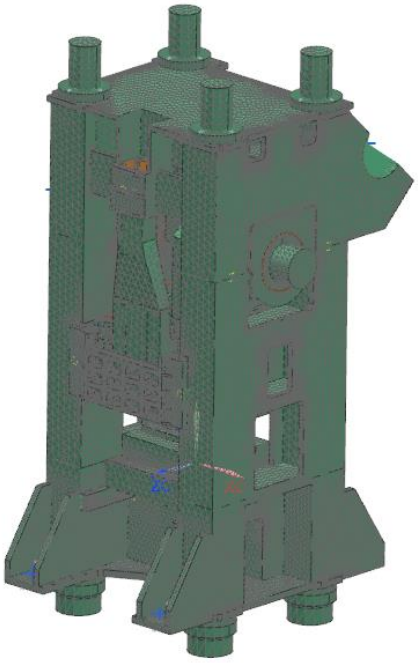
Obr. 29 - Horní příčník výchozí konstrukce - žebra

5.3.1 Simulace zatížení – výchozí konstrukce

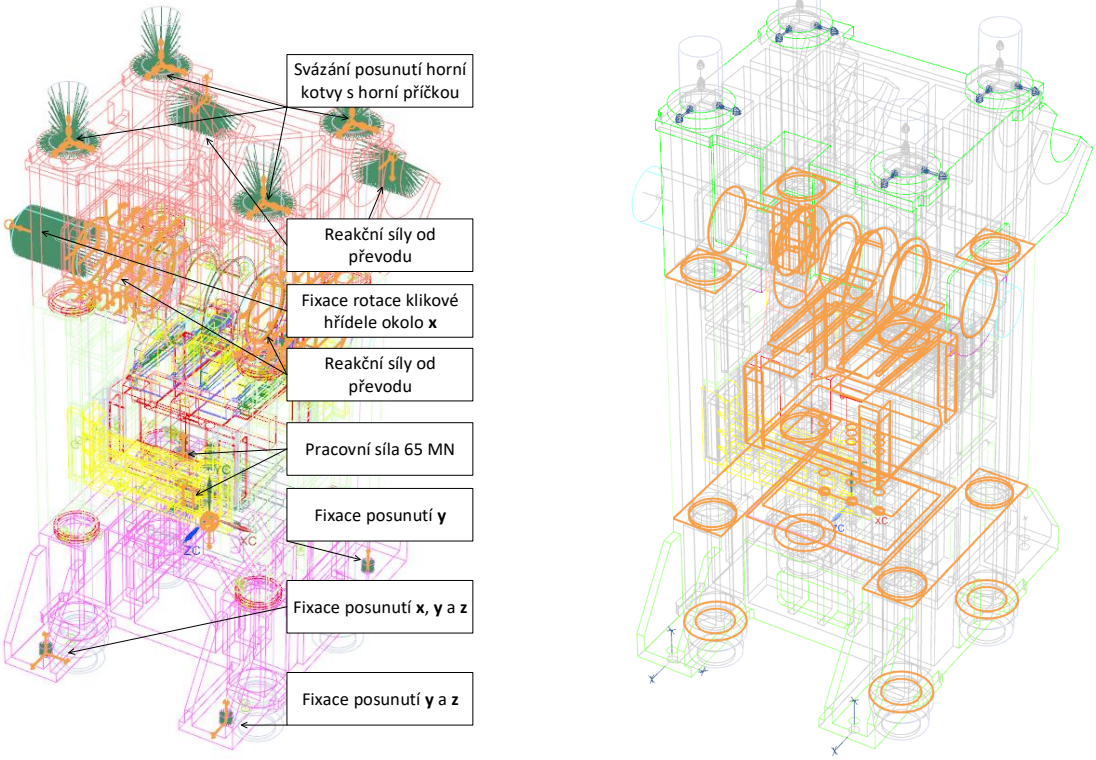
Pro výchozí konstrukci byla provedena napěťově deformační simulace pomocí MKP výpočtu v softwaru NX Siemens. Pro MKP výpočet byly jednotlivé komponenty výchozí konstrukce zasíťovány. Pro zasíťování byly využity čtyřstěnné elementy s patřičnými velikostmi elementů. Výchozí konstrukce se skládá z ocelových součástí, které tvoří rám, beran a další díly a bronzových součástí, což jsou ložiska výstředníkového hřídele a součásti tvořící kluzné vedení beranu v rámu lisu. Pro tyto materiály byly využity následující materiálové konstanty.

Tabulka 5 - Materiálové vlastnosti

Materiál	Modul pružnosti v tahu E [MPa]	Poissonova konstanta μ [-]	Hustota ρ [kg/m^3]
Ocel	206 940	0,288	7 829
Bronz	103 400	0,34	8 852



Obr. 30 - Zasíťovaný model výchozí konstrukce



Obr. 31 - Okrajové podmínky simulace (vlevo) Zobrazení kontaktních ploch (vpravo)

Výchozí parametry simulace:

- Velikosti reakčních sil od pohonu
- Hodnota offset pro vyvození předepínací síly
- Pracovní síla působí v ose lisu (centricky)

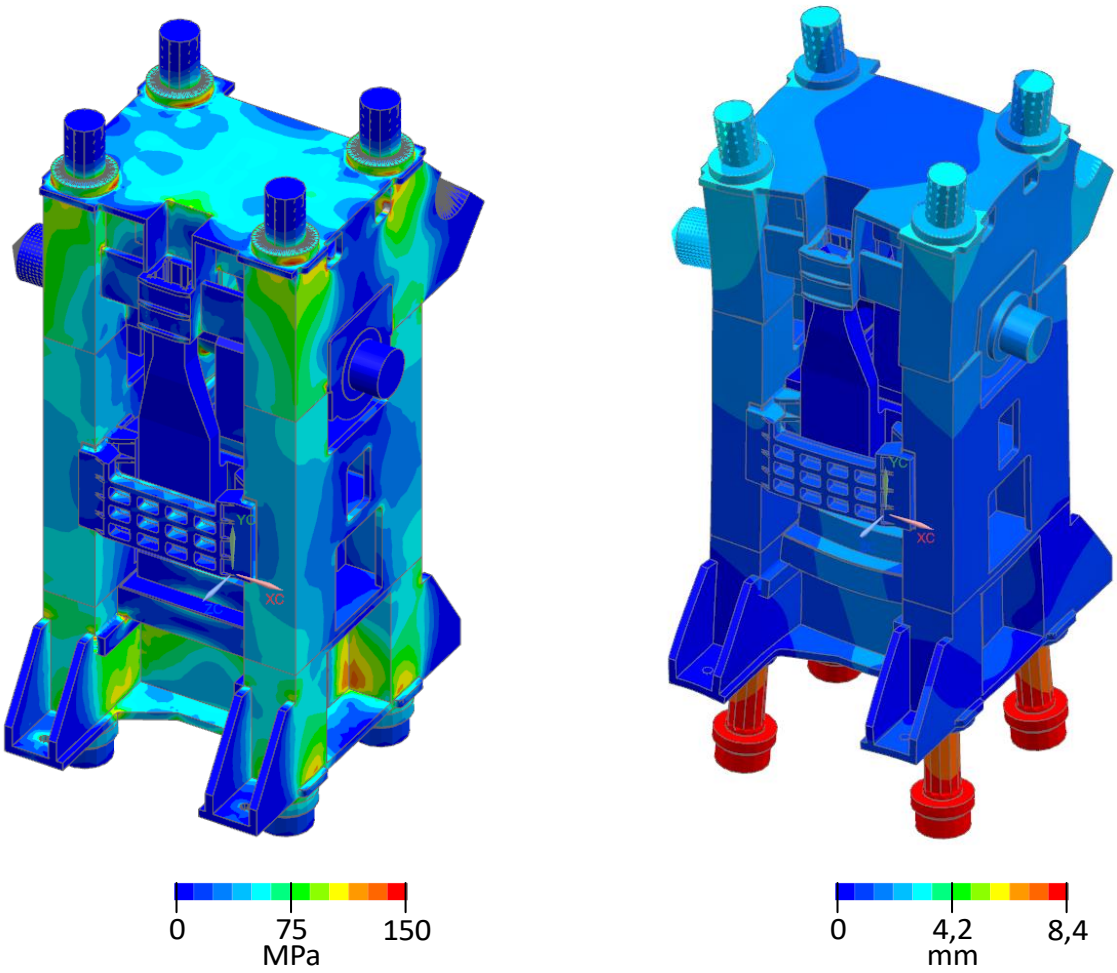
Ve výpočtu byly využity následující kontaktní dvojice:

Tabulka 6 - Kontaktní dvojice

	Popis	Součást 1	Součást 2	Součinitel tření f [-]	Offset [mm]
Pohyblivá spojení	Vedení beranu	Beran	Bronzové lišty vedení beranu	0,05	- 0,3
	Vedení nosu beranu	Nos beranu	Bronzové lišty vedení nosu beranu	0,05	- 0,1
	Propojení horního příčníku a stojin	Stojiny, pera	Horní příčník	0,2	0
	Propojení spodního příčníku a stojin	Stojiny, pera	Spodní příčník	0,2	0
	Předepnutí kotev	Spodní příčník	Spodní matice kotev	0,2	8
	Stolní deska Spodního příčníku	Stůl spodního příčníku	Stolní deska spodního příčníku	0,2	0
	Uložení spodního držáku nástroje	Stolní deska spodního příčníku	Držák spodního nástroje	0,2	0
	Uložení spodního nástroje	Držák nástroje	Spodní nástroj	0,2	0
	Deska beranu	Beran	Deska beranu	0,2	0
	Uložení horního držáku nástroje	Deska beranu	Držák horního nástroje	0,2	0
	Uložení horního nástroje	Držák horního nástroje	Horní nástroj	0,2	0
	Uložení klínové desky	Klínová deska	Beran, Kulisa	0,05	0
	Uložení výstředníkového hřídele v kulise	Výstředníkový hřídel	Ložiska kulisy	0,05	0
	Uložení výstředníkového hřídele v horním příčníku	Výstředníkový hřídel	Hlavní ložiska, prostřední ložisko	0,05	0
Pevná spojení		Lišta kulisy	Klínová deska	-------	0
		Lišta beranu	Klínová deska	-------	0

5.3.2 Napěťové a deformační výsledky simulace

Výsledky zprůměrovaného redukovaného napětí a celkového posunutí na lisu.

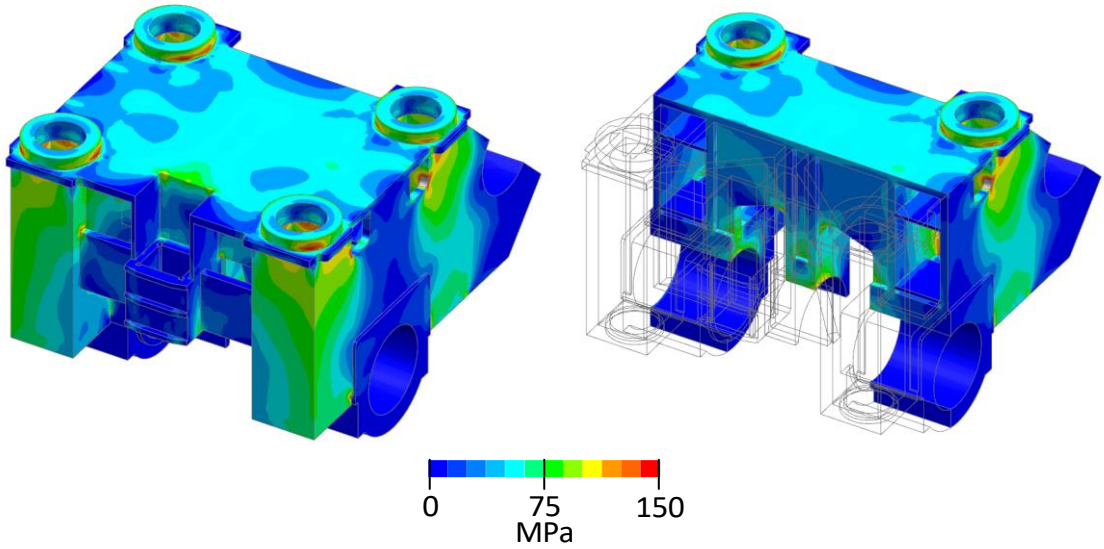


Obr. 32 - Zprůměrované redukované napětí (vlevo) Celkové posunutí (vpravo)

Maximální posunutí na kotvách v Obr. 32 je dáno okrajovými podmínkami výpočtu. Předpětí kotev je zde zajištěno nastavením offsetu mezi spodní maticí kotvy a plochou spodního příčníku.

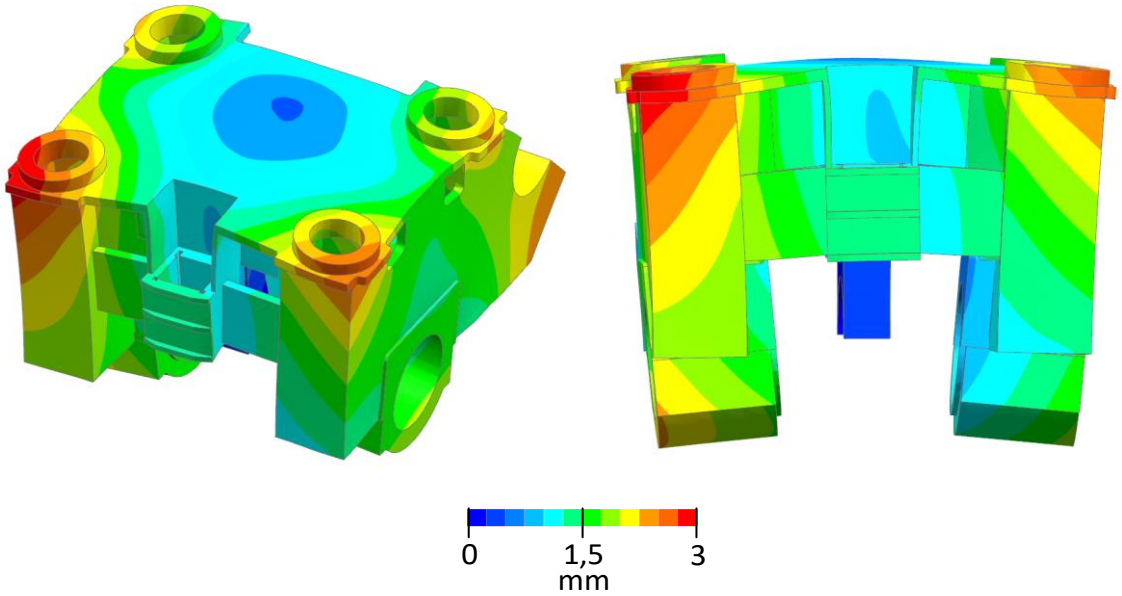
Výsledky zprůměrovaného redukovaného napětí a celkového posunutí na horním příčníku lisu ve výchozí konstrukci.

Průběh napětí na horním příčníku



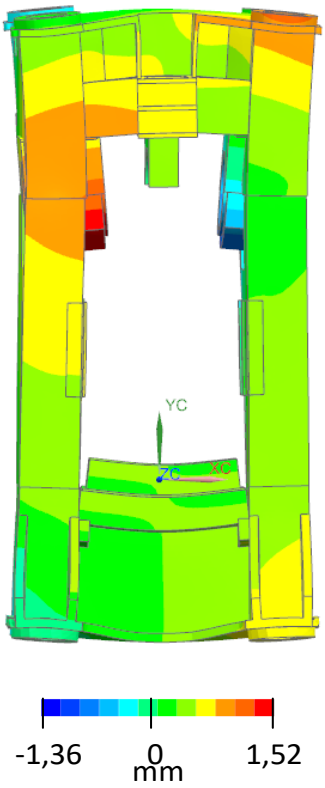
Obr. 33 - Napětí v horním příčníku

Celkové posunutí horního příčníku



Obr. 34 - Celkové posunutí na horním příčníku

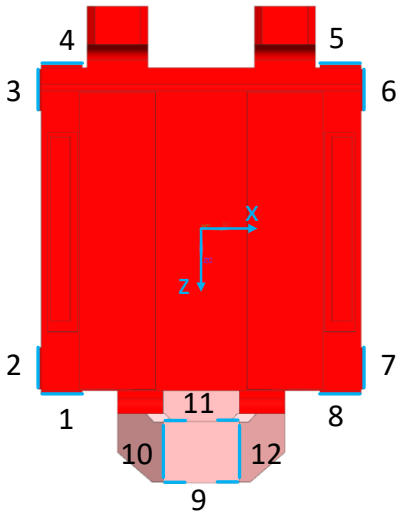
Posunutí na stojanu lisu ve směru osy x (zleva doprava)



Obr. 35 - Posunutí na stojanu v ose x

Z výsledků posunutí na stojanu lisu ve směru x je patrné, že k největšímu přiblížení stojin dochází v oblasti přechodu mezi horním příčníkem a stojinami. Přiblížení stojin je v tomto místě asi 0,94 mm.

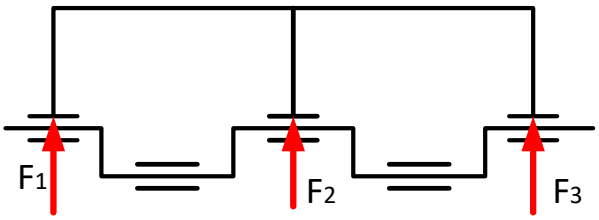
5.3.3 Reakční síly ve výchozí konstrukci



Obr. 36 - Vedení beranu

Problém svírání beranu v jeho vedení je vyhodnocen odečtením reakčních sil působících ve vodících plochách beranu zobrazeném na Obr. 36. Svírání stojanu vyvolává reakční síly ve vedení beranu ve směru osy x, z toho důvodu síly odečteny ve vodících plochách 2, 3, 6 a 7.

Pro vyhodnocení tuhosti uložení prostředního ložiska byly dále odečítány reakční síly v ložiscích mezi výstředníkovým hřídelem a horním příčníkem v ose y.



Obr. 37 - Uložení výstředníkového hřídele

Na Obr. 41 je znázorněno uložení výstředníkového hřídele ve třech ložiscích kde F_1 a F_3 jsou reakční síly v hlavních ložiscích a F_2 je reakční síla v prostředním ložisku.

5.3.4 Reakční síly ve výchozí konstrukci

Normálové síly svírající beran v jeho vedení ve výchozí konstrukci. Síly byly odečítány v kontaktních plochách mezi beranem lisu a jeho bronzovým vedením.

Tabulka 7 - Síly ve vedení beranu výchozí konstrukce

Vodící plocha	2	3	6	7
Síla ve vedení [kN]	603,29	689,01	769,39	543,58

Síly v uložení výstředníkového hřídele v bronzových ložiscích.

Tabulka 8 - Síly v uložení hřídele výchozí konstrukce

	F_1	F_2	F_3
Síla v ložisku [MN]	19,18	19,57	22,9

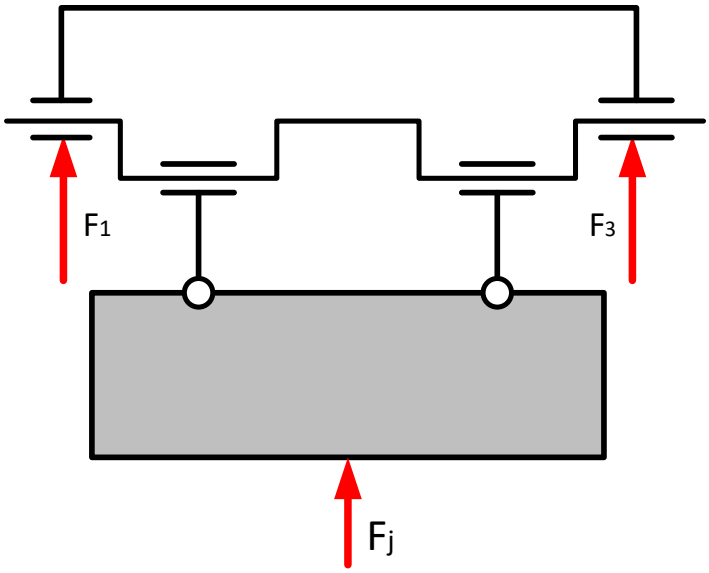
6 Návrhy možných variant řešení

V této části práce jsou zobrazeny možné návrhy variant řešení problému svírání stojanu lisu a zobrazení vlivu variant na daný problém.

6.1 Návrh 0

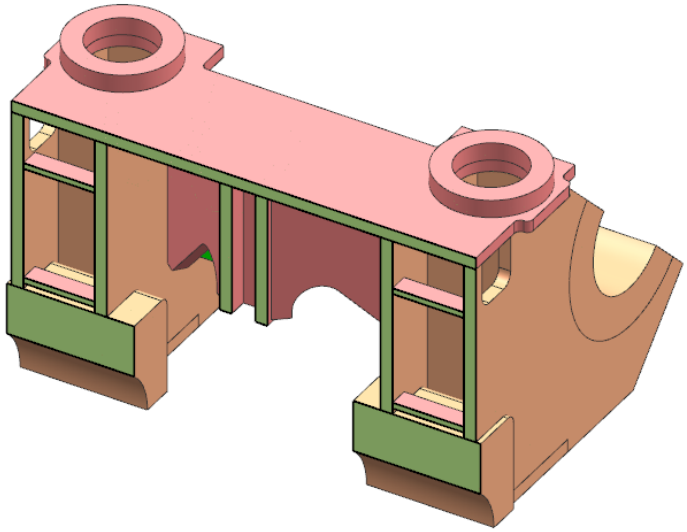
Návrhem 0 je výchozí konstrukce, u které je odstraněno prostřední ložisko, tedy podepření výstředníkového hřídele uprostřed přenášející sílu do středu horního příčníku. U tohoto návrhu je předpoklad, že dojde k nepříznivému ovlivnění namáhání výstředníkového hřídele a nutnosti jeho následného dimenzování.

Tento návrh, ač byl již zavrhnut, je podroben simulaci zatížení, aby byla prokázána jeho nevhodnost.



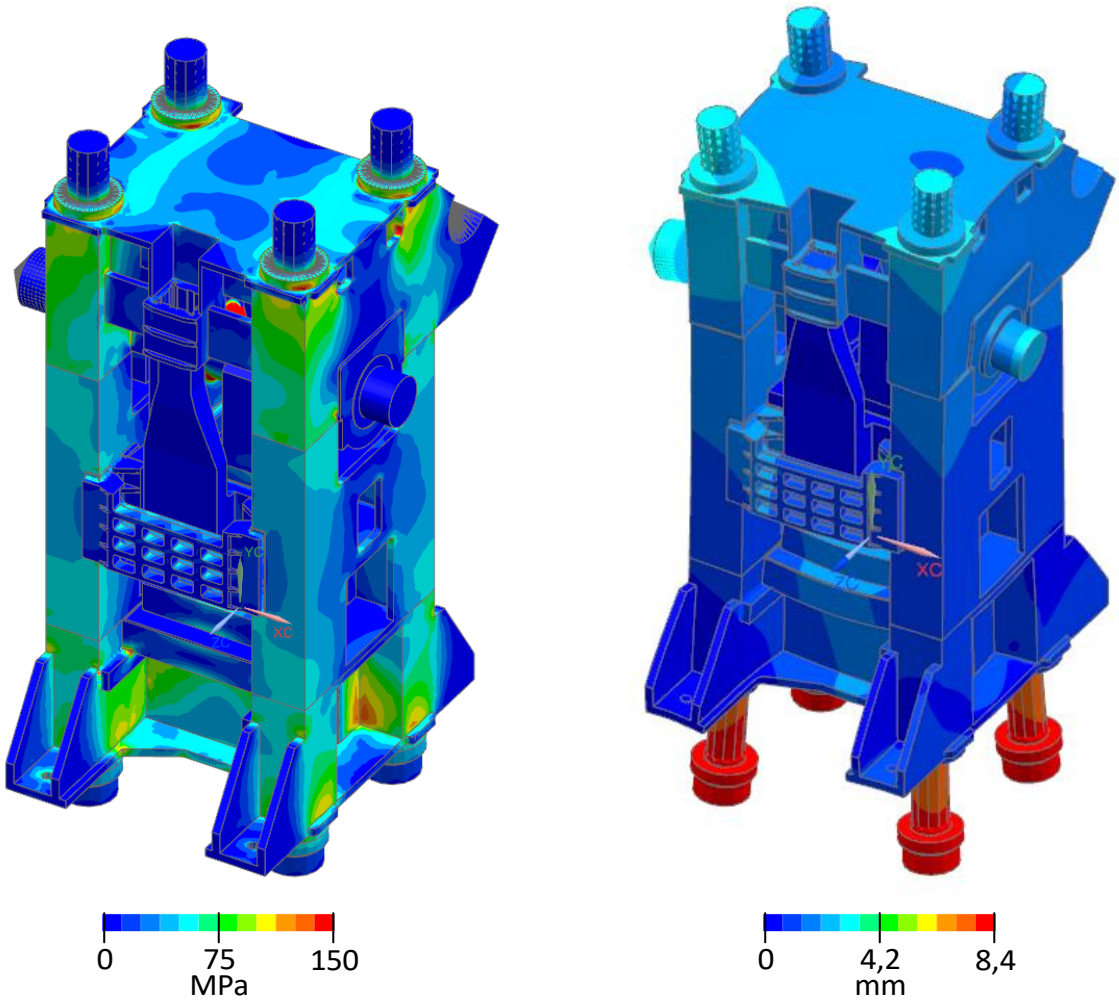
Obr. 38 – Schéma návrhu 0

3D zobrazení úpravy horního příčníku



Obr. 39 - Zobrazení konstrukce návrhu 0

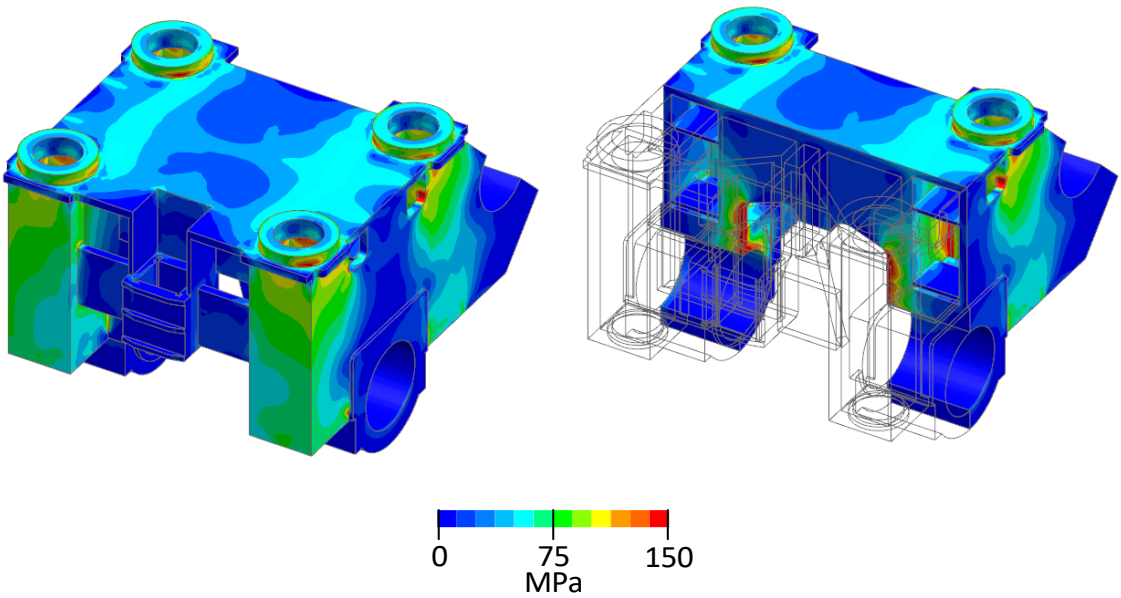
6.1.1 Napěťové a deformační výsledky simulace



Obr. 40 - Zprůměrované redukované napětí (vlevo) Celkové posunutí (vpravo)

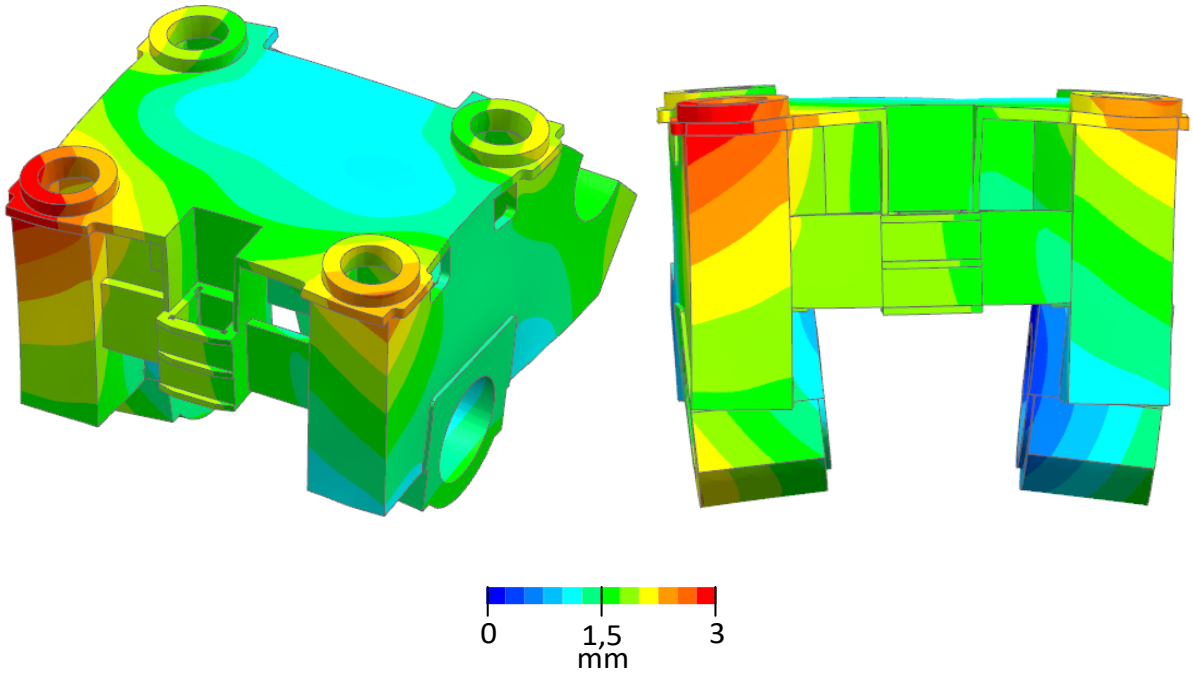
Horní příčník

Průběh napětí na horním příčníku



Obr. 41 - Napětí v horním příčníku

Celkové posunutí horního příčníku



Obr. 42 - Celkové posunutí na horním příčníku

6.1.2 Odečtení reakčních sil

Reakční síly ve vodících plochách beranu

Tabulka 9 - Síly ve vedení beranu návrhu 0

Vodící plocha		2	3	6	7	∑
Síla ve vedení [kN]	Výchozí	603,3	689	769,4	543,6	2605,3
	Návrh 0	355,3	307,5	447,9	345,8	1456,5
Vylepšení [%]		41,1	55,4	41,8	36,4	44,1

Síly v uložení výstředníkového hřídele v bronzových ložiscích.

Tabulka 10 - Síly v uložení hřídele návrhu 0

		F_1	F_2	F_3
Síla v ložisku [MN]	Výchozí	19,18	19,57	22,9
	Návrh 0	29,59	0	33,32

Z výsledků je možné určit, že odstraněním prostředního podepření výstředníkového hřídele při zachování zbytku výchozí konstrukce dojde ke snížení síly ve vodících plochách beranu zhruba o 44%. Zbylá část sevření beranu je dána tím, že odstraněním prostředního ložiska došlo k ovlivnění výstředníkového hřídele. Vlivem změny jeho uložení došlo ke zhoršení zatěžujícího stavu. Tato změna způsobí zvětšení deformace výstředníkového hřídele. Deformace zapříčiní naklopení hlavních ložisek hřídele. Toto naklopení hlavních ložisek výstředníkového hřídele způsobí deformaci horního příčníku a tím i celého stojanu lisu.

Maximální redukované napětí na výstředníkovém hřídeli nyní vzrostlo z původních 104,0 MPa výchozí konstrukce na 183,8 MPa. Jelikož je hřídel namáhán cyklickým namáháním, je dimenzován tak, aby bezpečnost proti mezi únavy při centrickém zatížení byla větší než 2.

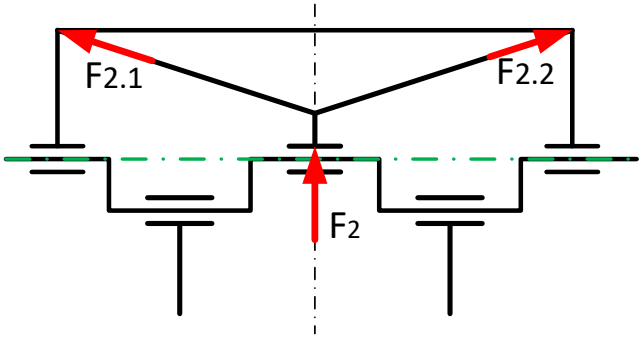
Pro výchozí konstrukci je navržen výstředníkový hřídel o malém průměru (průměru ložisek) d_1=1000 mm a velkém průměru (průměru výstředníku) d_2=1500 mm. Hřídel je navržen z oceli 16 240 s mezí pevnosti Rm=750 MPa. Tento původní hřídel má hmotnost 38,28 t. Aby bylo dosaženo požadované bezpečnosti proti mezi únavy při centrickém zatížení u tohoto návrhu, bylo by nutné výstředníkový hřídel předimenzovat. Hřídel, který by požadavku vyhovoval, by musel mít malý průměr d_1=1300 mm a velký průměr d_2=1800 mm, při zachování délkových rozměrů. Jeho hmotnost by poté vzrostla na 57,12t.

Tabulka 11 - Porovnání výstředníkových hřídelí výchozí konstrukce a návrhu 0

	Malý průměr d_1 [mm]	Velký průměr d_2 [mm]	Mez pevnosti materiálu Rm [MPa]	Bezpečnost proti mezi únavy [-]	Hmotnost [t]
Výstředníkový hřídel výchozí konstrukce	1000	1500	750	2	32,28
Výstředníkový hřídel vyhovující návrhu 0	1300	1800	750	1,99	57,12

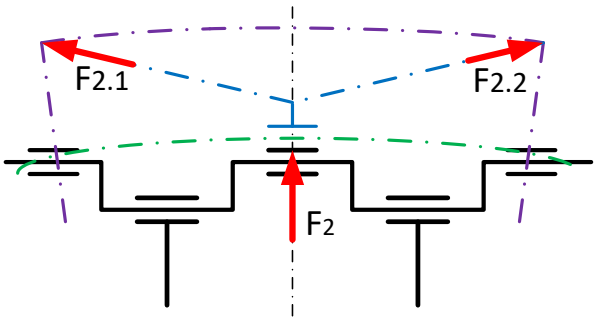
6.2 Návrh 1

Základní myšlenka návrhu spočívá v přenesení síly působící v prostředním ložisku do krajních částí horního příčníku pomocí rozpěrných desek uspořádaných do tvaru V. Zmezilo by se tak deformaci vzniklé působením této síly do středu horního příčníku.



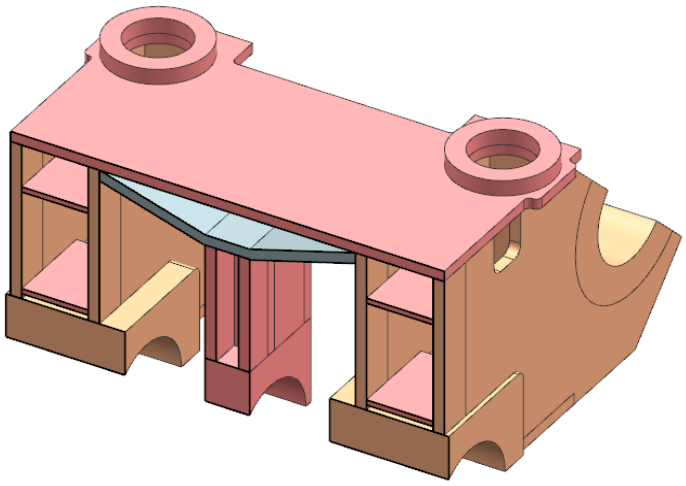
Obr. 43 - Základní myšlenka návrhu 1

Síla působící v prostředním ložisku však působí, vlivem omezené tuhosti podepření prostředního ložiska, deformaci výstředníkového hřídele. Vlivem konstrukčního řešení uložení hřídele v krajních ložiscích je tato deformace přenášena do stojanu.



Obr. 44 - Předpokládaná deformace stojanu 1

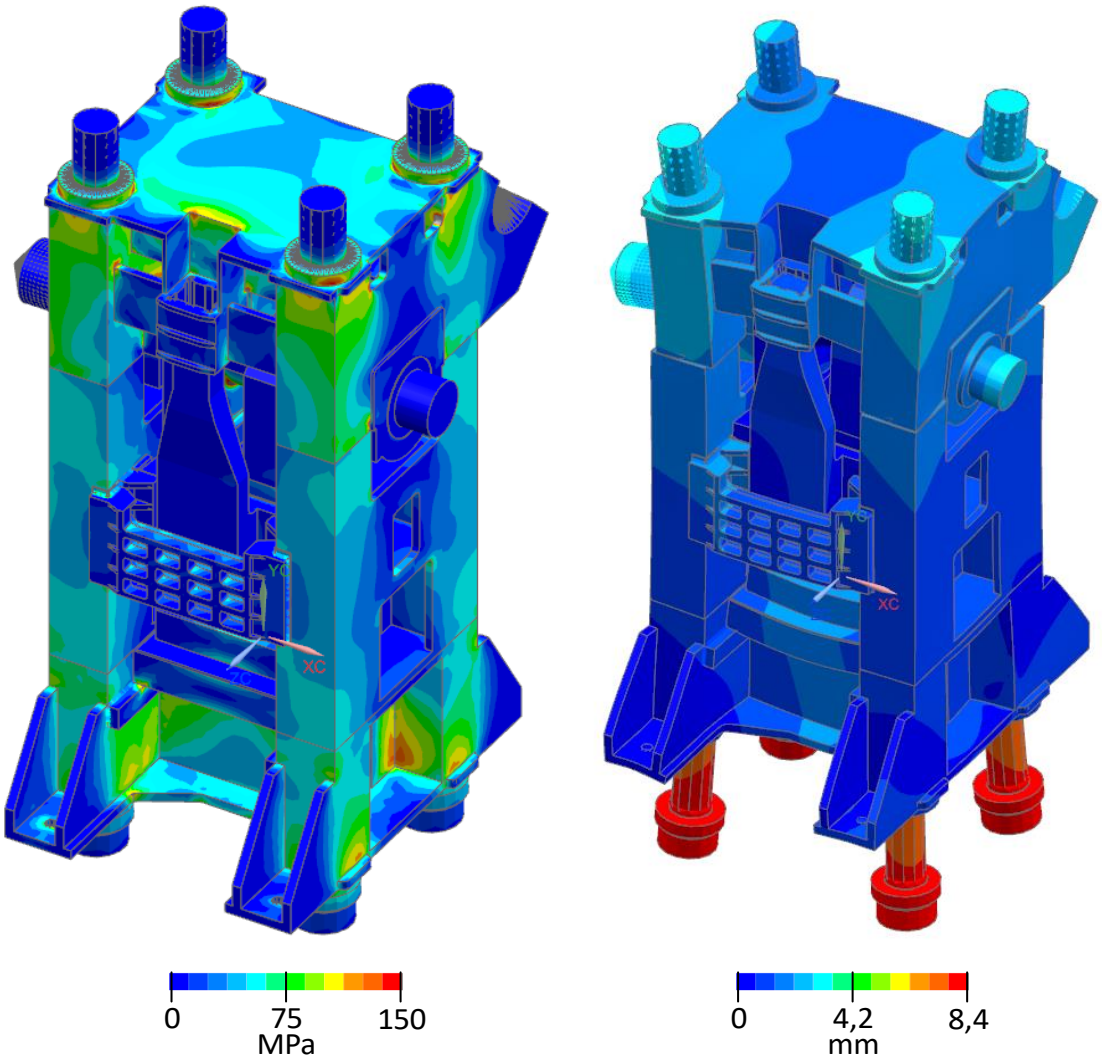
3D zobrazení úpravy horního příčníku



Obr. 45 - Zobrazení konstrukční úpravy návrhu 1

Oproti výchozí konstrukci je změněno v tomto návrhu uložení ložiska. Toto uložení je nyní vytvořeno pomocí dvou desek uspořádaných do tvaru V. Tyto desky jsou k bočním částem horního příčníku připojeny způsobem zobrazeným na Obr.45.

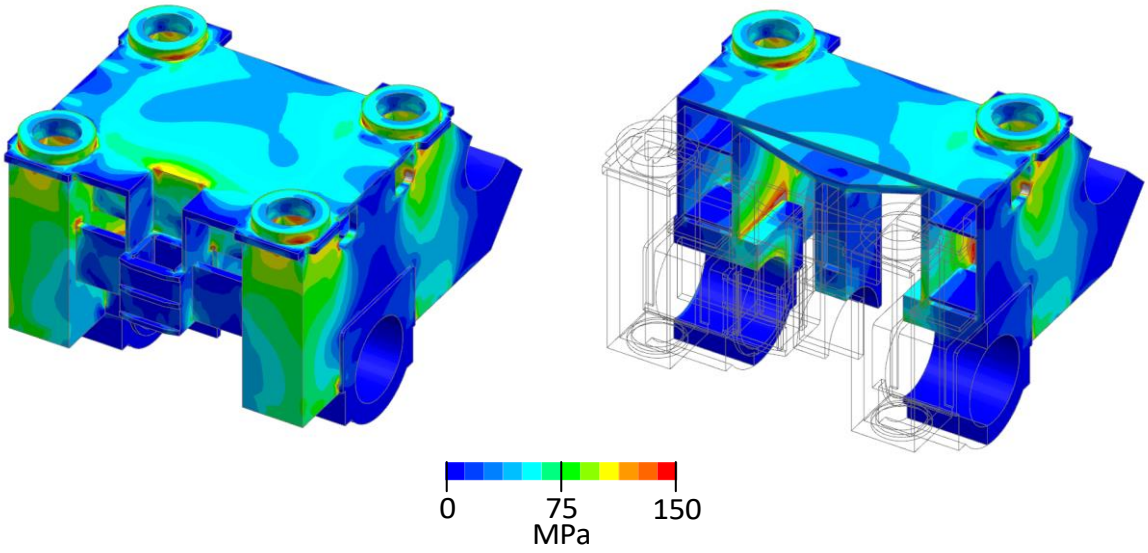
6.2.1 Napěťové a deformační výsledky simulace



Obr. 46 - Zprůměrované redukované napětí (vlevo) Celkové posunutí (vpravo)

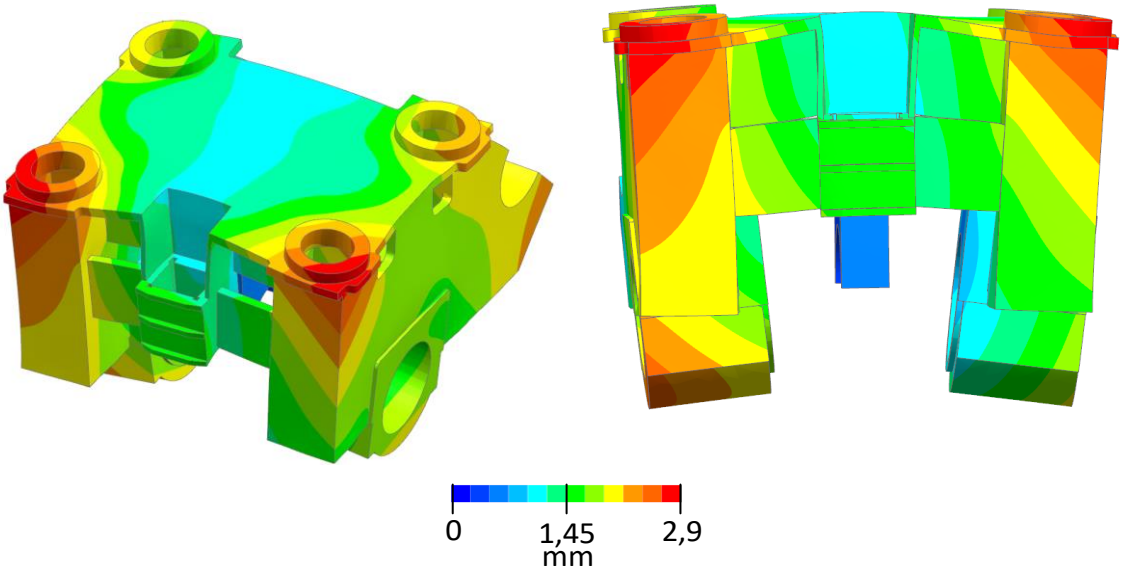
Horní příčník

Průběh napětí na horním příčníku



Obr. 47 - Napětí v horním příčníku

Celkové posunutí horního příčníku



Obr. 48 - Celkové posunutí na horním příčníku

6.2.2 Odečtení reakčních sil

Reakční síly ve vodících plochách beranu

Tabulka 12 - Síly ve vedení beranu návrhu 1

Vodící plocha		2	3	6	7	∑
Síla ve vedení [kN]	Výchozí	603,3	689	769,4	543,6	2605,3
	Návrh 1	474,5	438,9	475,2	399,3	1787,9
Vylepšení [%]		21,3	36,3	38,2	26,5	**31,4**

Síly v uložení výstředníkového hřídele v bronzových ložiscích.

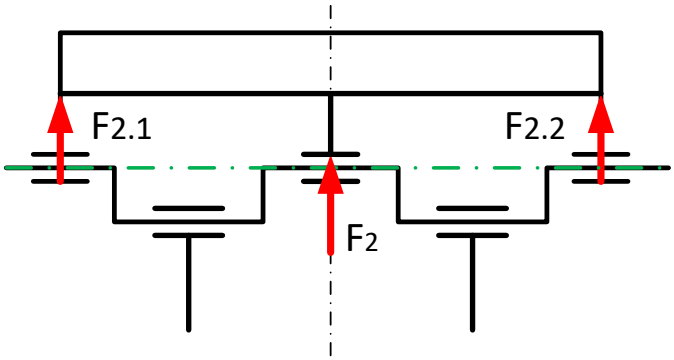
Tabulka 13 - Síly v uložení hřídele návrhu 1

		F_1	F_2	F_3
Síla v ložisku [MN]	Výchozí	19,18	19,57	22,9
	Návrh 1	23,05	10,42	27,46

Z reakčních sil odečtených ve vedení beranu je patrné, že tato navržená konstrukční úprava na problém svírání beranu lisu v jeho vedení částečně pomohla. Zároveň se však snížila reakční síla v prostředním ložisku. Z toho lze předpokládat, že došlo ke snížení tuhosti jeho uložení. Pro další vylepšení tohoto návrhu by bylo vhodné zvýšit tuhost uložení prostředního ložiska, které povede ke snížení deformace výstředníkového hřídele a způsobí další ovlivnění reakčních sil ve vedení.

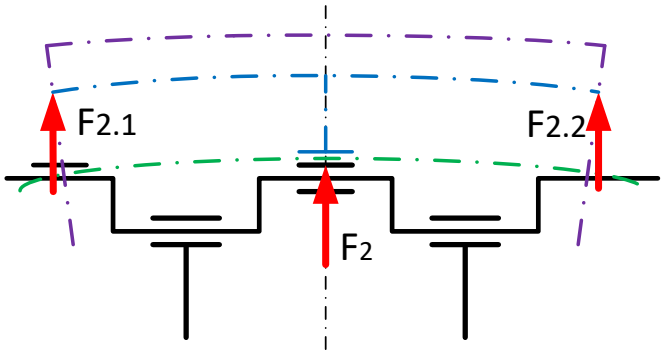
6.3 Návrh 2

Základní myšlenka návrhu spočívá v přenesení síly působící v prostředním ložisku do krajních částí horního příčníku jako v předchozím případě. Tentokrát je přenesení zajištěno rovnou vloženou deskou. Tuhost uložení prostředního ložiska by měla být zachována ponecháním žebrování výchozí konstrukce horního příčníku.



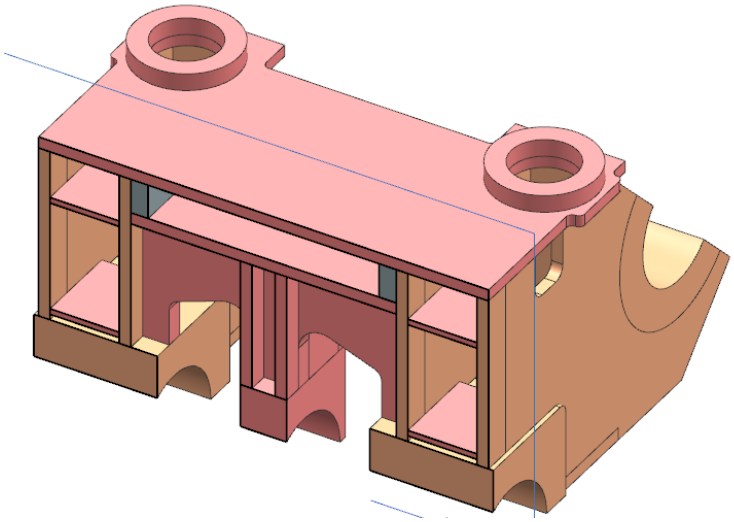
Obr. 49 - Základní myšlenka návrhu 2

Deformace horního příčníku od síly v podepření prostředního ložiska by mohla být tímto řešením omezena. Deformace výstředníkového hřídele a její přenesení do stojanu však horní příčník ovlivní.



Obr. 50 - Předpokládaná deformace stojanu 2

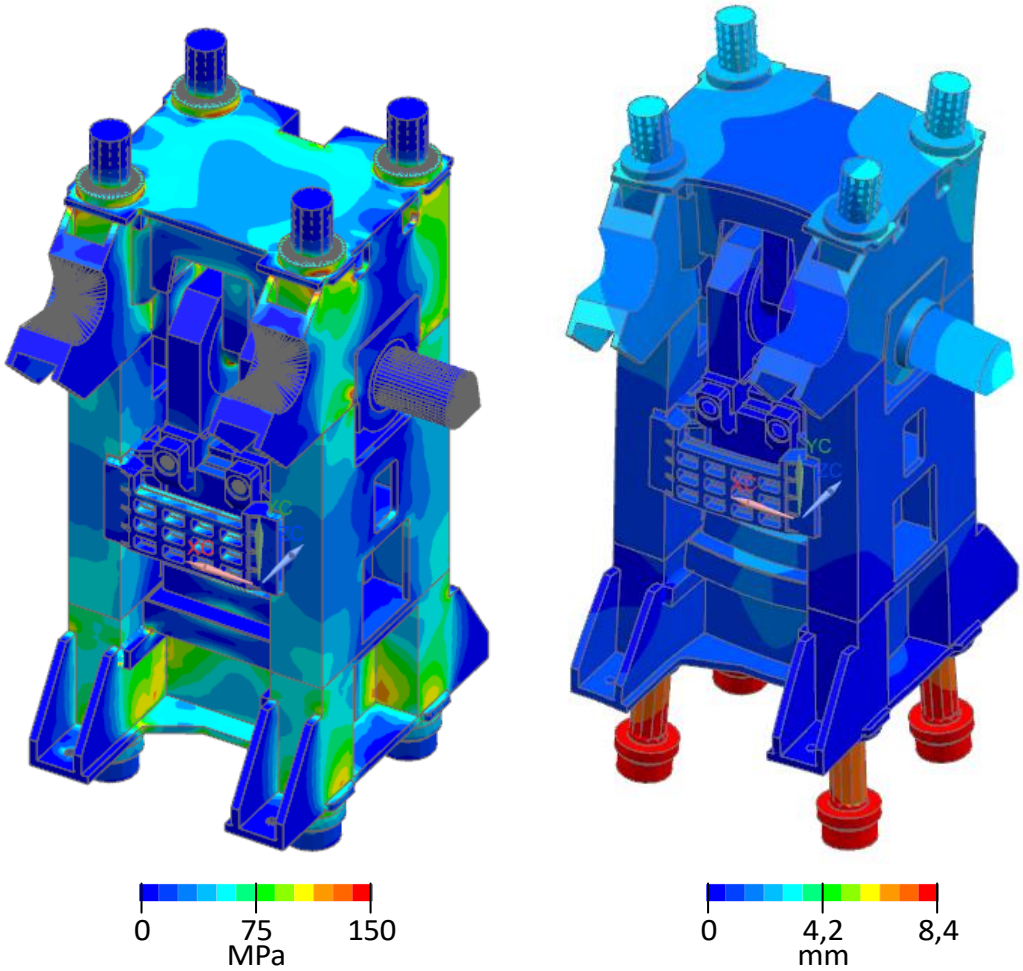
3D zobrazení úpravy horního příčníku



Obr. 51 - Zobrazení konstrukční úpravy návrhu 2

Tato deska je pevně spojena s bočními částmi horního příčníku a od desky horní podepřena dvěma hrazdami. Žebrování výchozí konstrukce je zachováno.

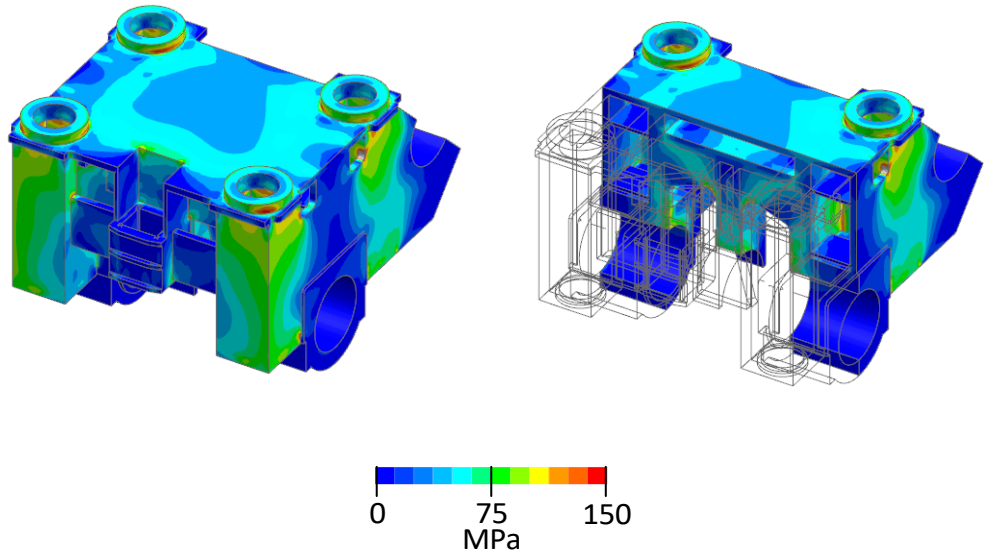
6.3.1 Napěťové a deformační výsledky simulace



Obr. 52 - Zprůměrované redukované napětí (vlevo) Celkové posunutí (vpravo)

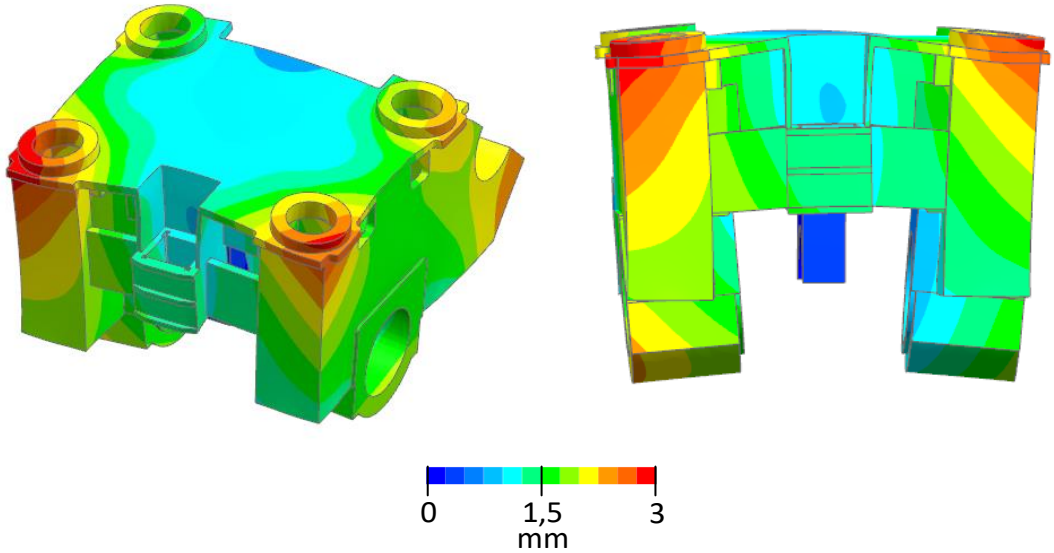
Horní příčník

Průběh napětí na horním příčníku



Obr. 53 - Napětí v horním příčníku

Celkové posunutí horního příčníku



Obr. 54 - Celkové posunutí na horním příčníku

6.3.2 Odečtení reakčních sil

Reakční síly ve vodících plochách beranu

Tabulka 14 - Síly ve vedení beranu návrhu 2

Vodící plocha		2	3	6	7	∑
Síla ve vedení [kN]	Výchozí	603,3	689	769,4	543,6	2605,3
	Návrh 2	624,5	689,9	801,4	532,2	2648
Vylepšení [%]		-3,5	-0,1	-4,2	2,1	**-1,6**

Síly v uložení výstředníkového hřídele v bronzových ložiscích.

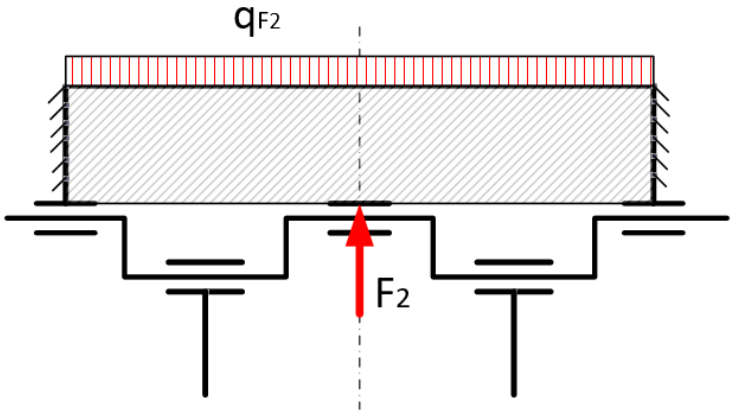
Tabulka 15 - Síly v uložení hřídele návrhu 2

		F_1	F_2	F_3
Síla v ložisku [MN]	Výchozí	19,18	19,57	22,9
	Návrh 2	20,3	17,45	23,94

Z výsledků je patrné, že reakční síla v prostředním ložisku se oproti výchozí konstrukci snížila. Toto snížení však není nijak výrazné. Zároveň však z výsledků plyne, že u tohoto návrhu nedošlo k omezení reakčních sil ve vedení beranu. Nedošlo tedy k omezení problému svírání.

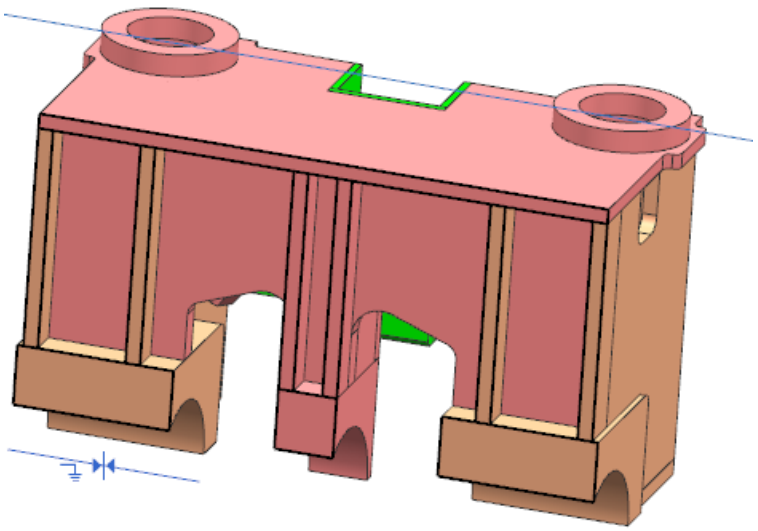
6.4 Návrh 3

Myšlenka návrhu spočívá v rozložení síly působící v prostředním ložisku do horní i bočních desek horního příčníku pomocí žebra procházejícího přes celou šířku horního příčníku. Toto žebro zároveň slouží jako podepření uložení hlavních ložisek.



Obr. 55 - Základní myšlenka návrhu 3

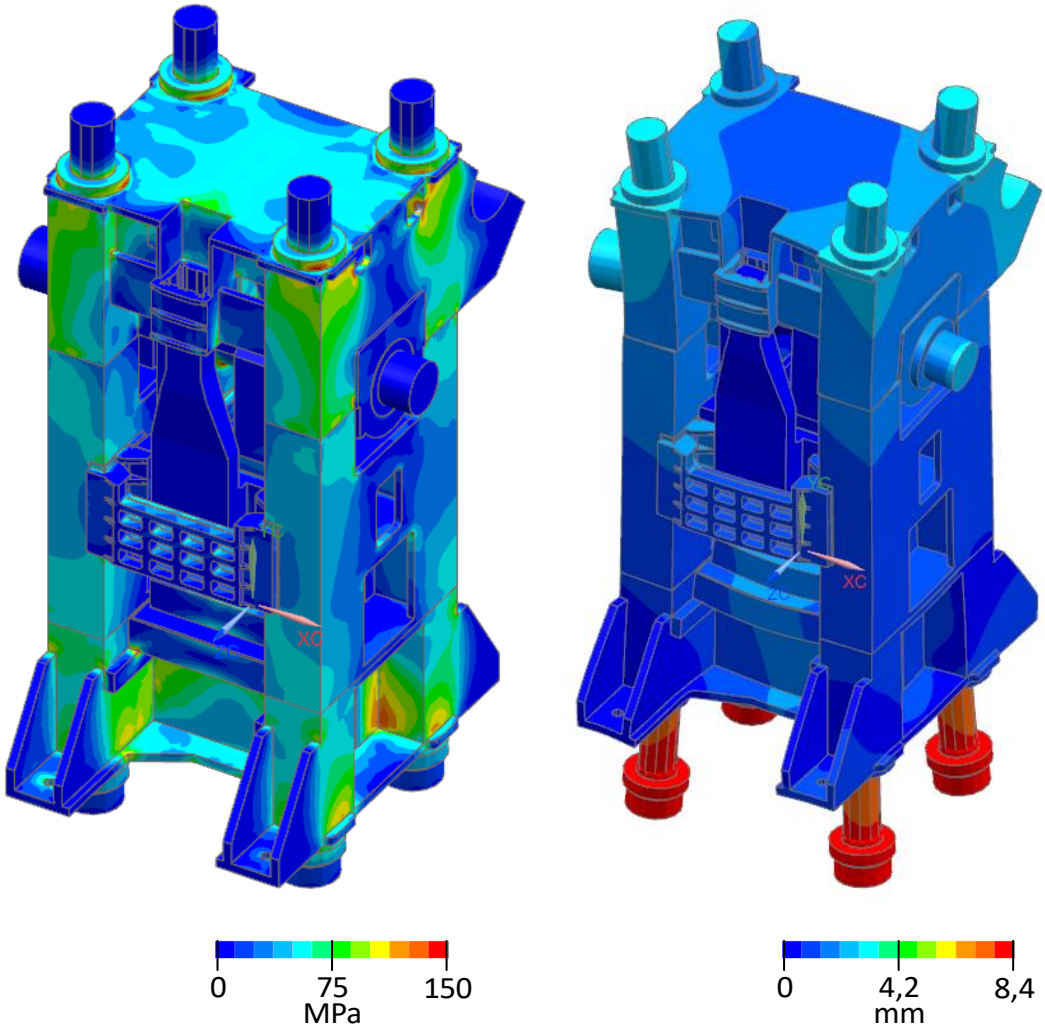
3D zobrazení úpravy horního příčníku



Obr. 56 - Zobrazení konstrukční úpravy návrhu 3

V tomto návrhu bylo střední příčné žebro podepírající prostřední ložisko prodlouženo až do krajní části horního příčníku. Touto konstrukční úpravou by mělo být zajištěno rozložení reakční síly v prostředním ložisku do větší plochy horní desky a do krajních částí horního příčníku. Toto žebro zároveň slouží jako podpěra uložení hlavních ložisek.

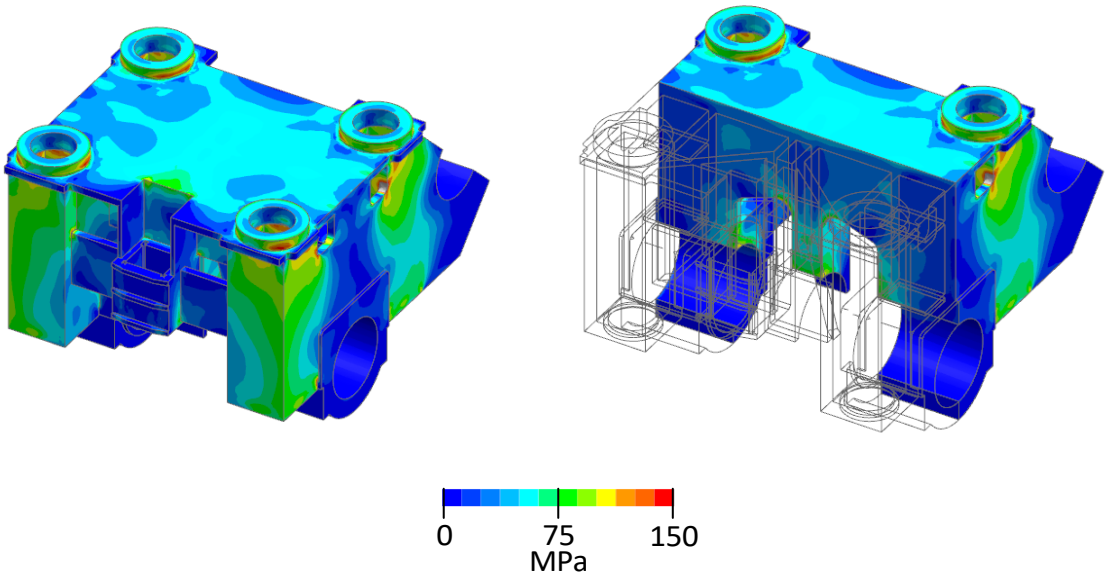
6.4.1 Napěťové a deformační výsledky simulace



Obr. 57 - Zprůměrované redukované napětí (vlevo) Celkové posunutí (vpravo)

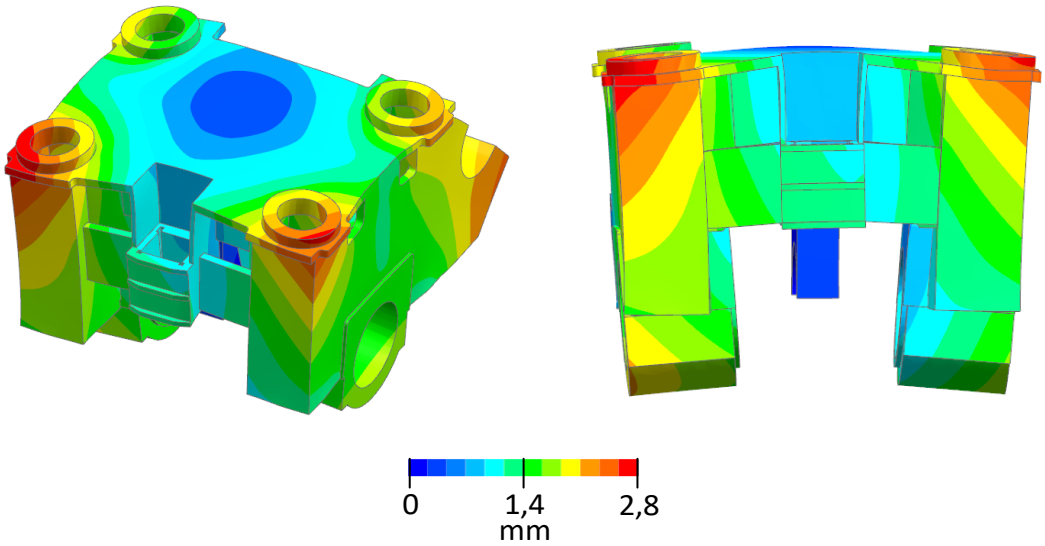
Horní příčník

Průběh napětí na horním příčníku



Obr. 58 - Napětí v horním příčníku

Celkové posunutí horního příčníku



Obr. 59 - Celkové posunutí na horním příčníku

6.4.2 Odečtení reakčních sil

Beran

Tabulka 16 - Síly ve vedení beranu návrhu 3

Vodící plocha		2	3	6	7	∑
Síla ve vedení [kN]	Výchozí	603,3	689	769,4	543,6	2605,3
	Návrh 3	485,4	614,6	752,1	323,6	2175,7
Vylepšení [%]		19,5	10,8	2,2	40,5	16,5

Síly v uložení výstředníkového hřídele v bronzových ložiscích.

Tabulka 17 - Síly v uložení hřídele návrhu 3

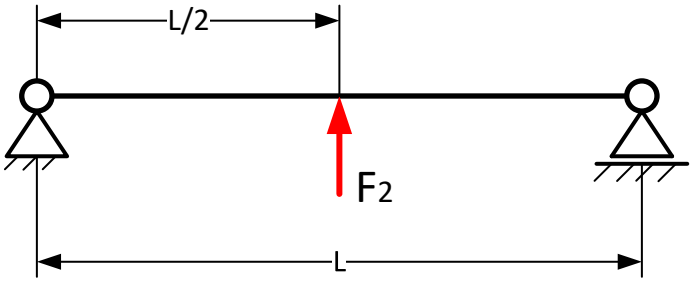
		F_1	F_2	F_3
Síla v ložisku [MN]	Výchozí	19,18	19,57	22,9
	Návrh 3	19,96	19,03	23,4

Z výsledku lze posoudit, že u tohoto návrhu bylo dosaženo přenesení přibližně třetinové reakční síly prostředním ložiskem. Zároveň se u tohoto návrhu podařilo snížit reakční síly ve vedení beranu a tím tedy jev svírání asi o 17%.

6.5 Návrh 4 - s vloženou deformační příčkou

Základní myšlenka této změny v konstrukci spočívá v přenesení síly působící v prostředním ložisku do krajních částí horního příčníku pomocí deformační příčky. Předpoklad je takový, že příčka bude navržena způsobem, který zajistí uložení prostředního ložiska přibližně stejně tuhé jako ve výchozí konstrukci. Tím pádem bude přes prostřední ložisko a zároveň deformační příčku přenášena část reakční síly, působící od klikového hřídele do rámu lisu, zhruba stejně velká jako ve výchozí konstrukci.

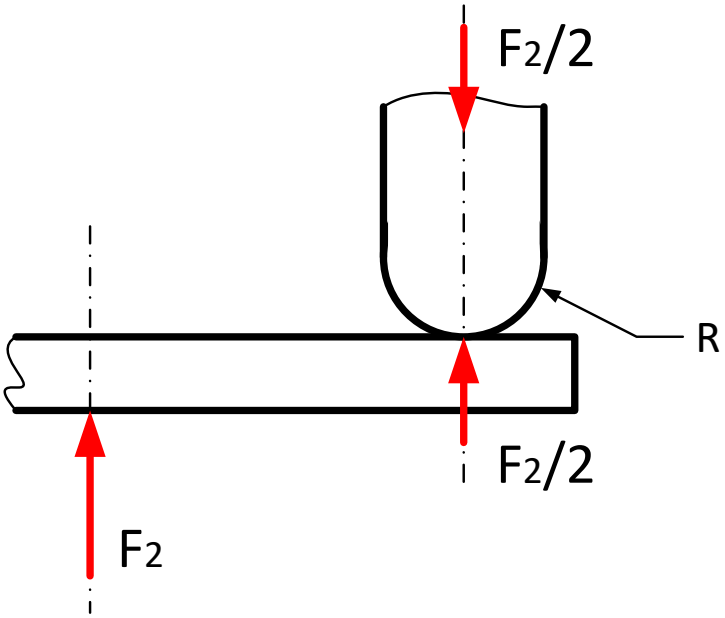
Vložená deformační příčka



Obr. 60 - Deformační příčka

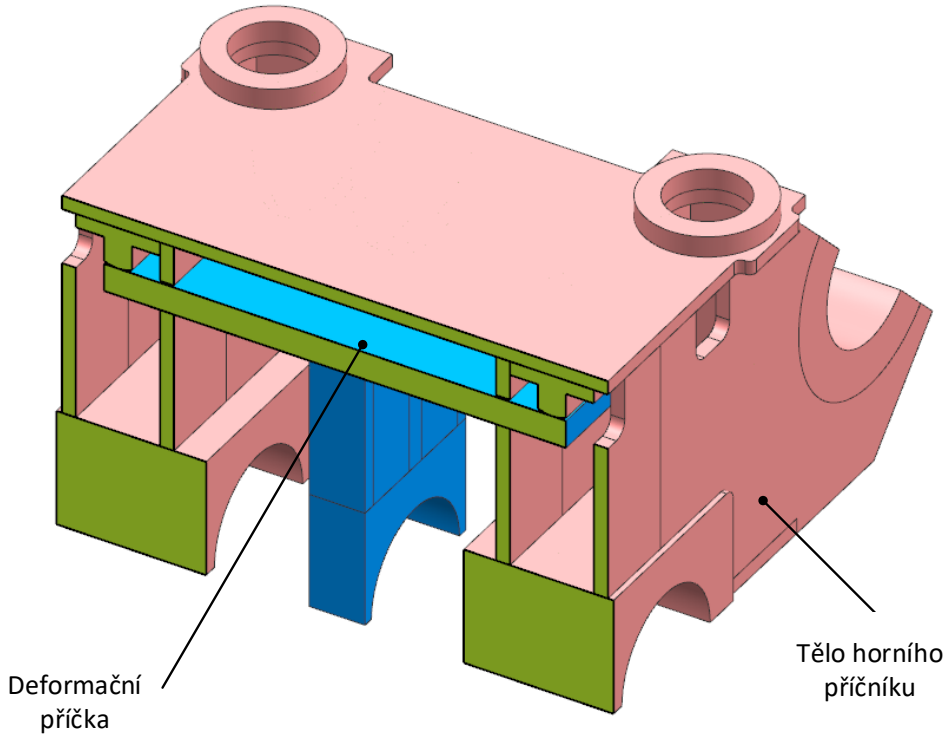
6.5.1 Ideální uložení příčky

Vložená příčka tedy bude zkonstruována pro omezenou tuhost uložení prostředního ložiska jako ve výchozí konstrukci a bude deformována přenášenou reakční silou. Její uložení v horním příčníku však musí být takové, aby ovlivnění ostatních částí horního příčníku od této deformace bylo minimální. Z tohoto důvodu je navrženo uložení deformační příčky s možností naklopení.



Obr. 61 - Ideální uložení příčky

3D zobrazení horního příčníku



Obr. 62 – Vložená deformační příčka

Takovýto způsob uložení deformační příčky udává předpoklad zvýšeného tlaku v oblasti kontaktu příčky a její podpěry. Proto je proveden výpočet Hertzova kontaktního tlaku v daném místě.

6.5.2 Hertzova teorie kontaktu

V některých technických a fyzikálních oblastech se objevuje problém určení posunu a napětím ovlivněné oblasti dvou těles, které jsou v kontaktu. Tímto problémem se jako první začal zabývat německý vědec Heinrich Rudolf Hertz, který v roce 1882 zformuloval analytické řešení pro kontakt dvou hladkých nekonformních těles, které se mohou deformovat pouze elasticky. (14)

Předpoklady Hertzovy teorie: (14)

- Materiál je isotropní a homogenní
- V oblasti deformace platí Hookův zákon
- Kontaktní plochy jsou stejně velké
- Materiály mají podobné mechanické vlastnosti
- Tvar kontaktu je elipsa
- Kontaktní povrh má konstantní zakřivení
- Kontaktní plocha je malá ve srovnání s ostatními rozměry

Výpočet tlaku mezi vloženou deformační příčkou a její podpěrou v případě ideálního uložení příčky:

Dle vztahu uvedeném v přednášce prof. Hosnedla:

Tlak v kontaktu:

$$p_{Hos} = \sqrt{\frac{6}{\pi \cdot (1-\mu)} \cdot \frac{F \cdot E}{D \cdot l_{st}}} \tag{15}$$

kde: síla působící v místě styku $F = \frac{F_2}{2} = \frac{F_j}{6}$

jmenovitá síla $F_j = 65MN$

modul pružnosti materiálu $E = 210\,000\ MPa$

poloměr podpěry $R = 250mm$

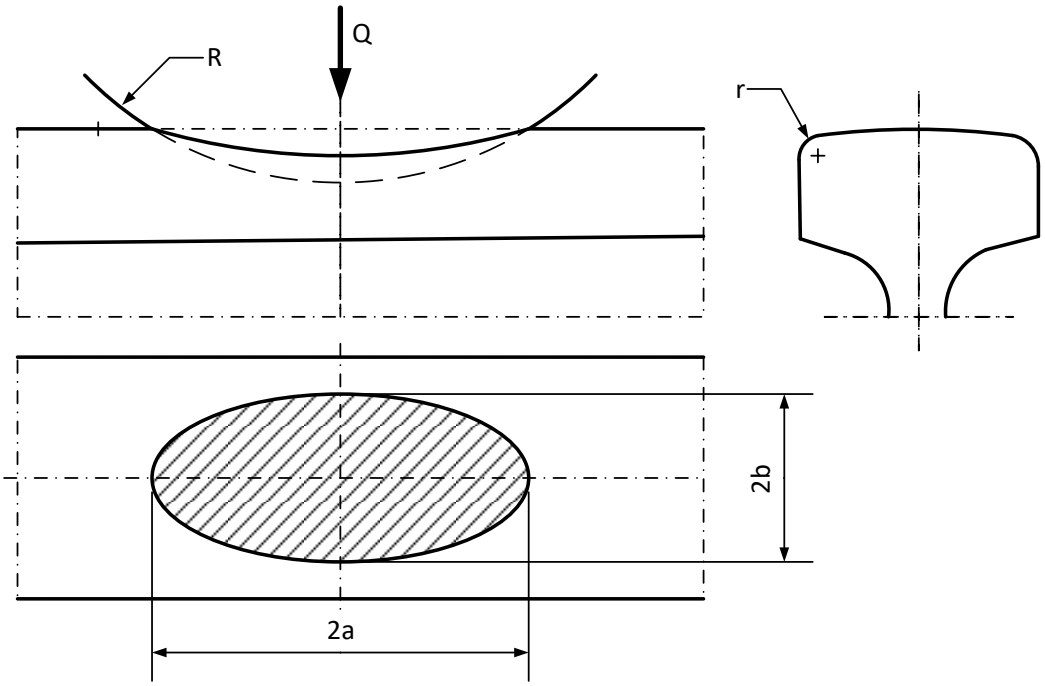
průměr podpěry $D = 2 \cdot R = 500mm$

délka styku mezi příčkou a podporou $l_{st} = 1880mm$

Poissonova konstanta pro ocel $\mu = 0{,}3$

$$p_{Hos} = \sqrt{\frac{6}{\pi \cdot (1-\mu)} \cdot \frac{\frac{F_j}{6} \cdot E}{D \cdot l_{st}}} = \sqrt{\frac{F_j \cdot E}{\pi \cdot (1-\mu) \cdot D \cdot l_{st}}} = \sqrt{\frac{65\,000\,000 \cdot 210\,000}{\pi \cdot (1-0{,}3) \cdot 500 \cdot 1880}} = 2570MPa$$

Dle vztahu sloužícího pro výpočet kontaktního tlaku mezi kolem a kolejnicí:



Obr. 63 – Výpočet Hertzova tlaku na kolejnici

Tlak v kontaktu

$$p_{kol} = \frac{3}{2} \cdot \frac{Q}{\pi \cdot a \cdot b} \tag{16}$$

kde: svislé zatížení stykové plošky $Q = \frac{F_2}{2} = \frac{F_j}{6}$

jmenovitá síla $F_j = 65MN$

rozměrové parametry stykové plochy a,b: $a = \frac{l_{st}}{2};\ b = \beta \cdot X$

délka styku mezi příčkou a podporou $l_{st} = 1880mm$

konstant, β závislá na poměru poloměrů $R\ a\ r$: $\beta = 0{,}568$

poloměr kola $R = \infty$

poloměr kolejnice $r = 250mm$

$$X = 2{,}3665 \cdot 10^{-3} \sqrt{\frac{Q}{\frac{1}{R} + \frac{1}{r}}} = 2{,}3665 \cdot 10^{-3} \sqrt{\frac{F_j}{6 \cdot \left(\frac{1}{R} + \frac{1}{r}\right)}} = 2{,}3665 \cdot 10^{-3} \sqrt{\frac{65\,000\,000}{6 \cdot \left(0 + \frac{1}{0{,}25}\right)}}$$
$$= 3{,}895mm$$

$$a = \frac{l_{st}}{2} = \frac{1880}{2} = 940mm;\ b = \beta \cdot X = 0{,}568 \cdot 3{,}895 = 2{,}212mm$$

$$p_{kol} = \frac{3}{12} \cdot \frac{F_j}{\pi \cdot a \cdot b} = \frac{3}{12} \cdot \frac{65\,000\,000}{\pi \cdot 940 \cdot 2{,}212} = 2488MPa$$

Dle vztahu uvedeného v Höschlově publikaci

Tlak v kontaktu

$$p_{pub} = 0{,}591\sqrt{\frac{q \cdot E}{D}} \tag{17}$$

kde: modul pružnosti materiálu $E = 210\,000\ MPa$

síla připadající na jednotku délky $q = \frac{F_j}{6 \cdot l_{st}} = \frac{65\,000\,000}{6 \cdot 1880} = 5\,762\,\frac{N}{mm}$

jmenovitá síla $F_j = 65MN$

délka styku mezi příčkou a podporou $l_{st} = 1880mm$

poloměr podpěry $R = 250mm$

průměr podpěry $D = 2 \cdot R = 500mm$

$$p_{pub} = 0{,}591\sqrt{\frac{q \cdot E}{D}} = 0{,}591\sqrt{\frac{5\,762 \cdot 210\,000}{500}} = 919\ MPa$$

šířka stykové plochy $b = 2{,}15\sqrt{\frac{q}{E} \cdot D} = 2{,}15\sqrt{\frac{5\,762}{210\,000} \cdot 500} = 7{,}96\ mm$ (17)

Dle vztahu uvedeném v přednášce Doc. Staňka

$$p_{St} = 0{,}418\sqrt{\frac{F \cdot E}{R \cdot l_{st}}} \tag{18}$$

kde: síla působící v místě styku $F = \frac{F_2}{2} = \frac{F_j}{6}$

jmenovitá síla $F_j = 65MN$

modul pružnosti materiálu $E = 210\,000\ MPa$

poloměr podpěry $R = 500\ mm$

délka styku mezi příčkou a podporou $l_{st} = 1880\ mm$

$$p_{St} = 0{,}418\sqrt{\frac{F_j \cdot E}{6 \cdot R \cdot l_{st}}} = 0{,}418\sqrt{\frac{65\,000\,000 \cdot 210\,000}{6 \cdot 250 \cdot 1880}} = 920\ MPa$$

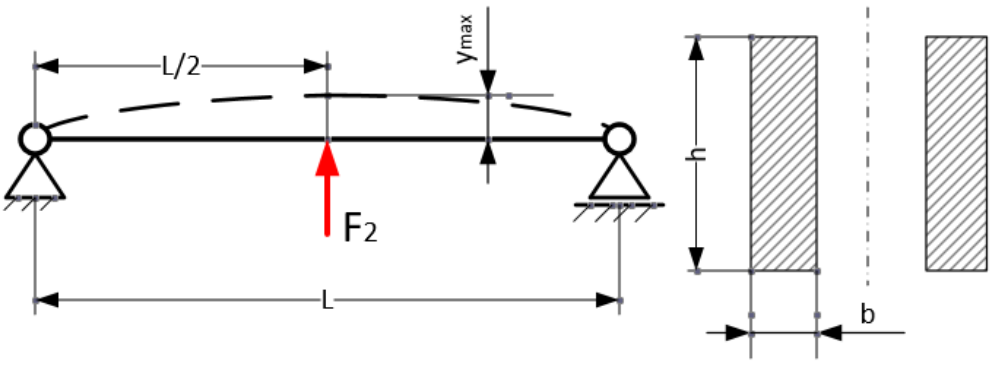
Z výpočtu Hertzova tlaku v kontaktu příčky a její podpěry je zřejmé, že se výsledky výpočtu dle různých zdrojů liší pouze numericky. Rozhodnutí o vhodnosti tohoto řešení je dle všech výpočtů stejné. Všechny výpočty vykazují v kontaktu tlak mnohonásobně vyšší než by bylo přípustné, proto nelze návrh takovýmto způsobem uskutečnit.

6.6 Úprava návrhu

Deformační příčka ve formě desky je nahrazena dvěma deformačními hranoly uloženými na válcových plochách horního příčníku. Průřez deformačních hranolů je volen tak, aby byla deformace středního ložiska blízká té u výchozího modelu.

6.6.1 Výpočet průřezu hranolů

Posunutí prostředního ložiska ve svislém směru při zatížení (odečteno z MKP výpočtu výchozí konstrukce) $y_c = 0{,}98\ mm$



Obr. 64 - Zjednodušené zobrazení příčky (19)

požadovaná deformace $y_{max} = \frac{F \cdot l^3}{48 \cdot E \cdot I} = y_c$ (19)

kde: modul pružnosti materiálu $E = 210\,000\ MPa$

zatěžující síla $F = \frac{F_2}{2} = \frac{F_j}{6}$; jmenovitá síla $F_j = 65 MN$

délka příčky $l = 3100\ mm$

šířka příčky $b = 350\ mm$

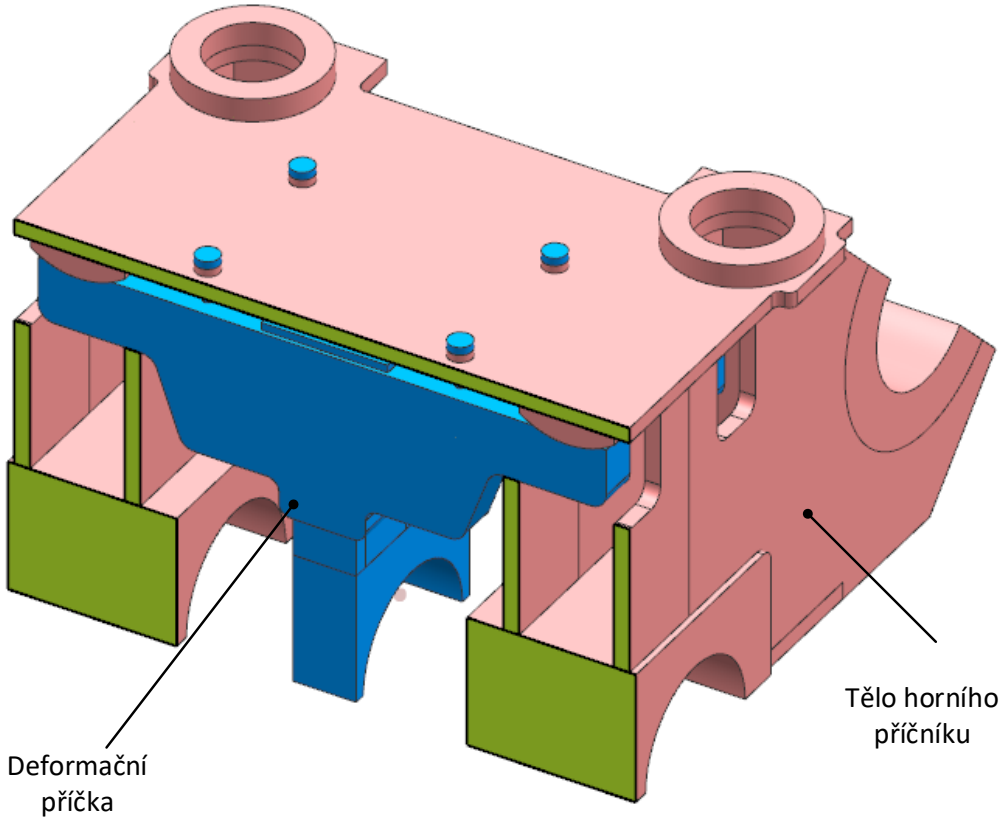
kvadratický moment průřezu $I = \frac{b \cdot h^3}{12}$ (19)

$$\frac{F \cdot l^3}{48 \cdot E \cdot I} = y_c$$

$$\frac{12 \cdot F \cdot l^3}{48 \cdot E \cdot b \cdot h^3} = y_c$$

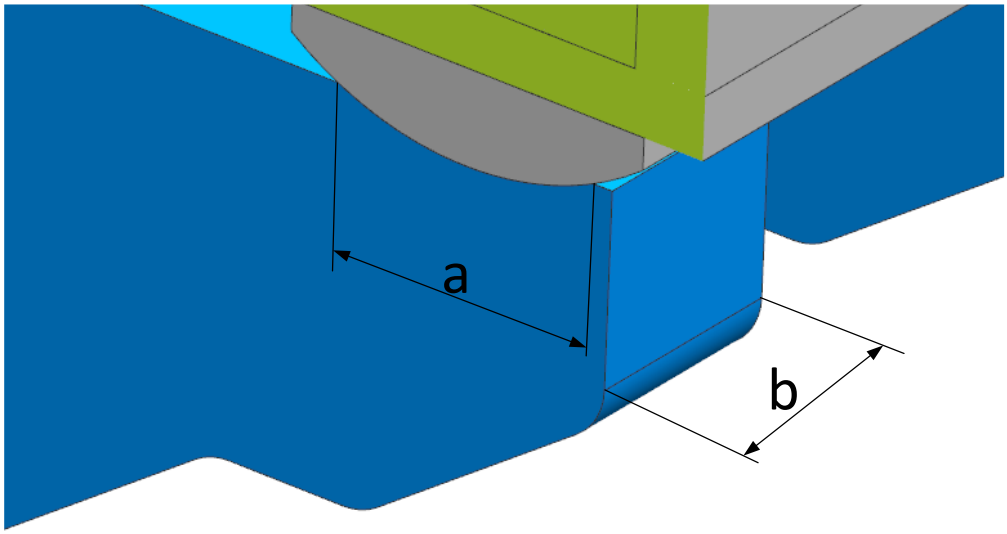
$$h = \sqrt[3]{\frac{F_j \cdot l^3}{24 \cdot E \cdot b \cdot y_c}} = \sqrt[3]{\frac{65\,000\,000 \cdot 3100^3}{24 \cdot 210\,000 \cdot 350 \cdot 0{,}98}} = 1252\ mm$$

3D zobrazení úpravy horního příčníku



Obr. 65 - Zobrazení konstrukční úpravy návrhu 4

6.6.2 Tlak ve válcových plochách



Obr. 66 - Místo kontaktu deformační příčky a horního příčníku

$$p = \frac{F}{S} \leq p_d$$

kde: zatěžující síla $F = \frac{F_2}{4} = \frac{F_j}{12}$; jmenovitá síla $F_j = 65MN$

styková plocha $S = a \cdot b$

šířka příčky $b = 350\ mm$

délka styku $a = 436\ mm$

materiál kontaktních ploch - ocel 16 240

zvolen dovolený tlak $p_d = 70\ MPa$

$$p = \frac{F}{S} = \frac{F_j}{12 \cdot a \cdot b} = \frac{65\,000\,000}{12 \cdot 436 \cdot 350} = 35{,}5\ MPa$$

$$p \leq p_d \Rightarrow \ vyhovuje$$

6.6.3 Výpočet šroubů fixujících deformační příčku

Tah ve šroubu

$$\sigma_t = \frac{Q}{4 \cdot S_j} \leq \sigma_d$$

kde: tíhová síla deformační příčky $Q = m_p \cdot g$

hmotnost deformační příčky $m_p = 20\,563\ kg$

gravitační zrychlení $g = 9{,}81\ \mathrm{m \cdot s^{-2}}$

plocha průřezu těla šroubu $S_j = \frac{\pi \cdot {d_3}^2}{4}$

zvolen šroub M52 8.8 s malým průměrem závitu $d_3 = 45{,}866mm$ (19)

dovolené namáhání materiálu šroubu $\sigma_d = \frac{R_e}{k} = \frac{640}{3} = 213{,}3\ MPa$

mez kluzu materiálu šroubu $R_e = 640\ MPa$ (19)

bezpečnost proti mezi kluzu $k = 3$

$$\sigma_t = \frac{m_p \cdot g}{\pi \cdot {d_3}^2} = \frac{20\,563 \cdot 9{,}81}{\pi \cdot 45{,}866^2} = 30{,}52\ MPa$$

$$\sigma_t \leq \sigma_d \Rightarrow vyhovuje$$

Tlak v závitech

$$p = \frac{Q}{n \cdot S_z} \leq p_d$$

kde: tíhová síla deformační příčky $Q = m_p \cdot g$

hmotnost deformační příčky $m_p = 20\,563\ kg$

gravitační zrychlení $g = 9{,}81\ \frac{N}{kg}$

plocha závitu $S_z = \pi \cdot d_2 \cdot H_1$

střední průměr závitu $d_2 = 48{,}752\ mm$ (19)

nosná hloubka závitu $H_1 = 5{,}413\ mm$ (19)

počet nosných závitů $n = 3$

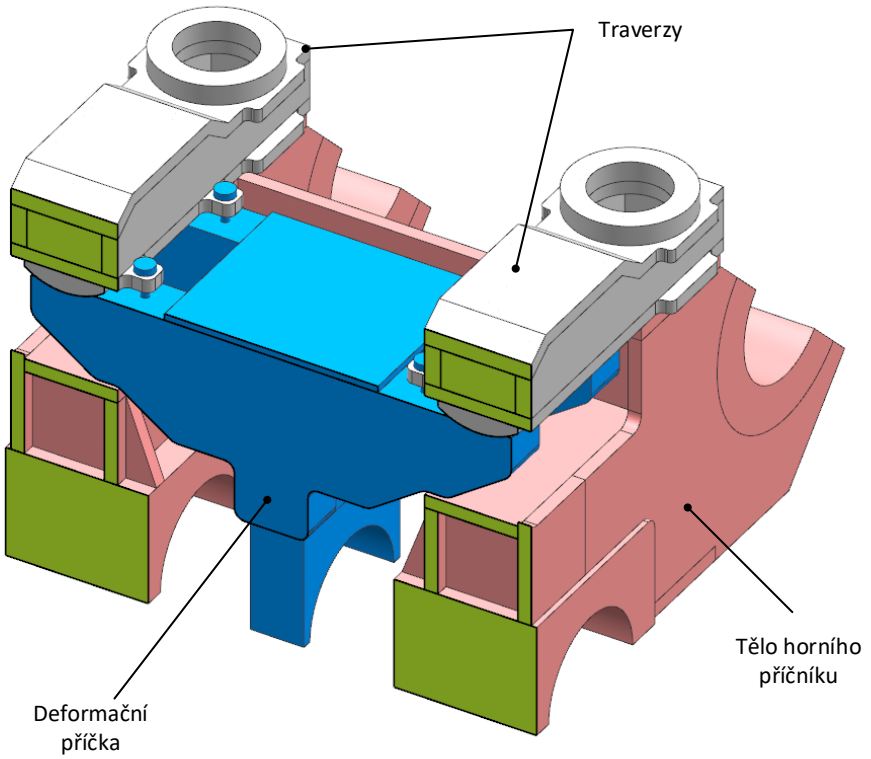
dovolený tlak v závitech $p_d = 150\ MPa$ (19)

$$p = \frac{m_p \cdot g}{n \cdot \pi \cdot d_2 \cdot H_1} = \frac{20\,563 \cdot 9{,}81}{3 \cdot \pi \cdot 48{,}752 \cdot 5{,}413} = 81{,}1\ MPa$$

$$p \leq p_d \Rightarrow vyhovuje$$

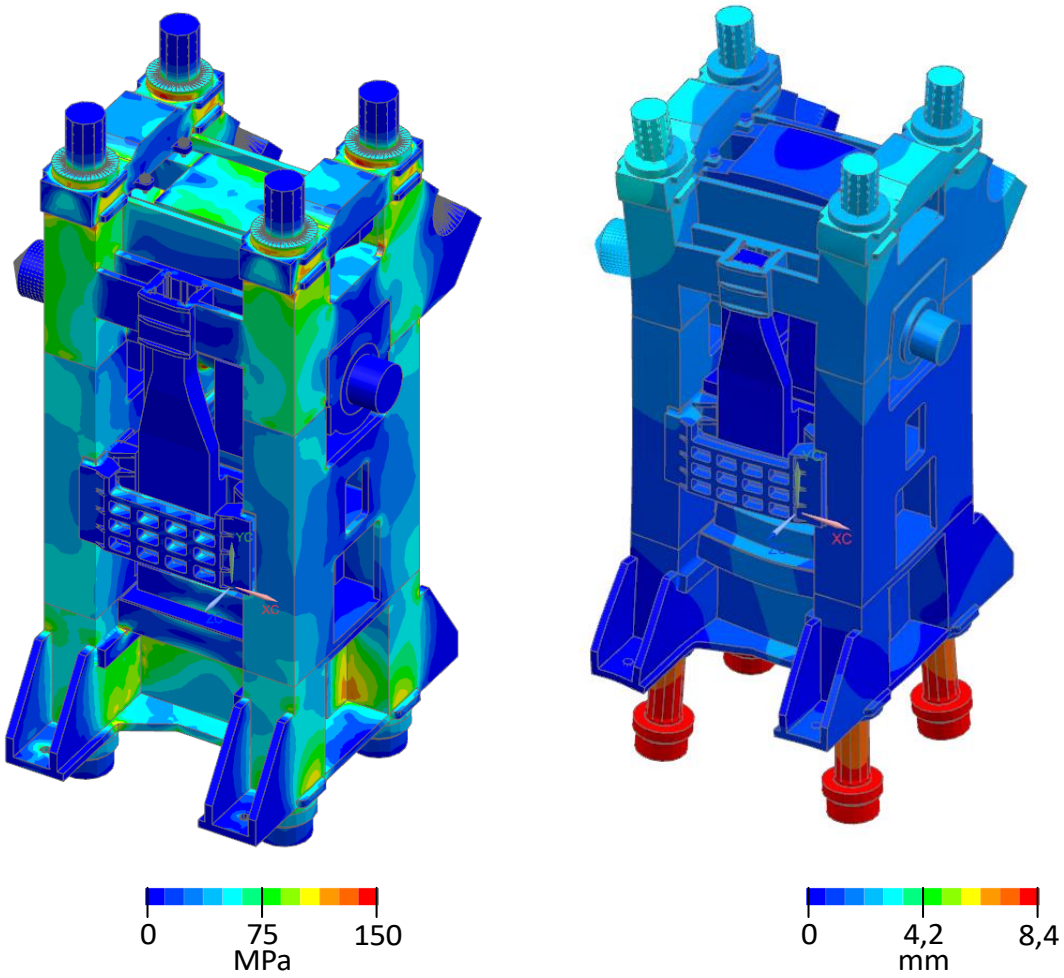
V tomto konstrukčním řešení je problém hlavně ve smontovatelnosti a rozebiratelnosti. Protože je předpokládáno, že je horní deska pevně svařena s bočními částmi příčníku, bylo by nutné nejprve do příčníku vložit uložení prostředního ložiska s deformačními hranoly a poté umístit horní desku a vytvořit svarové spojení, což by bylo problematické. Zároveň by nebylo možné v případě potřeby horní příčník rozebrat. Proto byla v konstrukci horního příčníku provedena další úprava a to taková, že byla horní deska nahrazena dvěma samostatnými traverzami.

3D zobrazení finální úpravy horního příčníku



Obr. 67 – Zobrazení finální úpravy návrhu 4

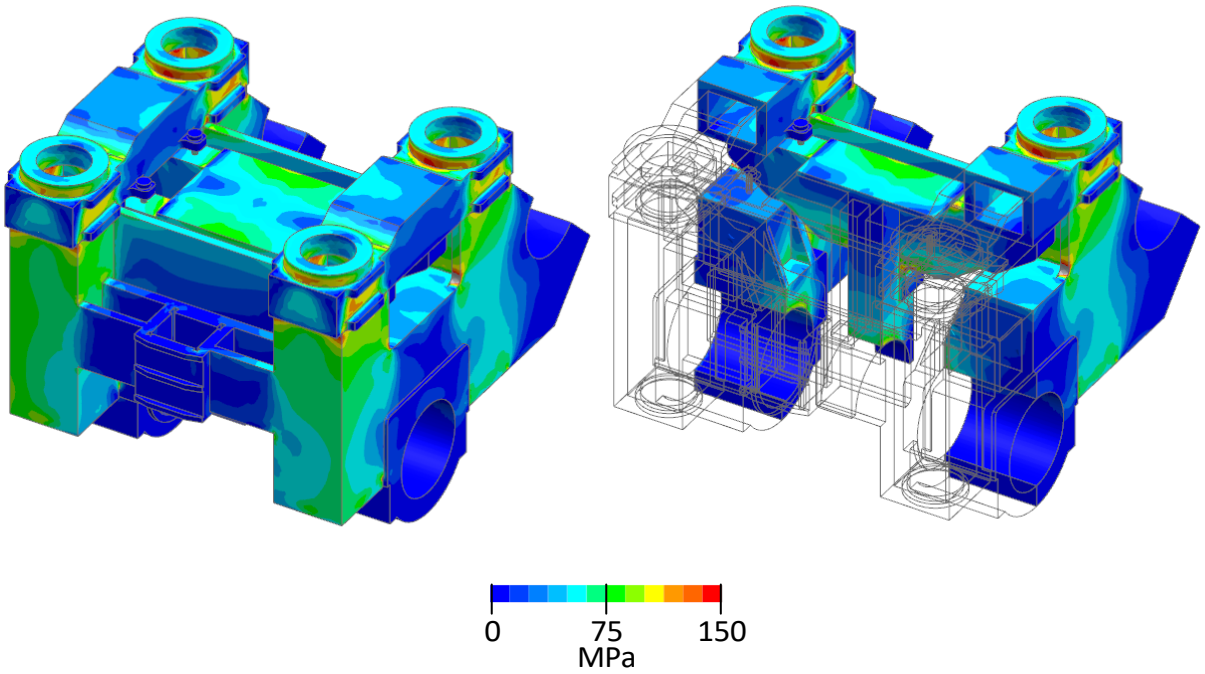
6.6.4 Napěťové a deformační výsledky simulace



Obr. 68 - Zprůměrované redukované napětí (vlevo) Celkové posunutí (vpravo)

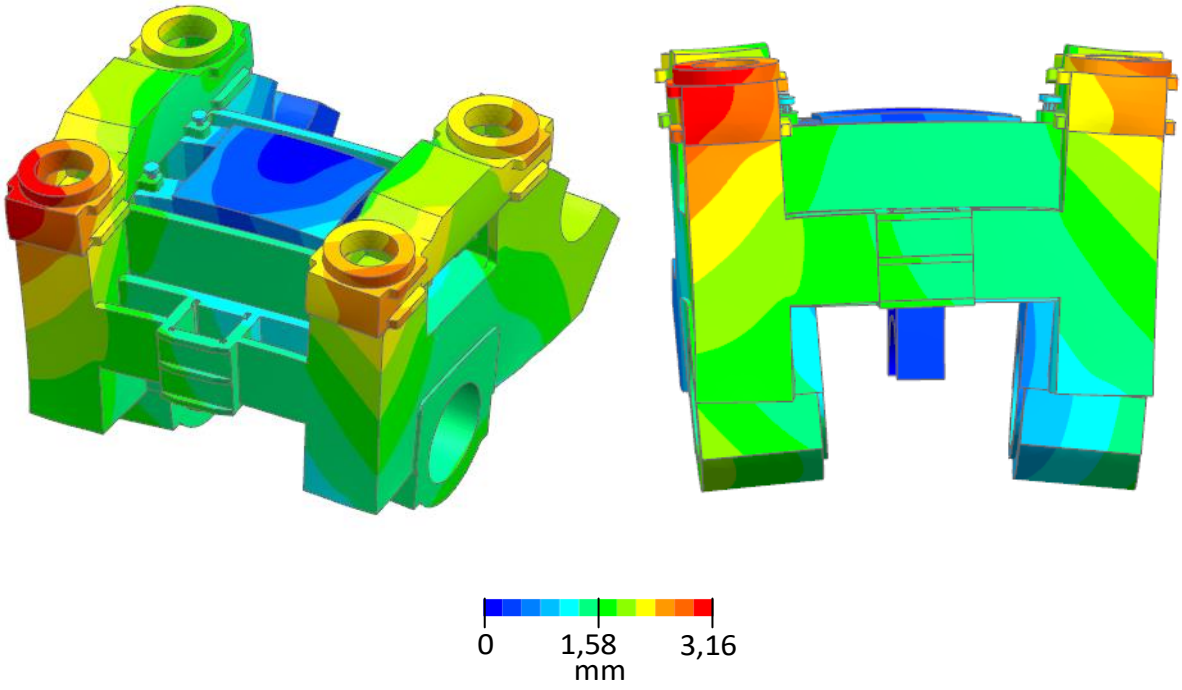
Horní příčník

Průběh napětí na horním příčníku



Obr. 69 - Napětí v horním příčníku

Celkové posunutí horního příčníku



Obr. 70 - Celkové posunutí na horním příčníku

6.6.5 Odečtení reakčních sil

Reakční síly ve vodících plochách beranu

Tabulka 18 - Síly ve vedení beranu návrhu 4

Vodící plocha		2	3	6	7	∑
Síla ve vedení [kN]	Výchozí	603,3	689	769,4	543,6	2605,3
	Návrh 4	308,2	431,8	450,2	356,6	1546,8
Vylepšení [%]		48,9	37,3	41,5	34,4	**40,6**

Síly v uložení výstředníkového hřídele v bronzových ložiscích.

Tabulka 19 - Síly v uložení hřídele návrhu 4

		F_1	F_2	F_3
Síla v ložisku [MN]	Výchozí	19,18	19,57	22,9
	Návrh 4	19,63	18,42	23,7

Z výsledků výpočtu lze u tohoto návrhu usoudit, že bylo dosaženo přenesení požadované, přibližně třetinové, reakční síly prostředním ložiskem. Zároveň se podařilo snížit reakční síly ve vedení beranu a tím tedy jev svírání asi o 40%.

7 Diskuze výsledků

Diskuze výsledků je zaměřena na porovnávání výsledků jednotlivých návrhů konstrukce horního příčníku, jejich vlivu na problém svírání a vhodnost jejich použití.

Reakční síly ve vodících plochách beranu

Tabulka 20 – Porovnání sil ve vedení beranu jednotlivých návrhů

Vodící plocha		2	3	6	7	∑
Síla ve vedení [kN]	Výchozí	603,3	689	769,4	543,6	2605,3
	Návrh 0	355,6	307,5	447,9	345,8	1456,5
	Návrh 1	474,5	438,9	475,2	399,3	1787,9
	Návrh 2	624,5	689,9	801,4	532,2	2648
	Návrh 3	485,4	614,6	752,1	323,6	2175,7
	Návrh 4	308,2	431,8	450,2	356,6	**1546,8**

Reakční síly v ložiscích mezi výstředníkovým hřídelem a horním příčníkem

Tabulka 21 – Porovnání sil v uložení výstředníkového hřídele jednotlivých návrhů

		F_1	F_2	F_3
Síla v ložisku [MN]	Výchozí	19,18	19,57	22,9
	Návrh 0	29,59	0	33,32
	Návrh 1	23,05	10,42	27,46
	Návrh 2	20,3	17,45	23,94
	Návrh 3	19,96	19,03	23,4
	Návrh 4	19,63	18,42	23,7

Jako návrh 0 byla využita výchozí konstrukce horního příčníku pouze s úpravou odstranění prostředního ložiska. Tento návrh byl vyhotoven v návaznosti na porovnání konkurenčních řešení, a také z důvodu posouzení vlivu deformace, vzniklé reakční silou v prostředním ložisku, na jev svírání.

Z výsledků návrhu 0 je možné určit, že odstraněním prostředního podepření výstředníkového hřídele při zachování zbytku výchozí konstrukce, dojde ke snížení síly ve vodících plochách beranu zhruba o 44%. Zbylá část sevření beranu je dána tím, že odstraněním prostředního ložiska došlo k nepříznivému ovlivnění zatížení výstředníkového hřídele. Tím je způsobeno zvětšení deformace výstředníkového hřídele. Tato deformace zapříčiní naklopení hlavních ložisek hřídele. Naklopení hlavních ložisek výstředníkového hřídele způsobí deformaci horního příčníku a tím i celého stojanu lisu. Pro další snížení síly vzniklé při svírání by bylo nutné snížit deformaci výstředníkového hřídele. Změnou zatížení výstředníkového hřídele dojde rovněž k ovlivnění napětí na hřídeli. Redukované napětí v kritickém místě hřídele vzroste asi o 80%. Pro splnění požadavku na zachování bezpečnosti hřídele by bylo nutné výstředníkový hřídel předimenzovat. Tímto předimenzováním by vzrostla jeho hmotnost asi o 50%.

U návrhu 1 bylo myšlenkou přenést reakční sílu v prostředním ložisku do krajních částí pomocí dvou desek uspořádaných do tvaru V. Z výsledků reakčních sil odečtených ve

vedení beranu je patrné, že tímto konstrukčním návrhem došlo ke snížení síly ve vodících plochách beranu asi o 30%. Došlo tedy ke snížení jevu svírání beranu v jeho vedení. Zároveň se však oproti výchozí konstrukci snížila reakční síla v prostředním ložisku. Z toho lze předpokládat, že došlo ke snížení tuhosti uložení prostředního ložiska, a tím zvýšení namáhání hřídele.

U návrhu 2 je myšlenkou přenést reakční sílu v prostředním ložisku do krajních částí pomocí dvou desek jako v předchozím případě, tentokrát však vloženou rovnou deskou podepřenou dvěma hrazdami. Z výsledků je patrné, že reakční síla v prostředním ložisku se oproti výchozí konstrukci snížila. Toto snížení však není nijak výrazné. Zároveň z výsledků plyne, že u tohoto návrhu nedošlo k omezení reakčních sil ve vedení beranu. Nedošlo tedy k omezení problému svírání.

U návrhu 3 bylo myšlenkou rozložení síly působící v prostředním ložisku do horní i bočních desek horního příčníku pomocí žebra procházejícího přes celou šířku horního příčníku. Zároveň pomocí tohoto žebra podepřít uložení hlavních ložisek. Z výsledku lze posoudit, že u tohoto návrhu bylo dosaženo přenesení přibližně třetinové reakční síly prostředním ložiskem. Zároveň se u tohoto návrhu podařilo snížit reakční síly ve vedení beranu a tím tedy jev svírání asi o 17%.

Myšlenka návrhu 4 byla vložit do konstrukce horního příčníku jakousi deformační příčku, která by zajišťovala požadovanou tuhost uložení prostředního ložiska. Je tedy předpoklad, že se tato příčka bude částečně deformovat. Její uložení v horním příčníku je však navrženo tak, aby se její deformace nepřenášela do zbylých částí horního příčníku. Deformační příčka byla nejprve navržena ve formě desky, zde se vyskytl problém v dosažení požadované tuhosti uložení prostředního ložiska a s Hertzovým tlakem v kontaktu s horním příčníkem. Proto byla deska nahrazena dvěma hranoly. Pro zajištění demontovatelnosti deformační příčky byla dále nahrazena horní deska příčníku dvěma samostatnými traverzami. Z výsledků výpočtu lze u tohoto návrhu usoudit, že bylo dosaženo přenesení požadované, přibližně třetinové, reakční síly prostředním ložiskem. Zároveň se podařilo snížit reakční síly ve vedení beranu a tím tedy jev svírání asi o 40%. Z těchto důvodů byl návrh 4 vyhodnocen jako nejlepší navržené řešení.

8 Závěr

Tato práce se zabývá mechanickými kovacími lisy. Konkrétně je práce zaměřena na nově vyvíjený kovací lis typu LKMK řešený ve spolupráci se společností Šmeral Brno a.s.

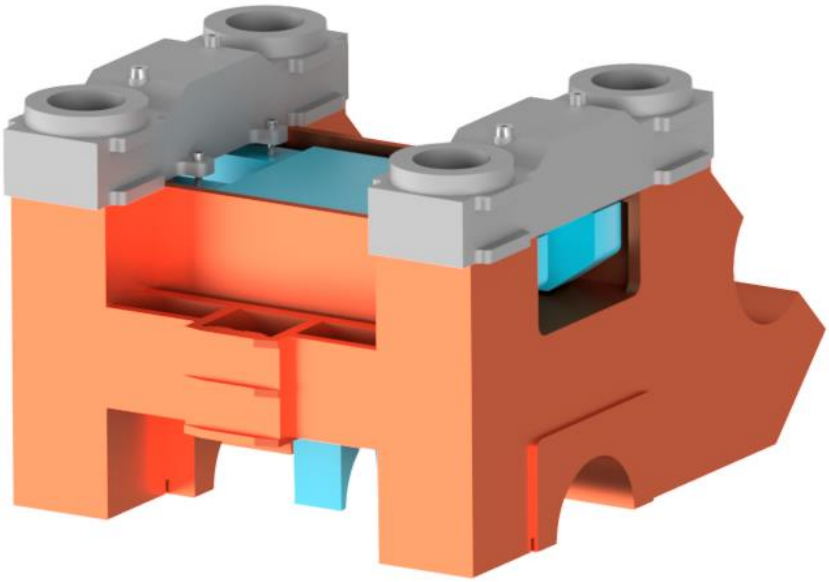
V práci je popsán rozdíl v konstrukci lisu LKMK oproti předchozím typům kovacích lisů společnosti Šmeral Brno a.s. Je zde popsán problém "svírání" beranu v jeho vedení, který je s touto změnou spojený a navrženy možné způsoby řešení tohoto problému. Pro další řešení je zvolena **změna v konstrukci horního příčníku**. Tento možný způsob je dále rozpracováván a jsou uvedeny konstrukční návrhy řešení pro omezení zmiňovaného problému.

Jako výchozí konstrukce je v práci vybrána jedna z posledních vývojových variant lisu LKMK 6500. Na této výchozí konstrukci byla provedena napěťově deformační simulace pomocí MKP výpočtu v softwaru NX. Z výsledků byly odečteny reakční síly ve vedení beranu, které jsou způsobeny právě svíráním beranu ve vedení a síly v ložiscích výstředníkového hřídele. Hodnoty těchto sil byly dále porovnávány s konstrukčními návrhy.

V další části práce byly vyhotoveny 4 konstrukční návrhy. U těchto návrhů byla rovněž provedena napěťově deformační simulace pomocí MKP výpočtu a odečteny reakční síly ve stejných místech jako u výchozí konstrukce. Tyto návrhy byly právě pomocí odečtených reakčních sil porovnány s výchozí konstrukcí a byly posouzeny jejich přínosy v řešením problému svírání.

Jako nejlepší návrh byla, z porovnání výsledků reakčních sil, vyhodnocena finální varianta **návrhu 4**. Této varianty bylo dosaženo postupným vývojem prvotní myšlenky vložené deformační příčky uložené tak, aby její deformace neovlivnila ostatní části horního příčníku. U tohoto návrhu došlo ke snížení celkové reakční síly ve vedení beranu oproti výchozí konstrukci přibližně o 40% při splnění požadavku zachování přenesení přibližně třetinové reakční síly v prostředním ložisku (F_2). Snížení sil ve vedení beranu zapříčiní snížení ztrát energie právě ve vedení beranu a prodloužení životnosti těchto vodících ploch.

Dále byla zpracována částečná výkresová dokumentace.



Obr. 71 - Horní příčník návrhu 4

Použité zdroje

1. Šmeral Brno a.s. *smeral.cz.* [Online] [Citace: 8. 4 2019.] http://www.smeral.cz/index.html.

2. **Kováč, Andrej a Jenkut, Milan.** *Tvárniace stroje.* Bratislava : ALFA Vydavatelství technické a ekonomické literatury Bratislava, 1979.

3. **Čechura, Milan, Hlaváč, Jan a Staněk, Jiří.** *Konstukce tvářecích strojů.* Plzeň : Západočeská univerzita v Plzni, 2015. ISBN 978-80-261-0513-8.

4. Vřetenový lis pro ražbu mincí. *oldcurrencyexchange.com.* [Online] [Citace: 3. 11 2018.] https://oldcurrencyexchange.com/irish-coins-milled/.

5. vodní hamr. *www.google.com.* [Online] Google. [Citace: 11. 10 2016.] https://www.google.cz/search?q=vodn%C3%AD+hamr&newwindow=1&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjByYHRpNPPAhUJ7hoKHTtODsEQ_AUICCgB&biw=820&bih=744#imgrc=_CCDIW7WVNVEAM%3A.

6. MINSTER. *www.minster.com.* [Online] [Citace: 4. 11 2018.] https://www.minster.com/about/history.

7. Gracesguide. *www.gracesguide.co.uk.* [Online] [Citace: 4. 11 2018.] https://www.gracesguide.co.uk/File:Im190209Pages-Challen.jpg.

8. **Rudolf, Bedřich, Kopecký, Miloslav a kol.** *Tvářecí Stroje Základy stavby a využití.* Praha : SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1985.

9. mmspektrum. *www.mmspektrum.com.* [Online] [Citace: 4. 11 2018.] https://www.mmspektrum.com/clanek/kovaci-lis-pro-zapustkove-kovani.html.

10. Svislé kovací lisy. *www.smeral.cz.* [Online] [Citace: 4. 11 2018.] http://www.smeral.cz/svisle_kovaci_lisy.html.

11. SHI. *www.shi.co.* [Online] [Citace: 6. 11 2018.] http://www.shi.co.jp/stf/english/pro01.html.

12. JING DUANN. *www.jdmcl.com.tw.* [Online] http://www.jdmcl.com.tw/en/FP-1000X-37c.html.

13. SCHULLER. *www.schullergruop.com.* [Online] [Citace: 6. 11 2018.] https://www.schulergroup.com/major/us/index.html.

14. **PAZOUR, MARTIN.** *ANALÝZA ODVALOVÁNÍ ROLNY NA ČEPU TURBODMÝCHADLA.* Brno : VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ, 2013. Diplomová práce.

15. **Hosnedl, Stanislav.** *Části a mechanismy strojů 1.* Západočeská univerzita v Plzni. Plzeň : Katedra konstrukce strojů, 2015. přednáška.

16. **Dostál, Josef a Heller, Petr.** *Kolejová vozidla II.* Plzeň : Západočeská univerzita v Plzni, 2009. ISBN 978-80-7043-641-7.

17. **Hoschl, Ciryl.** *Pružnost a pevnost ve strojírenství.* Praha : SNTL, 1971.

18. **Staněk, Jiří.** *Váločkový podavač.* ZČU v Plzni, Fakulta strojní. Plzeň : Katedra konstrukce strojů. přednáška.

19. **Jan Leinveber, Pavel Vávra.** *Strojnické tabulky.* Úvaly : ALBRA, 2005. 80-7361-011-6.

Seznam obrázků

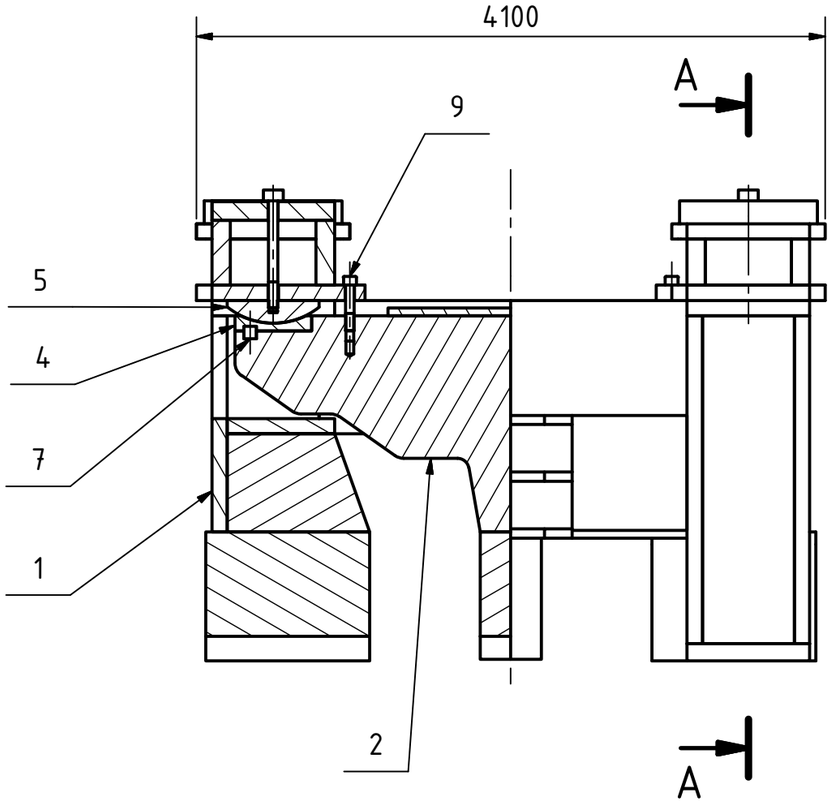
Obr. 1 - Šmeral Brno a.s. (1) 11
Obr. 2 - Produkty společnosti Šmeral Brno a.s. (1) 12
Obr. 3 - Montážní hala Šmeral Brno a.s. (1) 12
Obr. 4 - Schéma klikového lisu 13
Obr. 5 - Princip činnosti klikového lisu 13
Obr. 6 - Jednoduchá mechanická kladiva (3) 14
Obr. 7 - Vřetenový lis pro ražbu mincí (4) 14
Obr. 8 - Vodní hamr (5) 15
Obr. 9 - Nesmythův parní buchar (3) 15
Obr. 10 - Hydraulický lis s ručním pohonem (3) 16
Obr. 11 - Klikový lis společnosti MINSTER (6) 16
Obr. 12 - Klikový lis TAYLOR and CHALLEN (7) 16
Obr. 13 - Výstředníkový kovací lis Šmeral LZK (9) 18
Obr. 14- Průběh síly na výstředníkovém lise 18
Obr. 15 - Kovací lis Šmeral LZK 4000 (vlevo) Kovací lis Šmeral LMZ 1600 (vpravo) (10) 20
Obr. 16 -Kovací lis Šmeral LKMK 8000 (10) 20
Obr. 17 - Schéma kovacího lisu SHI řady FPA (11) 22
Obr. 18 - Kovací lis JING DUANN řady FP-X (vlevo) Kovací lis FP-X – řez (vpravo) (12) 24
Obr. 19 - Kovací lis SCHULER řady MME (13) 26
Obr. 20 - Lis LKMK 27
Obr. 21 - Řez lisem LKMK se zobrazením zatížení klikové hřídele 28
Obr. 22 - Zobecněné schéma deformace stojanu lisu (vlevo) Zobrazení sil působících od technologie a rámu lisu do beranu při svírání (vpravo) 28
Obr. 23 - Vůle ve vedení 29
Obr. 24 - Zvýšení tuhosti horní příčky 29
Obr. 25 - Odstranění prostředního ložiska 30
Obr. 26 - Změna konstrukce horního příčníku 30
Obr. 27 - Výchozí konstrukce – návrh LKMK 6500 31
Obr. 28 - Horní příčník výchozí konstrukce 31
Obr. 29 - Horní příčník výchozí konstrukce - žebra 32
Obr. 30 - Zasíťovaný model výchozí konstrukce 33
Obr. 32 - Zprůměrované redukované napětí (vlevo) Celkové posunutí (vpravo) 35

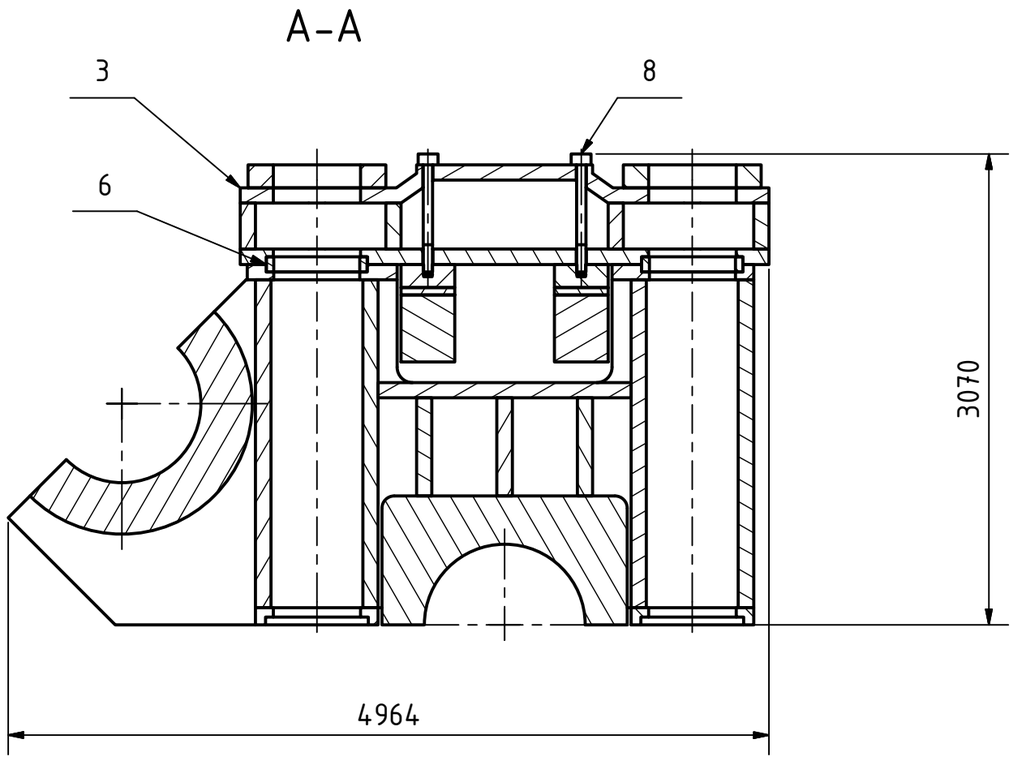
Obr. 33 - Napětí v horním příčníku 36
Obr. 34 - Celkové posunutí na horním příčníku 36
Obr. 35 - Posunutí na stojanu v ose x 37
Obr. 36 - Vedení beranu 37
Obr. 37 - Uložení výstředníkového hřídele 38
Obr. 38 – Schéma návrhu 0 39
Obr. 39 - Zobrazení konstrukce návrhu 0 39
Obr. 40 - Zprůměrované redukované napětí (vlevo) Celkové posunutí (vpravo) 40
Obr. 41 - Napětí v horním příčníku 41
Obr. 42 - Celkové posunutí na horním příčníku 41
Obr. 43 - Základní myšlenka návrhu 1 43
Obr. 44 - Předpokládaná deformace stojanu 1 43
Obr. 45 - Zobrazení konstrukční úpravy návrhu 1 43
Obr. 46 - Zprůměrované redukované napětí (vlevo) Celkové posunutí (vpravo) 44
Obr. 47 - Napětí v horním příčníku 45
Obr. 48 - Celkové posunutí na horním příčníku 45
Obr. 49 - Základní myšlenka návrhu 2 46
Obr. 50 - Předpokládaná deformace stojanu 2 46
Obr. 51 - Zobrazení konstrukční úpravy návrhu 2 47
Obr. 52 - Zprůměrované redukované napětí (vlevo) Celkové posunutí (vpravo) 47
Obr. 53 - Napětí v horním příčníku 48
Obr. 54 - Celkové posunutí na horním příčníku 48
Obr. 55 - Základní myšlenka návrhu 3 49
Obr. 56 - Zobrazení konstrukční úpravy návrhu 3 49
Obr. 57 - Zprůměrované redukované napětí (vlevo) Celkové posunutí (vpravo) 50
Obr. 58 - Napětí v horním příčníku 51
Obr. 59 - Celkové posunutí na horním příčníku 51
Obr. 60 - Deformační příčka 52
Obr. 61 - Ideální uložení příčky 53
Obr. 62 – Vložená deformační příčka 53
Obr. 63 – Výpočet Hertzova tlaku na kolejnici 55
Obr. 64 - Zjednodušené zobrazení příčky (19) 57
Obr. 65 - Zobrazení konstrukční úpravy návrhu 4 58
Obr. 66 - Místo kontaktu deformační příčky a horního příčníku 58
Obr. 67 – Zobrazení finální úpravy návrhu 4 60

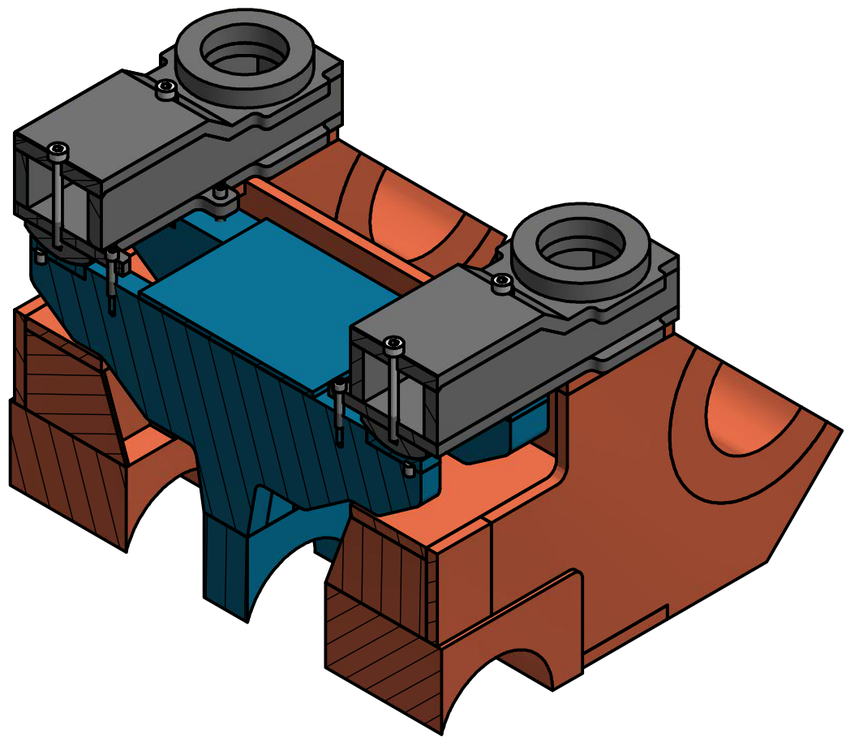
Obr. 68 - Zprůměrované redukované napětí (vlevo) Celkové posunutí (vpravo) 61
Obr. 69 - Napětí v horním příčníku 62
Obr. 70 - Celkové posunutí na horním příčníku 62
Obr. 71 - Horní příčník návrhu 4 66

Seznam tabulek

Tabulka 1 - Svislé kovací lisy Šmeral (10) 19
Tabulka 2 - Kovací lisy SHI (11) 21
Tabulka 3 - Kovací lisy Jing Duann (12) 23
Tabulka 4 - Kovací lisy SCHULER (13) 24
Tabulka 5 - Materiálové vlastnosti 32
Tabulka 6 - Kontaktní dvojice 34
Tabulka 7 - Síly ve vedení beranu výchozí konstrukce 38
Tabulka 8 - Síly v uložení hřídele výchozí konstrukce 38
Tabulka 9 - Síly ve vedení beranu návrhu 0 42
Tabulka 10 - Síly v uložení hřídele návrhu 0 42
Tabulka 11 - Porovnání výstředníkových hřídelí výchozí konstrukce a návrhu 0 42
Tabulka 12 - Síly ve vedení beranu návrhu 1 45
Tabulka 13 - Síly v uložení hřídele návrhu 1 46
Tabulka 14 - Síly ve vedení beranu návrhu 2 48
Tabulka 15 - Síly v uložení hřídele návrhu 2 49
Tabulka 16 - Síly ve vedení beranu návrhu 3 51
Tabulka 17 - Síly v uložení hřídele návrhu 3 52
Tabulka 18 - Síly ve vedení beranu návrhu 4 63
Tabulka 19 - Síly v uložení hřídele návrhu 4 63
Tabulka 20 – Porovnání sil ve vedení beranu jednotlivých návrhů 64
Tabulka 21 – Porovnání sil v uložení výstředníkového hřídele jednotlivých návrhů 64





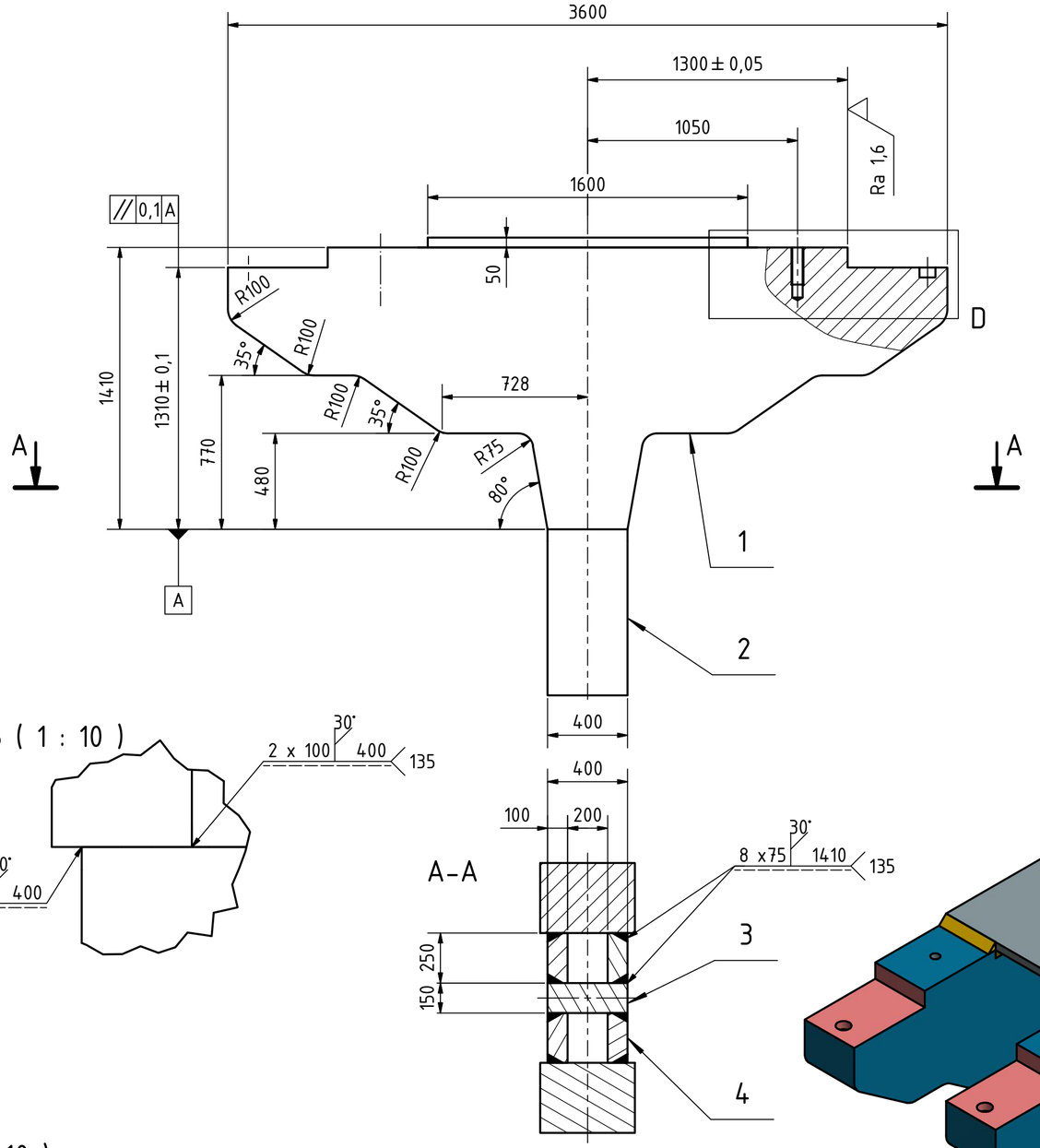


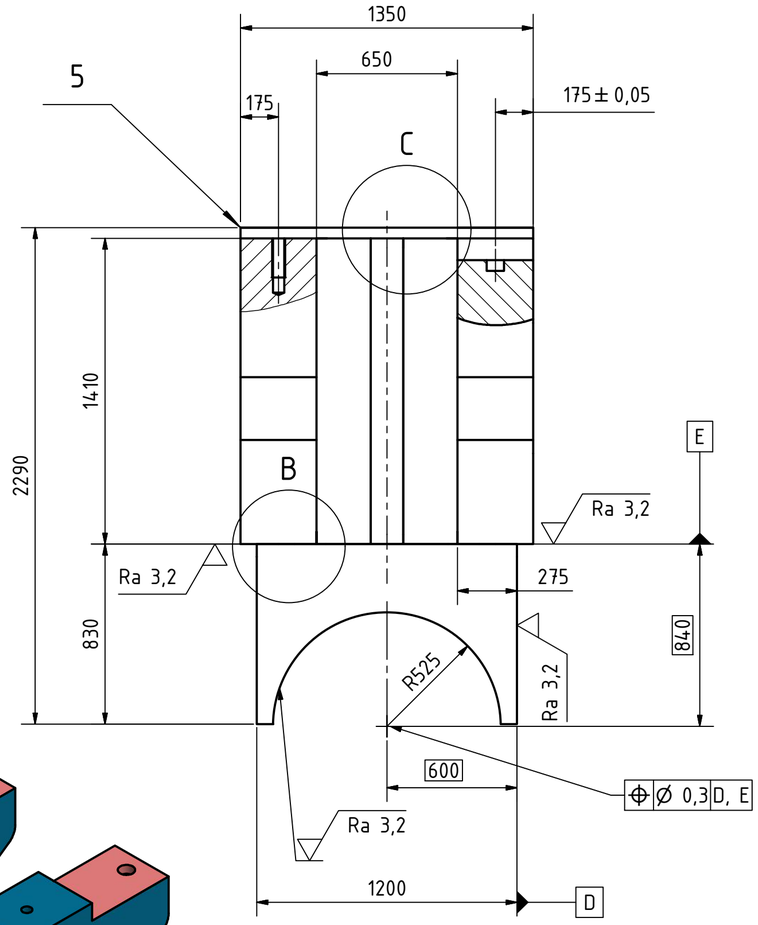
POZ.	NÁZEV – ROZMĚRY	VÝKRES – NORMA	MATERIÁL	HMOTNOST (kg)	KS
9	ŠROUB M52 – 300	ISO 4762		7,7	4
8	ŠROUB M60 – 700	ISO 4762		21,9	4
7	STŘEDÍCÍ ČEP	DP01-2019-004	C45E	3,2	4
6	PERO 660/650	DP01-2019-003	C45E	74,9	4
5	KÁMEN	DP01-2019-002	35NiCr6	190,2	4
4	PÁNEV	DP01-2019-001	35NiCr6	95,9	4
3	TRAVERZA	DP01-2019-030		7 634,5	2
2	DEFORMAČNÍ PŘÍČKA	DP01-2019-010		19 969	1
1	TĚLO HORNÍHO PŘÍČNÍKU	DP01-2019-020		63 695,9	1

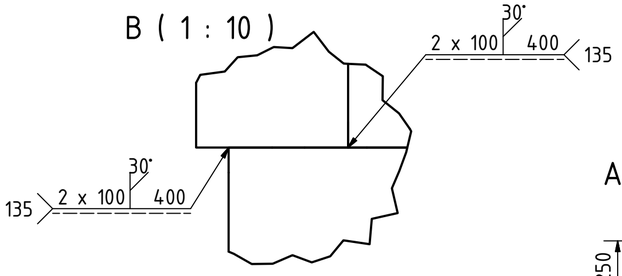
Měřítko 1:50	Hmotnost (t) 101,099	Promítání	Formát A3

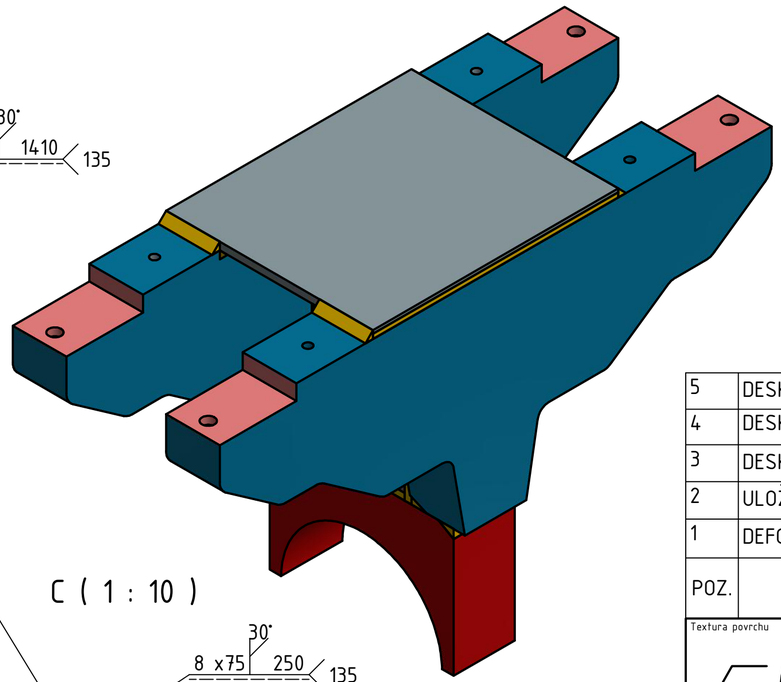
FAKULTA STROJNÍ ZÁPADOČESKÉ UNIVERZITY V PLZNI
KKS KATEDRA KONSTRUOVÁNÍ STROJŮ

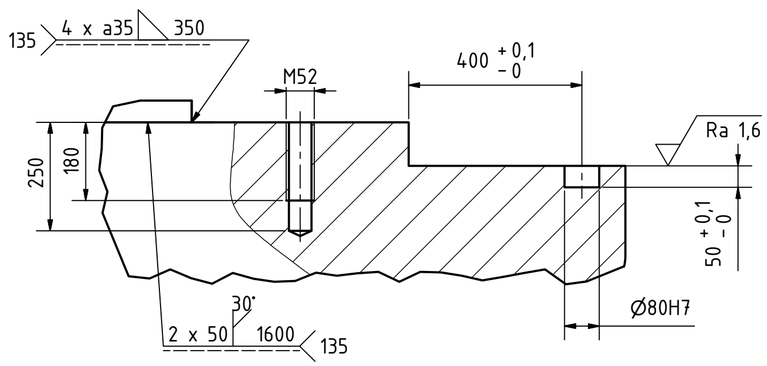
Kreslil	JEŽEK
Datum	15.5.2019
Schválil	
Datum	
Druh dokumentu	VÝKRES SESTAVY
Název	HORNÍ PŘÍČNÍK
Číslo dokumentu	DP01-2019-200
List 1	Listů 1

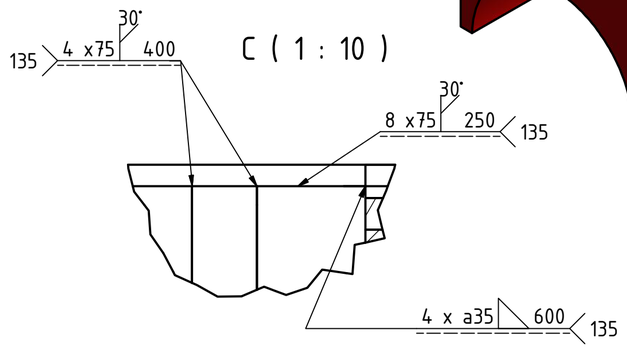












POZ.	NÁZEV – ROZMĚRY	VÝKRES – NORMA	MATERIÁL	HMOTNOST (kg)	KS
5	DESKA – HORNÍ 1600 x 1350 x 50	DP01-2019-010	S355J0	711,2	1
4	DESKA – BOK 1410 x 250 x 100	DP01-2019-010	S355J0	276	4
3	DESKA – STŘED 1410 x 400 x 150	DP01-2019-010	S355J0	659,9	1
2	ULOŽENÍ PROSTŘEDNÍHO LOŽISKA	DP01-2019-010	S355J0	1796,5	1
1	DEFORMAČNÍ TRAVERZA	DP01-2019-010	S355J0	7848,4	2

Textura povrchu

Hrany ISO 13715 −0,4 +0,4

Měřítko 1:20

Přesnost ISO 2768 – mK

Hmotnost (t) 20,365

Tolerování ISO 8015

Promítání

Materiál – Polotovar

Formát A2

FAKULTA STROJNÍ ZÁPADOČESKÉ UNIVERZITY V PLZNI

KKS KATEDRA KONSTRUOVÁNÍ STROJŮ

Kreslil JEŽEK

Datum 2.5.2019

Schválil

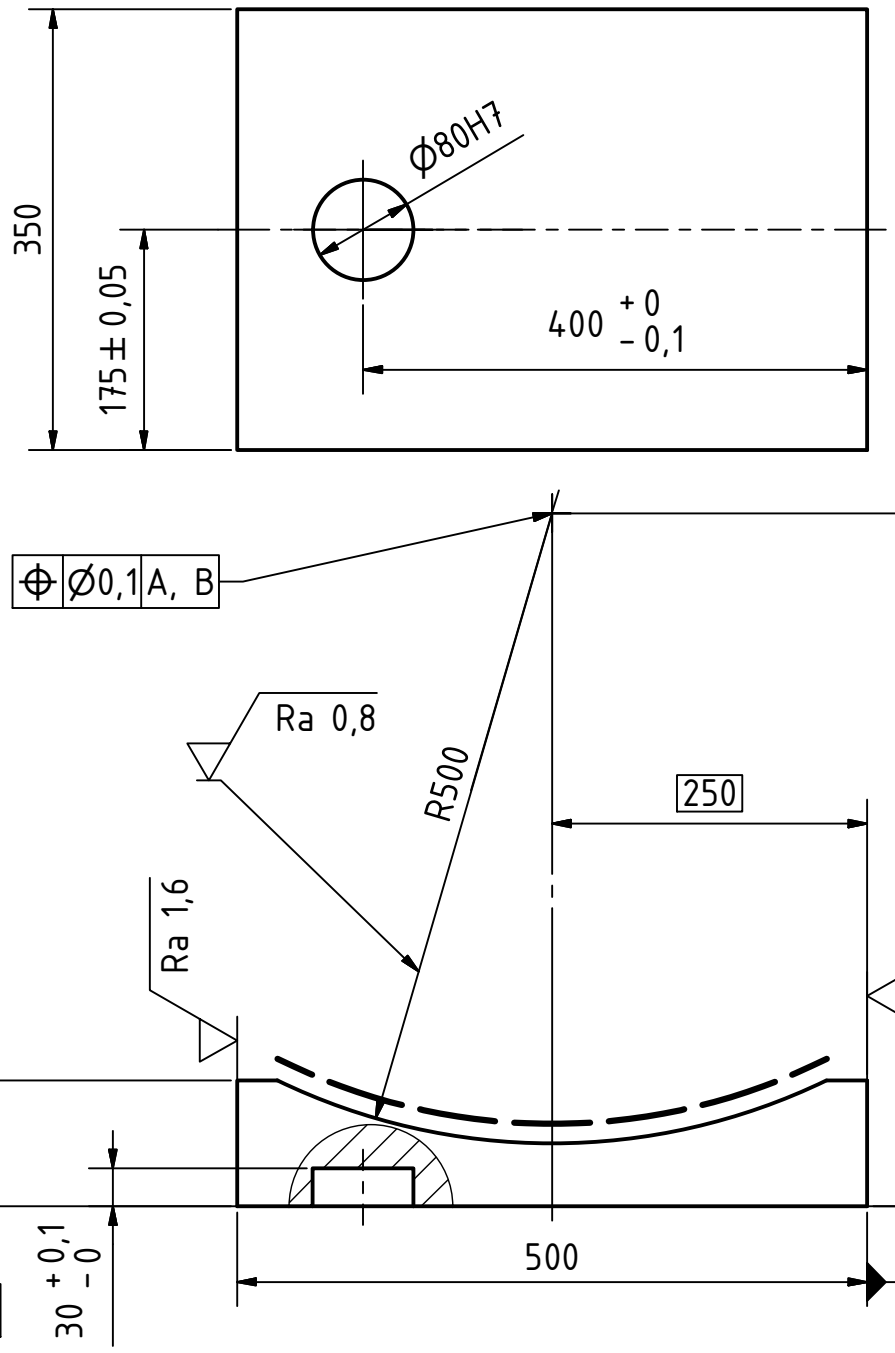
Datum

Druh dokumentu VÝKRES SVAŘENCE

Název DEFORMAČNÍ PŘÍČKA

Číslo dokumentu DP01-2019-010

List 1 Listů 1



POVRCHOVĚ KALENO NA HRC 59± 2

Textura povrchu: Ra 3,2 (✓)	Hrany ISO 13715: -0,4 +0,4	Měřítko: 1:5	Přesnost: ISO 2768 - mK
		Hmotnost (kg): 95,9	Tolerování: ISO 8015
			Promítání:
Materiál - Polotovar: 35NiCr6			Formát: A4

FAKULTA STROJNÍ ZÁPADOČESKÉ UNIVERZITY V PLZNI

KKS KATEDRA KONSTRUOVÁNÍ STROJŮ

Kreslil: JEŽEK	Název: PÁNEV
Datum: 15.5.2019	
Schválil:	Číslo dokumentu: DP01-2019-001
Datum:	
Druh dokumentu: VÝROBNÍ VÝKRES	List 1 Listů 1