

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: B2301 Strojní inženýrství

Studijní zaměření: Stavba výrobních strojů a zařízení

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Posuv pracovního stolu kovacího lisu s diferenciálním pístem a návrhem mazacího systému.

Autor: Jakub Václavík

Vedoucí práce: Ing. Miroslav Duník

Akademický rok 2013/2014

Vložit zadání

Prohlášení o autorství

Předkládám tímto k obhajobě a posouzení bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni. Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

V Plzni dne:

.....

Podpis autora

Autorská práva

Podle zákona o právu autorském. č.35/1965 Sb. (175/1996 Sb. ČR) § 17 a Zákona o vysokých školách č. 111/1998 Sb. je využití a společenské uplatnění výsledků bakalářské práce, včetně uváděných vědeckých a technických poznatků nebo jakékoli nakládání s nimi možné pouze na základě autorské smlouvy za souhlasu autora a Fakulty strojní Západočeské univerzity v Plzni.

ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Václavík	Jméno Jakub	
STUDIJNÍ OBOR	B2301 Stavba výrobních strojů a zařízení		
VEDOUCÍ PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Ing. Duník	Jméno Miroslav	
PRACOVIŠTĚ	ZČU - FST - KKS		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Posuv pracovního stolu kovacího lisu s diferenciálním pístem a návrhem mazacího systému		

FAKULTA	Strojní	KATEDRA	KKS	ROK ODEVZD.	2014
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	48	TEXTOVÁ ČÁST	37	GRAFICKÁ ČÁST	11
---------------	----	---------------------	----	----------------------	----

STRUČNÝ POPIS	<p>Tato bakalářská práce pojednává o metodách manipulace s materiálem v kovárnách. Hlavní část práce se zaměřuje na konstrukční řešení posuvu stolu s diferenciálním pístem s využitím analytického a MKP výpočtu, návrh mazacího systému a ekonomické zhodnocení. Model posuvu je zhotoven v softwaru Autodesk Inventor.</p>
KLÍČOVÁ SLOVA	<p>manipulace s materiálem, kovárny, jeřáby, manipulátory, hydraulické písty, konstrukce posuvu, mazání, ekonomické zhodnocení, MKP, CAD,</p>

SUMMARY OF BACHELOR SHEET

AUTHOR	Surname Jakub	Name Václavík
FIELD OF STUDY	Mechanical Engineering - Design of Manufacturing Machines and Equipment	
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Ing. Duník	Name Miroslav
INSTITUTION	ZČU - FST - KKS	
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Shift of forging mill work table with the using of the differential piston and design of lubrication system	

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	Machine Design	SUBMITTED IN	2014
----------------	------------------------	-------------------	----------------	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	48	TEXT PART	37	GRAPHICAL PART	11
----------------	----	------------------	----	-----------------------	----

BRIEF DESCRIPTION	This bachelor thesis deals with the methods of manipulation with the material at forges. Main part of the thesis is focused on the design of the shift of forging mill work table with the differential piston with use of analytic and MKP calculation, design of lubrication system and economic evaluation. Model of shift is made in software Autodesk Inventor.
KEY WORDS	material manipulation, forges, cranes, manipulators, hydraulic cylinders, design of shifter, lubrication, economic conclusion, FEM, CAD

Poděkování

Děkuji všem pracovníkům KKS, kteří mi s touto prací radili a především pak panu Ing. Miroslavu Duníkovi za jeho ochotu a udělené rady při naší spolupráci.

Obsah

1	Manipulace s materiálem při kování za tepla	10
1.1	Manipulace s materiálem v lehkých kovárnách.....	10
1.2	Manipulace s materiálem ve středně těžkých a těžkých kovárnách.....	10
1.3	Kovářské manipulátory	11
1.3.1	Kolejové manipulátory	11
1.3.2	Bez Kolejové manipulátory – automanipulátory	13
1.3.3	Kovací jeřáby.....	14
2	Návrh konstrukce	16
2.1	Návrh konstrukce posuvu	16
2.2	Návrh mazacího systému	19
3	Výpočet.....	21
3.1	Zadané hodnoty.....	21
3.2	Výpočet orientační hmotnosti.....	21
3.2.1	Hmotnost kovací desky	21
3.2.2	Hmotnost krycí desky.....	21
3.2.3	Hmotnost spojovacího členu.....	22
3.2.4	Hmotnost celková.....	22
3.3	Výpočet sil	22
3.3.1	Gravitační síla	22
3.3.2	Potřebná síla posuvu.....	22
3.4	Výpočet rozměrů pístnice	22
3.4.1	Výpočet průměru pístu	23
3.5	Výpočet skutečných sil.....	23
3.5.1	Maximální skutečná síla výsuvná	23
3.5.2	Maximální skutečná síla zpětná	23
3.6	Výpočet vnějšího průměru válce.....	23
3.7	Výpočet rozměrů matice.....	24
3.8	kontrola čepového spoje podpěry a pístnice	25
3.9	Otlačení dosedací plochy pístu	27
3.10	Vzpěr pístnice	28

3.11	Kontrola šroubů zátky válce	28
3.12	Kontrola spojovacího čepu	29
3.13	Kontrola válce	30
3.14	Úchyt válce v ložích posuvu a kontrola svarů	31
3.15	Kontrola svarů	32
3.16	Kontrola krycí desky	33
3.17	Kontrola lože	36
3.18	Kontrola zděře	38
3.19	Kontrola skutečné hmotnosti posuvných hmot	39
3.20	Výpočet pomocí MKP – Uzel podpěry	40
3.20.1	Idealizovaný model	40
3.20.2	Síťování	40
3.20.3	Zatížení a zavazbení	41
3.20.4	Vyhodnocení deformace a napětí	42
4	Závěr a ekonomické zhodnocení	45
5	Bibliografie	48

Použité veličiny a jejich jednotky

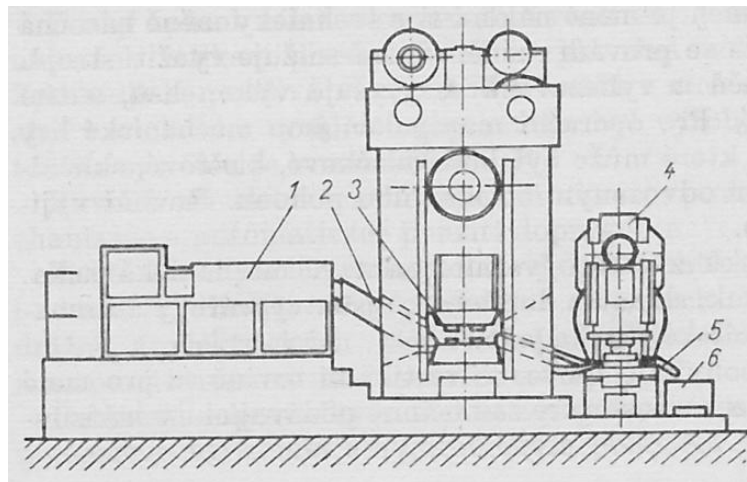
NÁZEV VELIČINY	ZNAČKA VELIČINY	MEZINÁRODNÍ ZNAČKA JEDNOTKY
Prostor a čas ČSN ISO 31 – 1 01 1300		
úhel, (rovinný úhel)	$\alpha, \beta, \gamma, \delta$	rad, ° (stupeň)
délka	L, l, a, b, c, d, x	m
poloměr	R, r	
průměr	D, d	
výška	H, h	
plocha	S	m ²
objem	V	m ³
gravitační zrychlení	g	m/s ²
Mechanika ČSN ISO 31 – 3 01 1300		
hmotnost	m	kg
hustota	ρ	km/m ³
kvadratický moment průřezu	I, J	mm ⁴
síla	F	N
tíhová síla	F _g , G	
spojité zatížení	q	N/m
moment síly	M	N . m, N . mm
tlak	p	MPa
normálové napětí	σ	
smykové napětí	τ	
modul pružnosti v tahu	E	
průřezový modul	W	mm ³
součinitel tření	f	bezrozměrný
štíhlostní poměr dlouhých štíhlých prutů	λ	
Poissonovo číslo	μ	
Teplo ČSN ISO 31 – 4 01 1300		
Celsiova teplota	t	°C
Různé Další zdroje a konvence		
posunutí od deformace	v	mm
dovolená hodnota tlaku	p _D	MPa
mez kluzu pro normálová napětí	σ_k	
dovolená hodnota pro stat. normál. napětí	σ_D	
dovolená hodnota pro stat. tečná napětí	τ_D	
bezpečnost	s	bezrozměrné
koeficient míjivého zatížení	c _{II}	
koeficient střídavého zatížení	c _{III}	
počet závitů	Z	
stoupání závitu	P	mm
plocha jádra šroubu	S _j	mm ²
efektivní délka svarů	A	mm
výška svaru	Z	

1 Manipulace s materiálem při kování za tepla

Při manipulaci s materiálem v rámci kováren je zapotřebí brát v úvahu vysoké teploty zpracovávaného materiálu. Z toho plyne, že časy přemístování mezi jednotlivými pracovišti a pecemi se musí nutně minimalizovat, aby se zabránilo tepelným ztrátám a tím i ekonomickým, protože ohřátí velkých polotovarů je poměrně nákladné. To klade zvýšené požadavky na manipulační zařízení, které musí být schopno přemísťovat polotovary velice rychle a jeho ústrojí přitom musí odolávat vysokým teplotám. [3]

1.1 Manipulace s materiálem v lehkých kovárnách

Při kování méně rozměrných a lehčích součástí se při vzdálenostech do 2 m mezi pecí a kovacími stroji k dopravě často využívá skluzů (Obr. 1-1). Pro větší vzdálenosti, až do 7 m, se využívá skluzů a zdvižných plošin umístěných u kovacího stroje, které napomáhají vyrovnat výškový rozdíl vzniklý spádem skluzu. [3]



Obr. 1-1: Příklad použití skluzu mezi pecí a kovacími stroji

Pro malé ale i větší vzdálenosti a rozdílné výšky pecí a kovacích strojů se nadále používají sloupové a konzolové jeřáby, podvěsné drážky s kladkostrojemi nesoucí manipulační prvky jako např. kleště a chapadla, dopravníky s pásem z ocelového pletiva a článkové a řetězové dopravníky s unášeči. Dopravníky mohou být použity i při ohřevu v průběžných pecích. [3]

1.2 Manipulace s materiálem ve středně těžkých a těžkých kovárnách

V těžších provozech se k manipulaci při volném kování užívá především mostových kovacích jeřábů, jak k zakládání do kovacího stroje tak i k následnému přidržování a polohování při kování. Dnes je trendem nahrazovat tyto kovací jeřáby manipulátory v provozech, ve kterých je to možné vzhledem k omezené nosnosti a nutnému správnému uspořádání pecí a kovacích strojů. Pohyby svěracích čelistí jsou zde zajištěny hydraulicky, přičemž max. uchopitelný průměr manipulovatelného polotovaru (ingotu) se pohybuje okolo 800 mm, zdvih a vyložení se obvykle pohybuje okolo 1500 mm, při snížení nosnosti lze ale vyložení zvýšit až na 4 m. [3]

1.3 Kovářské manipulátory

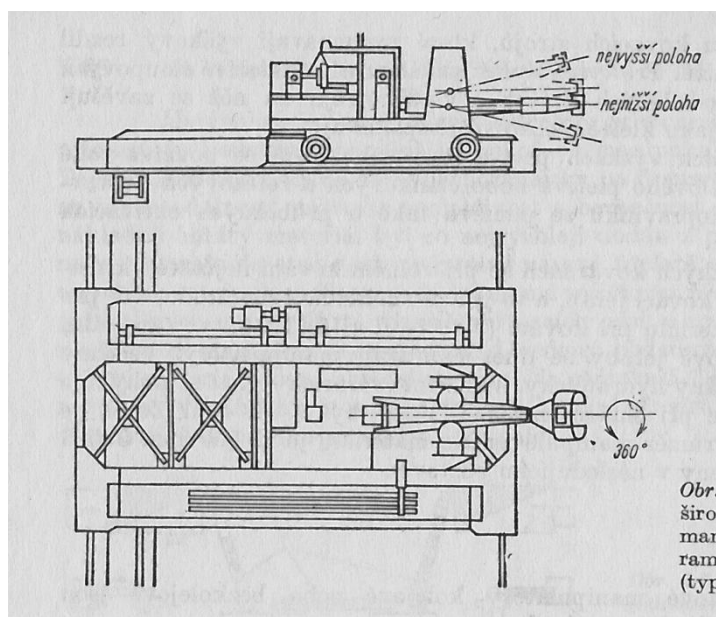
Kovářské manipulátory dělíme na kolejové a bezkolejové, oba druhy jsou určeny k obsluze kovacích lisů či bucharů. Při použití manipulátoru k obsluze pecí i dopravě ohřátého materiálu se nazývá sázecí stroj. Manipulátor se volí většinou podle střední váhy výkovku pro daný lis, s ohledem na sílu a rozměry lisu. Při volbě maximální hmotnosti by byl potenciál manipulátoru využit jen občasně. Proto je vhodnější využít manipulátor nižší nosnosti a podpořit jej mostovým kovacím jeřábem, který pomáhá při zvedání a manipulaci při překročení nosnosti manipulátoru. [3]

1.3.1 Kolejové manipulátory

Pohon manipulátorů je elektrický, svírání čelistí a jejich pohyb je hydraulický.

1.3.1.1 Širokorozchodný manipulátor bez otáčení ramena kolem svislé osy

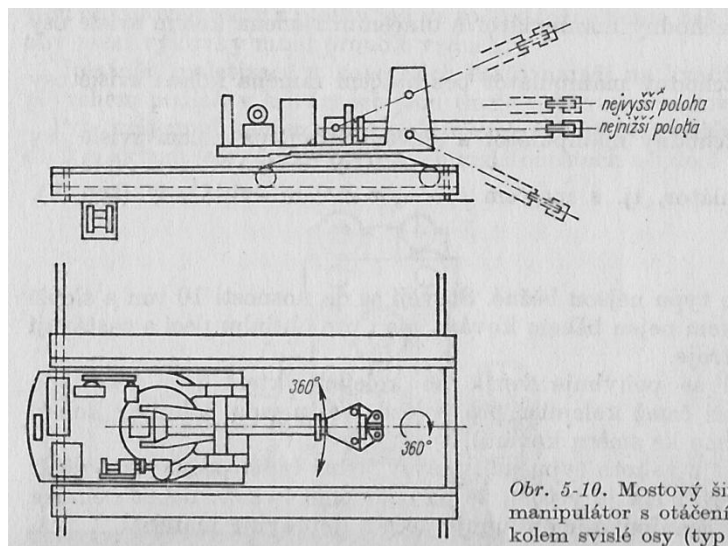
Nejsou běžné. Vyrábí se do nosnosti 10 t. Používají se jako sázecí stroje i jako manipulátory při kování. V tomto provedení se pohybuje vozík po kolejích, které jsou umístěny na zvláštním mostu, jehož kolejnice jsou umístěny kolmo k podélné ose lisu. Rameno vykonává zdvihací pohyb, výsuv, naklápění a rotaci kolem své osy. Lisy a pece obsluhované tímto manipulátorem musí být umístěny v jedné řadě. Nevýhodou je, že během obsluhy pecí zůstává lis nevyužit. (Obr. 1-2) [3]



Obr. 1-2: Širokorozchodný manipulátor bez otáčení ramena kolem svislé osy

1.3.1.2 Širokorozchodný manipulátor s otáčením ramena kolem svislé osy

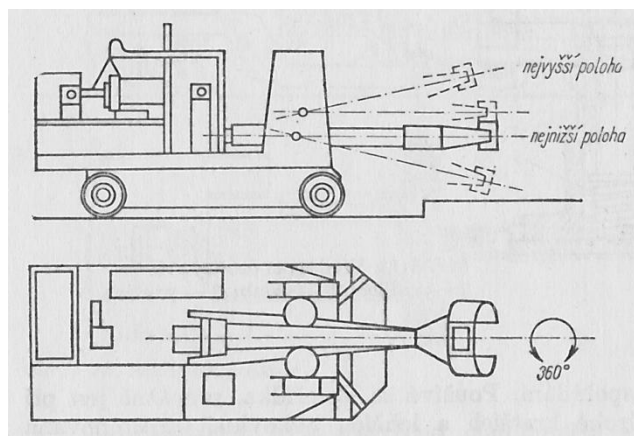
Jedná se o univerzální provedení. Vyrábí se do nosnosti 30 t. Rameno je u tohoto typu manipulátoru otočné o 360°. Uspořádání pohybu vozíku a mostu je obvykle shodné s předchozím typem, ale může být i zaměněno. Díky tomu lze tyto manipulátory využívat i při jiných rozmístěních pecí a kovacích lisů než v řadě, musí však být umístěny v okolí kolejí a přístupné z kolejí. (Obr. 1-3) [3]



Obr. 1-3: Širokorozchodný manipulátor s otáčením ramena kolem svislé osy

1.3.1.3 Vozíkový úzkorozchodný manipulátor bez otáčení ramena kolem svislé osy

Jedná se o manipulátory určené pouze k obsluze kovacího stroje. Koleje manipulátoru jsou umístěny v podélné ose kovacího stroje. Je nutno materiál dopravovat k manipulátoru mostovým jeřábem, nebo sázecím strojem. Výhodou těchto manipulátorů je nižší hmotnost, nosnost až 75 t, stabilita, jednodušší konstrukce, menší rozměry než u ostatních provedení manipulátorů. Rameno vykonává výsuvný a zdvihací pohyb, otáčí se kolem své osy a umožňuje naklápění. Tento rozsah pohybů je dostatečný i pro tváření složitých součástí. (Obr. 1-4) [3]

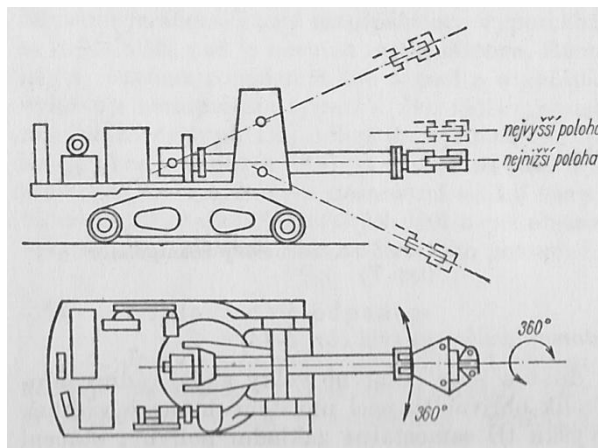


Obr. 1-4: Vozíkový úzkorozchodný manipulátor bez otáčení ramena kolem svislé osy

1.3.1.4 Vozíkový úzkorozchodný manipulátor s otáčením ramena kolem svislé osy

Oproti předchozímu je u tohoto manipulátoru umožněno otáčení kolem svislé osy o 360°. Tento typ je schopen zastávat i funkci sázecího stroje pokud je materiál ohříván v pecích s pohyblivou nístějí. V akčním prostoru manipulátoru se obvykle nachází otočný předávací stůl, tím se docílí snazší manipulace a uchopení kleštěmi manipulátoru. Tento typ je velice vhodný k mechanizaci kováren s malým prostorem, vzhledem k rozměrům a možnostem

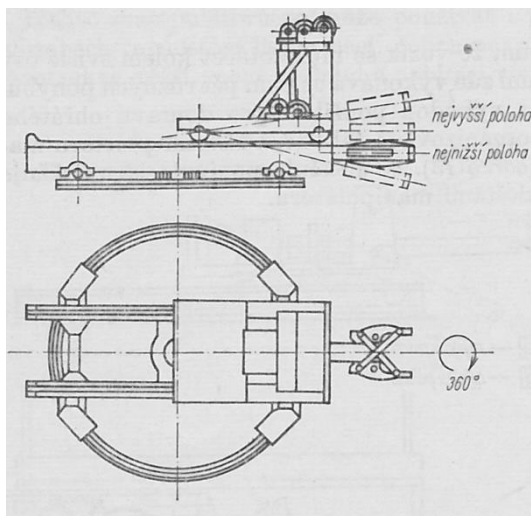
manipulace. Manipulátor je vhodný především pro kratší výkovky jednodušších tvarů. Nosnost se pohybuje do 30 t. (Obr. 1-5) [3]



Obr. 1-5: Vozíkový úzkorozchodný manipulátor s otáčením ramena kolem svislé osy

1.3.1.5 Točnicový manipulátor

Využívá se točnicové uspořádání. Vozík se pohybuje po kolejkách umístěných na točně vpřed a vzad a koleje se na této točně otáčejí o 360°. Využívá se minimálně, převážně při velkosériové a hromadné výrobě kratších a lehčích součástí. Nosnost se pohybuje do 75 t. (Obr. 1-6) [3]

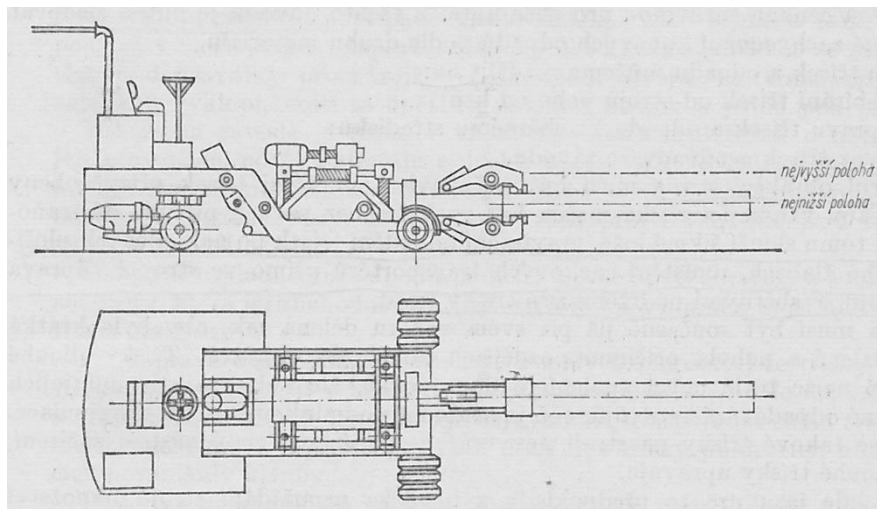


Obr. 1-6: Točnicový manipulátor

1.3.2 Bez kolejové manipulátory – automanipulátory

Hlavní předností je, že nejsou závislé na kolejích a díky tomu mají velký dosah. Jsou schopny obsluhovat kovací stroje i ohřívací pece umístěné různě po hale. Rameno obstarává otáčení kolem své osy, zdvihání a naklápění, ostatní pohyby zabezpečuje manipulátor svým pohybem. O pohon se stará elektromotor, jež napájí buďto spalovací motor pohánějící stejnosměrný generátor, nebo je napájení zajištěno kabelem, v tom případě je však dojezd omezen délkou vodiče. Tyto manipulátory se vyrábějí v nosnostech do 10 t. Výhodou je možnost jejich použití v provozech s libovolným rozmístěním pecí a strojů. V těžkých

kovárnách se často využívají při kování jako pomocné manipulátory určené k přidržování nástrojů. (Obr. 1-7) [3]

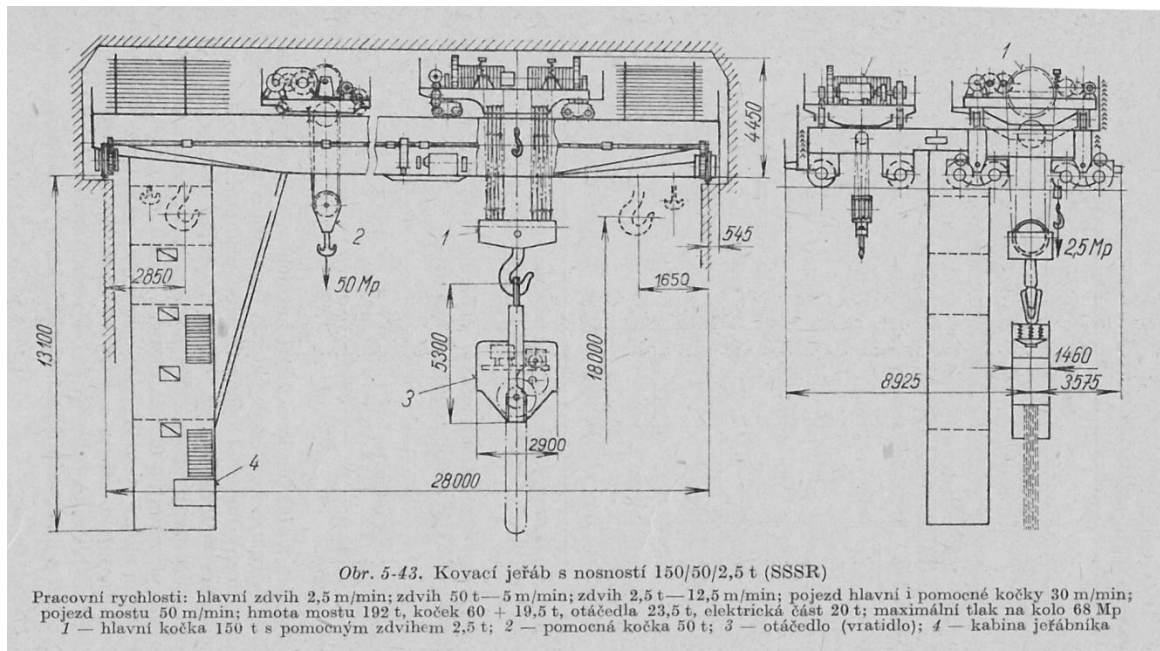


Obr. 1-7: Automanipulátor

Dále existují zařízení, která lze zabudovat do standardního těžkého vysokozdvizného vozíku. Jeho pohyblivost je stejná jako u automanipulátoru, ale nosnost se pohybuje jen do 750 kg. [3]

1.3.3 Kovací jeřáby

Používají se především ve středních a těžkých kovárnách k obsluze kovacích strojů. Slouží k dopravě ingotů mezi pecemi a kovacími stroji, při volném kování k přímé manipulaci a při kování velkých ingotů pomocí zápustek k zakládání ingotů. Dále pak k manipulaci s náradím a k dopravě kovářského odpadu, k čemuž slouží obvykle pomocný zdvih či pomocná kočka. Při kování ingot přidržují, pohybují s ním dle potřeby a navíc zajišťují otáčení kolem osy ingotu. Otáčení je umožněno otáčidlem (vratidlem), zavěšeným na hlavním háku jeřábu. Ingot je uložen ve smyčce uzavřeného kloubového řetězu a jeho otáčením se otáčí i ingot. Jelikož při kování vznikají dynamické rázy, jsou závěs otáčidla a horní popřípadě i dolní kladnice hlavního zdvihu odpružené, aby nedocházelo k přenosu rázů do konstrukce jeřábu. Do nosnosti 50 t bývá použita pouze jedna kočka a pomocný zdvih, u větších nosností se zpravidla používá dvou či více koček, které pojíždějí po samostatných jízdnicích drahách. U těžkých lisů často pracují dva samostatné symetricky uspořádané jeřáby, každý na jedné straně lisu. Jeden z nich má otáčidlo poháněné druhý nikoli. Je snaha aby vzdálenost obou kladnic mohla být co nejmenší, aby se mohly i krátké ingoty zavěsit na obou kladnicích. Jeřáby jsou obvykle řízeny z kabiny, jež je umístěna nízko nad zemí, vzhledem k lepšímu přehledu o probíhající práci a dorozumívání mezi obsluhou lisu a jeřábu. (Obr. 1-8) [2]



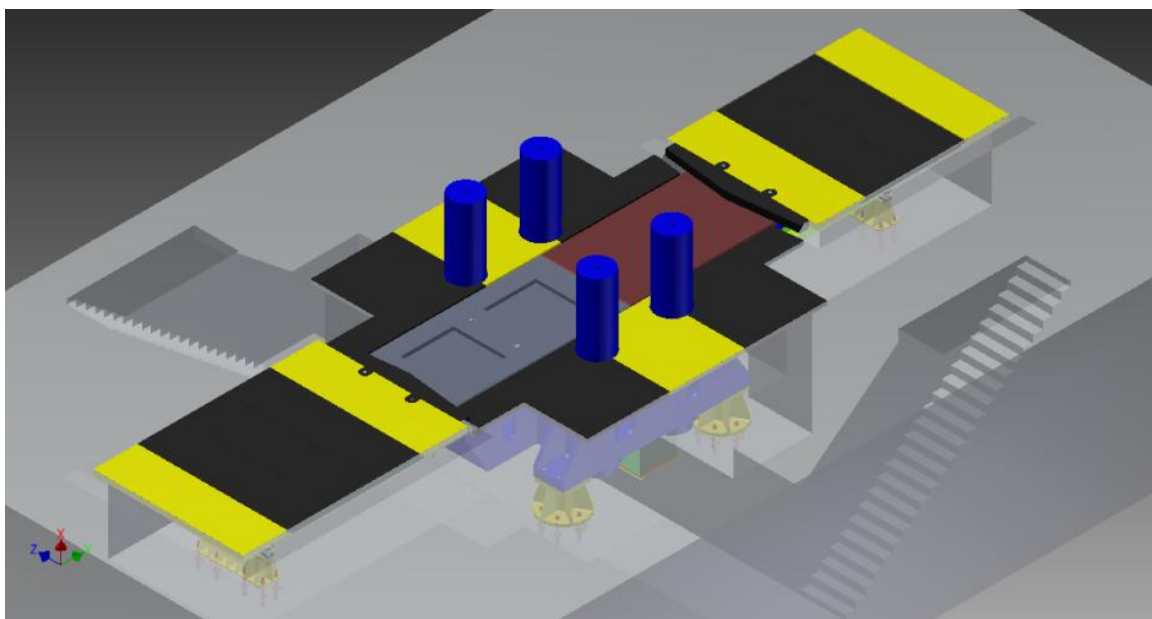
Obr. 1-8 : Kovací jeřáb

2 Návrh konstrukce

2.1 Návrh konstrukce posuvu

Cílem této práce je výpočet a návrh konstrukce mechanismu, zajišťujícího posuv kovací desky s příslušenstvím u kovacího lisu s horním kovádlem. Posuv usnadňuje kovářskou manipulaci s výkovky a přesazení spodního a horního kovádla čímž se umožní stříhání výkovků. Rovněž je umožněna i automatizovaná výměna kovádel. Posuvný pohyb zajišťuje přímočarý hydromotor s diferenciálním pístem umístěný na levém loži posuvu. Hydromotor je poháněn 5% emulzí oleje o tlaku 32 MPa.

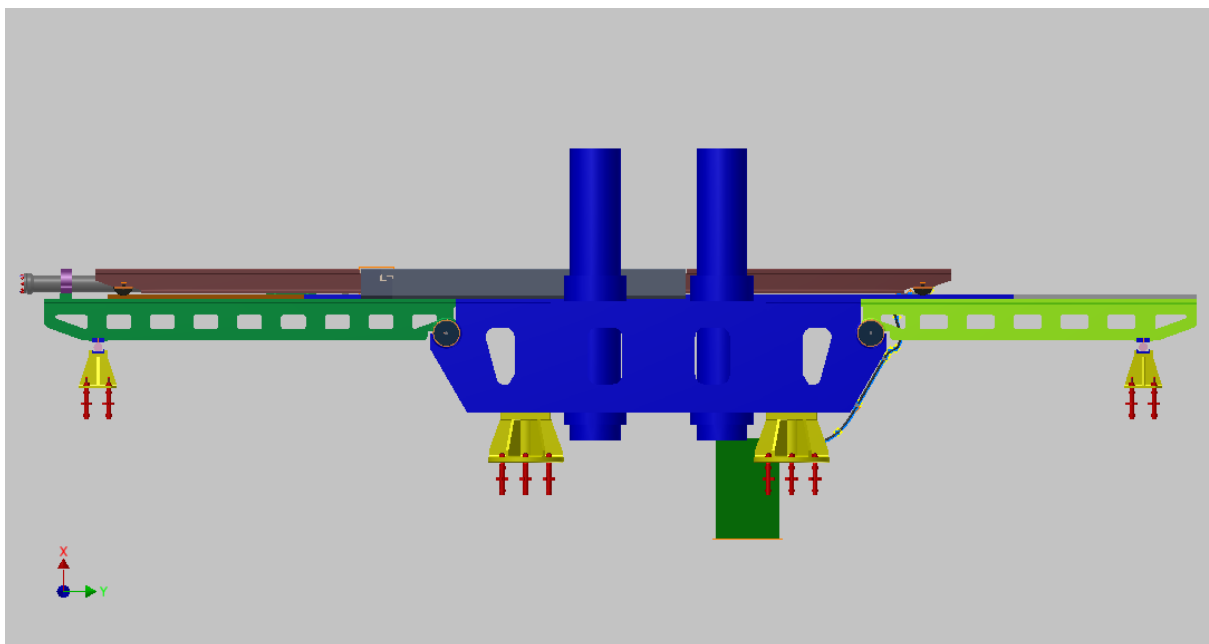
Na obrázku (Obr. 2-1) je pohled na zakrytovaný posuv spolu se spodní traverzou a sloupy lisu. V pracovním prostoru lisu je vidět kovací deska (šedivá) s vybráním pro dvě kovádla. Kovací deska se nachází v krajní poloze, pístnice je zasunuta.



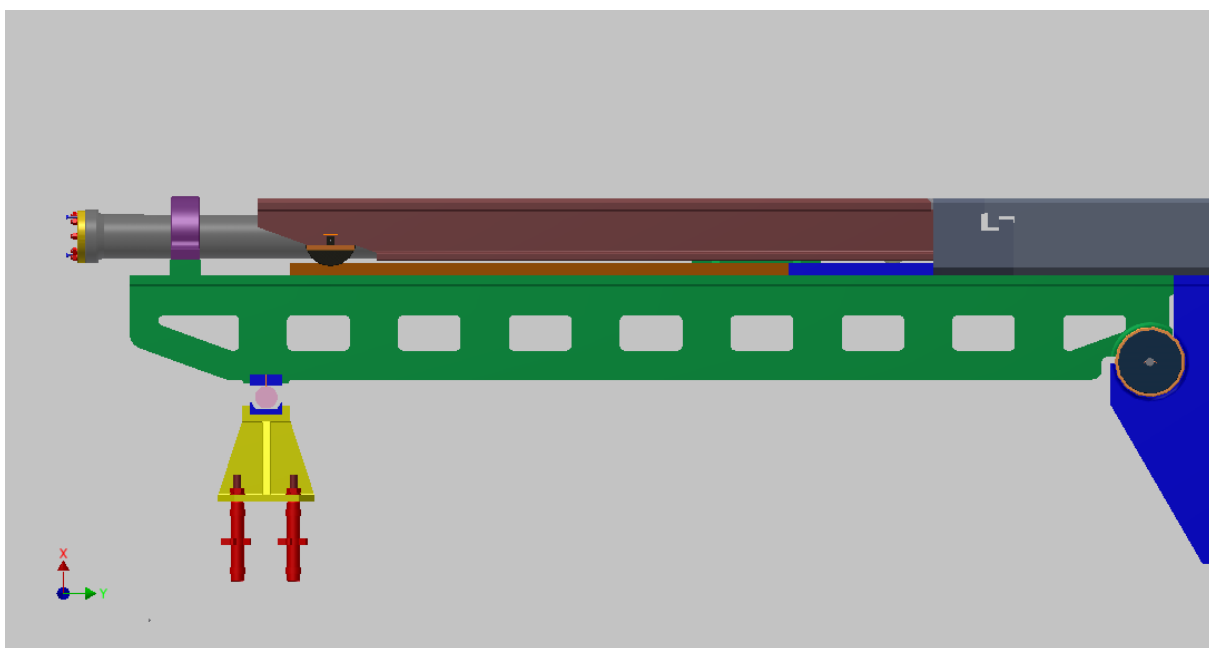
Obr. 2-1: Pohled na zabudovaný posuv

Na obrázku (Obr. 2-2) je boční pohled na sestavu spodní části lisu. Po spodní traverze lisu se pohybuje spojovací člen, který je nepřímě spojen s pístnicí. Pomocí zámku pohybuje kovací deskou a tím i krycími deskami. Kovací deska se posouvá po otěruvzdorných kluzných deskách, její polohu udržuje boční vedení. Lože posuvu jsou různě dlouhá vzhledem k jejich funkci. Levé lože je delší, protože je na něm umístěno uložení hydromotoru. Pravé lože je pak použito pro pojezd krycí desky a uložení energetického řetězu systému mazání.

Na obrázku (Obr. 2-3) je boční pohled na sestavu posuvu. Je patrné, že lože je uchyceno k traverze otočně v ložisku, z důvodu velkých zatížení a možného pohybu při otřesech vzniklých kování. Ložisko je sevřeno pomocí dvou zděří (oranžové) montovaných z obou stran za tepla, aby vzniklo potřebné předpětí, zděře jsou jištěny přitlačnými disky (černá). Na druhé straně je lože uloženo letmo pro vyrovnávání dilatací. Krycí deska je přivařena ke spojovacímu členu a z druhé strany se pohybuje na kolech s bočním vedením. Kola jsou uložena na ose v kluzných ložiscích. Předpokládá se, že krycí deska může být využita jako odkládací plocha pro ingot.

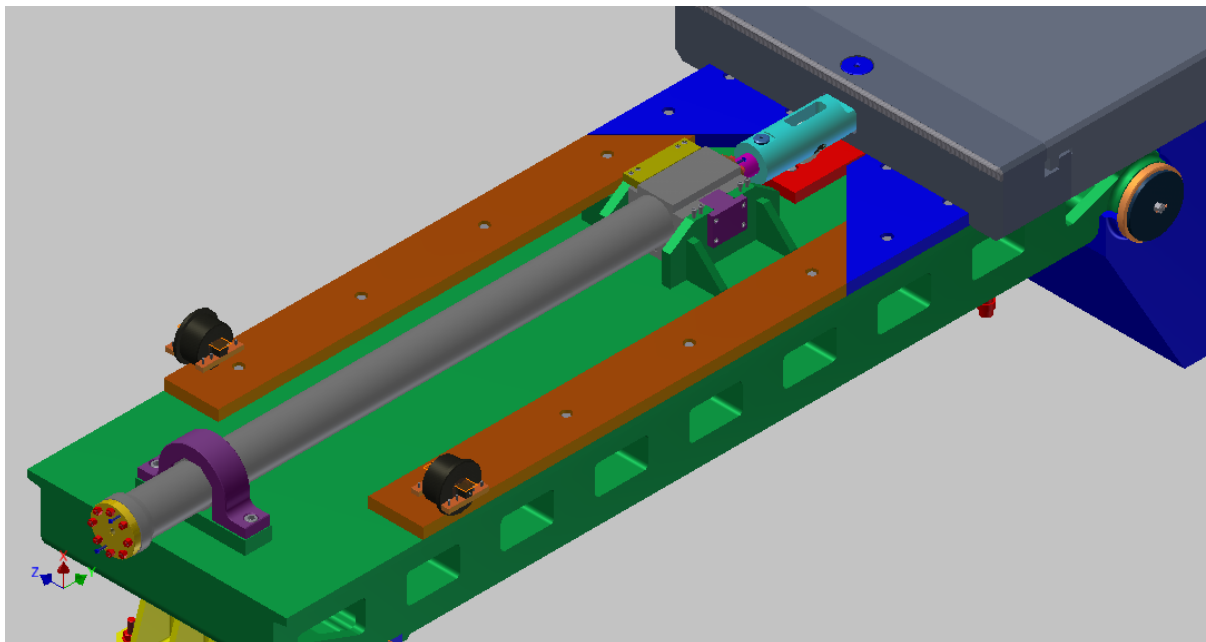


Obr. 2-2 : Boční pohled na celkovou sestavu



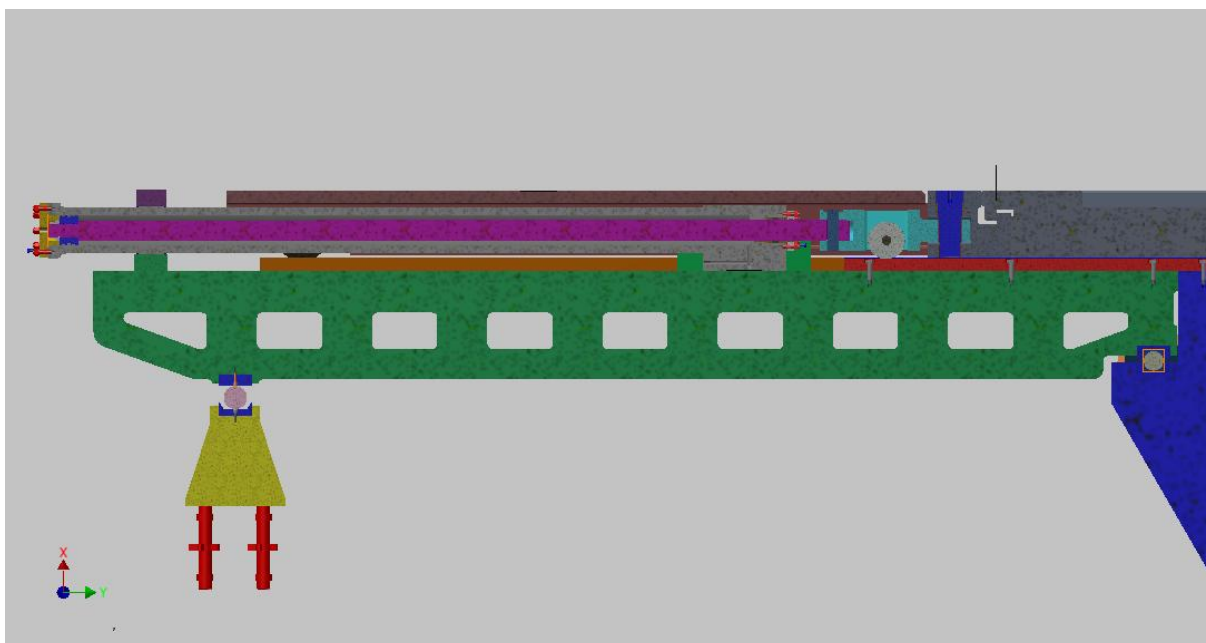
Obr. 2-3 : Boční pohled na posuv

Obrázek (Obr. 2-4) je pohled na uložení hydromotoru v loži. V přední části je válec uchycen pevně pomocí per (fialová) a přítlačných desek (žlutá), k navařeným držákům lože. V zadní části je pak uložen v objímce (fialová), v níž je posuvně pohyblivý pro umožnění dilatace.



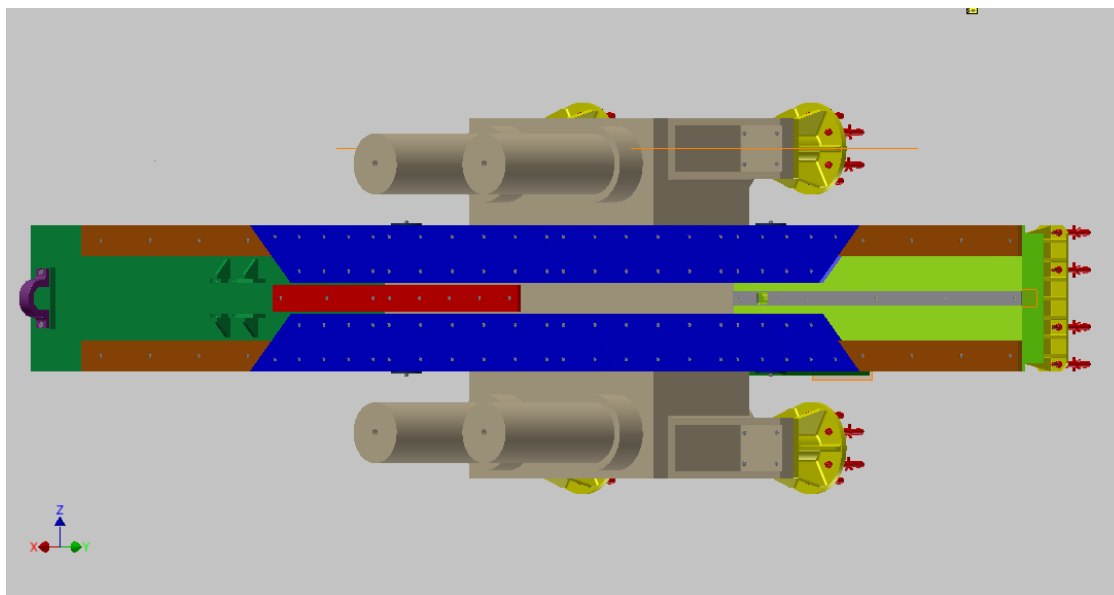
Obr. 2-4 : Pohled na uložení hydromotoru

Na obrázku (Obr. 2-5) je řez sestavou posuvu. V tomto pohledu je vidět mechanismus hydromotoru, a jeho propojení s kovací deskou. Do hydromotoru je přiváděna pracovní kapalina skrze víko (zlatá) a pro zpětný chod odváděna kanálkem v přední části válce. Pístnice (fialová) je spojena se spojovacím členem (šedivý) přes opěrný člen (sv. modrá), který zabraňuje průhybu pístnice ve vysunutém stavu. Opěrný člen se pohybuje po opěrném kole uloženém v kluzném ložisku. Je uložen na pístnici pevně pomocí čepu a ve spojovacím členu také pomocí čepu (modrý) otočně v kluzném pouzdru. Mezi opěrným a spojovacím členem je vertikální vůle 15 mm. Ta umožňuje užívat kovací desku i při opotřebení kluzných desek až 10 mm a prodlužuje tím interval jejich výměny a celkovou životnost kovací desky.



Obr. 2-5 : Řez sestavou posuvu

V obrázku (Obr. 2-6) je vidět pohled na kluzné desky (modrá), po těchto deskách se sune kováčská deska se spojovacím členem. Kováčská deska má na spodní ploše vytvořená pozvolná zkosnění pro lepší náběh na desky v případě nerovnosti. Kluzné desky jsou napojeny šikmo pro zlepšení náběhu. Po červené desce se pohybuje kolo opěrného členu a po oranžových deskách se pohybují kola krycích desek. Šedivá lišta na pravém loži slouží k vedení energetického řetězu



Obr. 2-6 : Pohled na rozmístění kováčských desek

2.2 Návrh mazacího systému

Lubrikační systém je poháněn sudovým čerpadlem LUBTECHNIK (Obr. 2-7), ve skříní (zelená) v montážní jámě lisu (Obr. 2-8), čerpadlo je poháněno stlačeným vzduchem. [8]

Parametry čerpadla:

Typ PFP 65/200

Pro 200 kg sud

Váha: 13,0 kg

Max. doprav. množství: 1200 cm³/min.

Max. pracovní tlak: 520 bar

Max. vstupní tlak vzduchu: 10 bar

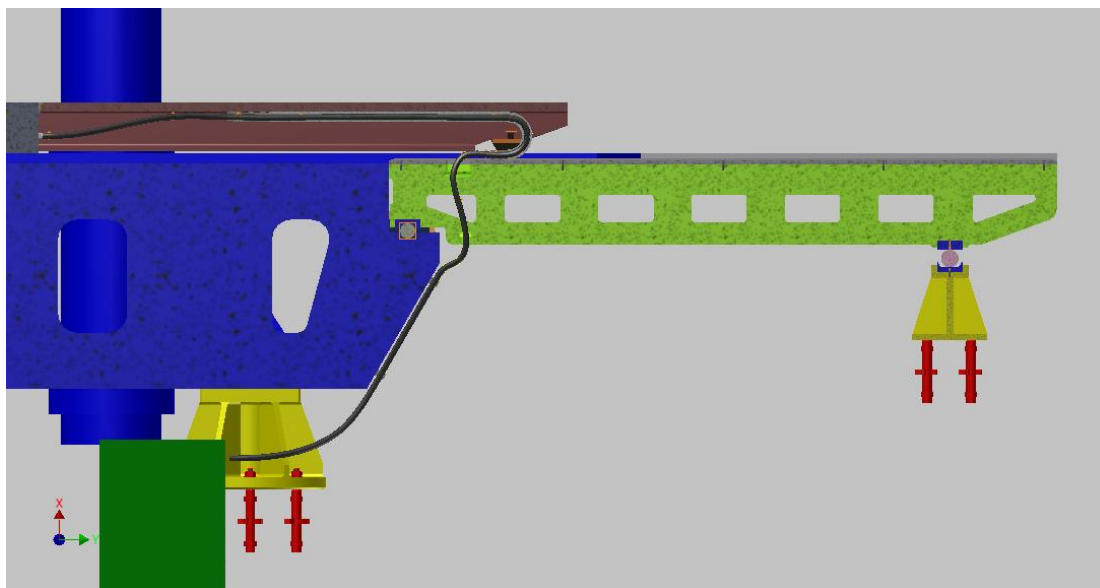
Doprovázané médium: plastické mazivo třídy NLGI 000÷2



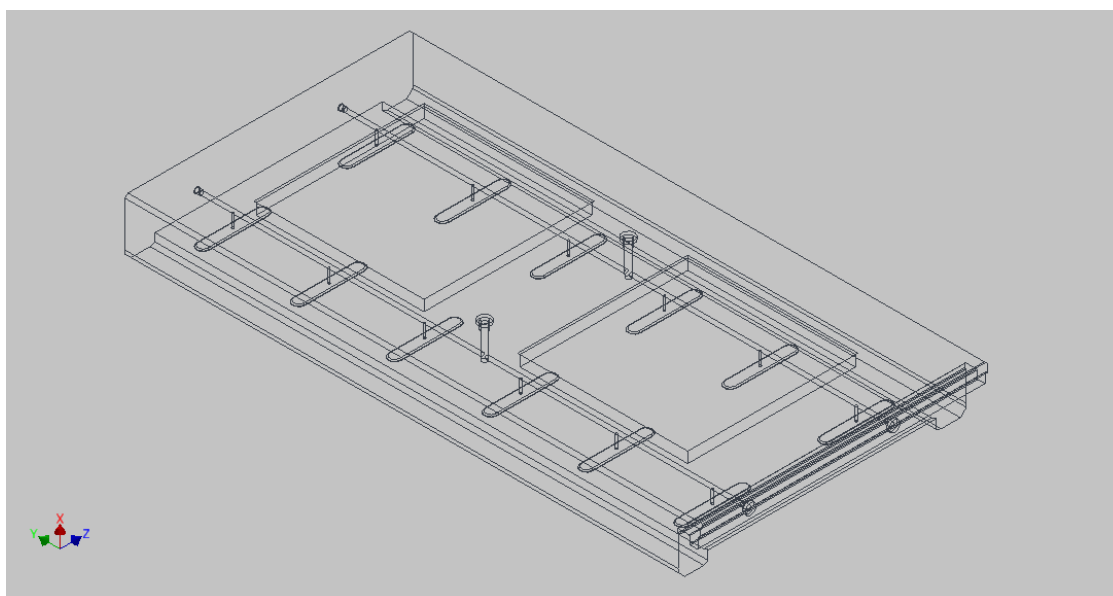
Obr. 2-7 : Čerpadlo Lubtechnik

Odtud vedou pružné hadice podél traverzy skrz lože do energetického řetězu (šedivá), který zajišťuje vedení hadic během pohybu. Energetický řetěz je samonosný, to znamená, že je uchycen pouze na koncích a v celé délce se vynese sám. Na jedné straně je uchycen k loži a na druhé straně ke krycí desce. Z energetického řetězu již vstupuje hadice přímo do kovací desky. (Obr. 2-8); (Obr. 2-9)

Mazivem je vazelína TOTAL MULTIS EP 1, jedná se o vazelínu třídy NLGI 1, pracovní teplota je až 120 °C. Tato vazelína je určena na vysoce zatěžované plochy a to i pro zatížení rázy. Vazelína je dávkována v intervalech (počet zdvihů) a v množství (doba běhu čerpadla) závislých na nastavení obsluhou. [9]



Obr. 2-8 : Pohled na mazací soustavu



Obr. 2-9 : Kovací deska

Řešení kovací desky je na obrázku (Obr. 2-9). Je vrtána naskrz z obou stran, oba otvory se sejdou v otvoru vrtaném shora, který slouží k zaručení střetnutí děr. Otvory shora a u

zámku kovací desky jsou zaslepeny. Z čela desky je přiváděna vazelína, ta prostupuje vodorovnými kanály, z nichž sestupuje horizontálními kanálky do mazacích kapes, kapsy mají mírné zkosení pro lepší schopnost roztírání maziva.

3 Výpočet

3.1 Zadané hodnoty

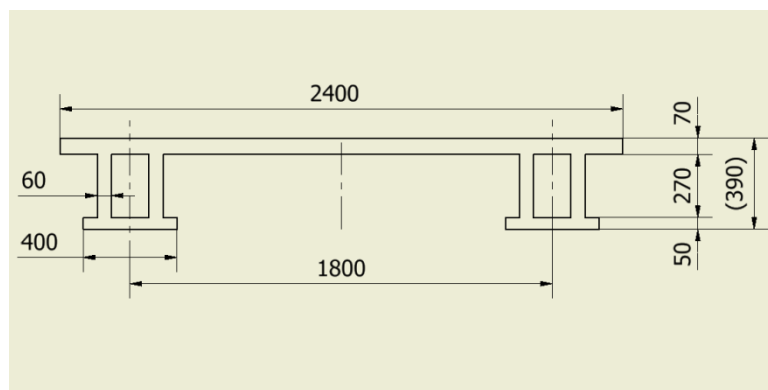
$m_i = 40 \text{ t} = 40000 \text{ kg}$	- hmotnost ingotu
$m_p = 30 \text{ t} = 30000 \text{ kg}$	- hmotnost spodní části kovacího přístroje
$L_p = 4 \text{ m} = 4000 \text{ mm}$	- zdvih posuvu
$d \times \text{š} \times v = 4800 \times 2400 \times 400 \text{ mm}$	- rozměry kovací desky
$p_p = 32 \text{ MPa}$	- pracovní tlak

3.2 Výpočet orientační hmotnosti

3.2.1 Hmotnost kovací desky

$$m_{kovi} = d \cdot \text{š} \cdot v \cdot \rho = 4800 \cdot 2400 \cdot 400 \cdot \frac{7,85}{10^6} = 36173 \text{ kg}$$

3.2.2 Hmotnost krycí desky

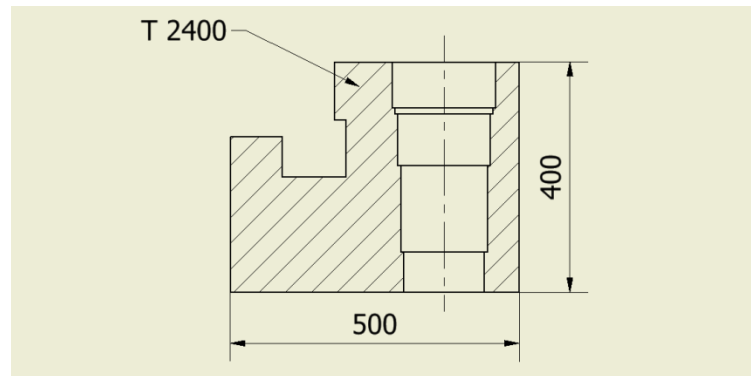


Obr.3-1 : Profil krycí desky

$$L = 4200 \text{ mm}$$

$$m_{krd} = (2 \cdot 50 \cdot 400 + 4 \cdot 270 \cdot 60 + 70 \cdot 2400) \cdot 4200 \cdot \frac{7,85}{10^6} = 8994 \text{ kg}$$

3.2.3 Hmotnost spojovacího členu



Obr. 3-2 : Profil spojovacího členu

$$m_{sč} = 500 \cdot 2400 \cdot 400 \cdot \frac{7,85}{10^6} = 3768 \text{ kg}$$

3.2.4 Hmotnost celková

$$m_c = m_i + m_p + 2 \cdot m_{krd} + m_{sč} + m_{kd}$$

$$m_c = 40000 + 30000 + 2 \cdot 8994 + 3768 + 36173 = 127929 \text{ kg}$$

3.3 Výpočet sil

3.3.1 Gravitační síla

$$F_G = m_c \cdot g = 127929 \cdot 9,81 = 1254983 \text{ N}$$

3.3.2 Potřebná síla posuvu

$$f = 0,2 \div 0,5 = \text{zvoleno } 0,32$$

$$F_p = f \cdot F_G = 0,32 \cdot 1254983 = 401595 \text{ N}$$

3.4 Výpočet rozměrů pístitnice

Dovolené namáhání

Materiál: 12060.9 [5]

$$\sigma_k = 345 \text{ MPa}$$

$$s = 2$$

$$c_{III} = 0,45 [6]$$

$$\sigma_D = c_{III} \cdot \frac{\sigma_k}{s} = 0,45 \cdot \frac{345}{2} = 77,6 \text{ MPa}$$

Průměr pístnice min.

$$d_{p1_{min}} \geq \sqrt{\frac{4 \cdot F_p}{\pi \cdot \sigma_D}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 401595}{\pi \cdot 77,6}} = 81,17 \text{ mm} \Rightarrow 85 \text{ mm}$$

Opěrný průměr pístnice

$$D_{p2_{min}} \geq \sqrt{\frac{4 \cdot F_p}{\sigma_D \cdot \pi}} + d_p^2 = \sqrt{\frac{4 \cdot 401595}{77,6 \cdot \pi}} + 85^2 = 117,5 \text{ mm} \Rightarrow 125 \text{ mm}$$

3.4.1 Výpočet průměru pístu

$$D_p \geq \sqrt{\frac{4 \cdot F_p}{p_p \cdot \pi}} + D_{p2_{min}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 401595}{32 \cdot \pi}} + 125^2 = 177,8 \text{ mm} \Rightarrow 180 \text{ mm}$$

3.5 Výpočet skutečných sil

3.5.1 Maximální skutečná síla výsuvná

$$F_{SV} = p_p \cdot S = p_p \cdot \frac{\pi \cdot D_p^2}{4} = 32 \cdot \frac{\pi \cdot 180^2}{4} = 814301 \text{ N}$$

$$F_{SV} > F_p$$

Jedná se o maximální možnou sílu, kterou lze vyvodit. Vzhledem k třetímu Newtonovu zákonu: „Proti každé akci vždy působí stejná reakce opačně orientovaná“ se jedná o sílu při zablokování posuvu (havarijní). Běžná pracovní síla by se měla pohybovat na úrovni síly potřebné tj.: 401 595N, protože nebude vytvořena adekvátní reakce.

3.5.2 Maximální skutečná síla zpětná

$$F_{SZ} = p_p \cdot S = p_p \cdot \frac{\pi \cdot (D_p^2 - D_{p2_{min}}^2)}{4} = 32 \cdot \frac{\pi \cdot (180^2 - 125^2)}{4} = 421602 \text{ N}$$

$$F_{SZ} > F_p$$

3.6 Výpočet vnějšího průměru válce

Dovolené namáhání

Pístnice – 77,6 MPa

Materiál válce: 13240.6 [5]

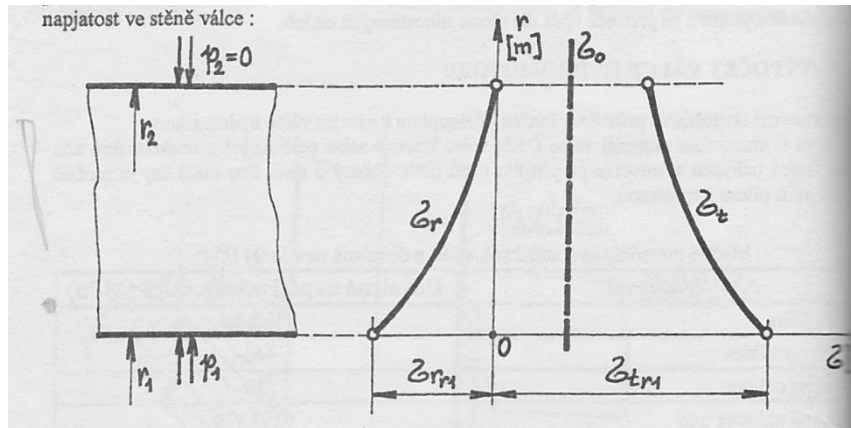
$$\sigma_k = 440 \text{ MPa}$$

$$s = 3,5$$

$$c_{II} = 0,85 [6]$$

$$\sigma_{Dv} = c_{II} \cdot \frac{\sigma_k}{s} = 0,85 \cdot \frac{440}{3,5} = 106,9 \text{ MPa}$$

Výpočet vnějšího průměru válce [1]



Obr. 3-3 : Průběh napětí ve stěně válce

$$D_1 = D_p = 180 \text{ mm}$$

$$\kappa_i = \frac{r_2}{r_1} = \frac{D_2}{D_1}$$

$$\kappa_{s.v.} = \sqrt{\frac{0,4 \cdot p_p + \sigma_{Dv}}{\sigma_{Dv} - 1,3 \cdot p_p}} = \sqrt{\frac{0,4 \cdot 32 + 106,9}{106,9 - 1,3 \cdot 32}} = 1,35$$

$$D_{2s.v.} = \kappa_{s.v.} \cdot D_1 = 1,35 \cdot 180 = 243 \text{ mm}$$

$$\kappa_{HMH} = \sqrt{\frac{\sigma_{Dv}}{\sigma_{Dv} - \sqrt{3} \cdot p_p}} = \sqrt{\frac{106,9}{106,9 - \sqrt{3} \cdot 32}} = 1,44$$

$$D_{2HMH} = \kappa_{HMH} \cdot D_1 = 1,44 \cdot 180 = 259,2 \text{ mm}$$

Zvolen $\varnothing D_2 = 275 \text{ mm}$

3.7 Výpočet rozměrů matice

Dovolené namáhání

$$\sigma_{Dpístnice} = 77,6 \text{ MPa}$$

Materiál matice: 11500.0 [5]

$$\sigma_k = 245 \text{ MPa}$$

$$s = 3$$

$$c_{II} = 0,85 [6]$$

$$\sigma_{Dmatice} = c_{II} \cdot \frac{\sigma_k}{s} = 0,85 \cdot \frac{245}{3} = 69,4MPa = p_{dDmatice}$$

Matice má menší pevnost k otláčení by došlo v ní.

Stanovení délky závitu

Min průměr pístitnice je 81,17mm

Zvolen závit M85x2 [6]

$$d_3 = 82,546mm$$

$$D_1 = 82,835mm$$

$$p_z = \frac{F_p}{S} = \frac{F_p}{z \cdot \pi \cdot d_2 \cdot \frac{d-D_1}{2}} \leq p_{Dmatice}$$

$$z \geq \frac{F_p}{p_{Dmatice} \cdot \pi \cdot d_2 \cdot \frac{d-D_1}{2}}$$

$$z \geq \frac{421602}{69,4 \cdot \pi \cdot 83,701 \cdot \frac{85-82,835}{2}} = 21,3$$

$$h = z \cdot P = 21,3 \cdot 2 = 42,6mm$$

Zvolena matice výšky 45mm

3.8 kontrola čepového spoje podpěry a pístitnice

Dovolené namáhání

$$\sigma_{Dpístitnice} = 77,6MPa$$

Materiál podpěry: 14140.7 [5]

$$\sigma_k = 785Mpa$$

$$s = 2$$

$$c_{III} = 0,45 [6]$$

$$\sigma_{Dpodpěry} = c_{III} \cdot \frac{\sigma_k}{s} = 0,45 \cdot \frac{785}{2} = 176,6MPa$$

Materiál čepu: 16444.7 [5]

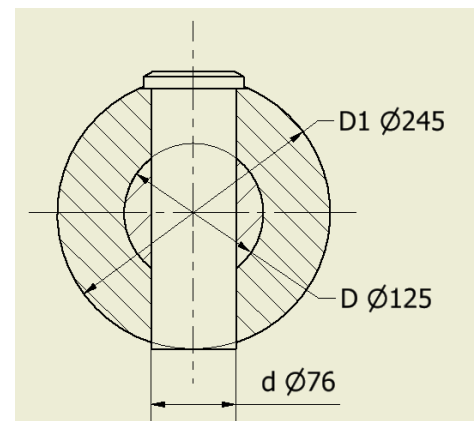
$$\sigma_k = 830Mpa$$

$$s = 2$$

$$c_{III} = 0,45 [6]$$

$$\sigma_{Dčepu} = c_{III} \cdot \frac{\sigma_k}{s} = 0,45 \cdot \frac{830}{2} = 186,8MPa$$

$$\tau_{Dčepu} = 0,7 \cdot \sigma_{Dčepu} = 0,75 \cdot 186,6 = 140,1MPa$$



Obr. 3-4 : Spoj pístitnice - podpěra

Střih čepu

$$\tau_s = \frac{F_{sv}}{S} = \frac{F_{sv}}{2 \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4}} = \frac{814301}{2 \cdot \frac{\pi \cdot 76^2}{4}} = 89,8 \text{ MPa}$$

$$\tau_s < \tau_{D\text{čepu}}$$

Namáhání pístnice tahem

Tah vzniká při zasouvání pístnice.

$$\sigma_t = \frac{F_{sz}}{\left(\frac{\pi \cdot D^2}{4} - d \cdot D\right)} = \frac{421602}{\left(\frac{\pi \cdot 125^2}{4} - 76 \cdot 125\right)} = 152,1 \text{ MPa}$$

$$\sigma_t > \sigma_{D\text{pístnice}}$$

Pístnice nevyhovuje. Zvolen pevnější materiál aby nedošlo k navýšení hmotnosti a rozměrů celého mechanismu.

Změna materiálu - dovolené namáhání

Materiál pístnice: 14140.7 [5]

$$\sigma_k = 785 \text{ Mpa}$$

$$s = 2$$

$$c_{III} = 0,45 [6]$$

$$\sigma_{D\text{pístnice}} = c_{III} \cdot \frac{\sigma_k}{s} = 0,45 \cdot \frac{785}{2} = 176,6 \text{ MPa}$$

Namáhání pístnice tahem

$$\sigma_t = \frac{F_{sz}}{\left(\frac{\pi \cdot D^2}{4} - d \cdot D\right)} = \frac{421602}{\left(\frac{\pi \cdot 125^2}{4} - 76 \cdot 125\right)} = 152,1 \text{ MPa}$$

$$\sigma_t < \sigma_{D\text{pístnice}}$$

Otlačení pístnice - čep

K maximálnímu otlačení dochází při výsuvu.

$$\sigma_{dD} = \frac{F_{sv}}{d \cdot D} = \frac{814301}{76 \cdot 125} = 85,72 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{dD} < \sigma_{D\text{pístnice}}$$

$$\sigma_{dD} < \sigma_{D\text{čepu}}$$

Otlačení čep – podpěra

$$\sigma_{dD_1} = \frac{F_{sv}}{(D_1 - D) \cdot d} = \frac{814301}{(245 - 125) \cdot 76} = 89,29 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{dD_1} < \sigma_{D \text{ podpěra}}$$

$$\sigma_{dD_1} < \sigma_{D \text{ čepu}}$$

3.9 Otlačení dosedací plochy pístu

Dovolené namáhání

$$\sigma_{D \text{ matice}} = 69,4 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{D \text{ pístnice}} = 176,6 \text{ MPa}$$

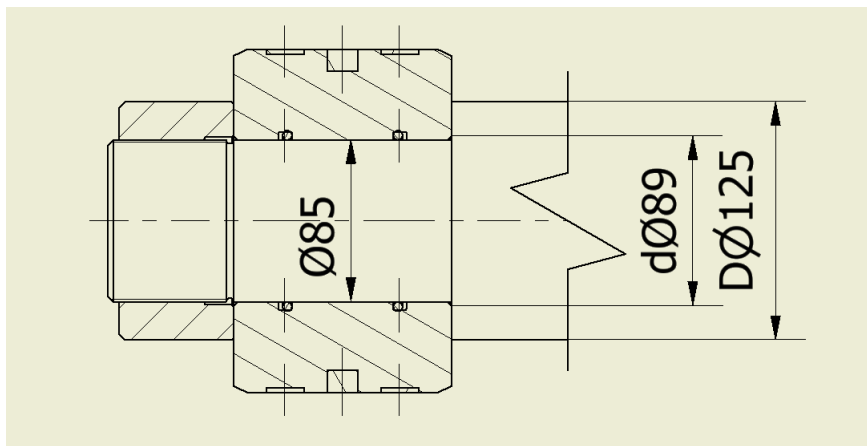
Materiál pístu: 12061.6 [5]

$$\sigma_k = 380 \text{ MPa}$$

$$s = 2$$

$$c_{II} = 0,85 [6]$$

$$\sigma_{D \text{ pístu}} = c_{II} \cdot \frac{\sigma_k}{s} = 0,85 \cdot \frac{385}{2} = 163,6 \text{ MPa}$$



Obr. 3-5 : Dosedací plochy pístu

Otlačení dosedacích ploch píst – pístnice (výsuv)

$$\sigma_{dD} = \frac{F_{sv}}{\frac{\pi \cdot (D^2 - d^2)}{4}} = \frac{814301}{\frac{\pi \cdot (125^2 - 89^2)}{4}} = 134,6 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{dD} < \sigma_{D \text{ pístu}}$$

$$\sigma_{dD} < \sigma_{D \text{ pístnice}}$$

Otláčení dosedacích ploch píst – matice (zasouvání)

$$\sigma_{dD} = \frac{F_{sz}}{\frac{\pi \cdot (D^2 - d^2)}{4}} = \frac{421602}{\frac{\pi \cdot (125^2 - 89^2)}{4}} = 69,7 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{dD} < \sigma_{Dpistu}$$

$$\sigma_{dD} < \sigma_{Dmatice}$$

Matice vyhovuje, překročení dovoleného napětí o 0,3 MPa není při bezpečnosti $S = 3$ významné.

3.10 Vzpěr pístnice

Výpočet mezní štíhlosti [4]

$$\lambda_{mez} = \pi \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot E}{\sigma_u}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 2,1 \cdot 10^5}{785}} = 72,6$$

$$\lambda = l \cdot \sqrt{\frac{S}{I}} = l \cdot \sqrt{\frac{\frac{\pi \cdot D^2}{4}}{\frac{\pi \cdot D^4}{64}}} = l \cdot \sqrt{\frac{16}{D^2}} = 4000 \cdot \sqrt{\frac{16}{125^2}} = 128$$

$$\lambda > \lambda_{mez} \rightarrow \text{Řešení dle Eulera}$$

Výpočet bezpečnosti [4]

$$F_{krit} = \frac{2 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{l^2} = \frac{2 \cdot \pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot \frac{\pi \cdot 125^4}{64}}{4000^2} = 3104838,4 \text{ N}$$

$$F_{krit} = S \cdot F$$

$$S = \frac{F_{krit}}{F} = \frac{3104838,4}{814301} = 3,81$$

Stupeň bezpečnosti je 3,81. Pístnice vyhovuje.

3.11 Kontrola šroubů zátky válce

Je zvoleno 8ks závrtných šroubů M27x1,5 pevnostní třídy 8.8, výška matice: 27mm

Výpočet dovoleného namáhání

$$\sigma_k = 640 \text{ MPa}$$

$$s = 2$$

$$c_{II} = 0,85 \text{ [6]}$$

$$\sigma_D = c_{II} \cdot \frac{\sigma_k}{s} = 0,85 \cdot \frac{640}{2} = 272 \text{ MPa} = p_D$$

Tah ve šroubech

$$\sigma_t = \frac{F_{sv}}{S_j} = \frac{F_{sv}}{8 \cdot \frac{\pi \cdot d_3^2}{4}} = \frac{814301}{8 \cdot \frac{\pi \cdot 25,160^2}{4}} = 204,7 \text{ MPa}$$

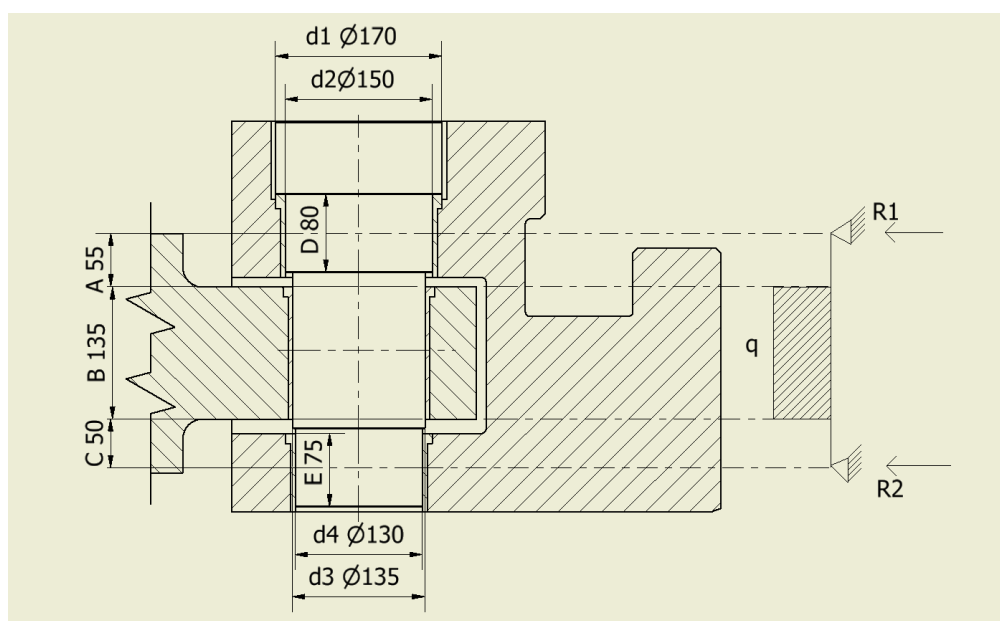
$$\sigma_t < \sigma_D$$

Otlačení v závitech

$$p_z = \frac{F_{sv}}{S} = \frac{F_{sv}}{8 \cdot \frac{h}{P} \cdot \pi \cdot d_2 \cdot \frac{d-D_1}{2}} = \frac{814301}{8 \cdot \frac{27}{1,5} \cdot \pi \cdot 26,026 \cdot \frac{27-25,376}{2}} = 85,2 \text{ MPa}$$

$$p_z < p_D$$

3.12 Kontrola spojovacího čepu



Obr. 3-6 : Spojovací čep

Dovolené namáhání

$$\sigma_{Dpodpěry} = 176,6 \text{ MPa}$$

Materiál čepu: 12061.1 [5]

$$\sigma_k = 380 \text{ MPa}$$

$$s = 2$$

$$c_{III} = 0,45 [6]$$

$$\sigma_{Dčep} = c_{III} \cdot \frac{\sigma_k}{s} = 0,45 \cdot \frac{380}{2} = 85,5 \text{ MPa}$$

Otlačení čep – spojovací člen

$$\sigma_{d(\text{čep-spoj.člen})} = \frac{F_{sv}}{S} = \frac{F_{sv}}{d_2 \cdot D + d_4 \cdot E} = \frac{814301}{150 \cdot 80 + 130 \cdot 75} = 37,4 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{d(\text{čep-spoj.člen})} < \sigma_{D\text{čep}}$$

Otlačení čep – podpěra

$$\sigma_{d(\text{čep-podpěra})} = \frac{F_{sv}}{S} = \frac{F_{sv}}{d_3 \cdot E} = \frac{814301}{135 \cdot 135} = 44,7 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{d(\text{čep-podpěra})} < \sigma_{D\text{čep}}$$

$$\sigma_{d(\text{čep-podpěra})} < \sigma_{D\text{podpěry}}$$

Ohyb čepu

$$q = \frac{F_{sv}}{E} = \frac{F_{sv}}{E} = \frac{814301}{135} = 6031,9 \text{ N/mm}$$

$$W_o = \frac{\pi \cdot d^3}{32} = \frac{\pi \cdot 135^3}{32} = 241546,8 \text{ mm}^3$$

$$R_1 = q \cdot B \cdot \frac{C + \frac{B}{2}}{A + B + C} = 6031,9 \cdot 135 \cdot \frac{50 + \frac{135}{2}}{55 + 135 + 50} = 398671 \text{ N}$$

$$x_{\max} = \frac{R_1}{q} + A = \frac{398671}{6031,9} + 55 = 121,1 \text{ mm}$$

$$M_{o\max} = R_1 \cdot x_{\max} - q \cdot \frac{(x_{\max} - A)^2}{2} = 398671 \cdot 66,1 - 6031,9 \cdot \frac{(121,1 - 55)^2}{2}$$

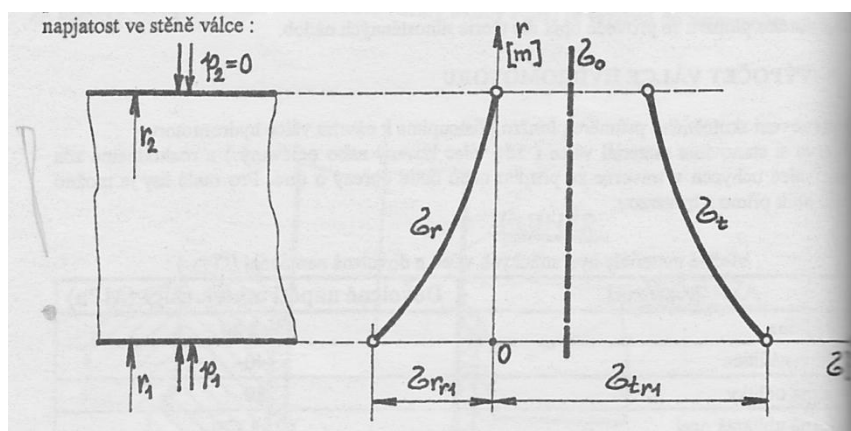
$$= 13174834,2 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} = \frac{13174834,2}{241546,8} = 54,5 \text{ MPa}$$

$$\sigma_o < \sigma_{D\text{čepu}}$$

3.13 Kontrola válce

Výpočet dle [1].



Obr. 3-7 : Průběh napětí ve stěně válce

$$\sigma_{D\text{válcce}} = 106,9 \text{ MPa}$$

$$r_1 = 90\text{mm}$$

$$r_2 = 137,5\text{mm}$$

$$\kappa = \frac{r_2}{r_1} = \frac{137,5}{90} = 1,53$$

$$\sigma_o = \frac{p}{\kappa^2 - 1} = \frac{32}{1,53^2 - 1} = 25,6\text{MPa}$$

$$\sigma_{tr1} = 2 \cdot \sigma_o + p_p = 2 \cdot 25,6 + 32 = 83,2\text{MPa}$$

$$\sigma_{rr1} = -p_p = -32\text{MPa}$$

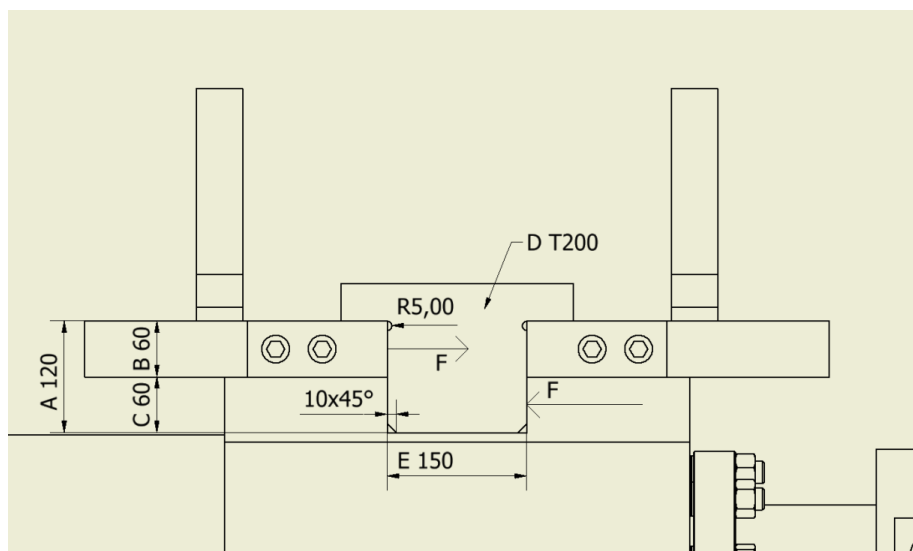
$$\sigma_{s.v.} = \sigma_{tr1} - \mu \cdot (\sigma_{rr1} + \sigma_o) = 83,2 - 0,3 \cdot (-32 + 25,6) = 85,12\text{MPa}$$

$$\sigma_{HMH} = \sqrt{\sigma_{tr1}^2 + \sigma_{rr1}^2 + \sigma_o^2 - \sigma_{tr1} \cdot \sigma_{rr1} - \sigma_{tr1} \cdot \sigma_o - \sigma_o \cdot \sigma_{rr1}} =$$

$$= \sqrt{83,2^2 + (-32)^2 + 25,6^2 - (-32 \cdot 83,2) - 83,2 \cdot 25,6 - 25,6 \cdot (-32)} = 99,8\text{MPa}$$

$$\sigma_{HMH} < \sigma_{Dv\acute{a}lce}$$

3.14 Úchyt válce v ložích posuvu a kontrola svarů



Obr. 3-8 : Uchycení válce k loži

Dovolené namáhání

Materiál pera: 11500.0 [5]

$$\sigma_k = 245\text{MPa}$$

$$s = 2$$

$$c_{III} = 0,65 [6]$$

$$\sigma_{Dpera} = c_{III} \cdot \frac{\sigma_k}{s} = 0,65 \cdot \frac{245}{3} = 79,6\text{MPa}$$

$$\tau_{Dpera} = 0,7 \cdot \sigma_{Dpera} = 0,7 \cdot 79,6 = 55,72\text{MPa}$$

Otlačení pera

$$F = \frac{F_{sv}}{2} = \frac{814301}{2} = 407150,5N$$

$$\sigma_d = \frac{F}{(C-10) \cdot D} = \frac{407150,5}{(60-10) \cdot 200} = 40,7MPa$$

$$\sigma_d < \sigma_{Dpera}$$

Namáhání pera

$$\tau_s = \frac{F}{E \cdot D} = \frac{407150,5}{150 \cdot 200} = 13,6MPa$$

$$\tau_s < \tau_{Dpera}$$

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} = \frac{F \cdot \frac{C-10+B-5}{2}}{\frac{D \cdot E^2}{6}} = \frac{407150,5 \cdot \frac{60+60-15}{2}}{\frac{200 \cdot 150^2}{6}} = 28,5MPa$$

$$\sigma_o < \sigma_{dovpera}$$

3.15 Kontrola svarů

Desky z oceli 11373 jsou přivařeny pomocí dvou půl V svarů velikosti Z = 20 mm a délky L = 800 mm, síla působí ve výšce O = 242,5 mm nad svarem.

Dovolené namáhání

Materiál desek a svarů: 11373.0 [5]

$$\sigma_k = 226 MPa$$

$$s = 2$$

$$c_{III} = 0,85 [6]$$

$$\sigma_{Dsvar} = c_{III} \cdot \frac{\sigma_k}{s} = 0,85 \cdot \frac{226}{2} = 96,1MPa$$

$$\tau_{Dsvar} = 0,7 \cdot \sigma_{Dsvar} = 0,7 \cdot 96,1 = 67,2MPa$$

Namáhání svarů

$$A = L - 2 \cdot Z = 800 - 2 \cdot 20 = 760mm$$

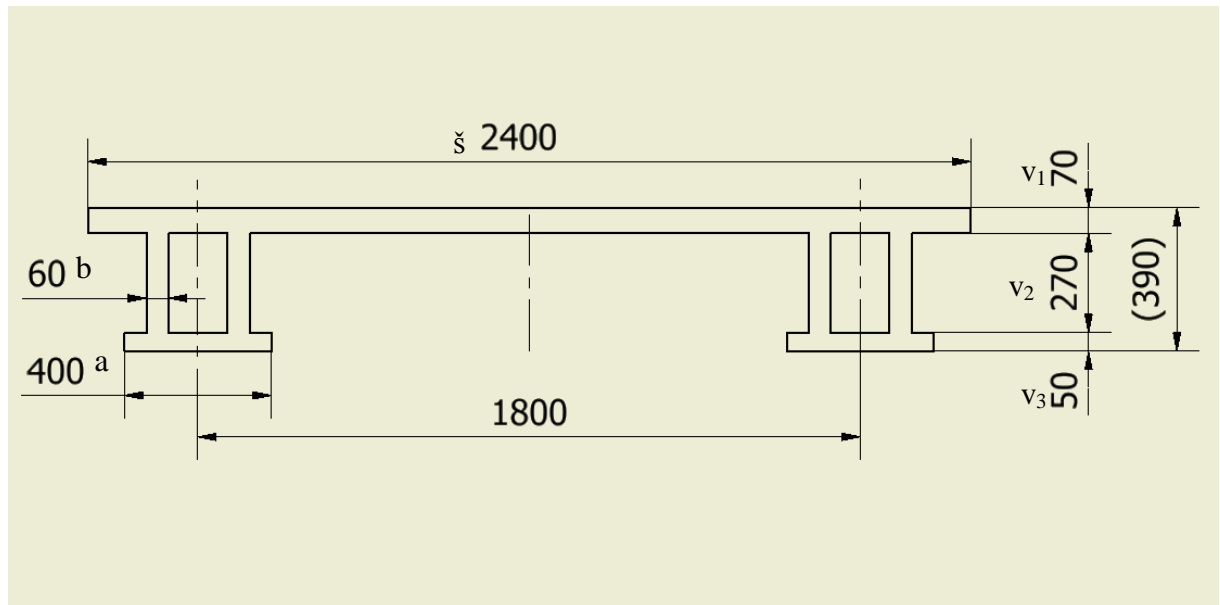
$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} = \frac{F \cdot O}{2 \cdot \frac{Z \cdot A^2}{6}} = \frac{407150,5 \cdot 242,5}{2 \cdot \frac{20 \cdot 760^2}{6}} = 25,64MPa$$

$$\sigma_o < \sigma_{Dsvar}$$

$$\tau_s = \frac{F}{2 \cdot Z \cdot A} = \frac{407150,5}{2 \cdot 20 \cdot 760} = 13,4 \text{ MPa}$$

$$\tau_s < \tau_{Dsvar}$$

3.16 Kontrola krycí desky



Obr. 3-9 : Průřez krycí desky

Dovolené namáhání

Materiál krycí desky: 42 2630.1 [5]

$$\sigma_k = 200 \text{ MPa}$$

$$s = 2$$

$$c_{II} = 0,75 [6]$$

$$\sigma_{Dkd} = c_{II} \cdot \frac{\sigma_k}{s} = 0,75 \cdot \frac{200}{2} = 75 \text{ MPa}$$

Výpočet průřezového modulu v ohybu

Jelikož je profil osově souměrný lze souměrné plochy sjednotit v ose a pracovat s nimi jako s jednou plochou.

$$L_1 = \text{š} = 2400 \text{ mm}$$

$$L_2 = 4 \cdot b = 4 \cdot 60 = 240 \text{ mm}$$

$$L_3 = 2 \cdot a = 2 \cdot 400 = 800 \text{ mm}$$

$$S_1 = v_1 \cdot L_1 = 70 \cdot 2400 = 168000 \text{ mm}^2$$

$$S_2 = v_2 \cdot L_2 = 270 \cdot 240 = 64800 \text{ mm}^2$$

$$S_3 = v_3 \cdot L_3 = 50 \cdot 800 = 40000 \text{ mm}^2$$

$$S = S_1 + S_2 + S_3 = 168000 + 64800 + 40000 = 272800 \text{ mm}^2$$

$$y_{t1} = v_3 + v_2 + \frac{v_1}{2} = 50 + 270 + \frac{70}{2} = 355 \text{ mm}$$

$$y_{t2} = v_3 + \frac{v_2}{2} = 50 + \frac{270}{2} = 185 \text{ mm}$$

$$y_{t3} = \frac{v_3}{2} = \frac{50}{2} = 25 \text{ mm}$$

$$y_t = \frac{(S_1 \cdot y_{t1} + S_2 \cdot y_{t2} + S_3 \cdot y_{t3})}{S} = \frac{(168000 \cdot 355 + 64800 \cdot 185 + 40000 \cdot 25)}{272800} = 266,2 \text{ mm}$$

$$c_1 = v_1 - y_t = 355 - 266,2 = 88,8 \text{ mm}$$

$$c_2 = y_t - v_2 = 266,2 - 185 = 81,2 \text{ mm}$$

$$c_3 = y_t - v_3 = 266,2 - 25 = 241,2 \text{ mm}$$

$$u_1 = S_1 \cdot c_1^2 = 168000 \cdot 88,8^2 = 1324753920 \text{ mm}^4$$

$$u_2 = S_2 \cdot c_2^2 = 64800 \cdot 81,2^2 = 427254912 \text{ mm}^4$$

$$u_3 = S_3 \cdot c_3^2 = 40000 \cdot 241,2^2 = 2327097600 \text{ mm}^4$$

$$u = u_1 + u_2 + u_3 = 1324753920 + 427254912 + 2327097600 \\ = 4079106432 \text{ mm}^4$$

$$I_1 = \frac{L_1 \cdot v_1^3}{12} = \frac{2400 \cdot 70^3}{12} = 68600000 \text{ mm}^4$$

$$I_2 = \frac{L_2 \cdot v_2^3}{12} = \frac{240 \cdot 270^3}{12} = 393660000 \text{ mm}^4$$

$$I_3 = \frac{L_3 \cdot v_3^3}{12} = \frac{800 \cdot 50^3}{12} = 8333333 \text{ mm}^4$$

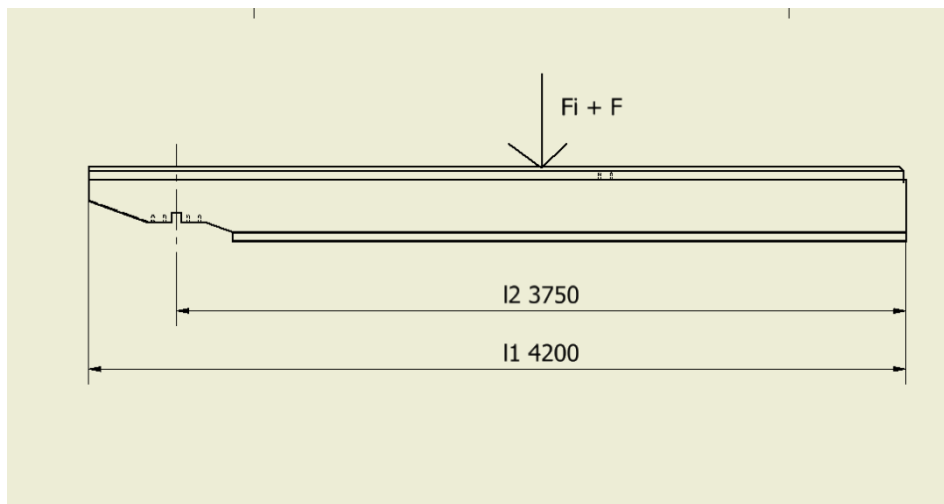
$$I = I_1 + I_2 + I_3 + u = 68600000 + 393660000 + 8333333 + 4079106432 + \\ 4079106432 = 8628806197 \text{ mm}^4$$

$$e_1 = y_t = 266,2 \text{ mm}$$

$$e_2 = \sum v - y_t = 390 - 266,2 = 123,8 \text{ mm}$$

$$W_o = \frac{I}{e_1} = \frac{8628806197}{266,2} = 32414749 \text{ mm}^3$$

Namáhání od vlastní hmotnosti



Obr. 3-10 : Namáhání krycí desky

$$m = S \cdot l_2 \cdot \rho_o = 272800 \cdot 3750 \cdot \frac{7,85}{10^6} = 8030,6 \text{ kg}$$

$$F = m \cdot g = 8030,6 \cdot 9,81 = 78780 \text{ N}$$

$$q = \frac{F}{l_2} = \frac{78780}{3700} = 21,3 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1}$$

$$M_o = \frac{q \cdot l_2^2}{8} = \frac{21,3 \cdot 3700^2}{8} = 36449625 \text{ Nmm}$$

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} = \frac{36449625}{32414749} = 1,12 \text{ MPa}$$

$$v_G = \left(\frac{5}{384} \right) \cdot \frac{q \cdot l_2^4}{E \cdot I} = \left(\frac{5}{384} \right) \cdot \frac{21 \cdot 3750^4}{2,1 \cdot 10^5 \cdot 8628806197} = 0,03 \text{ mm} \quad [6]$$

Namáhání od odloženého ingotu

$$m_i = 40000 \text{ kg}$$

$$F_i = m_i \cdot g = 40000 \cdot 9,81 = 392400 \text{ N}$$

$$M_{oi} = \frac{F_i \cdot l_2}{4} = \frac{392400 \cdot 3700}{4} = 362970000 \text{ Nmm}$$

$$\sigma_{oi} = \frac{M_{oi}}{W_o} = \frac{362970000}{32414749} = 11,2 \text{ MPa}$$

$$v_i = \left(\frac{1}{48} \right) \cdot \frac{F_i \cdot l_2^3}{E \cdot I} = \left(\frac{1}{48} \right) \cdot \frac{392400 \cdot 3700^3}{2,1 \cdot 10^5 \cdot 8628806197} = 0,23 \text{ mm} \quad [6]$$

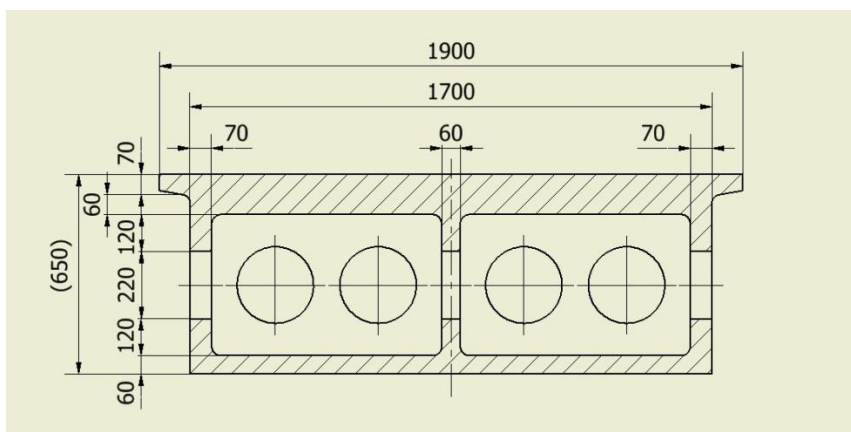
Celkové namáhání a průhyb

$$\sigma_{oc} = \sigma_{oi} + \sigma_o = 11,2 + 1,12 = 12,32 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{oc} < \sigma_{Dkd}$$

$$v_c = v_G + v_i = 0,03 + 0,23 = 0,26 \text{ mm}$$

3.17 Kontrola lože



Obr. 3-11 : Profil lože

Dovolené namáhání

Materiál: 42 2630.1 [5]

$$\sigma_k = 200 \text{ MPa}$$

$$s = 2$$

$$c_{II} = 0,75 [6]$$

$$\sigma_{Dloze} = c_{II} \cdot \frac{\sigma_k}{s} = 0,75 \cdot \frac{200}{2} = 75 \text{ MPa}$$

Výpočet průřezového modulu v ohybu

Jelikož je profil osově souměrný lze souměrné plochy sjednotit v ose a pracovat s nimi jako s jednou plochou

$$L_1 = 1900 \text{ mm}$$

$$L_2 = L_5 = 1700 \text{ mm}$$

$$L_3 = L_4 = 2 \cdot 70 + 60 = 200 \text{ mm}$$

$$S_1 = v_1 \cdot L_1 = 70 \cdot 1900 = 133000 \text{ mm}^2$$

$$S_2 = v_2 \cdot L_2 = 60 \cdot 1700 = 102000 \text{ mm}^2$$

$$S_3 = v_3 \cdot L_3 = 120 \cdot 200 = 24000 \text{ mm}^2$$

$$S_4 = v_4 \cdot L_4 = 120 \cdot 200 = 24000 \text{ mm}^2$$

$$S_5 = v_5 \cdot L_5 = 60 \cdot 1700 = 102000 \text{ mm}^2$$

$$S = S_1 + S_2 + S_3 + S_4 + S_5 = 133000 + 102000 + 24000 + 24000 + 102000$$

$$S = 385000 \text{ mm}^2$$

$$y_{t_1} = 615 \text{ mm}$$

$$y_{t_2} = 550 \text{ mm}$$

$$y_{t_3} = 460 \text{ mm}$$

$$y_{t_4} = 120 \text{ mm}$$

$$y_{t_5} = 30 \text{ mm}$$

$$y_t = \frac{(S_1 \cdot y_{t_1} + S_2 \cdot y_{t_2} + S_3 \cdot y_{t_3} + S_4 \cdot y_{t_4} + S_5 \cdot y_{t_5})}{S}$$

$$y_t = \frac{(133000 \cdot 615 + 102000 \cdot 550 + 24000 \cdot 460 + 24000 \cdot 120 + 102000 \cdot 30)}{385000}$$

$$y_t = 402,3 \text{ mm}$$

$$c_1 = a_1 - y_t = 615 - 402,3 = 212,7 \text{ mm}$$

$$c_2 = a_2 - y_t = 550 - 402,3 = 147,7 \text{ mm}$$

$$c_3 = a_3 - y_t = 460 - 402,3 = 57,7 \text{ mm}$$

$$c_4 = y_t - a_4 = 402,3 - 120 = 282,3 \text{ mm}$$

$$c_5 = y_t - a_5 = 460 - 402,3 = 57,7 \text{ mm}$$

$$u_1 = S_1 \cdot c_1^2 = 133000 \cdot 212,7^2 = 6017091570 \text{ mm}^4$$

$$u_2 = S_2 \cdot c_2^2 = 102000 \cdot 147,7^2 = 2225159580 \text{ mm}^4$$

$$u_3 = S_3 \cdot c_3^2 = 24000 \cdot 57,7^2 = 79902960 \text{ mm}^4$$

$$u_4 = S_4 \cdot c_4^2 = 24000 \cdot 282,3^2 = 1912638960 \text{ mm}^4$$

$$u_5 = S_5 \cdot c_5^2 = 102000 \cdot 57,7^2 = 3380480 \text{ mm}^4$$

$$u = u_1 + u_2 + u_3 + u_4 + u_5 = 24441173550 \text{ mm}^4$$

$$I_1 = \frac{L_1 \cdot v_1^3}{12} = \frac{1900 \cdot 70^3}{12} = 54308333 \text{ mm}^4$$

$$I_2 = \frac{L_2 \cdot v_2^3}{12} = \frac{1700 \cdot 60^3}{12} = 30600000 \text{ mm}^4$$

$$I_3 = \frac{L_3 \cdot v_3^3}{12} = \frac{200 \cdot 120^3}{12} = 28800000 \text{ mm}^4$$

$$I_4 = \frac{L_4 \cdot v_4^3}{12} = \frac{200 \cdot 120^3}{12} = 28800000 \text{ mm}^4$$

$$I_5 = \frac{L_5 \cdot v_5^3}{12} = \frac{1700 \cdot 60^3}{12} = 30600000 \text{ mm}^4$$

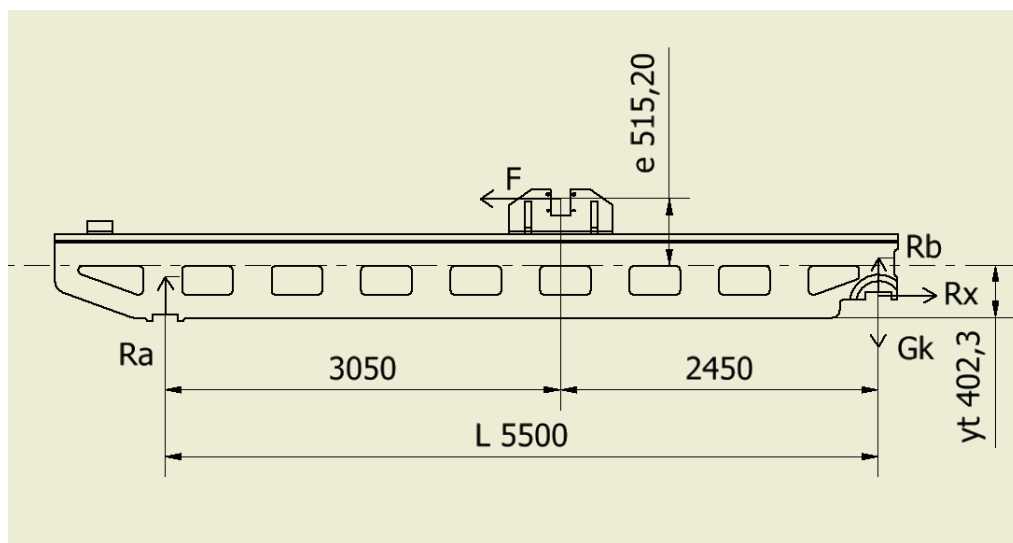
$$I = I_1 + I_2 + I_3 + I_4 + I_5 + u = 2461428188 \text{ mm}^4$$

$$e_1 = y_t = 402,3 \text{ mm}$$

$$e_2 = \sum v - y_t = 650 - 402,3 = 247,7 \text{ mm}$$

$$W_o = \frac{I}{e_1} = \frac{4549699765}{402,3} = 61183897 \text{ mm}^3$$

Namáhání lože



Obr. 3-12 : Zatížení lože

$$x: R_x - F = 0$$

$$y: R_A + R_B - G_k = 0$$

$$R_A = \frac{F \cdot e}{L_A + L_B} = \frac{814301 \cdot 515,2}{3050 + 2450} = 76277,8 \text{ N}$$

$$M_{o\max} = R_A \cdot L_A = 76277,8 \cdot 3050 = 232647290 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$\sigma_o = \frac{M_{o\max}}{W_o} = \frac{232647290}{61183897} = 3,8 \text{ MPa}$$

$$\sigma_o < \sigma_{D\text{loze}}$$

3.18 Kontrola zděře

Dovolené namáhání

Materiál: 12061.1 [5]

$$\sigma_k = 380 \text{ MPa}$$

$$s = 2$$

$$c_{II} = 0,65 [6]$$

$$\sigma_D = c_{II} \cdot \frac{\sigma_k}{s} = 0,65 \cdot \frac{380}{2} = 123,5 \text{ MPa}$$

Namáhání zděře

$$D_1 = 440 \text{ mm}$$

$$D_2 = 350 \text{ mm}$$

$$\check{s} = 52 \text{ mm}$$

$$\sigma_t = \frac{F_{sv}}{4 \cdot \check{s} \cdot (D_1 - D_2)} = \frac{814301}{4 \cdot 52 \cdot (440 - 350)} = 43,5 \text{ MPa}$$

$$\sigma_t < \sigma_D$$

3.19 Kontrola skutečné hmotnosti posuvných hmot

Hmotnosti jsou získány z CAD softwaru Inventor.

$$m_{s\check{c}s} = 3194 \text{ kg}$$

$$m_{pds} = 8637 \text{ kg}$$

$$m_{kds} = 33377 \text{ kg}$$

$$m_{cs} = m_i + m_p + 2 \cdot m_{pds} + m_{s\check{c}s} + m_{kds}$$

$$m_{cs} = 40000 + 30000 + 2 \cdot 8637 + 3194 + 33377 = 123845 \text{ kg}$$

$$m_c = 127929 \text{ kg}$$

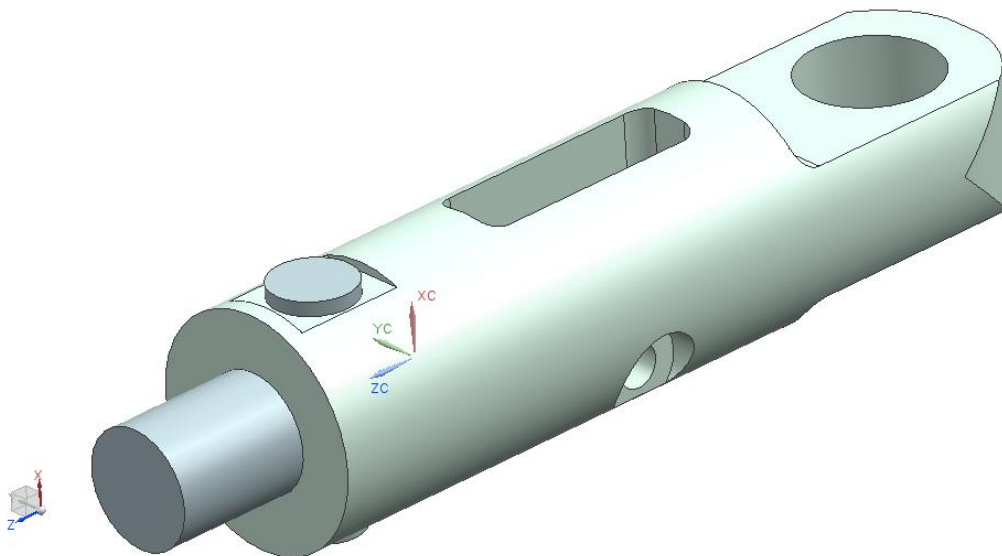
$$m_{cs} < m_c$$

3.20 Výpočet pomocí MKP – Uzel podpěry

Pro složitější součásti byl využit výpočet pomocí MKP.

3.20.1 Idealizovaný model

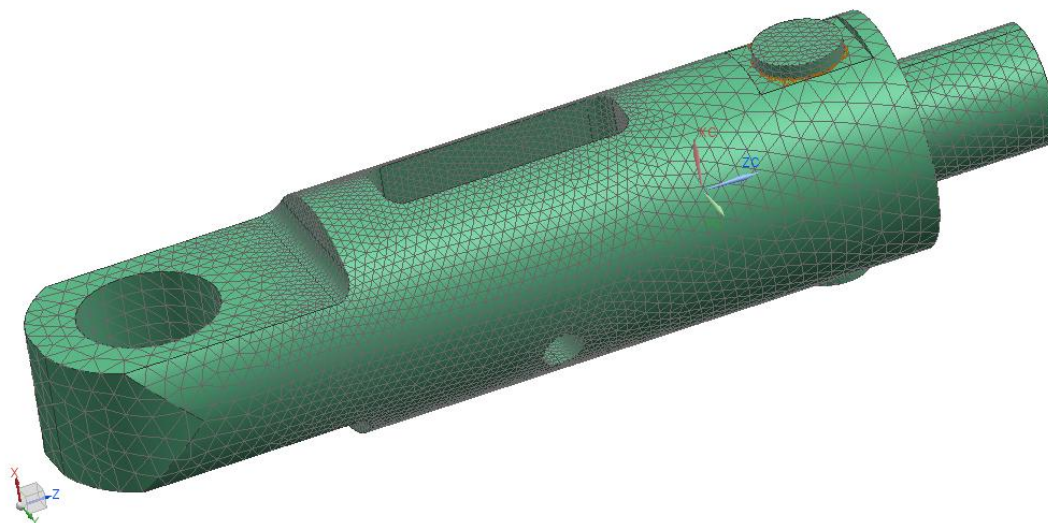
Bude vypočten uzel podpěry. Výpočet zahrnuje podpěru, pístnici a spojovací čep. Tento uzel je vysoce exponován. Čep, který tento uzel spojuje se spojovacím členem, bude nahrazen zatížením. V tomto idealizovaném modelu jsou odstraněny malé otvory, zkosení a osazení, které nemají na výpočet vliv, pro zjednodušení sítě. (Obr. 3-13)



Obr. 3-13 : Idealizovaný model

3.20.2 Sít'ování

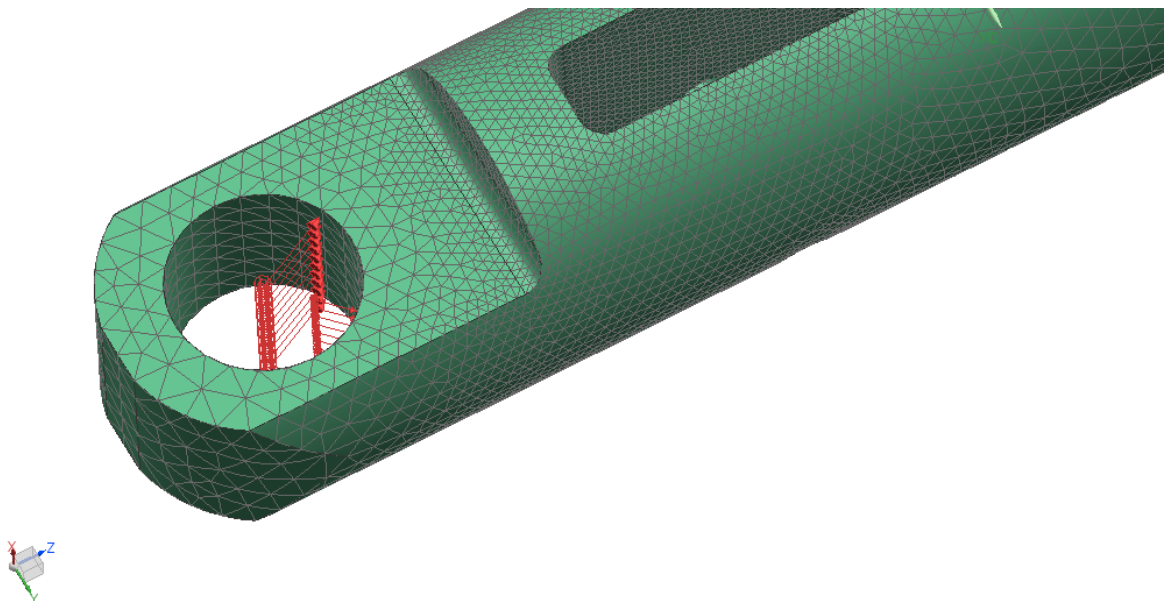
Pro všechny komponenty je využita „3D Tetrahedral“ síť, materiál je nastaven na ocel. Síť má povolenou změnu velikosti elementu na cca 80% pro lepší vysít'ování složitých míst. Vrchní hrana čepu je uchycena pomocí 1D ideálně tuhých prvků „RBE3“. (Obr. 3-14)



Obr. 3-14 : Sít'ovaný model

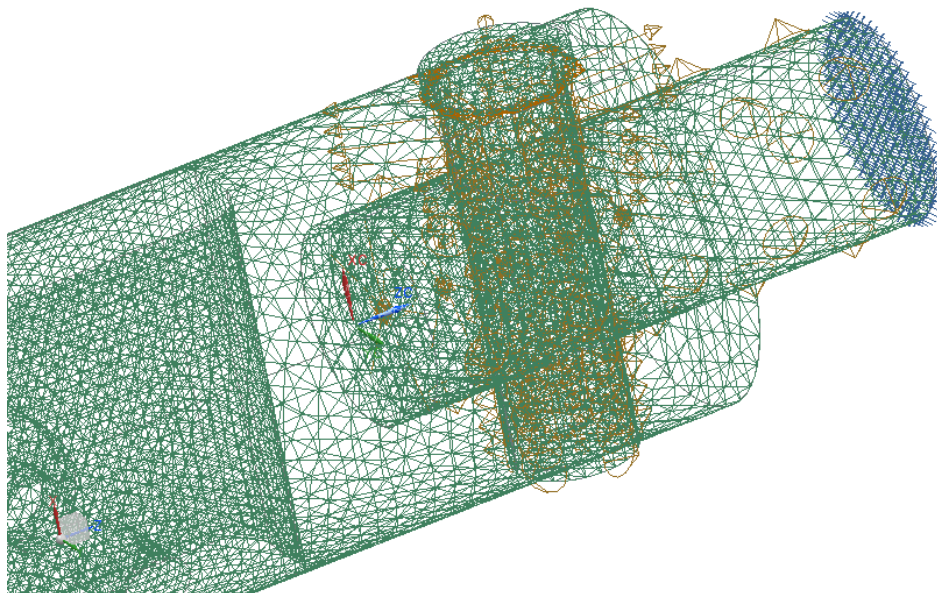
3.20.3 Zatížení a zavazbení

Zatížení je zadáno pomocí fce. „Bearing“ na hodnotu 814301 N pro výsuv pístnice, která umožňuje simulovat správné rozložení zatížení do válcové plochy. (Obr. 3-15)



Obr. 3-15 : Zatížení

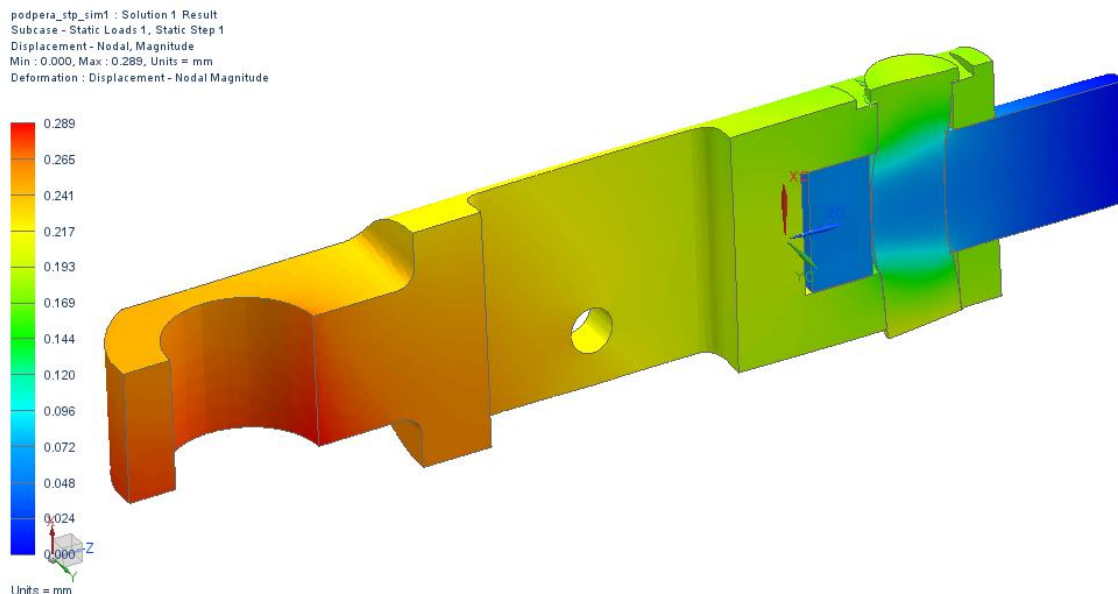
Zavazbení je provedeno na pístnici, která je plně fixována. V uzlu propojení je využita vazba „Contact“, která umožňuje simulovat reálnou situaci zatížení, kdy se součásti vzájemně ovlivňují. (Obr. 3-16)



Obr. 3-16 : Vazby, propojení součástí

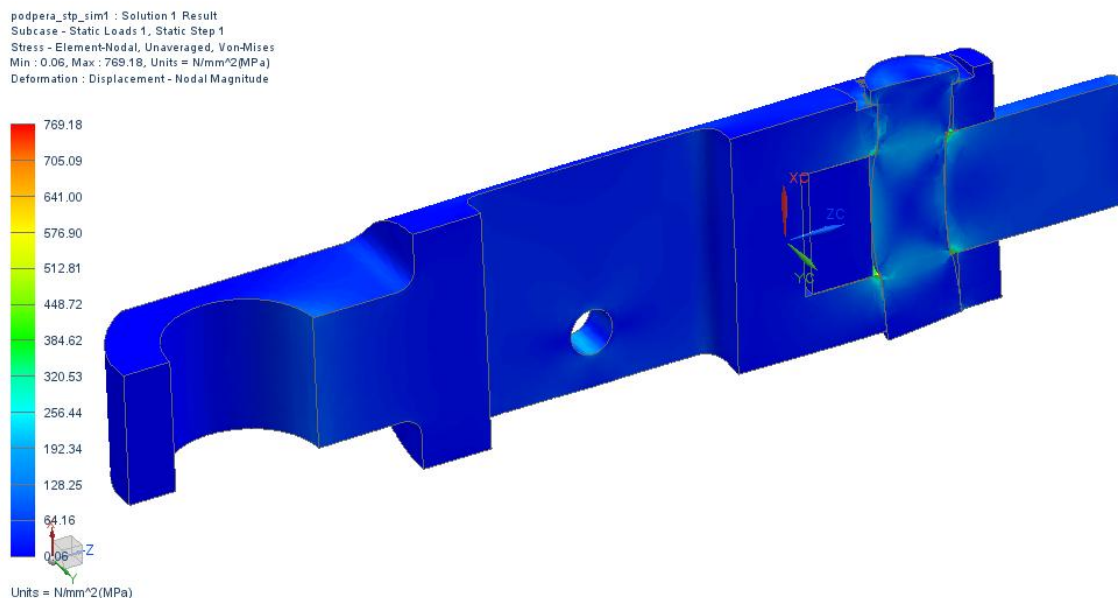
3.20.4 Vyhodnocení deformace a napětí

Deformace uzlu je při plném zatížení 0,289 mm. Průhyb čepu přibližně 0,15 mm. V prostoru kontaktu čepu s ostatními součástmi dochází k drobnému otláčení hran, které způsobuje průhyb čepu. (Obr. 3-17)



Obr. 3-17 : Celková deformace

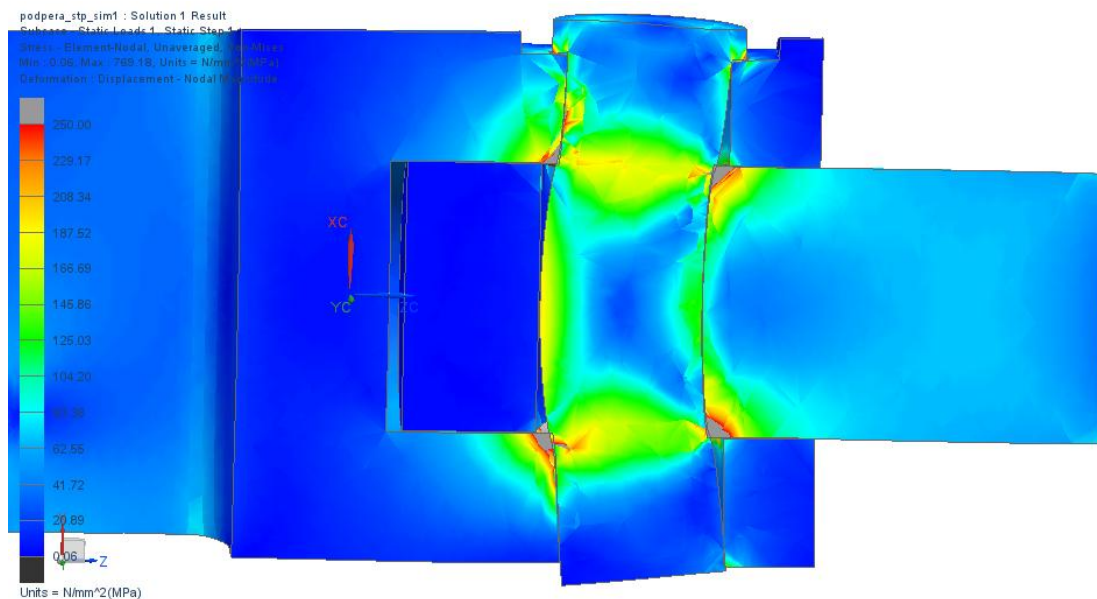
Maximální hodnota napětí dosahuje přes 750 MPa, toto zatížení je však pouze v oblasti doteku hran součástí s čepem. Toto napětí se projeví drobnou deformací hran tzv. otláčením. (Obr. 3-18)



Obr. 3-18 : Napětí celkové

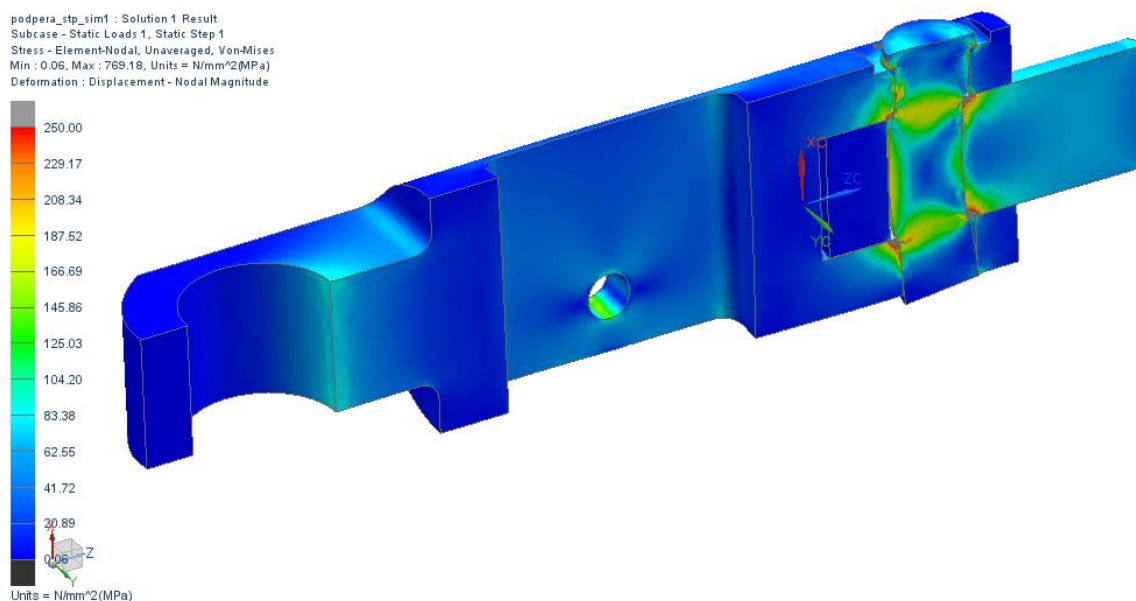
Na dalším obrázku je nastavena maximální hodnota škály na 250 MPa, tím se dosáhne lepší rozlišitelnosti výsledků. Jak je vidět z dalšího obrázku (Obr. 3-19), tak zatížení v čepu

dosahuje maximálně přibližně 170 MPa. Dále je vidět šedivé hrany, které dosahují většího zatížení, jedná se o místa, u nichž dojde k otláčení.



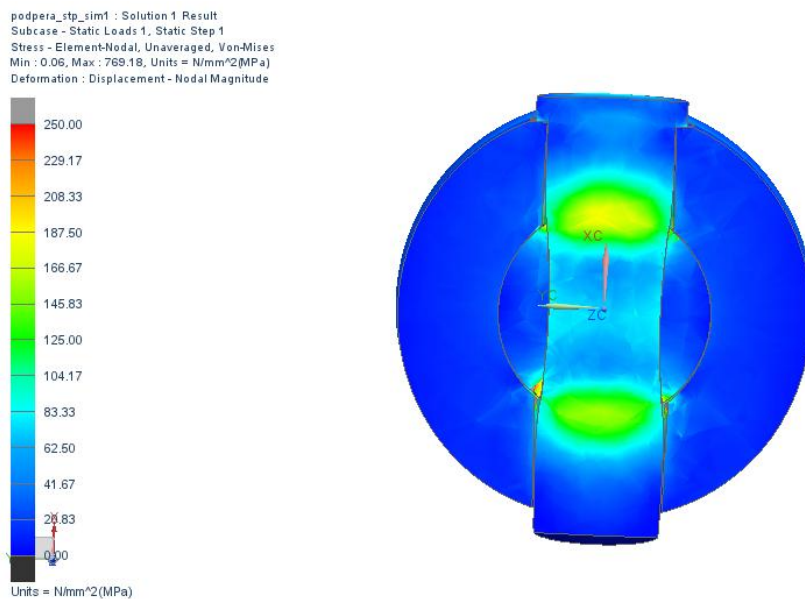
Obr. 3-19 : Napětí - snížená škála - detail

Pohled na celek se sníženou škálou (Obr. 3-20). V otvoru pro osu podpěrného kola dosahuje napětí hodnoty cca 140 MPa.



Obr. 3-20 : Napětí - snížená škála - celek

V dalším pohledu (Obr. 3-21) je zobrazen řez v ose namáhání. Je zde vidět že napětí v pístnici je bezpečné a dosahuje hodnot do 100 MPa. Čep je opět vystaven napětí okolo 170 MPa.



Obr. 3-21 : Napětí - snížená škála -řez v ose čepu

Hodnoty napětí v podpěře jsou bezpečné vzhledem k dovolenému napětí 176 MPa a deformace je také nízká. V čepu je napětí poměrně vysoké až 170 MPa, dovolené napětí však dosahuje 186 MPa. Pístnice má dovolené napětí 176 MPa, zatížení je hluboko pod touto hodnotou.

4 Závěr a ekonomické zhodnocení

Pro ekonomické zhodnocení jsou využity ceny (Tab. 4-1) odhadnuté na základě konzultace s vedoucím práce. V další tabulce (Tab. 4-2) jsou pak uvedeny hmotnosti a materiál součástí, z nichž je vypočtena cena. Jsou zde vypsány pouze položky nad 200 kg, ostatní lehčí součásti, spojovací materiál a těsnění jako i čerpadlo maziva a energetický řetěz jsou zahrnuty v ceně pod položkou ostatní. Celkový odhad ceny je 16 314 578 Kč.

Tabulka cen						
Materiál	13 240.6	14 140.7	42 2630.1	42 2660.6	42 2709.6	ostatní
Cena (Kč/kg)	55	60	54	60	67	40

Tab. 4-1 : Ceny materiálů

Hmotnost - Cena					
Součást	Hmotnost (kg)	Počet (ks)	Hmotnost celková (kg)	Materiál	Cena (Kč)
Traverza	144 601	1	144 601	42 2660.6	8 676 060
Kovací deska	33 377	1	33 377	42 2709.6	2 236 259
Lože levé	20 033	1	20 033	42 2630.1	1 081 782
Lože pravé	15 208	1	15 208	42 2630.1	821 232
Kluzné desky	12 933	-	12 933	42 2709.6	866 511
Krycí deska	8 638	2	17 276	42 2630.1	932 904
Spojovací člen	3 194	1	3 194	42 2709.6	213 998
Noha traverzy	1 912	4	7 648	42 2630.1	412 992
Válec	1 520	1	1 520	13 240.6	83 600
Noha lože	1 265	2	2 530	42 2630.1	136 620
Pístnice	449	1	449	14 140.7	26 940
Opěrný člen	208	1	208	14 140.7	12 480
Ostatní	-	-	20 330	-	609 900
Σ	-	-	279 307	-	16 314 578

Tab. 4-2 Hmotnost a cena

Posuv stolů hydraulických lisů se v praxi řeší převážně třemi způsoby. Rozdíl v konstrukci spočívá ve využitím typu pohonu. Tato práce se zaměřuje na užití diferenciálního pístu, který je uložen v loži posuvu a zajišťuje chod v obou směrech.

Druhou variantou je využití dvouválce posuvu. Jedná se o dva protilehlé nepohyblivé plunžry pevně uchycené k rámu oba uložené ve válci. Válce jsou spojeny do jednoho tělesa a slouží jako pohyblivá část.

Pohyb třetí varianty zajišťují dva samostatné hydromotory s plunžrem umístěné na protilehlých stranách posuvu.

Oproti druhé a třetí variantě je diferenciální pohon lehčí, díky využití pouze jednoho hydromotoru pro posuv a oproti třetí variantě i díky kratšímu druhému loži. U diferenciálního pístu je však složitější dobře utěsnit píst, což u plunžru odpadá. Díky nižší váze a výrobě jen jednoho hydromotoru se jedná o nejlevnější variantu. Je to také varianta s nejnižšími rozměry z toho důvodu je vhodná i pro modernizaci starších lisů v menších prostorech.

Rozdíly v konstrukci a cenové nákladnosti řešení jsou zhodnoceny v následující rozvaze.
(Tab. 4-3) (Tab. 4-4)

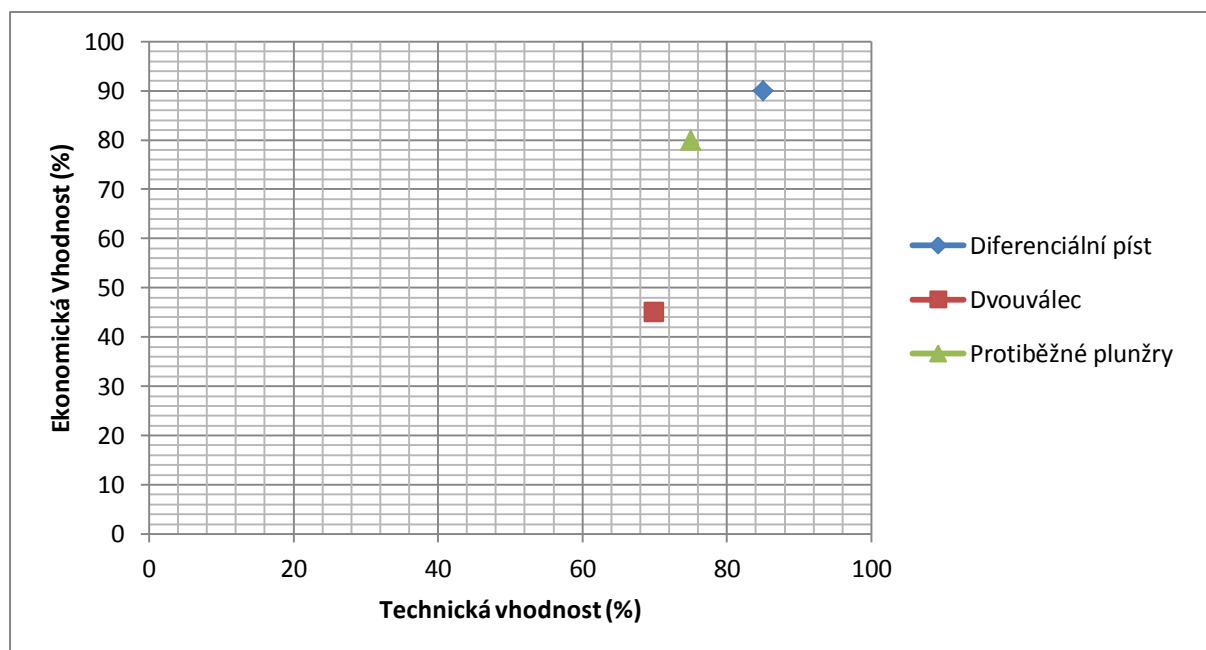
Ekonomické zhodnocení			
Typ konstrukce	Diferenciální píst	Dvouválec	Protiběžné plunžry
Cena	5	2	4
Pracnost	5	2	3
Složitost oprav	3	2	5
Cena přetěsnění	5	3	4
Σ bodů	18	9	16
Max. počet bodů	20		
Vhodnost (%)	90	45	80

Tab. 4-3 : Ekonomické zhodnocení

Technické hodnocení			
Typ konstrukce	Diferenciální píst	Dvouválec	Protiběžné plunžry
Hmotnost	5	4	3
Rozměry	5	4	2
Utěsnění	3	4	5
Složitost konstrukce	4	2	5
Σ bodů	17	14	15
Max. počet bodů	20		
Vhodnost (%)	85	70	75

Tab. 4-4 : Technické zhodnocení

Jak je možno vidět v procentuálním hodnocení a v grafu (Obr. 4-1), jako optimální řešení se jeví využití konstrukce s diferenciálním pístem a to jak z ekonomického tak i technického hlediska. Jako další vhodná varianta vychází varianta s dvěma protiběžnými plunžry a jako nejméně výhodná varianta se zdá řešení s dvouválcem. Jedná se však jen o hrubý odhad a skutečná vhodnost jednotlivých variant by záležela na konkrétním konstrukčním návrhu.



Obr. 4-1: Zobrazení vhodnosti

Pro mazání se dříve užívalo otvorů v kovací desce, do kterých se před započítím práce na lisu nalilo mazivo, které se tak dostalo do styčné plochy kovací desky a kluzných desek.

Další metodou mazání je spodní mazání skrz otvory v traverze. Jedná se o automatické mazání, kdy je tuk přiváděn do kluzné plochy zespodu. Tento systém trpěl na zanášení otvorů pro mazivo a tím ucpání přívodů.

V této práci je navrhnout automatický systém mazání shora skrz kovací desku, který by měl vyřešit problém se zanášením otvorů. Je využito čerpadlo, které dokáže vytvořit dostatečný tlak pro vytlačení případných nečistot.

Práce je vypracována v plném rozsahu zadání. Zabýval jsem se v ní manipulací polotovarů v těžkých a středních kovárnách. Snažil jsem se vyřešit všechny problematické aspekty konstrukce. Byl navržen způsob horního mazání třecí plochy a zpracována kompletní konstrukce posuvu.

Jako technická dokumentace byla po konzultaci s vedoucím práce zvolena kompletní sestava posuvu, sestava hydraulického válce a opěrný člen pístnice. Veškerá dokumentace je připojena jako příloha.

5 Bibliografie

- [1] ČECHURA, M. , STANĚK, J. *Tvářecí stroje - Hydraulické lisy*. Plzeň : Vydavatelství Západočeské univerzity, 1999.
- [2] DRAŽAN, F., KUPKA, L. *Jeřáby*. Praha : SNTL, 1968. str. 661.
- [3] DRAŽAN, F., JEŘÁBEK, K. *Manipulace s materiálem*. Bratislava : Alfa, 1979. str. 454.
- [4] FIŠER, M. *Katedra mechaniky ZČU*. [Online] [Citace: 15. Duben 2014.] http://www.kme.zcu.cz/kmet/pp2/vzper-primych-prutu/pruvodce_resenim.pdf.
- [5] KLÚNA, J. *Strojnické tabulky 1 - Materiály pro strojírenskou výrobu*. Praha : Nakladatelství technické literatury, n. p., 1987.
- [6] LEINVEBER, J., VÁVRA, P. *Strojnické tabulky*. Úvaly, Havlíčkova 197 : ALBRA - pedagogické nakladatelství, 2005. 80-7361-011-6.
- [7] STANĚK, J., NĚMEJC, J. *Metodika zpracování a úprava diplomových (bakalářských) prací*. Plzeň : Západočeská univerzita, 2005. 80-7043-363-9.
- [8] LUBTECHNIK. [Online] [Citace: 27. Květen 2014.] <http://www.lubtechnik.cz/sudova-cerpadla-pfp>.
- [9] MPA. [Online] [Citace: 27. Květen 2014.] <http://www.oleje-mpa.cz/vazeliny/univerzalni-automobilova-plasticka-maziva/trida-nlgi-1/vazelina-total-multis-ep-1-180kg>.