

**VŠB – Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta strojní**  
**Katedra výrobních strojů a konstruování - 340**

**Optimalizace uzavíracích mechanismů pecních vrat**

Optimization of Furnace Door Closing Mechanism

**Student:**

**Bc. Jan Hurta**

**Vedoucí bakalářské práce:**

**Dr. Ing. Jaroslav Melecký**

**Ostrava 2015**

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Jan Hurta**

Studijní program: N2301 Strojní inženýrství

Studijní obor: 3909T001 Konstrukční a procesní inženýrství

Specializace: 20 Výrobní stroje a zařízení

Téma: **Optimalizace uzavíracích mechanismů pecních vrat**  
**Optimization of Furnace Door Closing Mechanisms**

Zásady pro vypracování:

Navrhnete optimalizaci uzavíracích mechanismů pecních vrat pro VÍTKOVICE MECHANIKA a.s.

V rámci řešení diplomové práce dále zpracujete:

- analýzu a rešerši dané problematiky
- obecný popis současného stavu
- možnosti optimalizace utěsnění pece (variantní řešení)
- konstrukční návrh nového řešení
- příslušnou výkresovou dokumentaci

Bližší specifikace nutných technických údajů a požadavků bude upřesněna v průběhu řešení diplomové práce na základě konzultací s firmou VÍTKOVICE MECHANIKA a.s.

Seznam doporučené odborné literatury:

- JEŘÁBEK, K. *Metodika navrhování strojů*. 1.vyd. Praha, Ediční středisko ČVUT Praha, 1999. 119 s.
- SERENSEN, S. V., KOGAJEV, V. P., ŠNEJDEROVIČ, R.M. *Únosnost a pevnostní výpočty strojních součástí*. Praha, SNTL, 1967.
- LEINVEBER, J., VÁVRA, P. *Strojnické tabulky* (4. přepracované vydání). Úvaly, 2008, ALBRA – pedagogické nakladatelství. 914 s. ISBN 978-80-7361-051-7.
- MYNÁŘ, V. A KOL. *Části strojů*. VŠB-TU Ostrava, 1978. 398 s.
- ČSN 01 6910 *Úprava písemností psaných strojem nebo zpracovaných textovými editory*. Praha: Český normalizační institut, srpen 1997. 36 s.
- ČSN ISO 690 *Bibliografické citace. Obsah, forma a struktura*. Praha: Český normalizační institut, 1996. 32 s.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Dr.Ing. Jaroslav Melecký**

Datum zadání: 13.12.2014

Datum odevzdání: 18.05.2015



doc. Dr. Ing. Ladislav Kovář  
vedoucí katedry

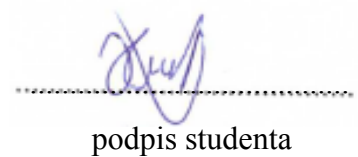


doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty

## **Prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 15.5.2015



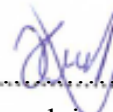
.....

podpis studenta

### **Prohlašuji, že**

- jsem byl seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména §35 - užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 - školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB - TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo - diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o veřejných školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 15.5.2015



.....  
podpis studenta

### **Adresa trvalého pobytu:**

Petřvaldská 482  
739 34 Šenov

## **ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE**

HURTA, J. *Optimalizace uzavíracích mechanismů pecních vrat*. Ostrava: Katedra výrobních strojů a konstruování, Fakulta strojní VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2015, 80s. Diplomová práce, vedoucí: Melecký, J.

Cílem diplomové práce je navrhnout a optimalizovat uzavírací mechanismus pecních vrat. V teoretické části se nachází popis komorové pece vozové a její hlavní části. Dále se práce zaměřuje na způsoby zavírání, otevírání a dotlačování vrat pece. Následuje praktická část, kde je popsán problém při dotlačování vrat a jeho možné řešení. V práci jsou tedy navrženy možné způsoby přitlaku vrat pece a vybraná varianta je detailně rozpracována v navazujících kapitolách.

## **ANNOTATION OF MASTER THESIS**

HURTA, J. *Optimization of Furnace Door Closing Mechanism*. Department of Production Machines and Design, Faculty of Mechanical Engineering, VŠB-Technical University of Ostrava, 2015, 80 pages. Master Thesis, supervised by: Melecký, J.

The aim of this thesis is to design and optimize the furnace door closing mechanism. The theoretical part describes chamber furnaces vehicle and its main components. The thesis focuses on ways of closing, opening and pressing of furnace door. The problem with pressing of furnace door and its possible solutions are described in practical part. Possible ways to pressure of furnace door are suggested in thesis. The chosen variant is elaborated in detail in the following chapters.

## Poděkování

Děkuji vedoucímu mé diplomové práce Dr. Ing. Jaroslavu Meleckému za ochotu při konzultacích a dále Ing. Davidu Mohylovi za odbornou pomoc a poskytnutí informací z praxe.

## Obsah

Seznam použitého značení.....	9
Úvod.....	11
1. Průmyslové pece.....	12
1.1 Rozdělení pecí.....	12
1.1.1 Technologické určení.....	12
1.1.2 Podle zdroje tepla.....	13
1.2 Třídění a názvosloví pecí.....	13
2. Komorové pece.....	14
2.1 Nejdůležitější části komorové pece vozové.....	15
3. Čelní armatura.....	18
3.1 Dveře pece.....	18
3.2 Portál.....	19
4. Uzavírací mechanismy pecních vrat.....	21
4.1 Příklady uzavíracích mechanismů vrat, Vítkovice Mechanika a.s. ....	22
4.1.1 Pec číslo 6.....	22
4.1.2 Pec číslo 30.....	24
4.1.3 Pec číslo 20.....	26
4.1.4 Pec číslo 3.....	27
4.1.5 Pec číslo 1.....	27
5. Návrh řešení.....	30
5.1 1. Návrh.....	32
5.2 2. Návrh.....	33
5.3 3. Návrh.....	34
5.4 4. Návrh.....	35
6. Řešení vybrané koncepce.....	36
6.1 Umístění.....	38
6.2 Dílčí části.....	40
6.2.1 Přímočarý hydromotor.....	40
6.2.2 Vedení.....	42
6.2.3 Svařenec středu.....	42
6.2.4 Koncové snímače polohy.....	43
6.2.5 Zavírání a otevírání dveří.....	43
6.2.6 Clona.....	46
7. Výpočty.....	47

7.1	Výpočet síly hydraulického válce .....	47
7.2	Kontrola čepu .....	47
7.3	Kontrola šroubů .....	50
7.3.1	Kontrolní výpočet šroubů uchycující hydraulický válec .....	50
7.3.2	Kontrolní výpočet šroubů uchycující hák s deskou .....	53
7.3.3	Kontrolní výpočet šroubů držící podkladovou desku .....	56
7.4	Výpočet svarů .....	59
7.4.1	Výpočet svaru háku na plech .....	59
7.4.2	Výpočet svaru návaru trubky .....	60
7.4.3	Výpočet svaru desky .....	61
7.5	Kontrola čepu na ohyb a stříh .....	62
8.	Pevnostní analýza .....	64
8.1	První zkouška .....	65
8.2	Druhá zkouška .....	68
8.3	Třetí zkouška .....	70
8.4	Patka – MKP .....	71
9.	Závěr .....	73
	Literatura .....	74
	Seznam příloh .....	76
	Přílohy .....	77



## Seznam použitého značení

D	velikost díry v podložce	[mm]
F	síla pro zasouvání pístu	[N]
F <sub>c</sub>	zatěžující síla	[N]
F <sub>o</sub>	osová síla ve šroubu	[N]
F <sub>p</sub>	síla na jeden šroub	[N]
F <sub>z</sub>	zatěžující síla na závit	[N]
MTM	moment tření pod hlavou šroubu a maticí	[Nmm]
MTZ	moment tření v závitě	[Nmm]
MU	utahovací moment	[Nmm]
P <sub>h</sub>	stoupání závitu	[-]
S	plocha	[mm <sup>2</sup> ]
S <sub>1</sub>	obsah plochy pístu	[mm]
S <sub>2</sub>	obsah plochy pístnice	[mm]
W <sub>K</sub>	průřezový modul v krutu	[mm <sup>3</sup> ]
W <sub>o</sub>	průřezový modul v ohybu	[mm <sup>3</sup> ]
a	velikost svaru	[mm]
b	šířka táhla	[mm]
c	délka strany	[mm]
d	průměr čepu	[mm]
d <sub>1</sub>	průměr pístu	[mm]
d <sub>2</sub>	průměr pístnice	[mm]
d <sub>3</sub>	průměr šroubu	[mm]
f	součinitel tření	[-]
f <sub>z</sub>	tření na závitě	[-]
i	počet	[-]
k	bezpečnost	[-]
k <sub>s</sub>	statická bezpečnost	[-]
k <sub>S<sub>Dov</sub></sub>	dovolená bezpečnost	[-]
l	výpočtová délka svaru	[mm]
l <sub>p</sub>	dráha pístu	[m]
l <sub>v</sub>	dráha vrat	[m]

$p_1$	měrný tlak v táhle	[MPa]
$p_d$	dovolený měrný tlak	[MPa]
$p_{jmen}$	tlak hydraulického válce	[MPa]
$r$	rádus výpočtové hrany	[mm]
$t_p$	čas výsuvu pístu	[s]
$t_v$	čas výsuvu vrat	[s]
$v_p$	rychlost pístu	[m.s <sup>-1</sup> ]
$v_v$	rychlost výsuvu vrat	[m.s <sup>-1</sup> ]
$x$	rameno ohybu	[mm]
$\alpha$	převodní součinitel	[-]
$\sigma_D$	dovolené napětí v ohybu	[MPa]
$\sigma_{Do}$	dovolené napětí v ohybu	[MPa]
$\sigma_{DT}$	dovolené napětí v tahu	[MPa]
$\sigma_{red}$	redukované napětí	[MPa]
$\sigma_t$	tahové napětí ve šroubu	[MPa]
$\tau$	smykové namáhání	[MPa]
$\tau_D$	dovolené napětí ve smyku	[MPa]
$\tau_{Dsv}$	dovolené napětí ve smyku	[MPa]
$\varphi$	redukovaný třecí úhel	[°]
$\psi$	úhel stoupání závitu	[°]

## Úvod

Tématem diplomové práce je optimalizace uzavíracích mechanismů pecních vrat. Obecně, ať už se jedná o jakýkoliv průmysl, chceme minimalizovat ztráty vzniklé při výrobě. U průmyslových pecí vznikají různé energetické ztráty, které je potřeba dát na minimální úroveň. Například u pecních vrat, kde může docházet k úniku tepla při provozu daného technologického agregátu a případným nežádoucím projevům na konstrukci pece či vybavení. Aby se těmto ztrátám předcházelo, je třeba pecní vrata co nejlépe uzavřít a utěsnit.

Začátek práce se zabývá rozdělením pecí, popisem nejdůležitějších částí a způsobu otevírání a zavírání pecních vrat. Práce je zaměřena na komorové vozové pece, které se nacházejí v závodě Vítkovice Heavy Machinery a.s. Konkrétně se zaměřuji na komorovou vozovou pec číslo 21, která je určena na tepelné zpracování materiálu.

Praktická část se zaměřuje na problém spojený s únikem tepla v horní části pecního otvoru. V diplomové práci bylo za úkol navrhnout konstrukční řešení možného přitlaku pecních vrat. Jako přitlačný člen je zde zvolen přímočarý hydraulický píst, který bude vyvozovat přitlačnou sílu. V práci je popis celkového mechanismu, jeho umístění a potřebné zásahy do stávající konstrukce pece pro jeho umístění.

# 1. Průmyslové pece

Pece jsou technologické zařízení a od okolního prostředí tepelně izolovaným pracovním prostorem. Mají za úkol vytvořit optimální podmínky pro průběh daného technologického procesu. Síly, které vznikají v prostoru pece a které brání průběhu reakcí, jsou překonávány tepelnou energií. Uskutečňuje se tedy přestup tepla na vsázku. Pod pojmem vsázka si můžeme představit materiál vložený do pece ve vhodném, předem stanoveném vzájemném poměru, určený k technologické operaci. [2][3][4]

## 1.1 Rozdělení pecí

Průmyslové pece můžeme rozdělit podle nejrůznějších kategorií, čtyři nejdůležitější charakteristiky jsou:

- technologické určení
- zdroj tepla
- tvar pracovního prostoru
- způsob využití tepla odpadních spalin [3]

### 1.1.1 Technologické určení

- a) Tavicí – jsou pece určené k tavení materiálů například: vysoké pece, kuplovný
- b) Ohřívací – určené k ohřevu materiálu před jeho válcováním, lisováním, kování, kovárenské pece a další
- c) Pro tepelné zpracování – určené k tepelnému zpracování, jako je kalení, žíhání, popouštění a podobně
- d) Vypalovací – slouží výpalu výrobku, pece pro výpal žáruvzdorného keramického materiálu, vápna
- e) Sušící – určené k odstranění vlhkosti z materiálu, sušení forem a jader ve slévárnách, surovin v keramickém průmyslu
- f) Destilační – ve kterých vzniká produkt ze vsázky destilací, koksárenské baterie, řada pecí v chemickém průmyslu [3]

### **1.1.2 Podle zdroje tepla**

- a) Palivové pece - teplo se získává spalováním pevného, kapalného či plynného paliva
- b) Elektrické pece- vytápěné pomocí elektrické energie
- c) Exotermické pece- teplo se získává přímo ze vsázky exotermickými reakcemi
- d) Kombinované pece- využívá kombinace přívodu energií [3]

### **1.2 Třídění a názvosloví pecí**

Nejrozšířenějším druhem průmyslových pecí ve strojírenství jsou pece ohřívací. V diplomové práci se budu věnovat právě pecím ohřívacím, a proto zde konkrétní rozdělení.

1. Komorové pece – jsou pece s pracovním prostorem ve tvaru komory a sázcím otvorem (otvory) pro vodorovný směr sázení.

2. Hlubinné pece – jsou pece s pracovním prostorem tvaru válce nebo hranolu a se sázcím otvorem pro svislý směr sázení shora.

3. Pokloповé pece – jsou pece s pracovním prostorem tvaru válce nebo hranolu vytvořeným pevným nebo pohyblivým poklopem, kterým se překrývá vsázka ukládaná na pevné nebo pohyblivé dno.

4. Průběžné pece – vsázka je dopravována pracovním prostorem za pracovního chodu pece, a to stále v jednom smyslu dopravního pohybu.

5. Průtažné pece – jsou pece, kde vsázka je protahována pracovním prostorem za pracovního chodu pece, a to stále v jednom smyslu dopravního pohybu.

6. Vanové nebo kelímkové pece – jejichž pracovní prostor je vytvořen vanou, nebo kelímkem. [2]

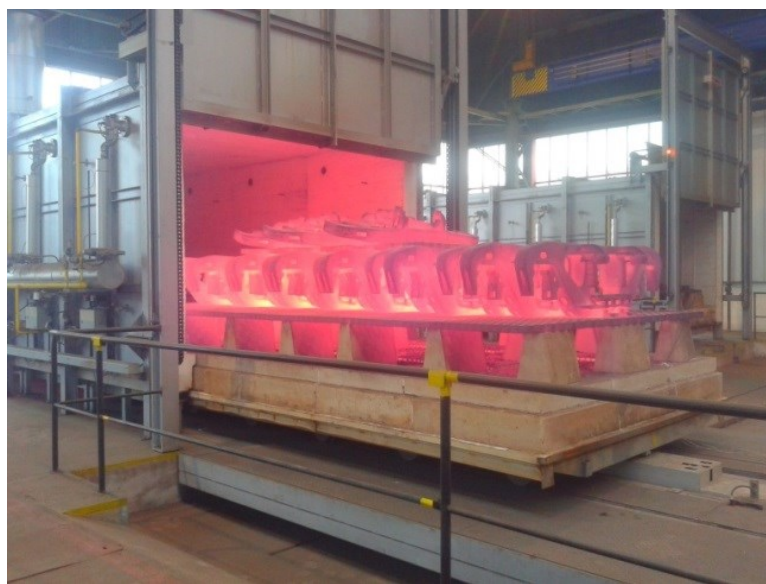
## 2. Komorové pece

Komorové pece jsou jedny z nejrozšířenějších druhů pecí. Používají se všude tam, kde následkem různorodého pracovního programu nelze použít pecí kontinuálních, popřípadě jiného druhu. Komorové pece jsou v tomto ohledu velmi přizpůsobivé a dají se v nich zpracovat různé výrobky. Vsázka u těchto pecí leží celou dobu technologického procesu na místě, pece a teplota uvnitř pracovního prostoru by měla být ve všech bodech stejná.



*Obr. 3.1 Komorová elektrická pec, pro tepelné zpracování [10]*

Komorové pece, jejichž délka přesahuje 2,5-3 metry, se obvykle staví jako vozové pece. Bylo by totiž velmi problematické pro sázeč stroj či obsluhu vytahování a vkládání vsázky do takto dlouhé pece a celkově manipulace s touto vsázkou by byla složitá.



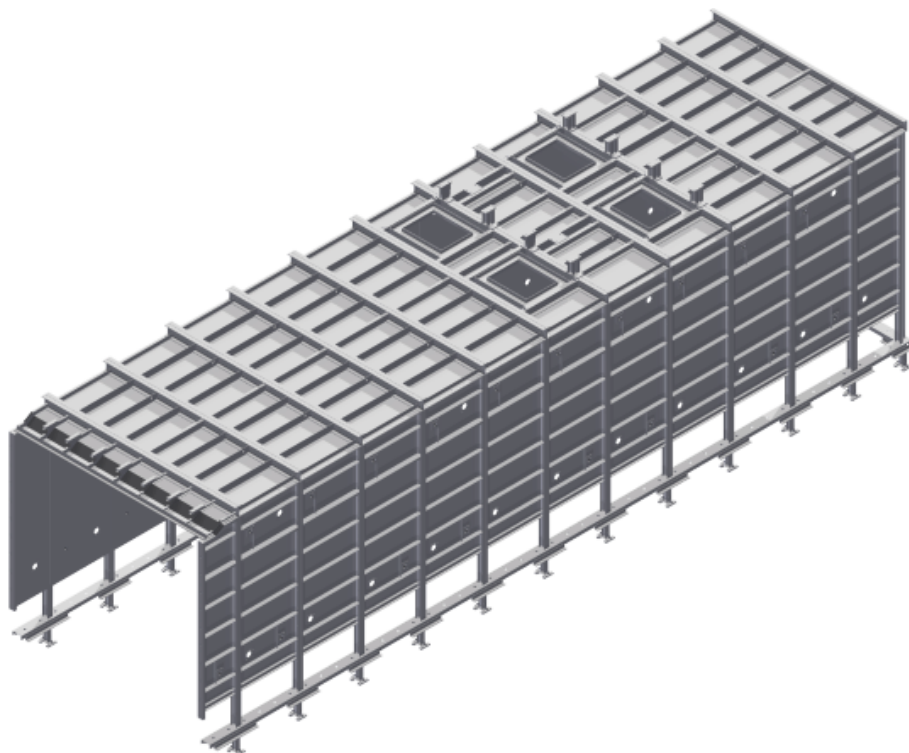
*Obr. 3.2 Komorová vozová pec [11]*

Komorové pece vozové jsou tedy komorové pece, jejichž podlahu tvoří plošina vozu (nístěj) a kterým se zavází vsázka do pracovního prostoru pece, komory. Tyto pece, jak už bylo zmíněno, mohou sloužit k nejrůznějším technologickým úkonům, ať už se jedná o ohřev vsázky před kováním, různému tepelnému zpracování, jako je například žihání, nebo jako komorové pece vozové sušící, uplatňující se ve slévárenském průmyslu na sušení forem pro odlitky. [2][3][4]

Dále se zaměřím na pece komorové vozové, neboť o nich pojednávám blíže v diplomové práci, a to konkrétně na pec na tepelné zpracování umístěnou v závodě Vítkovice Mechanika a.s. pod číslem 21.

## 2.1 Nejdůležitější části komorové pece vozové

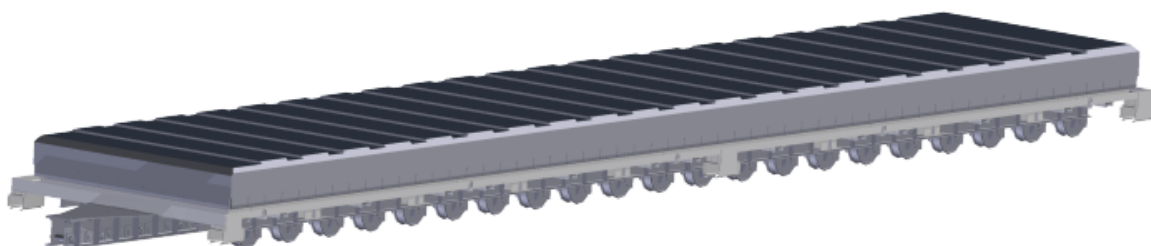
Rám pece - je to ocelová konstrukce složená ze stěnových a stropních panelů. Každý jednotlivý panel je tvořen tuhým rámem vyplněným plechem zesílený žebry. Všechny panely jsou k sobě navzájem sešroubovány do tvaru komorové pece, v jeden tuhý celek.



*Obr. 3.3 Rám pece [Vítkovice Mechanika a.s.]*

Čelní armatura- skládá se z nosného portálu, dveří pece, vedení dveří, popřípadě závaží na vyvážení vrat, pohonu pro zvedání a spouštění vrat. Více se čelní armatuře budu věnovat v samostatné kapitole.

Vůz pece - skládá se ze samotného vozu pece, nístěje, což je svařovaný tuhý rám z ocelových profilů, který je vyzděn a izolován, na nějž se umísťuje vsázka. Vsázka se pokládá na vůz nepřímo a to tak, že mezi vozem a vsázkou se zpravidla umísťují podložky. Pohon vozu může být řešen více způsoby, nejběžnějším způsobem, je pohon pomocí elektromotoru s převodovým mechanismem, ozubeným kolem a ozubenou tyčí, připevněnou ze spodu na voze.



*Obr. 3.4 Vůz pece [Vítkovice Mechanika a.s.]*

Otopný systém - u pecí na tepelné zpracování převládá přestup tepla konvekcí a z toho plyne i použití hořáků. Spektrum použití hořáků je velmi široké a používají se například hořáky rychlostní s centrálním rekuperátorem, impulsivní hořáky a rekuperativní hořáky. Volba hořáků vždy závisí na dané technologii a použití pece. U pece č. 21 ve Vítkovicích jsou to hořáky rychlostní – STORDY FRG M5. Hořáky jsou umístěny na stěnách pece ve dvou řadách nad sebou v celkovém počtu 30 hořáků.



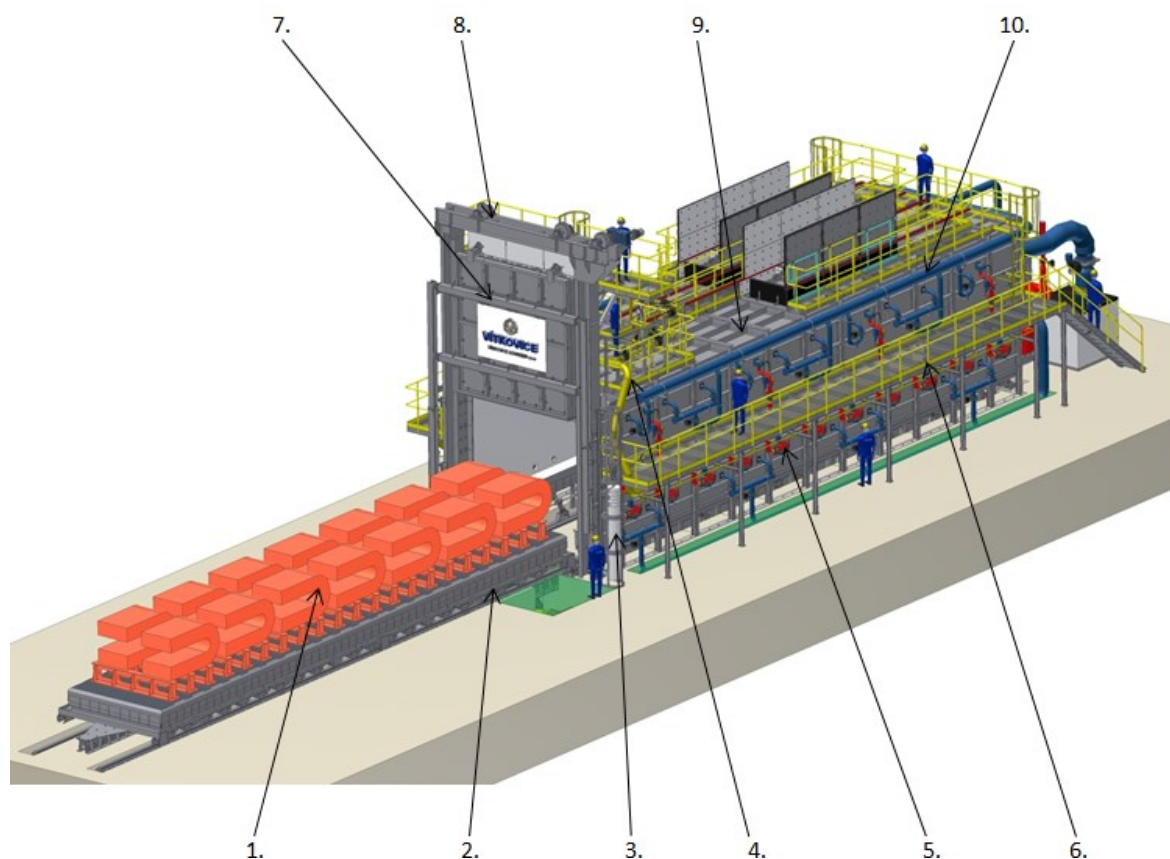
*Obr. 3.5 Rychlostní hořák [12]*

Vyzdívka pece - je řešena pomocí tvarových modulů různých velikostí a tloušťek a liší se dle místa použití. Materiál se používá vláknitá vyzdívka – Sibal. Tyto moduly jsou uchyceny k plášti pece nerezovými úchyty.





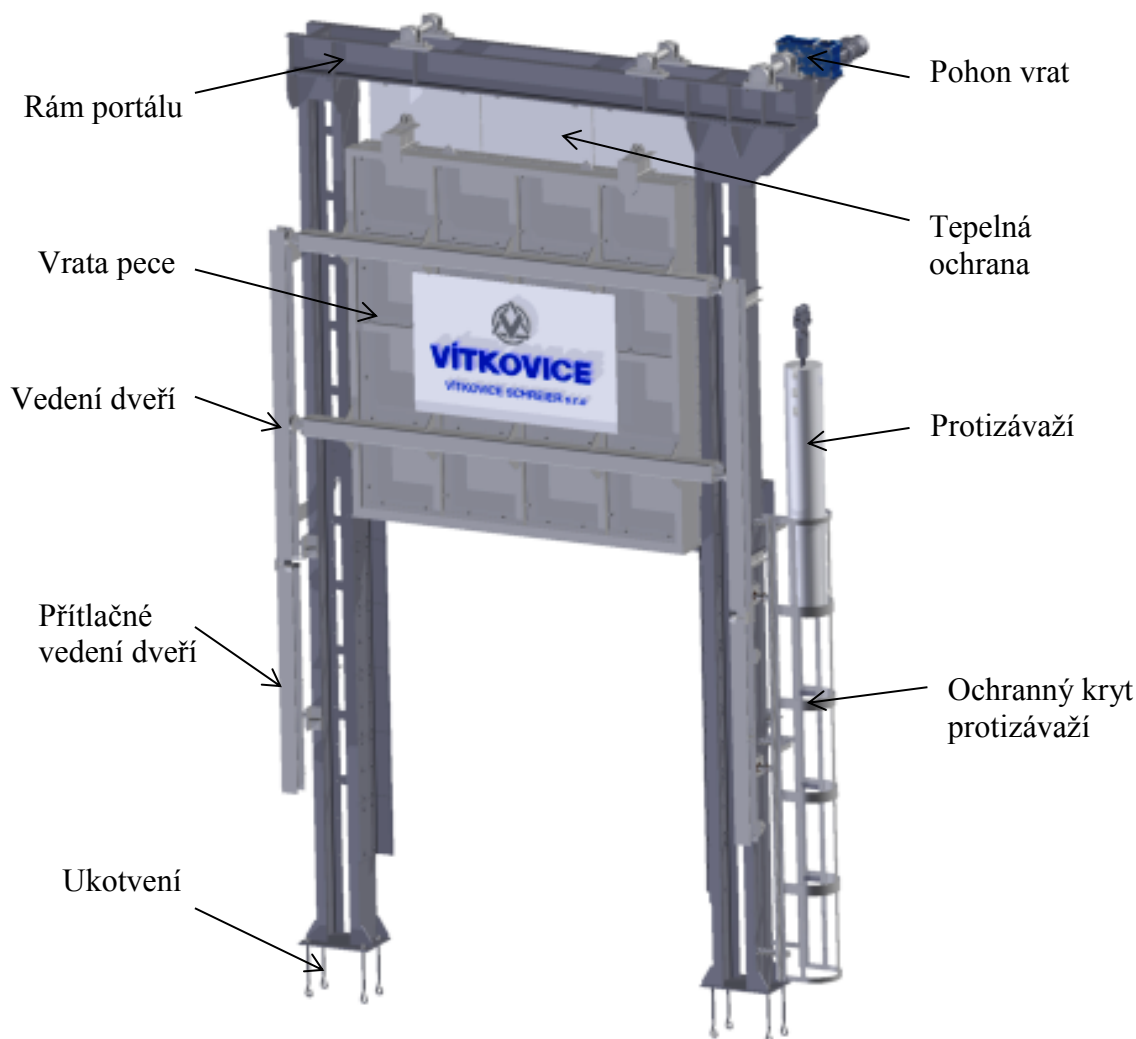
Obr. 3.6 Vlákniťá vyzdívka - Sibrál [13]



Obr. 3.7 Popis pece 1. Vsázka, 2. Vůz, 3. Protizávaží, 4. Plynové potrubí (žlutě), 5. Spalinové potrubí (červeně), 6. Obslužná plošina, 7. Vrata pece, 8. Portál, 9. Komora pece, 10. Vzduchové potrubí (modře)

### 3. Čelní armatura

Skládá se z dveří, rámu portálu, pohonu dveří, vedení dveří, protizávaží a tepelné izolace. Na obrázku níže lze vidět čelní armatura vozokomorové pece.



Obr. 4.1 Čelní armatura [Vítkovice Mechanika a.s.]

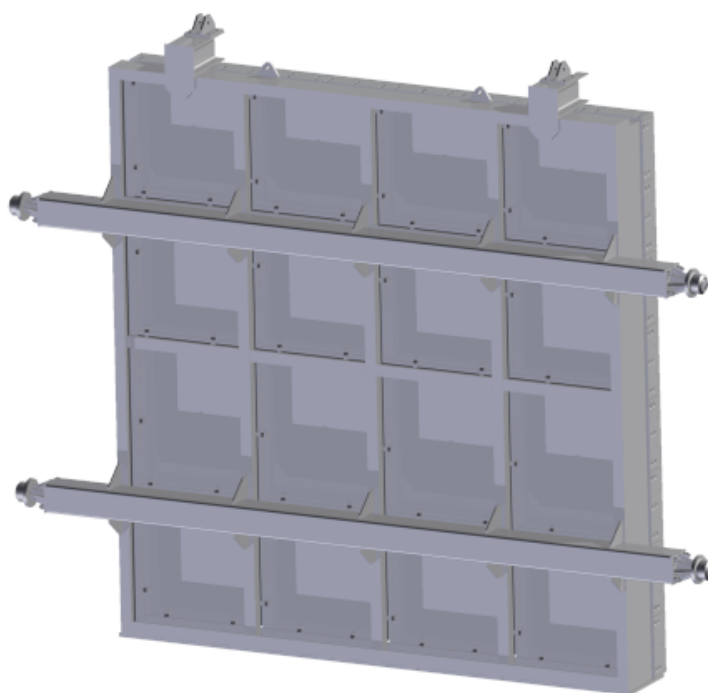
#### 3.1 Dveře pece

Obecně dveře pecí slouží k zakrytí pracovního otvoru, jsou umístěny v čelní armatuře pece společně s portálem. Vyrábějí se jako svařovaný rám a šroubovaná konstrukce, nebo se odlévají z litiny. Dveře, které jsou menších rozměrů, se odlévají v celku. Pecní dveře větších rozměrů se odlévají na více kusů a následně jsou spojeny ocelovou konstrukcí. Tyto dveře mají za úkol co nejtěsněji uzavřít pracovní prostor, a proto jsou opatřeny vodítky, které je v zavřené poloze přitisknou k dveřnímu otvoru. Těsnosti se dosahuje buď opracováním ploch na dveřích i dveřním rámu, pomocí tvarových odlitků, nebo pomocí azbestu.

Dveře pece č. 21 jsou navrženy jako převážně svařovaný tuhý rám, který je opatřen čtyřmi vnitřními svislými výztuhami a dvěma vodorovnými výztuhami. Na dveřích jsou z vnější strany ještě dva vodorovné nosníky, které slouží pro zvedání a přitlačování. Prostor je vyplněn hladkým plechem, který je do rámu uchycen pomocí přichytek jako plovoucí. Na plechu je uchycena tepelná izolace. V horní části jsou úchyty pro zvedání a montážní manipulaci.

Dveře jsou opatřeny ze všech stran odlitky. Boční a horní strany jsou osazeny deskami, které při uzavření dosedají na čelní odlitky umístěné na portálu. Spodní strana dveří je opatřena tvarovaným odlitkem, který se po spuštění dveří zasune do těsnícího profilu v čele vozíku. Všechny odlitky čela pece jsou tvarované a jsou uchyceny z boku na sloupy portálu a na zesílený profil prvního panelu stropu pece. Jejich tvar umožní dosednutí odlitků na dveřích.

Horní koncová poloha dveří je jištěna dvěma koncovými spínači a spodní poloha pak jedním koncovým spínačem.



*Obr. 4.2 Vrata pece [Vítkovice Mechanika a.s.]*

### **3.2 Portál**

Portál je navržen jako svařovaný rovinný rám. Stojky jsou tvořeny dvojicí U-profilů svařených do tvaru krabice. Na tyto sloupy je uchycen první díl vlastní pece, přitlačování dveří a odlitky. Sloupy jsou dole ukončeny hladkou deskou, která je přivařena na zabetonovaný kotevní rám. Tento rám je ukotven do betonového základu pomocí lepených

kotevních šroubů. Příčle je tvořena dvěma U-profilů a je připojena rámovým koutem na stojky. Na příčli jsou uchyceny sestavy řetězových kol s pohonem.

Pohon zvedání vrat je realizován elektromechanickým pohonem s maximálním zdvihem dveří 3045 mm. Rychlost zvedání je  $0,15 \text{ ms}^{-1}$ . Motor o výkonu 4 kW je umístěn na pravé straně příčle. Dveře jsou zvedány pomocí dvojice řetězů, které jsou vyvažovány protizávažím. To je umístěno u pravého sloupu portálu. Závaží je uloženo za ochranným košem, který je opatřen ochrannou sítí.

Vedení dveří při zvedání a spouštění dveří je navrženo přes konzoly s kladkami ve vodících I-profilech, které jsou v horní části připevněny na stojky napevno a spodní části jsou pohyblivé. Přitlačování spodních vodících profilů, které přitlačí současně i vrata do požadované polohy, je navrženo pomocí dvou párů hydroválců, které jsou uchyceny na sloupy rámu. Dveře jsou ve vodících profilech vedeny rolkami, které jsou uchyceny na koncích dveřních nosníků.

Součástí čelní armatury je také tepelná ochrana okolních konstrukcí a prostor. V případě zvednutých vrat do horní polohy dojde k situaci, že vrata budou mít vyhřátou vyzdívku a také z pece bude stoupat teplo. Proto je v zadní části svislého rámu, v místech proti zvednutým dveřím, zabudovaná tepelná ochrana. Ta je tvořena pletivem uchyceným do nosných rámu. Na pletivo pak je uchycena tepelná izolace z minerální vlny. Stejně tak je chráněna proti teplu také spodní část samotných vrat. Zde je z vnější strany uchycen tvarovaný plech, který odvádí stoupající teplo od konstrukce. Tyto konstrukce jsou uchyceny odnímatelně, pro případnou výměnu. [9]

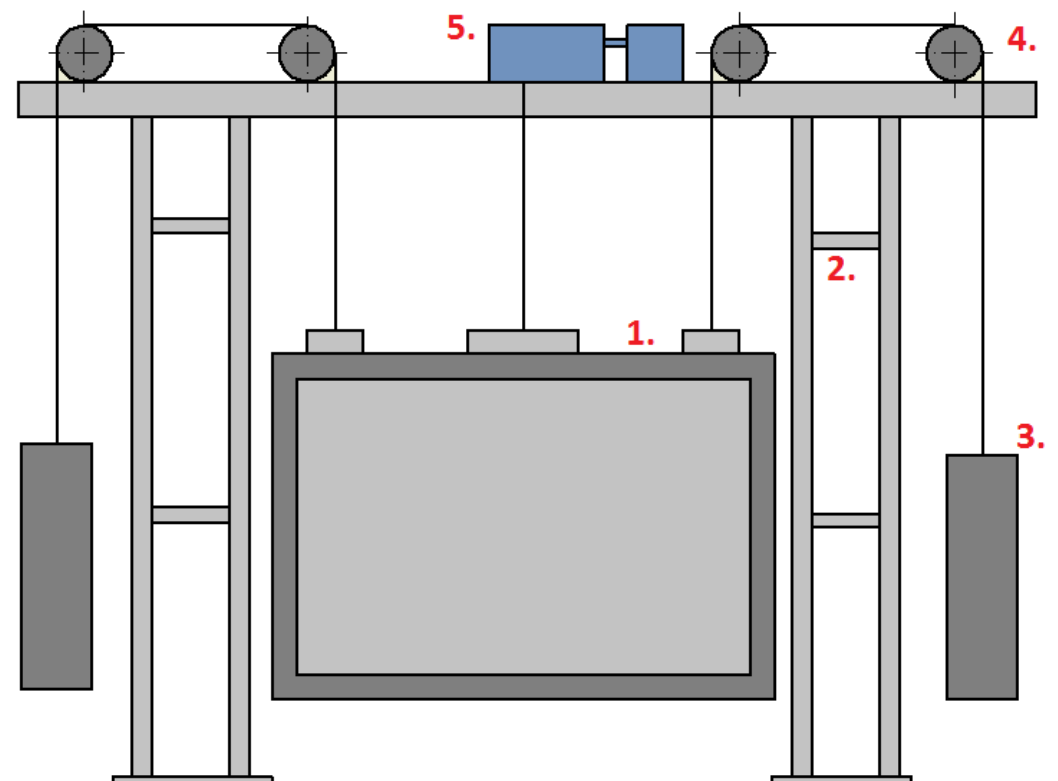


Obr. 4.3 Portál [Vítkovice Mechanika a.s.]

#### 4. Uzavírací mechanismy pecních vrat

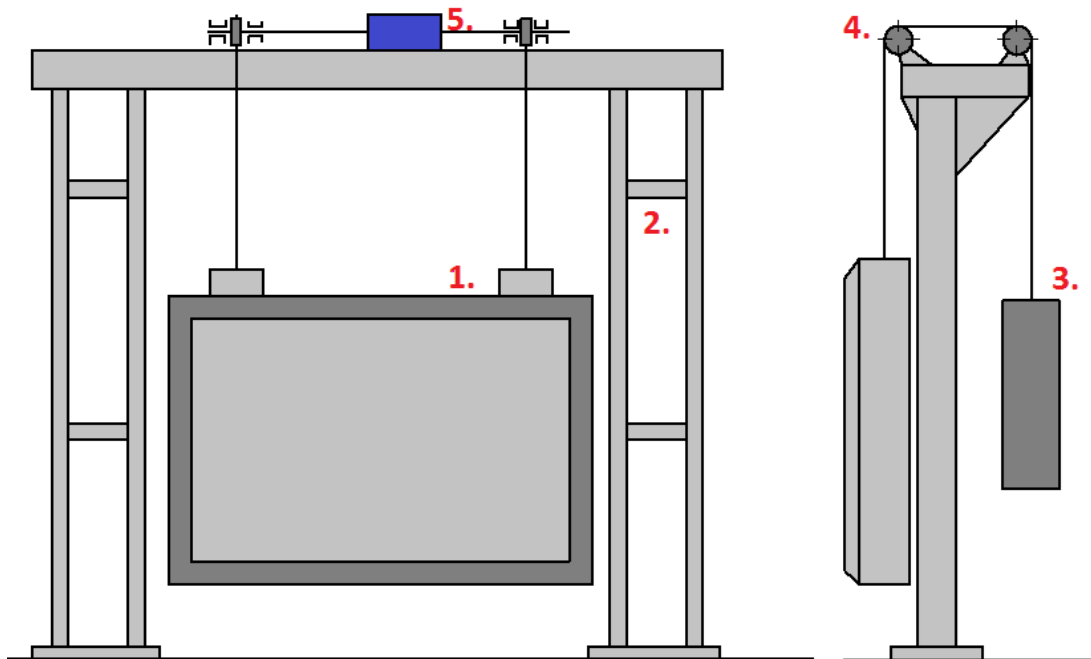
Jelikož se hmotnost pecních dveří středních a velkých průmyslových pecí pohybuje v řádu stovek kilogramů, bývají tyto dveře vyváženy protizávažím. Posuv dveří do otevřené, nebo uzavřené polohy je tedy vynucen pohonem. Protizávaží lze umístit do různých poloh a lze je vybavit krytem.

K zvedání a spouštění dveří je možno použít více druhů pohonů. Pohon může být například elektromotor, hydroválec nebo pomocí pneumatického zvedáku. Existuje také více možností, jak se dají dveře vyvážit. A to buď, že dveře nejsou plně vyváženy a směrem dolů se pohybují vlastní vahou, nebo že hmotnost dveří a hmotnost závaží je stejná a pohon jak spouští, tak zvedá pecní dveře. Tento druhý způsob je výhodnější, protože může být použit slabší elektromotor.



*Obr. 5.1 Schéma prvního způsobu vyvážení, tedy dveře se směrem dolů pohybují vlastní vahou*

*1. - dveře, 2. - ocelová konstrukce portálu, 3. - protizávaží, 4. - kladky, 5. – elektromotor s převodovkou [2]*



Obr. 5.2 Pohon zdvihu dveří plně vyvážených  
 1. - dveře, 2. - ocelová konstrukce portálu, 3. - protizávaží, 4. - kladky,  
 5. - elektromotor s převodovkou [2]

#### 4.1 Příklady uzavíracích mechanismů vrat, Vítkovice Mechanika a.s.

##### 4.1.1 Pec číslo 6



Obr. 5.3 Komorová pec vozová, celkový pohled [Vlastní foto]



Vstupní otvor do pece je zajištěn dveřmi, jejichž pohyb nahoru a dolů je zajištěn elektrickým pohonem, elektromotorem s převodovkou. Vývod z převodovky je přes řetězové převody s válečkovými řetězy propojen se zavěšením dveří. Pro napínání řetězů je využito protizávaží.

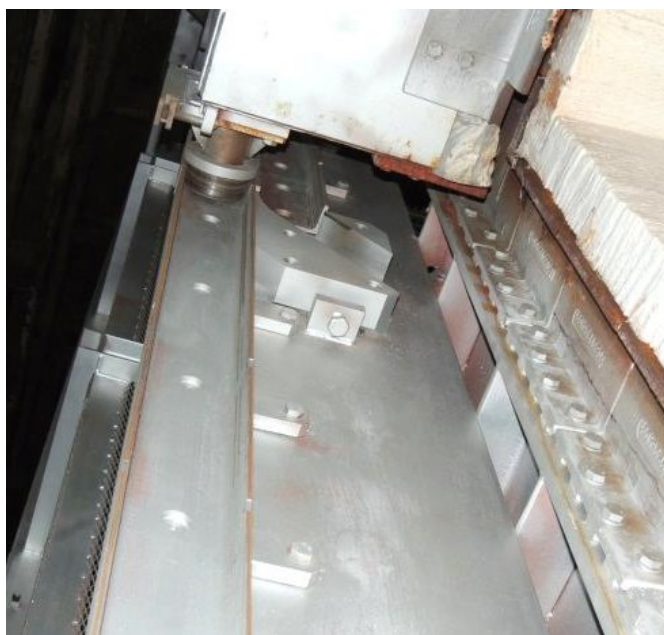
Vlastní utěsnění dveří je vyřešeno vlastní vahou (viz. obr. níže), kde dveře při pohybu dolů z vrchní pozice jedou po kladkách ve vodítkách, které jsou připevněny na sloupech, až do míst, kde jsou vodítka konstrukčně uzpůsobena do oblouku směrem k pecnímu otvoru. Pecní otvor se tedy utěsní tím, že kladky najedou do tohoto oblouku, a tím se dveře zavřou.



*Obr. 5.4 Konstrukční uzpůsobení vodítek do oblouku [Vlastní foto]*



*Obr. 5.5 Vlevo můžeme vidět protizávaží, vpravo pecní otvor [Vlastní foto]*



*Obr. 5.6 Každá kladka jede ve svých vodítkách, jak můžeme vidět na obrázku vyfoceného zespodu 23 [Vlastní foto]*



Obr. 5.7 Elektromotor s převodovou skříní na vrchní rampě pece, zezadu [Vlastní foto]



Obr. 5.8 Detail zavěšení [Vlastní foto]

#### 4.1.2 Pec číslo 30



Obr. 5.9 Celkový pohled [Vlastní foto]

Tato pec má uzpůsobena zavírání a otevírání dveří pomocí hydraulického pístu. Pec má na portálových sloupech úchyty pro hydroválec, zavěšení volné řetězové kladky a v horní části jsou přišroubovány sestavy řetězových kol pro vedení Gallových řetězů, na nichž jsou zavěšeny dveře pece. Pohon zvedání dveří je tedy realizován hydroválcem. Pro požadovaný zdvih dveří při plném otevření pece je využito mechanismu volné řetězové kladky. Hydroválec zdvihá dveře pomocí zpětného tahu zasouvající se pístnice. Přitlačení



dveří na vyzdívku portálu se stane po dosednutí dveří do spodní polohy vlastní vahou přes pákový mechanismus.



*Obr. 5.10 Pohled na hydraulický válec, dveře v zavřené poloze [Vlastní foto]*



*Obr. 5.11 Pákový mechanismus pro uzavření dveří [Vlastní foto]*



*Obr. 5.12 Celkový pohled na pákový mechanismus pro uzavření dveří [Vlastní foto]*

#### 4.1.3 Pec číslo 20



Obr. 5.13 Celkový pohled na pec [Vlastní foto]

Zde je vidět další kombinace uzavírání pecního otvoru, které je využito na této peci. Zvedání a spouštění je realizováno pomocí hydroválece. Jak již bylo zmíněno, i zde se využívá mechanismu volné řetězové kladky. A dovření dveří probíhá vlastní vahou přes vytvořené oblouky na vodítkách.



Obr. 5.14 Jiná konstrukce vodítek [Vlastní foto]



Obr. 5.14 Pohled na pohon vrat dveří, hydroválec [Vlastní foto]



#### 4.1.4 Pec číslo 3



Obr. 5.15 Čelní pohled na vozokomorovou pec [Vlastní foto]

Další kombinace již zmíněných pohonů vrat a uzavíracích mechanismů. Pohon vrat u této pece je elektromotor. Vrata mají protizávaží, které se nachází za vraty pece a opět se jedná o plně vyvážené dveře. Utěsnění pecních vrat je opět vlastní vahou přes vodítka.

#### 4.1.5 Pec číslo 1

Pecní vrata se zvedají a spouští pomocí elektromotoru, který je umístěn nahoře na portálu. Elektromotor dodává hnací sílu přes převodovku na řetězová kola. Vrata jsou vyvážena protizávažím, které je vidět na snímku výše, na levé straně. Těsnění samotných vrat, pohybujících se ve vodítkách, je zde řešeno pomocí odlitků. Přítlak na odlitky má na starost, po dojetí vrat do dolní polohy, dvojice hydroválců. Tyto hydroválcce jsou umístěny za předními sloupy a jsou k nim připěvněny. Princip činnosti těchto válců: po dojetí vrat do dolní polohy se začnou písty hydroválců stlačovat, a jelikož jsou připevněny k vodítkům vrat pece, přitlačí se vrata pece a tím se uzavře pecní otvor. Na stejném principu otevírání a přitlačování vrat funguje pec č. 21.



*Obr. 5.16 Přední pohled na otevřenou pec [Vlastní foto]*



*Obr. 5.17 Bližší pohled, na vodící profily [Vlastní foto]*



*Obr. 5.18 Detail pístového hydraulického válce, k přitlačení dveří, můžeme si zde povšimnout koncového spínače [Vlastní foto]*



*Obr. 5.19 Detail pístového hydraulického válce [Vlastní foto]*

## 5. Návrh řešení

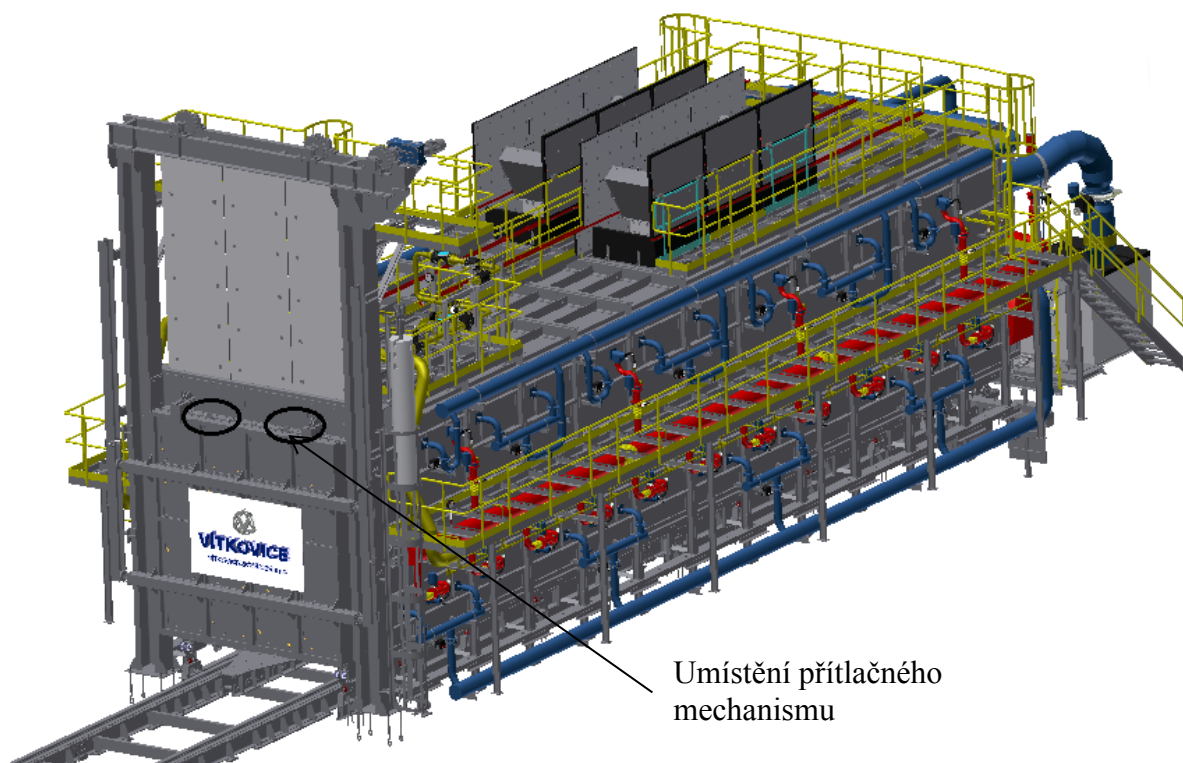
Jak lze tedy vidět z předchozí kapitoly, žádný systém uzavírání pecních vrat nemá vyřešené přímé přitlačování dveří na horním místě vrat. Právě na těchto místech (horní okraj a strana pecních vrat) dochází nahodile k nedokonalému uzavření pecního otvoru a tím i k únikům tepla a vznikají tak tepelné ztráty. Toto nedovření dveří může mít více příčin, jako například nepřesné dosednutí litinových desek na dveřích a na portálu pece, tepelnému ovlivnění konstrukce vrat či portálu, kde pak mohou vznikat netěsnosti. Tento problém úniku tepla vzniká pouze v horních částech vrat, neboť ve spodní části se vrata zasouvají do pecního žlabu. Úkolem diplomové práce tedy bylo vymyslet a navrhnout možné řešení přitlaku na horní části vrat pece.



Obr. 6.1 Únik tepla [Vitkovice Mechanika a s.]

Vymyslel jsem několik možných návrhů řešení přitlaku vrat pece. Většinou se jedná o mechanismus spojený s hydraulickým válcem, který vyvozuje přitlačnou sílu. Tato síla pak dovine možné vzniklé netěsnosti mezi litinami na vratech a na portálu pece a utěsní tak pecní otvor. Níže popsané návrhy bych umístil na sloup portálu pece tak, aby při dojetí vrat do dolní polohy byl tento mechanismus schopen vrata přitlačit. Dále bych tyto mechanismy zvolil dva, a to symetricky na sloupu portálu, aby bylo dosaženo přitlaku právě v místě s největším únikem tepla. Na obrázku níže je patrné budoucí umístění přitlačného mechanismu.

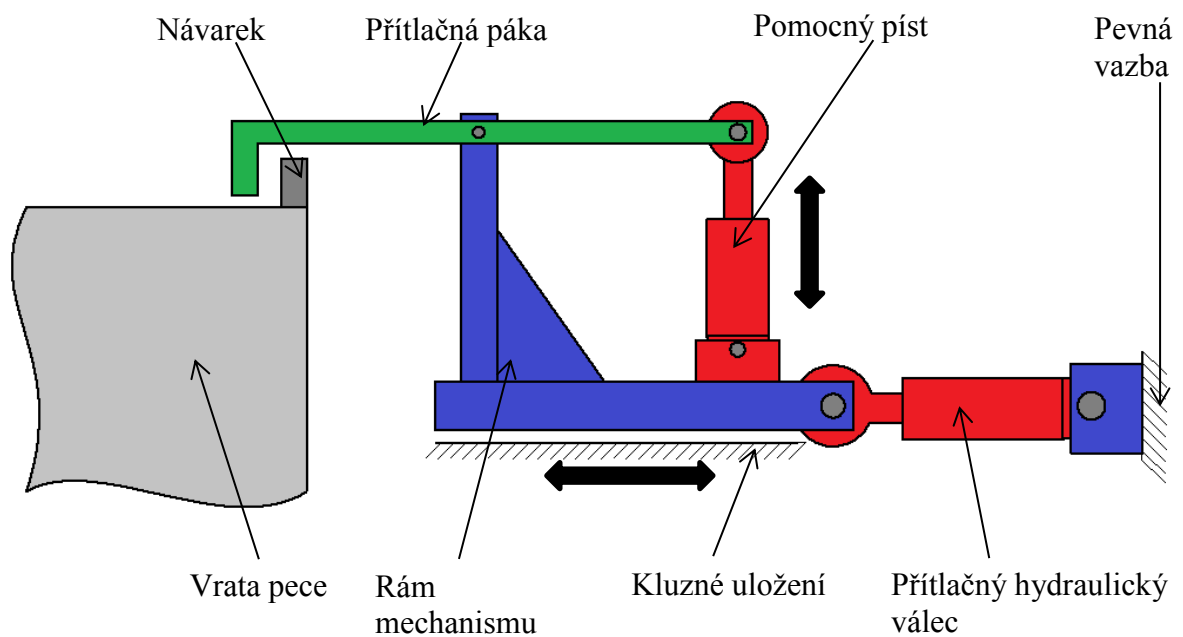




Umístění přítlačného mechanismu

*Obr. 6.2 Umístění přítlačného mechanismu [Vitkovice Mechanika a s.]*

## 5.1 1. Návrh



Obr. 6.3 1. Návrh [Vlastní zpracování.]

Pohled na návrh je jakoby z boku pece. Skládá se z dvojice hydraulických pístů, nosného rámu, přítlačné páky a návarku na vratech pece. Princip tohoto návrhu je takový, že po dojetí vrat do dolní polohy se začne zasouvat přítlačný hydraulický válec, tím se začne přitlačovat páka na návarek a dotlačí se tak těsnicí litinové desky k sobě a pec se uzavře. Pro otevření vrat nejprve vyjede přítlačný hydraulický válec, následně se stáhne pomocný píst (pomocný píst zde slouží pro zvedání a pokládání páky), tím se zvedne páka, zasune se přítlačný válec a dveře se mohou otevřít.

### Klady

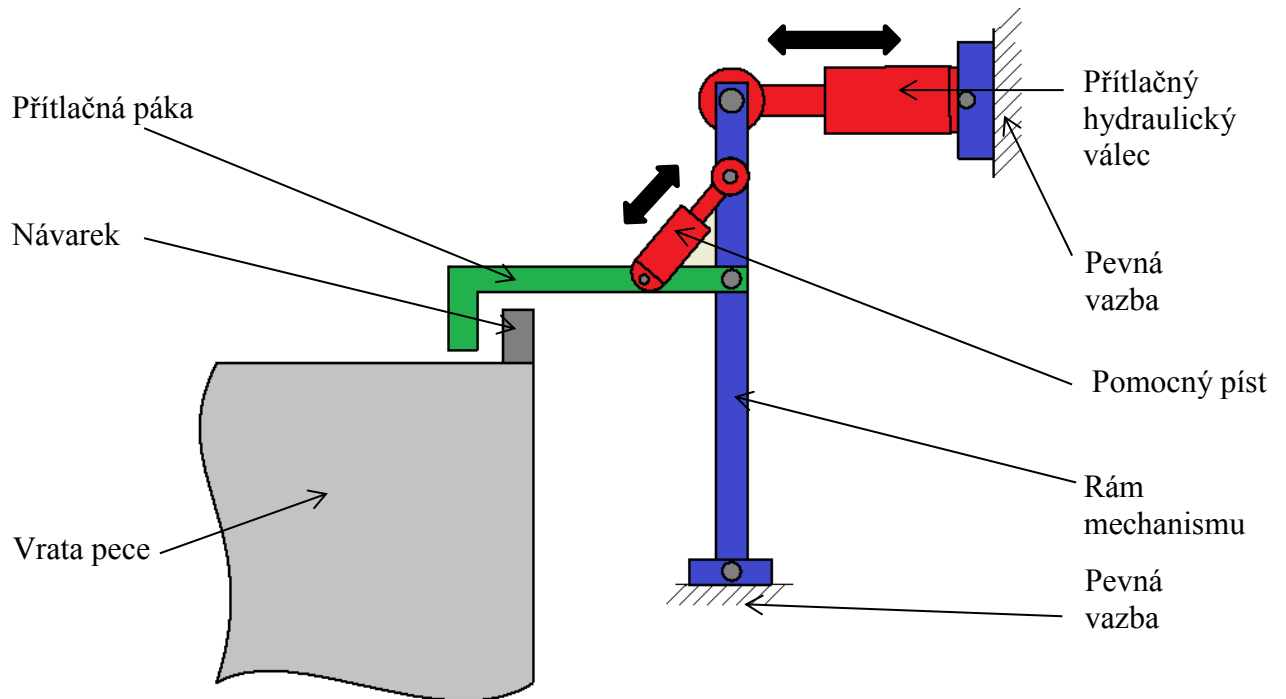
- a) jednoduché
- b) není náročné na úpravu stávající pece
- c) zabírá málo místa

### Zápory

- a) dvojice hydraulických válců
- b) mnoho komponentů



## 5.2 2. Návrh



Obr. 6.4 2. Návrh [Vlastní zpracování.]

Tento druhý návrh je obdobou prvního. Je zde také dvojice hydroválců, jeden přítlačný a jeden pomocný, pouze na zvedání páky. Oproti prvnímu návrhu je zde ovšem jeden zásadní rozdíl a to ten, že síla pístu působí na vrata pece přes pákový mechanismus. Princip přítlačování, zvedání a spuštění dveří je stejný jako v prvním návrhu.

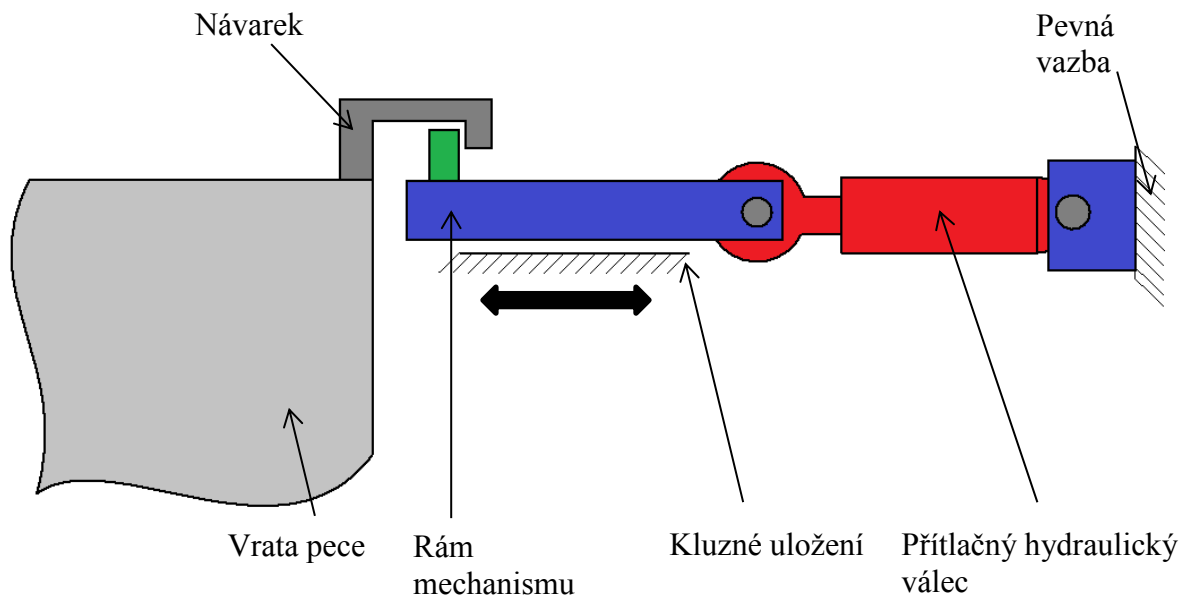
### Klady

- a) stačí menší přítlačná síla

### Zápory

- a) dvojice hydraulických válců
- b) rozměrově veliké

### 5.3 3. Návrh



Obr. 6.5 3. Návrh [Vlastní zpracování.]

Tento návrh se skládá pouze z jednoho hydroválece, pohyblivého rámu, návarku na vratech dveří. Přitlačení dveří zde také probíhá pomocí pístu, který při zasunutí koná potřebný přítlak. Namísto kluzného uložení, jak je vidět zde na obrázku, by se jako další případná varianta mohlo jevit uložení valivé.

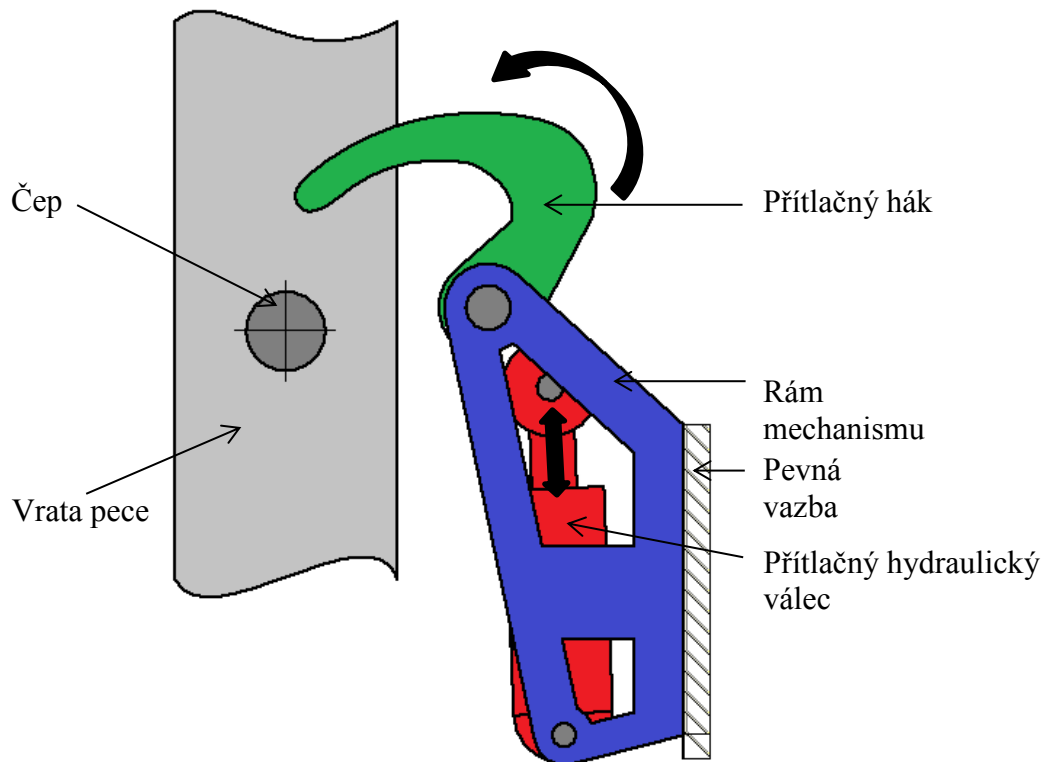
#### Klady

- a) jednoduché
- b) není náročné na úpravu stávající pece
- c) zabírá málo místa
- d) dobře regulovatelný

#### Zápory

- a) síla přítlaku nepůsobí v ose

## 5.4 4. Návrh



Obr. 6.6 4. Návrh [Vlastní zpracování.]

Na model se díváme jakoby pohledem z vrchu na pec. Návrh se opět skládá z hydraulického válce, rámu, přítlačného háku a čepu na dveřích pece. Činnost dotlaku vrat by zde měl tvarový hák poháněný hydraulickým pístem. Hydraulický válec by zde při výsuvu otáčel hákem, který by zapadl do čepu na dveřích a dalším výsuvem by se dveře přitlačily. Naopak při zasunutí válce by se hák otáčel do původní polohy a vrata pece by se „odemkly“.

### Klady

- a) přesně daný přítlak – tvarem háku
- b) žádné dlouhé vedení

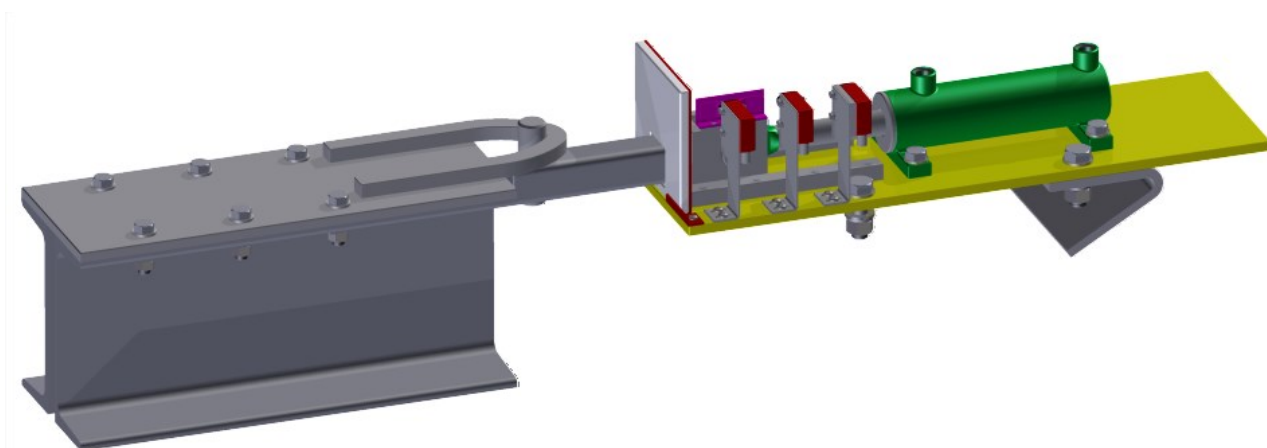
### Zápory

- a) velké nároky na přesnost
- b) větší míra zásahu do stávající pece

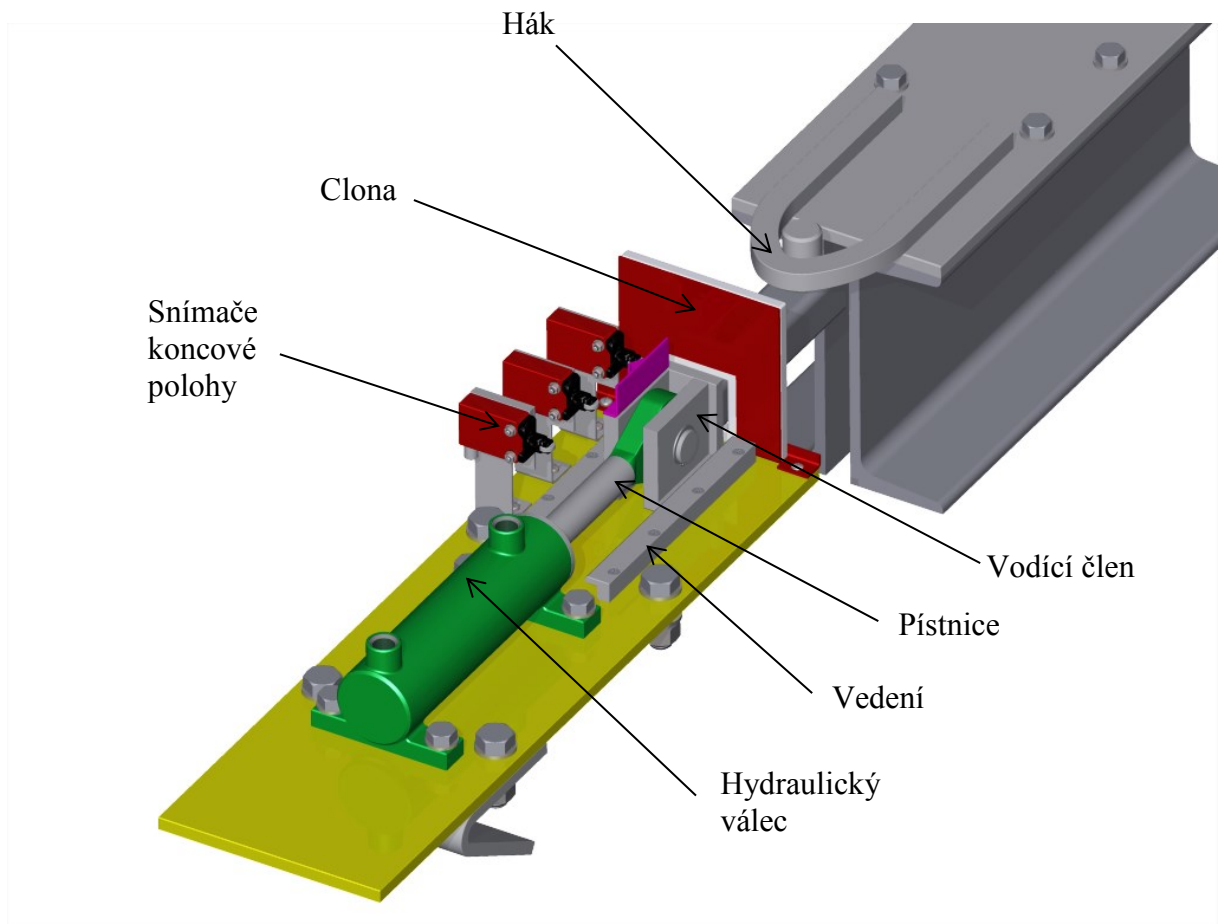
## 6. Řešení vybrané koncepce

Pro konstrukční návrh a další rozpracování jsem vybral návrh číslo 3, kvůli jeho přednostem a dále také po konzultaci s Vítkovice Mechanika a.s.

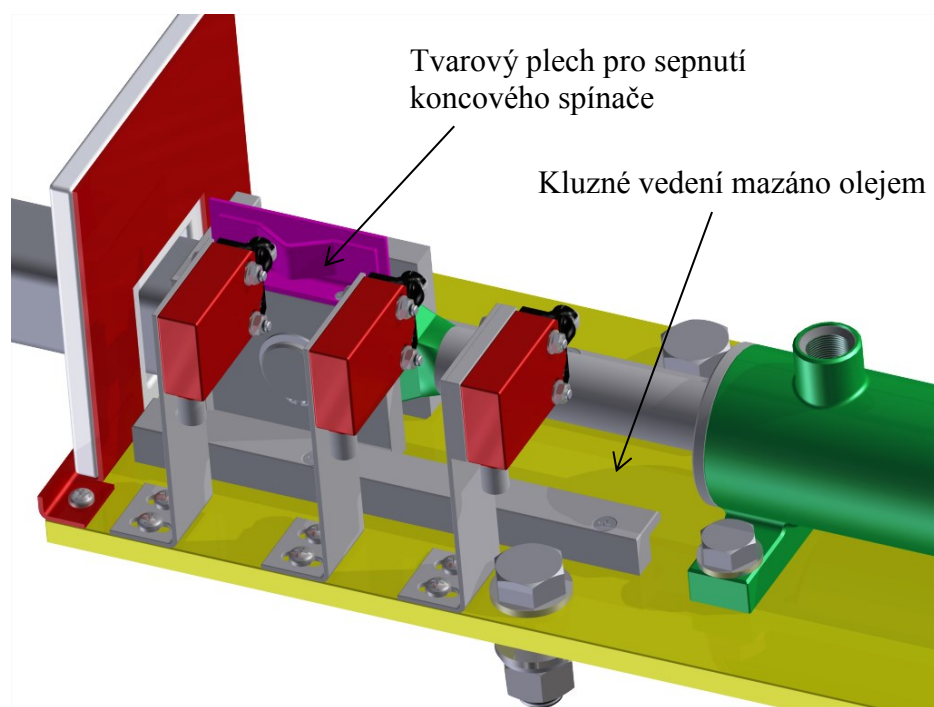
V návrhu tedy bude hlavní přitlačnou sílu vyvozovat dvoučinný hydraulický válec. Pístnice bude pomocí čepu spojena v kluzném vedení a v tomto vedení se bude pohybovat vodící člen, ke kterému je přivařena tyč čtvercového profilu. Na konci tohoto čtvercového profilu je navařený čep, do kterého dosedá při přitlačování hák. Hák bude přivařen k ocelové desce a tato deska bude spojena s dvojicí profilů tvaru U a tyto profily budou spojeny již přímo s konstrukcí rámu pecních vrat. O zajištění správné polohy pístnice, a tak i přitlaku, se bude starat trojice koncových snímačů polohy. Při zvedání a spouštění pecních dveří, hlavně tedy při zvedání v pracovním cyklu, by mohlo hrozit od naakumulovaného tepla ve vyzdívce vrat proniknutí tepla až k samotnému hydraulickému agregátu. Aby se toto nestalo, je zde vložena clona.



*Obr. 7.1 Vítězná koncepce [Vlastní zpracování.]*



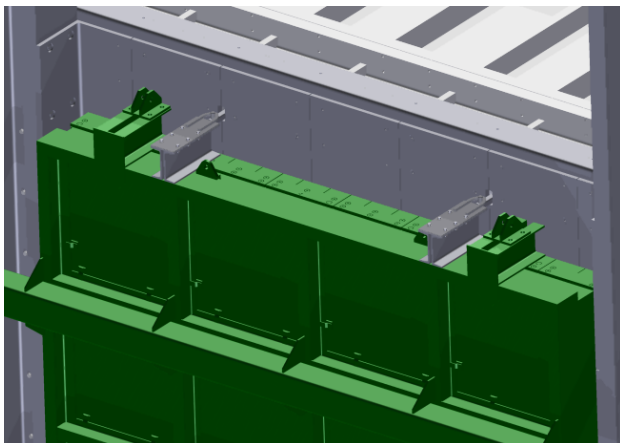
*Obr. 7.2 Popis návrhu [Vlastní zpracování.]*



*Obr. 7.3 Popis návrhu [Vlastní zpracování.]*

## 6.1 Umístění

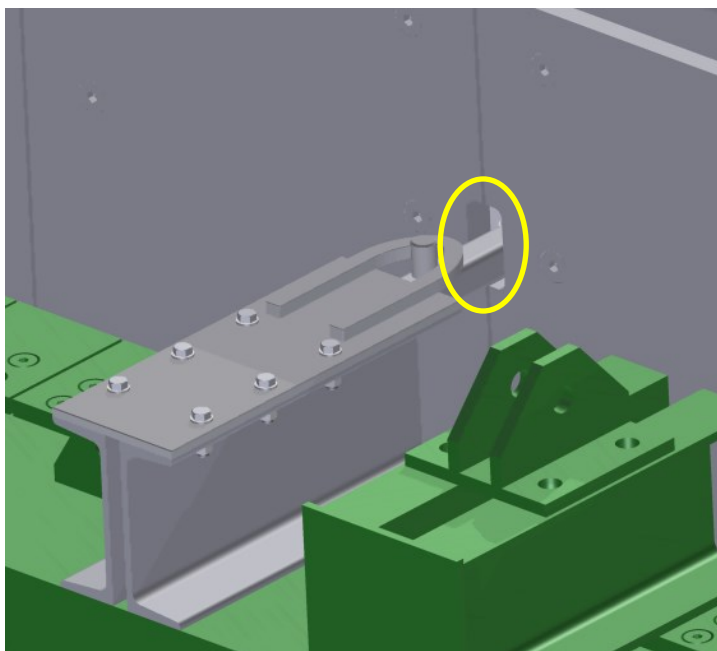
Jak již bylo řečeno, část modelu bude přichycena ke konstrukci rámu pecních vrat, jedná se o profily tvaru U s plechem a hákem. Další komponenty modelu budou připevněny na podkladový plech, který bude připevněn ke sloupu portálu a k rámu pece.



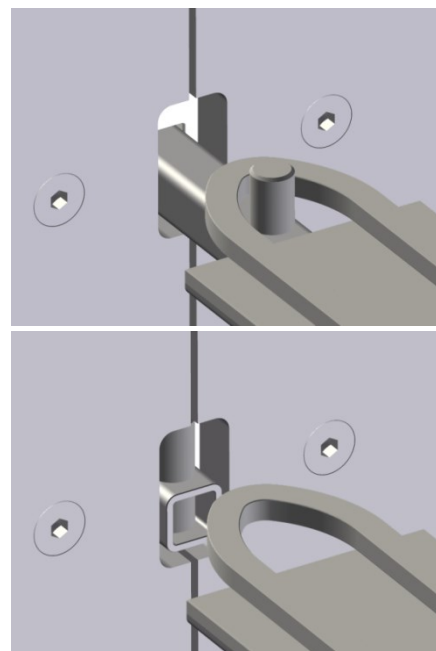
*Obr. 7.4 Pohled na umístění navařených profilů na konstrukci rámu vrat  
[Vlastní zpracování.]*



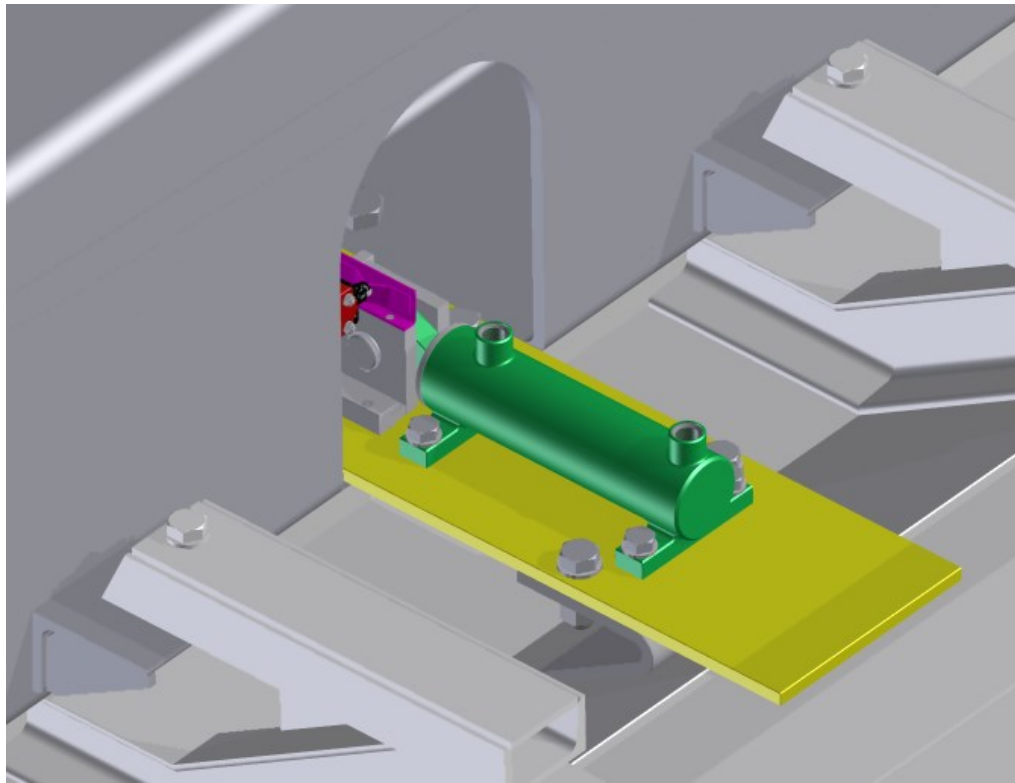
*Obr. 7.5 Pohled na umístění  
[Vlastní zpracování.]*



*Obr. 7.6 Otvor v litinových deskách a přivařené U profily  
[Vlastní zpracování.]*



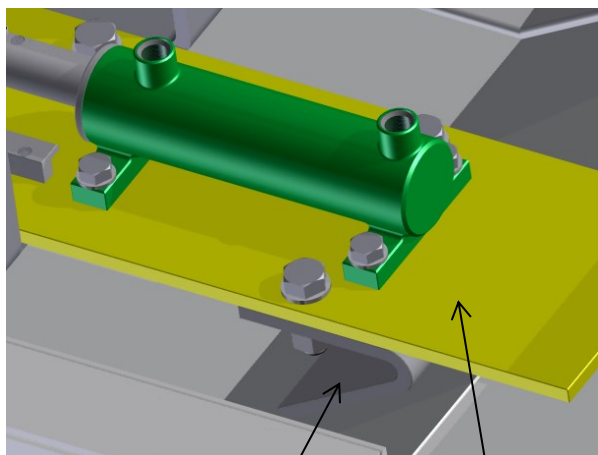
*Obr. 7.7 Úplně vysunutý a zasunutý píst  
[Vlastní zpracování.]*



*Obr. 7.8 Zvětšení původní díry na stávající stav [Vlastní zpracování.]*

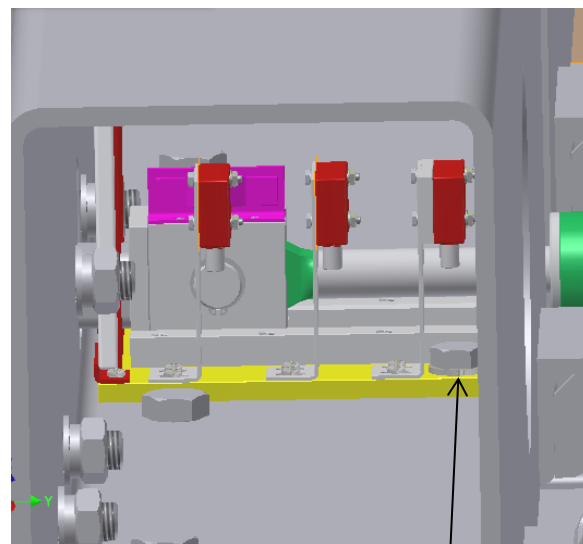
Jak je vidět na obrázku 7.6 a 7.8, bylo třeba upravit stávající stav pece, aby zde vzniklo místo pro nový mechanismus. Upravovat se bude pouze sloup portálu a litinové desky. Na obrázku 7.6 (popř. 7.7) je vidět detail otvoru vytvořený v litinových deskách. Desky bude třeba odmontovat, vypálit příslušný otvor a následně je zpět namontovat. Tato úprava nijak neomezí funkčnost. Další úprava, která je třeba udělat, je na sloupu portálu. Musí se vyřezat stejný otvor, který je v litinových deskách, i do přilehlé strany sloupu portálu a dále je třeba zvětšit již stávající kruhovou díru na druhé straně profilu na otvor patrný z obrázku 7.8. Všechny tyto zásahy nijak neomezí funkčnost pece a lze je provést bez většího rozebírání celku.

Podkladový plech (na kterém je připevněn píst, koncové spínače, clona a další...) bude spojen s portálem pomocí šroubů a dále bude spojen pomocí šroubů k patce, která bude navařena na rám pece, viz. obrázek níže. Všechno je v co největší míře spojeno pomocí šroubů, ať už se jedná o podkladový plech, nebo o koncové spínače. Je to děláno jednak kvůli lepší regulovatelnosti (myšleno tak, že se dají pomocí oblých drážek pro šrouby zmírnit nepřesnosti výroby), ale jednak taky z toho důvodu, že se všechny komponenty sestaví na podkladový plech a následně jako celek se přišroubují k portálu a rámu pece.



Patka Podkladový plech

Obr. 7.9 Umístění patky [Vlastní zpracování.]



Připevňující šroub

Obr. 7.10 Pohled do sloupu portálu [Vlastní zpracování.]

## 6.2 Dílčí části

### 6.2.1 Přímočarý hydromotor

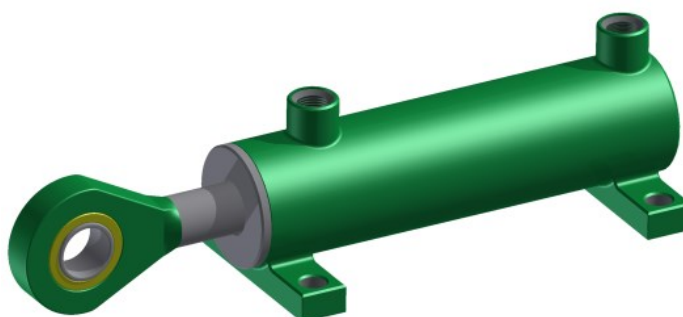
Byl zvolen přímočarý hydromotor

ZH1-50/25x125-R, uchycení

ZH1-D firmy HydraulICS s.r.o

na doporučení

Vítkovice Mechanika a.s., kvůli možnostem náhradních dílů.



Obr. 7.11 ZH1-50/25x125-R, uchycení ZH1-D [Vlastní zpracování.]

#### Technické parametry:

Pracovní kapalina – hydraulický minerální olej (OH-HM 32, OH-HM 46, OH-HM 64)

Požadovaná filtrace – min. 40  $\mu\text{m}$ , doporučujeme 25  $\mu\text{m}$

Teplotní rozsah – kapaliny  $-20^{\circ}\text{C} \div +80^{\circ}\text{C}$

– okolí  $-20^{\circ}\text{C} \div +70^{\circ}\text{C}$

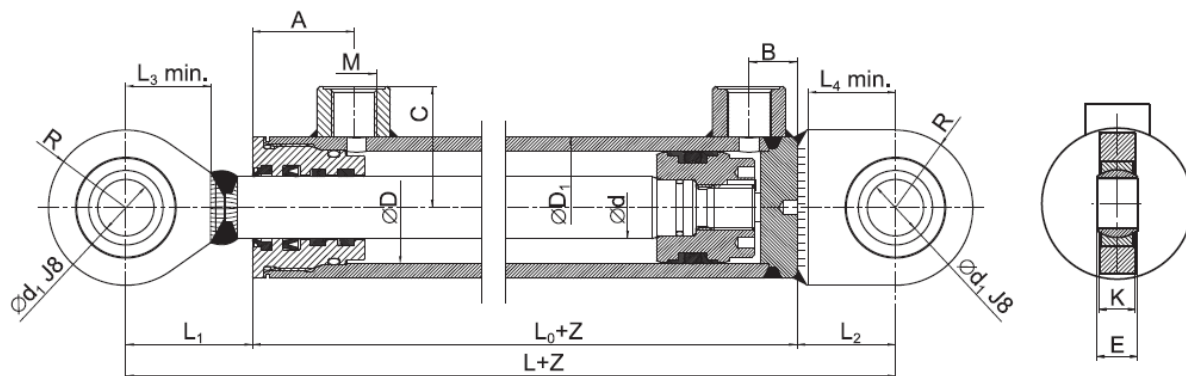
Klimatická odolnost – mírné klima WT

Jmenovitý tlak – 16 MPa

Pracovní rychlost – maximální  $0,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

Hodnota odolnosti pístní tyče v solné komoře dle ISO 4540 – 120 hodin



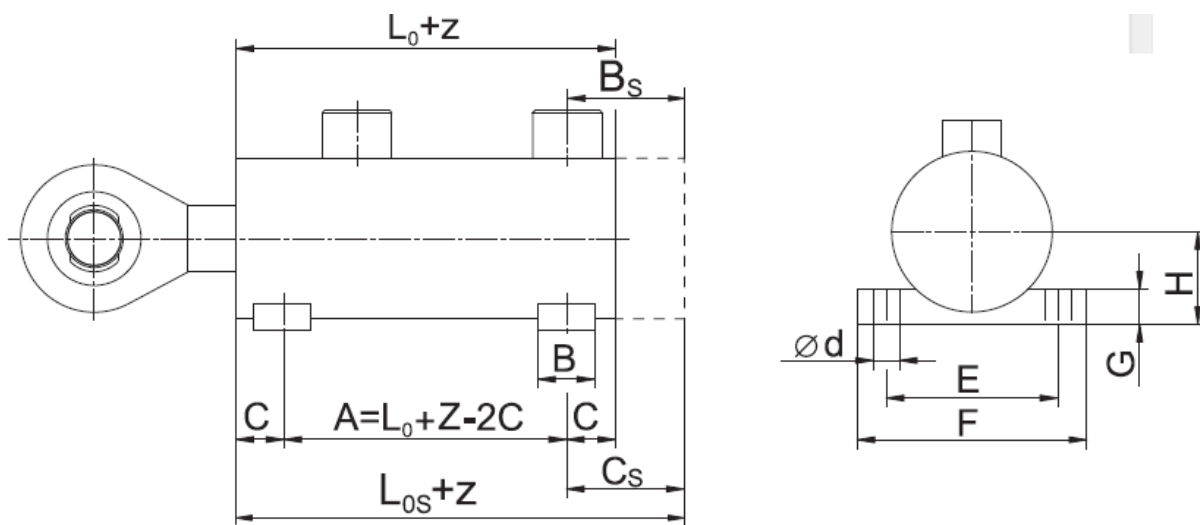


Obr. 7.12 Rozměry válce [14]

$\varnothing D$	$\varnothing d$	$\varnothing D_1$	$\varnothing d_1$	L	L0	L1	L2	L3	L4	M	A	B	C	E	K	R	Zdvih	Hmotnost (kg)
50	25	60	25	190	102	50	38	33	33	16x1,5	43	16	48	20	18	32,5	125	4,43

Obr. 7.13 - Tabulka rozměrů v [mm] [14]

Typ uchycení – ZH1-D



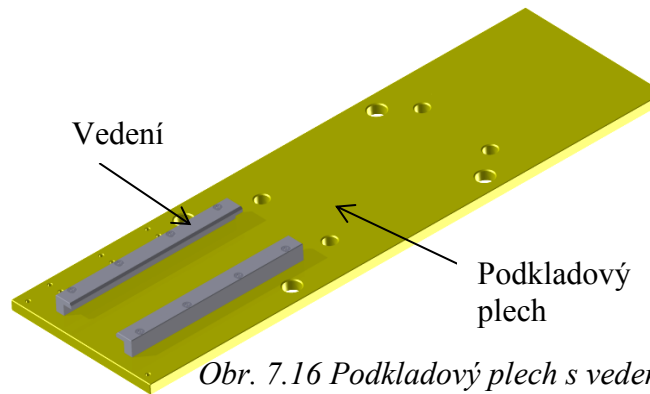
Obr. 7.14 Typ uchycení válce [14]

Typ válce	B	C	$\varnothing d$	E	F	G	H	L0
50	24	20	13	88	110	14	38	102

Obr. 7.15 Tabulka rozměrů v [mm] [14]

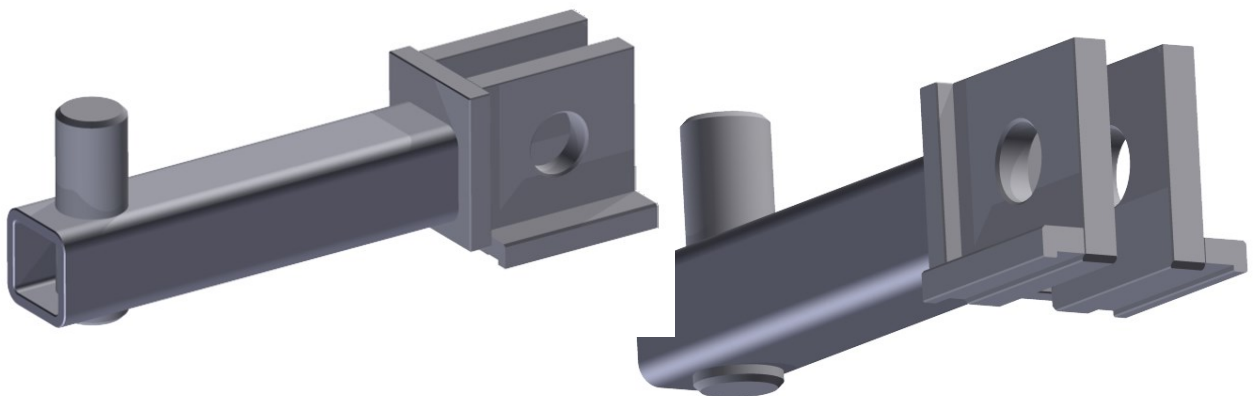
### 6.2.2 Vedení

Slouží zde k vedení vodícího členu, v němž je pomocí čepu připevněna pístnice čepu. Vedení jako takové nepřenáší žádné silové účinky. Je zde kvůli držení polohy, aby nemohlo dojít k pootočení pístnice. Jelikož se jedná o kluzné uložení, je třeba stykové plochy mazat. K tomuto účelu jsem vybral tuhé mazivo Molykote® 1000 od firmy Molykote®.[15] Je vhodný k použití pro kluzná vedení, může být použit ve velkém teplotním rozsahu (od  $-30^{\circ}\text{C}$  do  $+650^{\circ}\text{C}$ ), má dlouhou životnost a dobrou ochranu proti korozi.



Obr. 7.16 Podkladový plech s vedením [Vlastní zpracování]

### 6.2.3 Svařenec středu



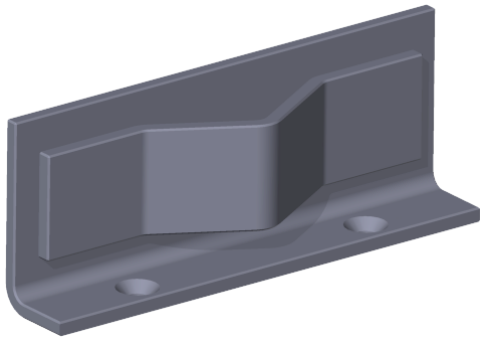
Obr. 7.17 Svařenec středu [Vlastní zpracování]

Slouží k přenosu síly pístu a skládá se ze sedmi dílů. Všechny tyto díly byly podrobeny MKP analýze a na obrázku vidíme již vítěznou variantu. V začátcích na místě čtvercového profilu byl profil trubkový o průměru 30mm a síle stěny 5mm, dále to byl profil  $\text{Ø}35 \times 4$ ,  $\text{Ø}40 \times 5$  a pak dále profily kruhové plné, různých průměrů atd. Nakonec byl zvolen profil čtvercový o délce strany 40mm a tloušťce 5mm. Podobným způsobem jsem postupoval i u zbylých součástí. Všechny tyto díly jsou k sobě navzájem přivařeny. Pravá část je navíc přizpůsobena k pohybu ve vedení tím, že jsou zde přivařeny jakési „nohy“, které se pohybují ve vedení. Dále je zde vytvořeno vybrání, aby styková plocha nebyla příliš velká.

#### 6.2.4 *Koncové snímače polohy*

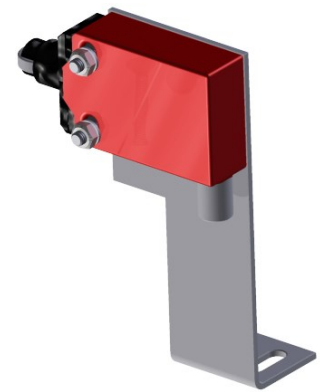
Pro správné nastavení vysunutí a zasunutí pístnice jsem zvolil: kompaktní kovový bezpečnostní koncový spínač – Příčný válcový plunžr – Typ - 440P-ACRS11CS od firmy Allen Bradley.[16] Pro správnou funkčnost je zapotřebí aktivaci těchto koncových spínačů. Ta se provádí posuvem ochranného prvku, nebo jiného pohybujícího se předmětu, který vychýlí plunžr.

Pro toho posunutí polohy plunžru jsem navrhl tvarový plech, který tuto operaci provede. V návrhu počítám s trojicí těchto koncových spínačů. Každý bude plnit jinou funkci. Jeden koncový spínač bude pro vysunutí pístnice



Obr. 7.19 *Tvarový plech pro aktivaci spínače*  
[Vlastní zpracování]

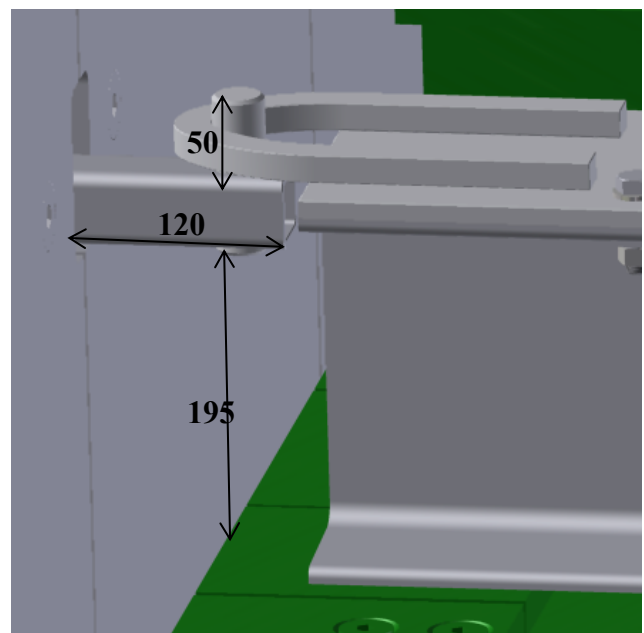
o vzdálenost 120mm (plné otevření), druhý pro vysunutí 60mm (pracovní přítlak) a poslední koncový spínač bude sloužit pro zajištění přítlačného mechanismu (výsuv bude tedy 0mm). Koncové spínače budou připevněny k plechovému držáku a ten pak k podkladovému plechu.



Obr. 7.18 *Koncový spínač s držákem*  
[Vlastní zpracování]

#### 6.2.5 *Zavírání a otevírání dveří*

Aby nedošlo k poškození vrat či přítlačného mechanismu, je nutné vždy, když se budou otevírat vrata pece, aby přítlačný mechanismus zajel do sloupu portálu pece, respektive, aby byl vysunutý maximálně na úrovni litinových desek. Nyní potřebujeme zjistit, zda se stihne zasunout pístnice rychleji, než vrata povyjedou o 195mm, kde by hrozila srážka litinových desek na vratech s přítlačným mechanismem.



Obr. 7.20 *Náčrt délek* [Vlastní zpracování]

Pro výpočet potřebujeme zjistit rychlosti hydraulického pístu a vrat pece a dále vzdálenosti, které je třeba urazit. Vrchní hrana litinových desek, pokud by se píst nepohnul, musí urazit 195mm ke sražení s přítlačným mechanismem. Naproti tomu píst, aby se nesrazil, musí urazit vzdálenost maximálního výsuvu 120mm. K tomu, aby se mohl píst začít zasunovat, je třeba povyjetí vrat o 50mm.

$$l_v = 195 - 50 = 145[\text{mm}] = 0,145[\text{m}] \dots \text{dráha vrat}$$

$$l_p = 120[\text{mm}] = 0,12[\text{m}] \dots \text{dráha pístu}$$

$$v_v = 0,15[\text{m} \cdot \text{s}^{-1}] \dots \text{rychlost výsuvu vrat}$$

$$v_p = 0,5[\text{m} \cdot \text{s}^{-1}] \dots \text{rychlost pístu}$$

Čas, za který urazí vrata dráhu  $l_v$ : (7.1)

$$t_v = \frac{l_v}{v_v} = \frac{0,145}{0,15} = \mathbf{1}[\text{s}]$$

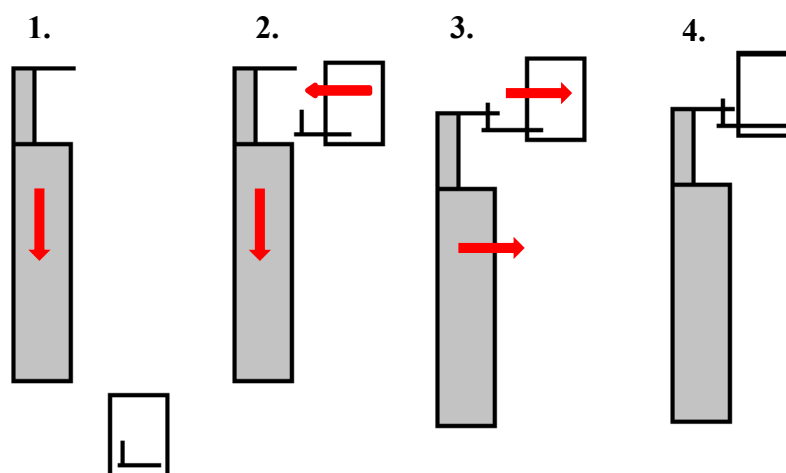
Čas, za který urazí píst dráhu  $l_p$ : (7.2)

$$t_p = \frac{l_p}{v_p} = \frac{0,12}{0,5} = \mathbf{0,24}[\text{s}]$$

Jak lze vidět z výpočtu  $0,24 \leq 1$  píst se tedy stihne zasunout rychleji, než dojedou vrata k myšlenému místu střetu.

Nyní tedy popíšu přesně postup zavírání a otevírání dveří. Na schémata níže se díváme jakoby z boku pece. Šedá barva představuje vrata pece, nevybarvený obdélník je sloup portálu a uvnitř je pohybující se píst.

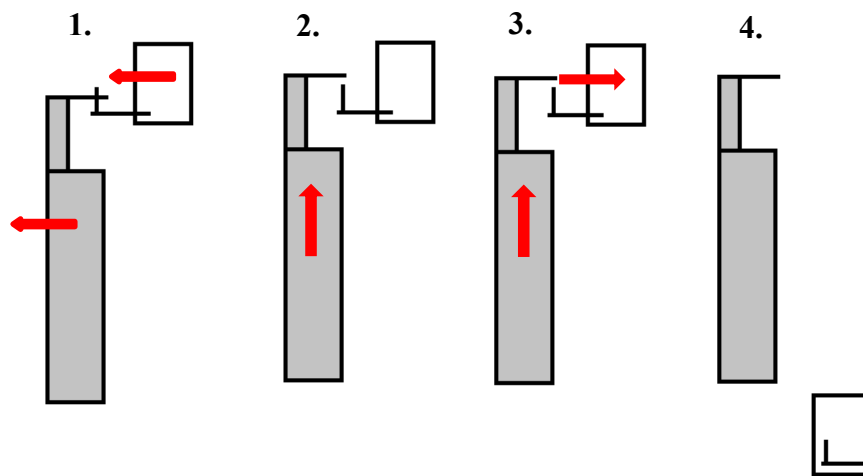
#### Zavírání vrat



Obr. 7.21 Schematicky znázorněno zavírání dveří [Vlastní zpracování]

1. Dveře pece jsou nahoře v otevřené poloze a začínají se pohybovat dolů.
2. Vrata pece jedou stále dolů. Hydraulické válce přítlačného mechanismu jsou uvedeny do provozu v místě popsaném výše a pístnice se vysunou o vzdálenost 120mm.
3. Vrata dojely do spodní polohy a začíná přítlak vrat. Začínají se zasouvat i pístnice přítlačného mechanismu a to tak, že budou vysunuty o 60mm.
4. Vrata jsou nyní plně přitlačena na litinové desky portálu.

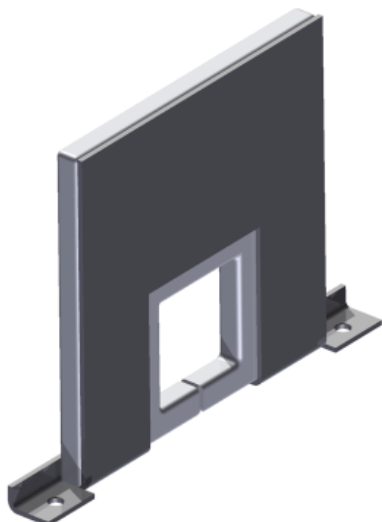
#### Otevírání vrat



*Obr. 7.22 Schematicky znázorněno otevírání dveří [Vlastní zpracování]*

1. Dveře se začínají odsunovat a tedy i pístnice přítlačného mechanismu se vysouvají, a to na vzdálenost 120mm.
2. Vrata pece jsou vysunuty a pístnice přítlačného mechanismu jsou vysunuty na 120mm. V této chvíli začínají jet vrata směrem nahoru.
3. Jakmile popojedou vrata pece o 50mm začnou se zasouvat pístnice. Zasunou se tak, že výsuv bude činit 0mm.
4. Vrata jsou plně otevřena.

### 6.2.6 Clona



Slouží k odtlumení případného vnikajícího tepla při zvedání dveří. Skládá se z 10mm tlustého plátu Sibralu a z 2mm silného tvarovaného nerezového plechu. Sibral je ve spodní části naříznut, aby se jej dalo snadno vložit, a drží na svém místě jednak dole, pomocí tvarovaného plechu a dále bude připevněn k plechu pomocí montážního trnu. Nerezový plech bude připevněn k podkladovému plechu pomocí dvojice šroubů.

*Obr. 7.23 Clona [Vlastní zpracování]*

## 7. Výpočty

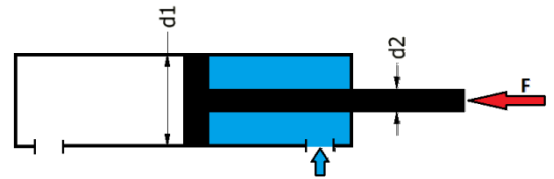
### 7.1 Výpočet síly hydraulického válce

$d_1 = 50[\text{mm}]$  ... průměr pístu

$d_2 = 25[\text{mm}]$  ... průměr pístnice

$p_{jmen} = 16[\text{MPa}]$  ... tlak hydraulického válce

Počítáno dle: [17]



Obr. 8.1 Hlavní rozměry  
[Vlastní zpracování]

Obsah plochy pístu  $S_1$ :

(8.1)

$$S_1 = \frac{\pi \cdot d_1^2}{4} = \frac{\pi \cdot 50^2}{4} = 1963,5 [\text{mm}^2]$$

Obsah plochy pístnice  $S_2$ :

(8.2)

$$S_2 = \frac{\pi \cdot d_2^2}{4} = \frac{\pi \cdot 25^2}{4} = 490,9 [\text{mm}^2]$$

Síla pro zasouvání pístu:

(8.3)

$$F = (S_1 - S_2) \cdot p = (1963,5 - 490,9) \cdot 16 = 23561,6 [\text{N}]$$

### 7.2 Kontrola čepu

$F = 23561,6[\text{N}]$  ... zatěžující síla (8.3)

$a = 12[\text{mm}]$  ... rozměr bočnic

$b = 20[\text{mm}]$  ... šířka táhla

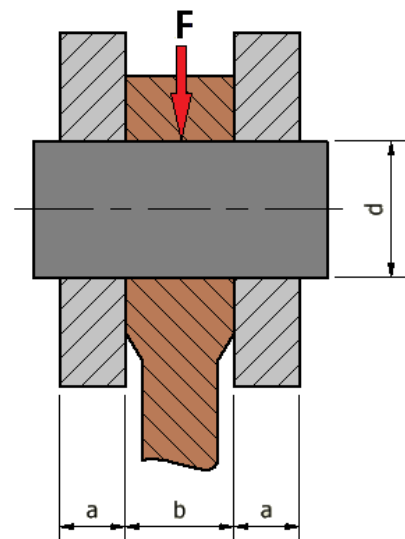
$d = 25[\text{mm}]$  ... průměr čepu

Výpočet dle: [5][6][8]

$\sigma_D = 220[\text{MPa}]$  ... dovolené napětí v ohybu  
pro materiál čepu 11 500 dle[7]

$\tau_d = 85[\text{MPa}]$  ... dovolené napětí ve smyku  
pro materiál čepu 11 500 dle[7]

$p_d = 120[\text{MPa}]$  ... dovolený měrný tlak pro materiál čepu 11 500 dle[5]



Obr. 8.2 Hlavní rozměry  
[Vlastní zpracování]

Ohybové napětí v čepu: (8.4)

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} \leq \sigma_D$$

$$M_o = \frac{F}{2} \cdot \left( \frac{a}{2} + \frac{b}{2} \right) - \frac{F}{2} \cdot \frac{b}{4} = \frac{F}{8} \cdot (2a + b)$$

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} = \frac{\frac{F}{8} \cdot (2a + b)}{\frac{\pi \cdot d^3}{32}} = \frac{4F(2a + b)}{\pi \cdot d^3} = \frac{4 \cdot 23561,6(2 \cdot 12 + 20)}{\pi \cdot 25^3} = 84,5 [MPa]$$

$$\sigma_o \leq \sigma_D$$

$$84,5 [MPa] \leq 220 [MPa]$$

**SPLNĚNO**

Smykové namáhání čepu (8.5)

$$\tau = \frac{F}{2S} \leq \tau_D$$

$$\tau = \frac{F}{2S} = \frac{F}{2 \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4}} = \frac{2F}{\pi \cdot d^2} = \frac{2 \cdot 23561,6}{\pi \cdot 25^2} = 24 [MPa]$$

$$\tau \leq \tau_D$$

$$24 [MPa] \leq 85 [MPa]$$

**SPLNĚNO**

**Kontrola spojovaných součástí na otláčení**

Měrný tlak v táhle (pístnici válce) (8.6)

$$p_1 = \frac{F}{S} \leq p_D$$

$$p_1 = \frac{F}{d \cdot b} = \frac{23561,6}{25 \cdot 20} = 47,1 [MPa]$$

$$p_1 \leq p_D$$

$$47,1 [MPa] \leq 120 [MPa]$$

**SPLNĚNO**

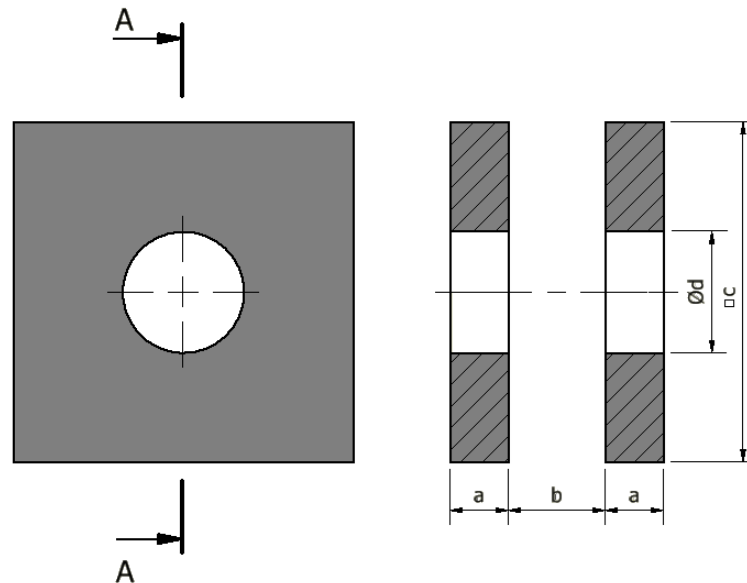


### Kontrola vidlice na otláčení

(8.7)

$p_d = 100[\text{MPa}]$  ... *dovolený měrný tlak pro materiál 11 343 dle[5]*

$c = 70[\text{mm}]$  ... *délka strany*



Obr. 8.3 Hlavní rozměry vidlice [Vlastní zpracování]

$$p_2 = \frac{F}{S} \leq p_D$$

$$p_2 = \frac{F}{2a \cdot d} = \frac{23561,6}{2 \cdot 12 \cdot 25} = 39,3[\text{MPa}]$$

$$p_2 \leq p_D$$

$$\mathbf{39,3[\text{MPa}] \leq 100[\text{MPa}]}$$

**SPLNĚNO**

### Kontrola kritického místa táhla

(8.8)

$\tau_d = 45[\text{MPa}]$  ... *dovolené napětí ve smyku pro materiál 11 343 dle[7]*

$$\tau = \frac{F}{2S} \leq \tau_D$$

$$\tau = \frac{F}{2S} = \frac{F}{2 \cdot (c - d) \cdot a} = \frac{23561,6}{2 \cdot (70 - 25) \cdot 12} = 21,8 [\text{MPa}]$$

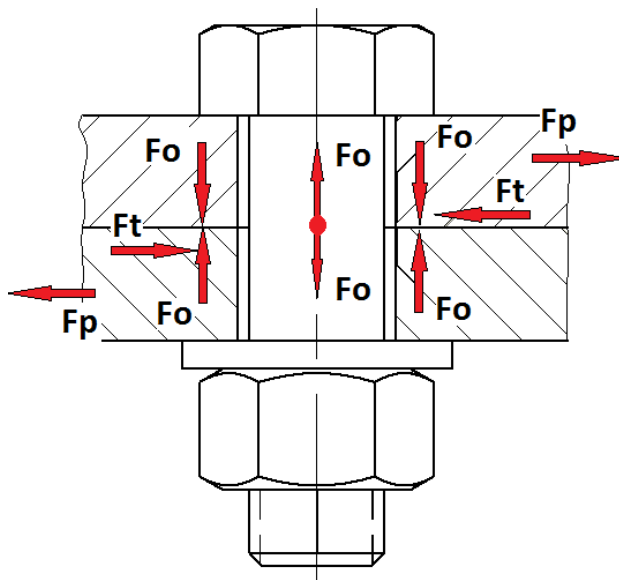
$$\tau \leq \tau_D$$

$$\mathbf{21,8[\text{MPa}] \leq 45[\text{MPa}]}$$

**SPLNĚNO**

### 7.3 Kontrola šroubů

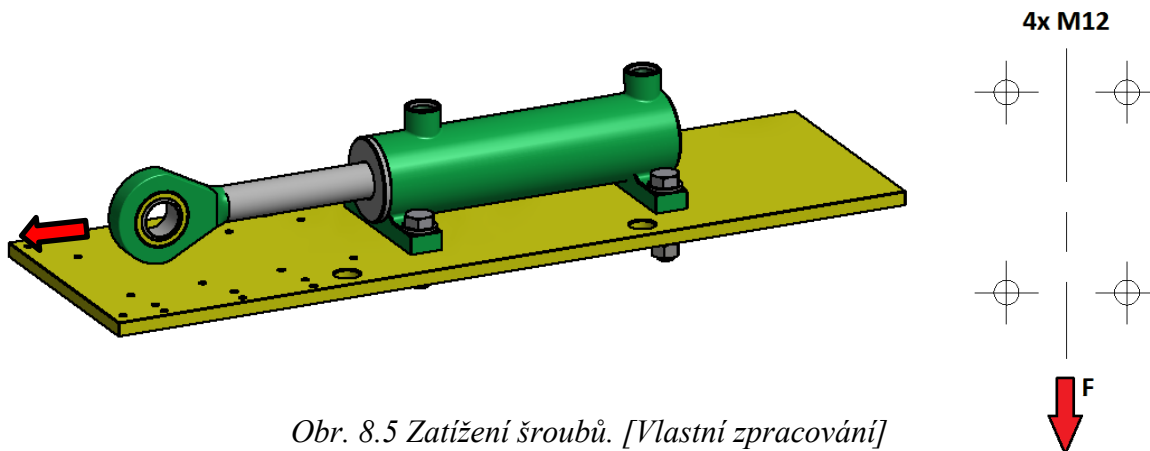
Šroub prochází dírou s vůlí. Předpokládáme, že předpětí  $F_o$  od utažení matice vyvolá mezi spojovanými částmi tření, které zamezí jejich pohybu. Potřebnou sílu  $F_o$ , působící v ose šroubu, určíme z podmínky přenosu provozní příčné síly  $F_p$  třením.[5]



Obr. 8.4 Spoj s normálním průchozím šroubem s hlavou a maticí zatížený provozní příčnou silou. [5]

#### 7.3.1 Kontrolní výpočet šroubů uchycující hydraulický válec.

Hydraulický válec je přichycen čtyřmi šrouby M12 na podložku, sílu vyvozuje hydraulický válec.



Obr. 8.5 Zatížení šroubů. [Vlastní zpracování]

Počítáno dle: [5]

$$F_c = 23561,6[N] \dots \text{zatěžující síla (8.3)}$$

$$i = 4 \dots \text{počet šroubů}$$

$$f = 0,78 \dots \text{tření ocel/ocel [18]}$$

$$f_z = 0,2 \dots \text{tření na závitu [5]}$$

$$k = 1,3 \dots \text{bezpečnost [5]}$$

$$k_{sDov} = 1,5 \dots \text{dovolená bezpečnost [5]}$$

$$\alpha = 60^\circ \dots \text{úhel stoupání závitu [7]}$$

Pro šroub M12:

$$d_2 = 10,863[mm] \dots \text{průměr šroubu [7]}$$

$$d_3 = 9,853[mm] \dots \text{průměr šroubu [7]}$$

$$P_h = 1,75 \dots \text{stoupání závitu [7]}$$

$$Re = 480[MPa] \dots \text{mez kluzu pro šroub pevnosti 6.8 [5]}$$

Výpočet síly na jeden šroub:

(8.9)

$$F_p = \frac{F_c}{i} = \frac{23561,6}{4} = 5890,4[N]$$

Osová síla šroubu:

(8.10)

Musí platit podmínka:

$$F_p \leq F_T$$

$$k \cdot F_p = F_o \cdot f$$

$$F_o = \frac{k \cdot F_p}{f} = \frac{1,3 \cdot 5890,4}{0,78} = 9817,3[N]$$

Plocha šroubu:

(8.11)

$$S = \pi \cdot \left(\frac{d_3}{2}\right)^2 = \pi \cdot \left(\frac{9,853}{2}\right)^2 = 76,25[mm^2]$$

Tahové napětí ve šroubu:

(8.12)

$$\sigma_t = \frac{F_o}{S} = \frac{9817,3}{76,25} = \mathbf{128,8[MPa]}$$

Průřezový modul v krutu:

(8.13)

$$W_K = \frac{\pi \cdot d_3^3}{16} = \frac{\pi \cdot 9,853^3}{16} = 187,8[mm^3]$$

Úhel stoupání závitu: (8.14)

$$\operatorname{tg} \Psi = \frac{P_h}{\pi \cdot d_2} = \frac{1,75}{\pi \cdot 10,863} \gg \Psi = 2,9^\circ$$

Redukovaný třecí úhel: (8.15)

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{f_z}{\cos \frac{\alpha}{2}} = \frac{0,2}{\cos 30} \gg \varphi = 13^\circ$$

Zatěžující síla působící na závit: (8.16)

$$F_Z = F_o \cdot \operatorname{tg}(\Psi + \varphi) = 9817,3 \cdot \operatorname{tg}(2,9 + 13) = 2797[N]$$

Napětí v krutu: (8.17)

$$\tau = \frac{M_K}{W_K} = \frac{F_Z \cdot \frac{d_2}{2}}{W_K} = \frac{2797 \cdot \frac{10,863}{2}}{187,8} = \mathbf{80,9[MPa]}$$

Redukované napětí: (8.18)

$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma_t^2 + 4 \cdot \tau^2} = \sqrt{128,8^2 + 4 \cdot 80,9^2} = \mathbf{206,8[MPa]}$$

Statická bezpečnost: (8.19)

$$k_s = \frac{R_e}{\sigma_{red}} = \frac{480}{206,8} = \mathbf{2,32}$$

$$k_s \geq k_{sDOV}$$

$$\mathbf{2,32 \geq 1,5}$$

**SPLNĚNO**

**Určení utahovacího momentu**

$$F_Z = 2797[N][8.16]$$

$$F_o = 9817,3[N][8.10]$$

$$d_2 = 10,863[mm] \dots \text{průměr šroubu [7]}$$

$$f_M = 0,18 \dots \text{tření mezi maticí a materiálem[5]}$$

$$S = 18[mm] \dots \text{vepsaná kružnice šestiúhelníka[7]}$$

$$D = 15 [mm] \dots \text{velikost díry v podložce[5]}$$

Moment tření v závitu: (8.20)

$$M_{TZ} = F_z \cdot \frac{d_2}{2} = 2797 \cdot \frac{10,863}{2} = 15192 [Nmm]$$

Moment tření pod hlavou šroubu a maticí: (8.21)

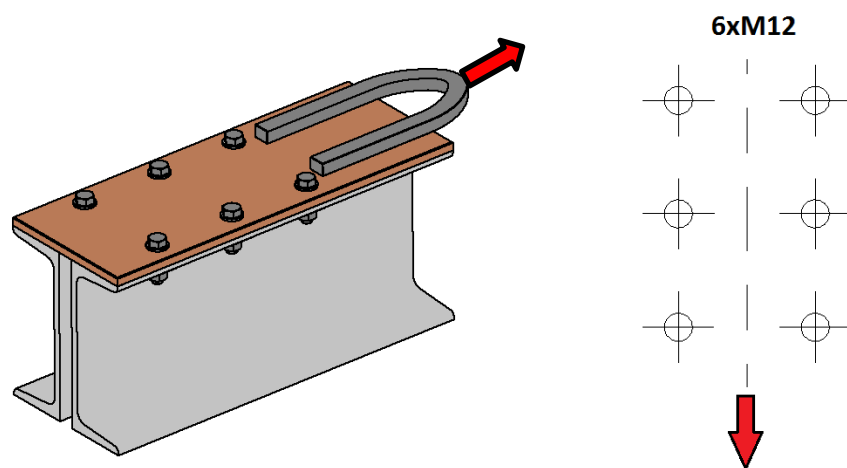
$$M_{TM} = F_{TM} \cdot \frac{d_s}{2} = F_o \cdot f_M \cdot \frac{S + D}{4} = 9817,3 \cdot 0,18 \cdot \frac{18 + 15}{4} = 14579 [Nmm]$$

Utahovací moment: (8.21)

$$M_U = M_{TZ} + M_{TM} = 15192 + 14579 = 29771 [Nmm]$$

**Volím utahovací moment  $M_U = 30 [Nm]$**

### 7.3.2 Kontrolní výpočet šroubů uchycující hák s deskou



Obr. 8.6 Zatížení šroubů. [Vlastní zpracování]

Počítáno dle: [5]

$F_c = 23561,6 [N]$  ... zatěžující síla (8.3)

$i = 6$  ... počet šroubů

$f = 0,78$  ... tření ocel/ocel [18]

$f_z = 0,2$  ... tření na závitu [5]

$k = 1,3$  ... bezpečnost [5]

$k_{sDov} = 3$  ... dovolená bezpečnost, šroub může být namáhán přídatným ohybem [5]

$\alpha = 60^\circ$  ... úhel stoupání závitu [7]

Pro šroub M12:

$d_2 = 10,863 [mm]$  ... průměr šroubu [7]

$d_3 = 9,853[mm]$  ... průměr šroubu [7]

$P_h = 1,75$  ... stoupání závitu [7]

$Re = 480[MPa]$  ... mez kluzu pro šroub pevnosti 6.8 [5]

Výpočet síly na jeden šroub:

(8.22)

$$F_p = \frac{Fc}{i} = \frac{23561,6}{6} = 3927[N]$$

Osová síla šroubu:

(8.23)

Musí platit podmínka:

$$F_p \leq F_T$$

$$k \cdot F_p = F_o \cdot f$$

$$F_o = \frac{k \cdot F_p}{f} = \frac{1,3 \cdot 3927}{0,78} = 6545[N]$$

Plocha šroubu:

(8.24)

$$S = \pi \cdot \left(\frac{d_3}{2}\right)^2 = \pi \cdot \left(\frac{9,853}{2}\right)^2 = 76,25[mm^2]$$

Tahové napětí ve šroubu:

(8.25)

$$\sigma_t = \frac{F_o}{S} = \frac{6545}{76,25} = \mathbf{85,8[MPa]}$$

Průřezový modul v krutu:

(8.26)

$$W_K = \frac{\pi \cdot d_3^3}{16} = \frac{\pi \cdot 9,853^3}{16} = 187,8[mm^3]$$

Úhel stoupání závitu:

(8.27)

$$\operatorname{tg} \Psi = \frac{P_h}{\pi \cdot d_2} = \frac{1,75}{\pi \cdot 10,863} \gg \Psi = 2,9^\circ$$

Redukovaný třecí úhel:

(8.28)

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{fz}{\cos \frac{\alpha}{2}} = \frac{0,2}{\cos 30} \gg \varphi = 13^\circ$$

Zatěžující síla působící na závit: (8.29)

$$F_Z = F_o \cdot \operatorname{tg}(\Psi + \varphi) = 6545 \cdot \operatorname{tg}(2,9 + 13) = 1864,4[N]$$

Napětí v krutu: (8.30)

$$\tau = \frac{M_K}{W_K} = \frac{F_Z \cdot \frac{d_2}{2}}{W_K} = \frac{1864,4 \cdot \frac{10,863}{2}}{187,8} = 54[MPa]$$

Redukované napětí: (8.31)

$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma_t^2 + 4 \cdot \tau^2} = \sqrt{85,8^2 + 4 \cdot 54^2} = 138[MPa]$$

Statická bezpečnost: (8.32)

$$k_s = \frac{R_e}{\sigma_{red}} = \frac{480}{138} = 3,5$$

$$k_s \geq k_{sDOV}$$

$$3,5 \geq 3$$

**SPLNĚNO**

**Určení utahovacího momentu**

$$F_Z = 1864,4[N][8.16]$$

$$F_o = 6545[N][8.10]$$

$$d_2 = 10,863[mm] \dots \text{průměr šroubu [7]}$$

$$f_M = 0,18 \dots \text{tření mezi maticí a materiálem[5]}$$

$$S = 18[mm] \dots \text{vepsaná kružnice šestiúhelníka[7]}$$

$$D = 15 [mm] \dots \text{velikost díry v podložce[5]}$$

Moment tření v závitě: (8.33)

$$M_{TZ} = F_Z \cdot \frac{d_2}{2} = 1864,4 \cdot \frac{10,863}{2} = 10126,5[Nmm]$$

Moment tření pod hlavou šroubu a maticí: (8.34)

$$M_{TM} = F_{TM} \cdot \frac{d_s}{2} = F_o \cdot f_M \cdot \frac{S + D}{4} = 6545 \cdot 0,18 \cdot \frac{18 + 15}{4} = 9719,3[Nmm]$$

Utahovací moment: (8.35)

$$M_U = M_{TZ} + M_{TM} = 10126,5 + 9719,3 = 19845,8[Nmm]$$

**Volím utahovací moment  $M_U = 20 [Nm]$**

### 7.3.3 Kontrolní výpočet šroubů držící podkladovou desku

Počítáno dle: [5]

$F_c = 23561,6[N]$  ... zatěžující síla [8.3]

$i = 4$  ... počet šroubů

$f = 0,78$  ... tření ocel/ocel [18]

$f_z = 0,2$  ... tření na závitu [5]

$k = 1,3$  ... bezpečnost [5]

$\alpha = 60^\circ$  ... úhel stoupání závitu [7]

$k_{sDov} = 3$  ... dovolená bezpečnost, šroub může být namáhán přidavným ohybem [5]

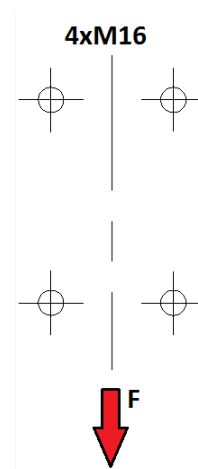
Pro šroub M16:

$d_2 = 14,701[mm]$  ... průměr šroubu [7]

$d_3 = 13,546[mm]$  ... průměr šroubu [7]

$P_h = 2$  ... stoupání závitu [7]

$Re = 480[MPa]$  ... mez kluzu pro šroub pevnosti 6.8 [5]



Obr. 8.7 Zatížení šroubů.

[Vlastní zpracování]

Výpočet síly na jeden šroub: (8.36)

$$F_p = \frac{F_c}{i} = \frac{23561,6}{4} = 5890,4[N]$$

Osová síla šroubu: (8.37)

Musí platit podmínka:

$$F_p \leq F_T$$

$$k \cdot F_p = F_o \cdot f$$

$$F_o = \frac{k \cdot F_p}{f} = \frac{1,3 \cdot 5890,4}{0,78} = 9817,3[N]$$



Plocha šroubu: (8.38)

$$S = \pi \cdot \left(\frac{d_3}{2}\right)^2 = \pi \cdot \left(\frac{13,546}{2}\right)^2 = 144,1[\text{mm}^2]$$

Tahové napětí ve šroubu: (8.39)

$$\sigma_t = \frac{F_o}{S} = \frac{9817,3}{144,1} = \mathbf{68,1[MPa]}$$

Průřezový modul v krutu: (8.40)

$$W_K = \frac{\pi \cdot d_3^3}{16} = \frac{\pi \cdot 13,546^3}{16} = 488[\text{mm}^3]$$

Úhel stoupání závitu: (8.41)

$$\text{tg } \Psi = \frac{P_h}{\pi \cdot d_2} = \frac{2}{\pi \cdot 14,701} \gg \Psi = 2,48^\circ$$

Redukovaný třecí úhel: (8.42)

$$\text{tg } \varphi = \frac{f_z}{\cos \frac{\alpha}{2}} = \frac{0,2}{\cos 30} \gg \varphi = 13^\circ$$

Zatěžující síla působící na závit: (8.43)

$$F_Z = F_o \cdot \text{tg}(\Psi + \varphi) = 9817,3 \cdot \text{tg}(2,48 + 13) = 2719[\text{N}]$$

Napětí v krutu: (8.44)

$$\tau = \frac{M_K}{W_K} = \frac{F_Z \cdot \frac{d_2}{2}}{W_K} = \frac{2719 \cdot \frac{14,701}{2}}{488} = \mathbf{41[MPa]}$$

Redukované napětí: (8.45)

$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma_t^2 + 4 \cdot \tau^2} = \sqrt{68,1^2 + 4 \cdot 41^2} = \mathbf{106,6[MPa]}$$

Statická bezpečnost:

(8.46)

$$k_s = \frac{R_e}{\sigma_{red}} = \frac{480}{106,6} = 4,5$$

$$k_s \geq k_{sDOV}$$

$$4,5 \geq 3$$

**SPLNĚNO**

**Určení utahovacího momentu**

$$F_z = 2797[N][8.16]$$

$$F_o = 9817,3[N][8.10]$$

$$d_2 = 14,701[mm] \dots \text{průměr šroubu [7]}$$

$$f_M = 0,18 \dots \text{tření mezi maticí a materiálem[5]}$$

$$S = 24[mm] \dots \text{vepsaná kružnice šestiúhelníka[7]}$$

$$D = 20 [mm] \dots \text{velikost díry v podložce[5]}$$

Moment tření v závitu:

(8.47)

$$M_{TZ} = F_z \cdot \frac{d_2}{2} = 2719 \cdot \frac{14,701}{2} = 19986[Nmm]$$

Moment tření pod hlavou šroubu a maticí:

(8.48)

$$M_{TM} = F_{TM} \cdot \frac{d_s}{2} = F_o \cdot f_M \cdot \frac{S + D}{4} = 9817,3 \cdot 0,18 \cdot \frac{24 + 20}{4} = 19438,3[Nmm]$$

Utahovací moment:

(8.49)

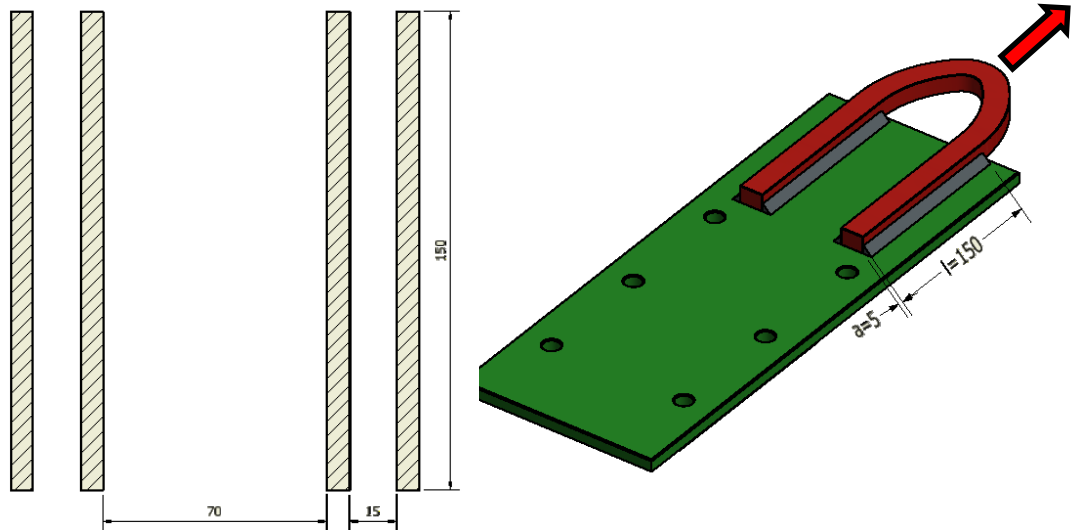
$$M_U = M_{TZ} + M_{TM} = 19986 + 19438,3 = 39424,3[Nmm]$$

**Volím utahovací moment  $M_U = 40 [Nm]$**

## 7.4 Výpočet svarů

### 7.4.1 Výpočet svaru háku na plech

Svar namáhán na smyk, počítáno dle [6]



Obr. 8.8 Zatížení svaru. [Vlastní zpracování]

$F = 23561,6[N]$  ... zatěžující síla [8.3]

$l' = 150[mm]$  ... délka svaru

$a = 5[mm]$  ... velikost svaru

$\alpha = 0,65$  ... převodní součinitel[6]

$\sigma_{DT} = 125[MPa]$  ... dovolené napětí v tahu pro materiál 11 343 dle[7]

$i = 4$  ... počet svarů

Výpočtová délka svaru: (8.50)

$$l = l' - 2a = 150 - 2 \cdot 5 = 150 - 10 = 140[mm]$$

Plocha svaru: (8.51)

$$S = 4 \cdot a \cdot l = 4 \cdot 5 \cdot 140 = 2800[mm^2]$$

Dovolené napětí svaru ve smyku: (8.52)

$$\tau_{Dsv} = \alpha \cdot \sigma_{DT} = 0,65 \cdot 125 = 81,25[MPa]$$

Napětí svaru ve smyku:

(8.53)

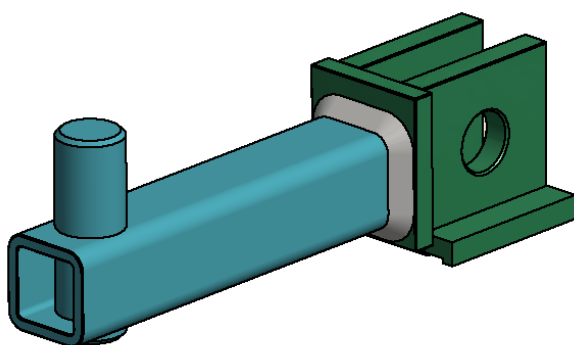
$$\tau = \frac{F}{S} \leq \tau_{Dsv} \Rightarrow \tau = \frac{F}{S} = \frac{23561,6}{2800} = 8,4[\text{MPa}]$$

$$\tau \leq \tau_{Dsv}$$

$$8,4[\text{MPa}] \leq 81,25[\text{MPa}]$$

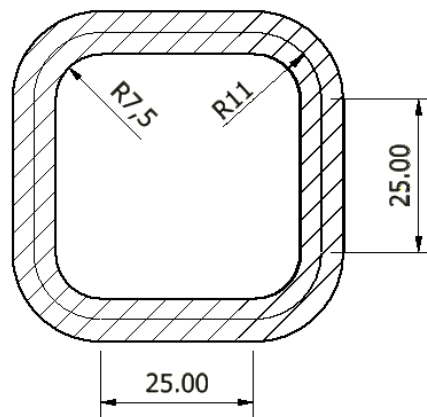
**SPLNĚNO**

#### 7.4.2 Výpočet svaru návaru trubky



Obr. 8.9 Umístění svaru.

[Vlastní zpracování]



Obr. 8.10 Středová výpočtová délka svaru.

[Vlastní zpracování]

Počítáno dle [6] [5]

$F = 23561,6[\text{N}]$  ... zatěžující síla [8.3]

$l' = 25[\text{mm}]$  ... délka svaru

$r = 11[\text{mm}]$  ... radius výpočtové hrany

$a = 5[\text{mm}]$  ... velikost svaru

$\alpha = 0,75$  ... převodní součinitel[6]

$\sigma_{DT} = 125[\text{MPa}]$  ... dovolené napětí v tahu pro materiál 11 343 dle[7]

Výpočtová délka svaru:

(8.54)

$$l = 4 \cdot l' + 0 = 4 \cdot 25 + 2 \cdot \pi \cdot r = 169,1[\text{mm}]$$

Plocha svaru:

(8.55)

$$S = a \cdot l = 5 \cdot 169,1 = 845,5[\text{mm}^2]$$

Dovolené napětí svaru ve smyku:

(8.56)

$$\tau_{Dsv} = \alpha \cdot \sigma_{DT} = 0,75 \cdot 125 = 93,75[\text{MPa}]$$

Napětí svaru ve smyku:

(8.57)

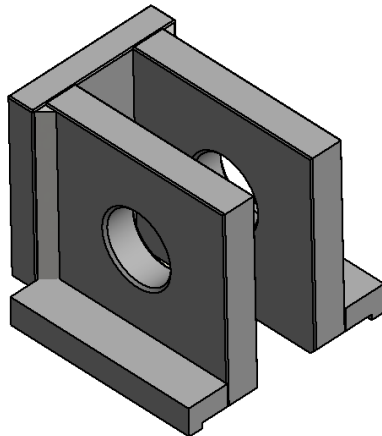
$$\tau = \frac{F}{S} \leq \tau_{Dsv} \Rightarrow \tau = \frac{F}{S} = \frac{23561,6}{845,5} = 27,9[\text{MPa}]$$

$$\tau \leq \tau_{Dsv}$$

$$27,9[\text{MPa}] \leq 93,75[\text{MPa}]$$

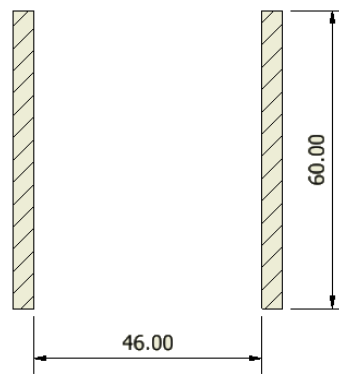
**SPLNĚNO**

### 7.4.3 Výpočet svaru desky



Obr. 8.11 Umístění svaru.

[Vlastní zpracování]



Obr. 8.12 Základní rozměry.

[Vlastní zpracování]

Počítáno dle [6] [5]

$F = 23561,6[\text{N}]$  ... zatěžující síla [8.3]

$l' = 60[\text{mm}]$  ... délka svaru

$a = 3[\text{mm}]$  ... velikost svaru

$\alpha = 0,75$  ... převodní součinitel [6]

$\sigma_{DT} = 125[\text{MPa}]$  ... dovolené napětí v tahu pro materiál 11 343 dle [7]

Výpočtová délka svaru:

(8.58)

$$l = l' - 2a = 60 - 2 \cdot 3 = 54[\text{mm}]$$

Plocha svaru:

(8.59)

$$S = 2a \cdot l = 2 \cdot 3 \cdot 54 = 324[\text{mm}^2]$$

Dovolené napětí svaru ve smyku:

(8.60)

$$\tau_{Dsv} = \alpha \cdot \sigma_{DT} = 0,75 \cdot 125 = 93,75[\text{MPa}]$$

Napětí svaru ve smyku:

(8.61)

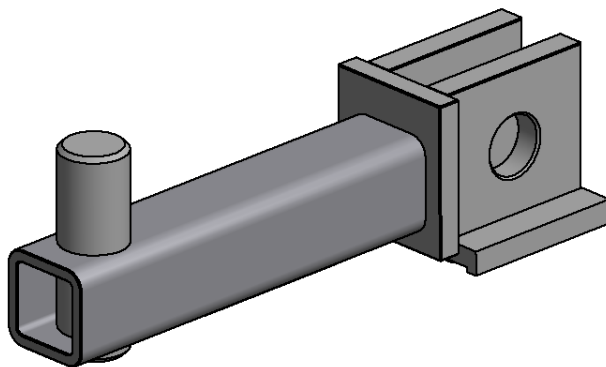
$$\tau = \frac{F}{S} \leq \tau_{Dsv} \Rightarrow \tau = \frac{F}{S} = \frac{23561,6}{324} = 72,7[\text{MPa}]$$

$$\tau \leq \tau_{Dsv}$$

$$72,7[\text{MPa}] \leq 93,75[\text{MPa}]$$

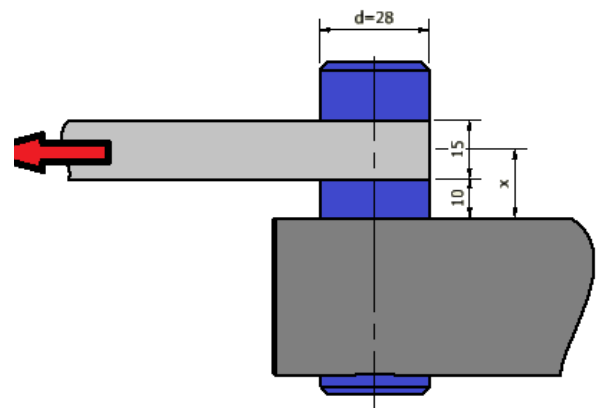
**SPLNĚNO**

## 7.5 Kontrola čepu na ohyb a střih



Obr. 8.13 Umístění svaru.

[Vlastní zpracování]



Obr. 8.14 Základní rozměry.

[Vlastní zpracování]

### Kontrola na ohyb:

$F = 23561,6[\text{N}]$  ... zatěžující síla [8.3]

$x = 17,5$  [mm] ... rameno ohybu

$d = 28$  [mm] ... průměr čepu

$\sigma_{Do} = 220[\text{MPa}]$  ... dovolené napětí v ohybu pro materiál čepu 11 523 dle[7]

$\tau_D = 125[\text{MPa}]$  ... dovolené napětí ve smyku pro materiál čepu 11 523 dle[7]

Průřezový modul v ohybu:

(8.61)

$$W_o = \frac{\pi \cdot d^3}{32} = \frac{\pi \cdot 28^3}{32} = 2155,1[\text{mm}^3]$$

Ohybové napětí:

(8.62)

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} \leq \sigma_{Do} \Rightarrow \sigma_o = \frac{M_o}{W_o} = \frac{F \cdot x}{W_o} = \frac{23561,6 \cdot 17,5}{2155,1} = 191,3[\text{MPa}]$$

$$\sigma_o \leq \sigma_{Do}$$

$$191,3[\text{MPa}] \leq 220[\text{MPa}]$$

**SPLNĚNO**



### Kontrola na stříh

Plocha průřezu:

(8.63)

$$S = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{\pi \cdot 28^2}{4} = 615,8[\text{mm}^2]$$

Napětí ve smyku:

(8.63)

$$\tau = \frac{F}{S} \leq \tau_D \Rightarrow \tau = \frac{F}{S} = \frac{23561,6}{615,8} = 38,3[\text{MPa}]$$

$$\tau \leq \tau_D$$

$$\mathbf{38,3[\text{MPa}] \leq 125[\text{MPa}]}$$

**SPLNĚNO**

## 8. Pevnostní analýza

Pevnostní analýza byla provedena pomocí programu Autodesk Inventor 2013 metodou konečných prvků - MKP. Ve výpočetním modelu byly ponechány pouze součásti potřebné pro výpočet, všechny ostatní díly byly odebrány kvůli zjednodušení výpočtu, avšak při zachování realistického chování modelu. Všechny pevnostní analýzy mají stejné základní nastavení analýzy, které je uvedeno níže. Dále budou ukázány jednotlivé výpočty a výsledky simulací.

### Nastavení sítě:

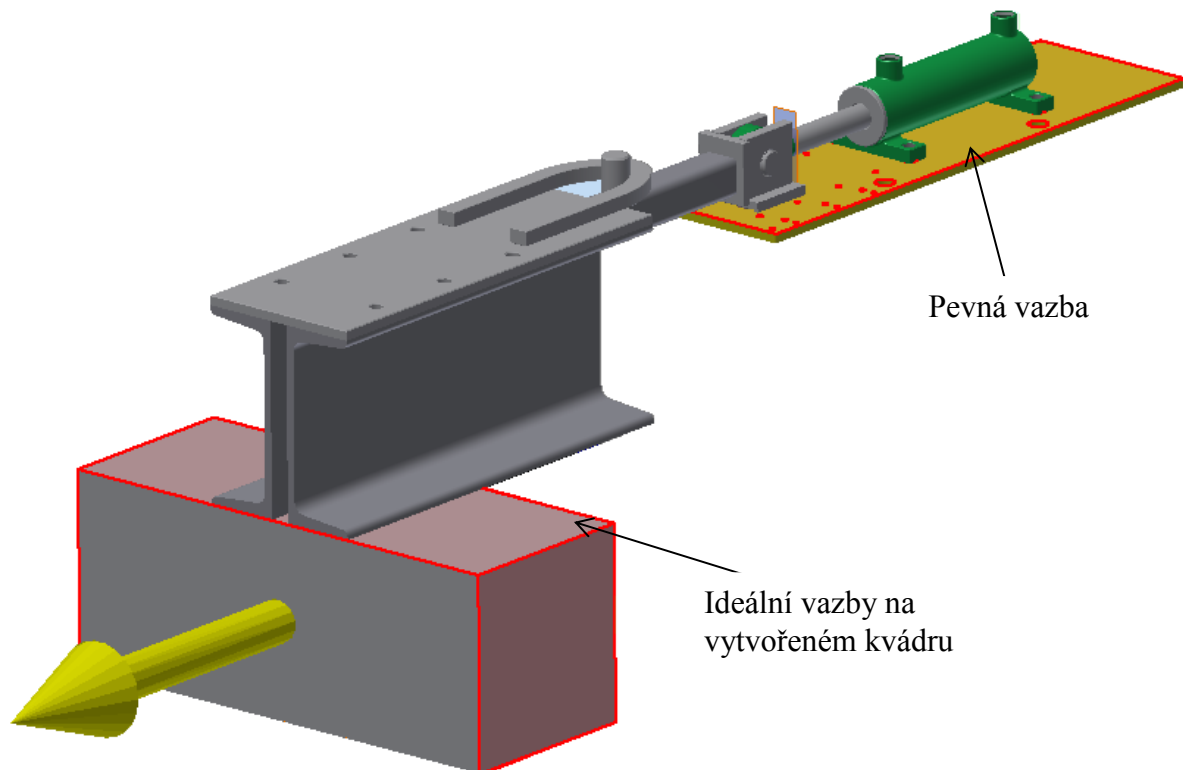
Průměrná velikost prvku (zlomek průměru modelu)	0,1
Minimální velikost prvku (zlomek průměru velikosti)	0,2
Součinitel zemních těles	1,5
Max. úhel pootočení	60 deg

### Materiály

Název	Ocel	
	Měrná hmotnost	7,85 g/cm <sup>3</sup>
Obecné	Mez kluzu v tahu	207 MPa
	Mez pevnosti v tahu	345 MPa
	Youngův modul	210 GPa
Napětí	Poissonova konstanta	0,3 ul
	Modul pružnosti	80,7692 GPa
	Koeficient roztažnosti	0,000012 ul/c
Tepelné napětí	Tepelná vodivost	56 W/( m K )
	Měrné teplo	460 J/( kg c )

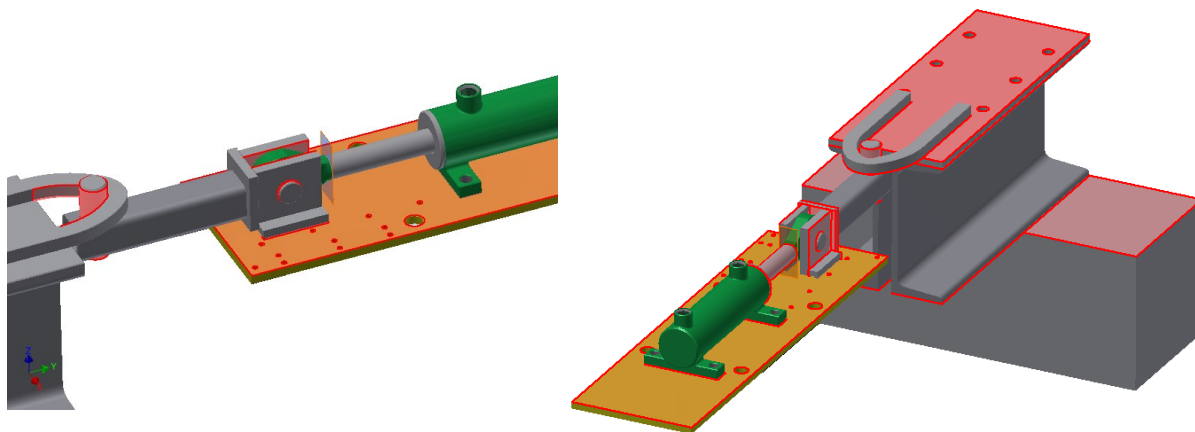
## 8.1 První zkouška

První simulace byla provedena na celkově zatížený model, byl zde vytvořen kvádr jako nahrazení rámu vrat pro snadnější výpočet. Síla (maximální síla, kterou může vyvinout píst, viz bod [8.3], 23516,6 [N]) zde působí na právě vytvořený kvádr (rám dveří)



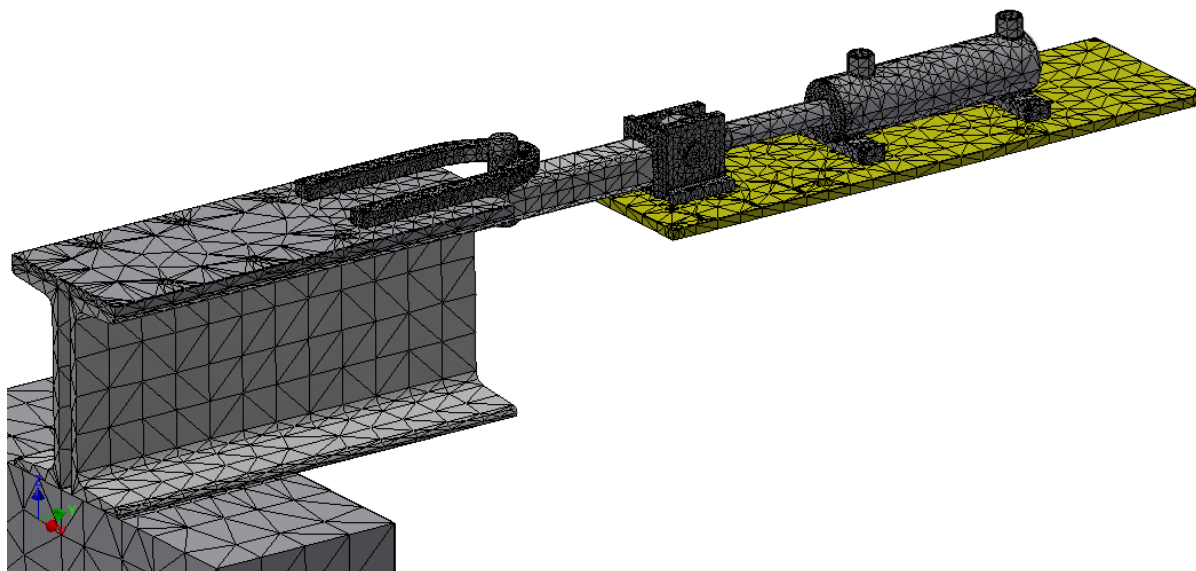
Obr. 9.1 Umístění vazeb a síly. [Vlastní zpracování]

Na obrázku vidíme působení síly a umístění pevné a ideální vazby, přičemž pevná vazba neumožňuje pohyb v žádném směru a ideální vazba umožňuje pohyb ve směru plochy. Pevná vazba zde byla umístěna na podkladový plech, která tímto simuluje pevné přichycení k rámu pece a konstrukce portálu. Ideální vazby jsou umístěny na vytvořený kvádr a zabraňují tak jinému pohybu než je pohyb přísuvu a výsuvu dveří. Tímto určují, že rám dveří pece je tuhý, a tudíž se nemůže deformovat, zabraňují tak zkreslení výpočtu.



Obr. 9.2 Rozmístění dotyků. [Vlastní zpracování]

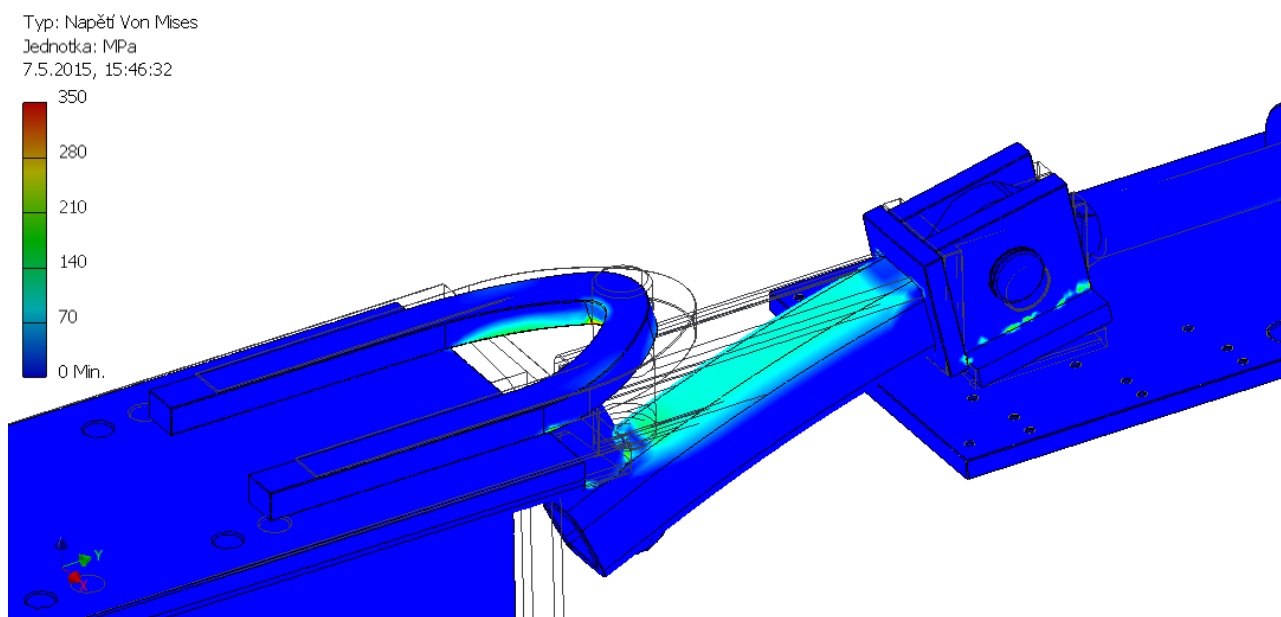
Na těchto dvou obrázcích lze vidět rozmístění dotyků. Dotyky určují, jak jsou k sobě „připevněny“ plochy, které se spolu dotýkají. Vlevo jsou tzv. dotyky separace, jsou umístěny na všech plochách, které mají „volnost“ pohybu jako je například čep, a umožňují tedy těmto plochám pohyb ve všech směrech. Na pravé straně jsou všechny ostatní plochy ve formě vázaného dotyku, který neumožňuje pohyb. Jsou to všechny



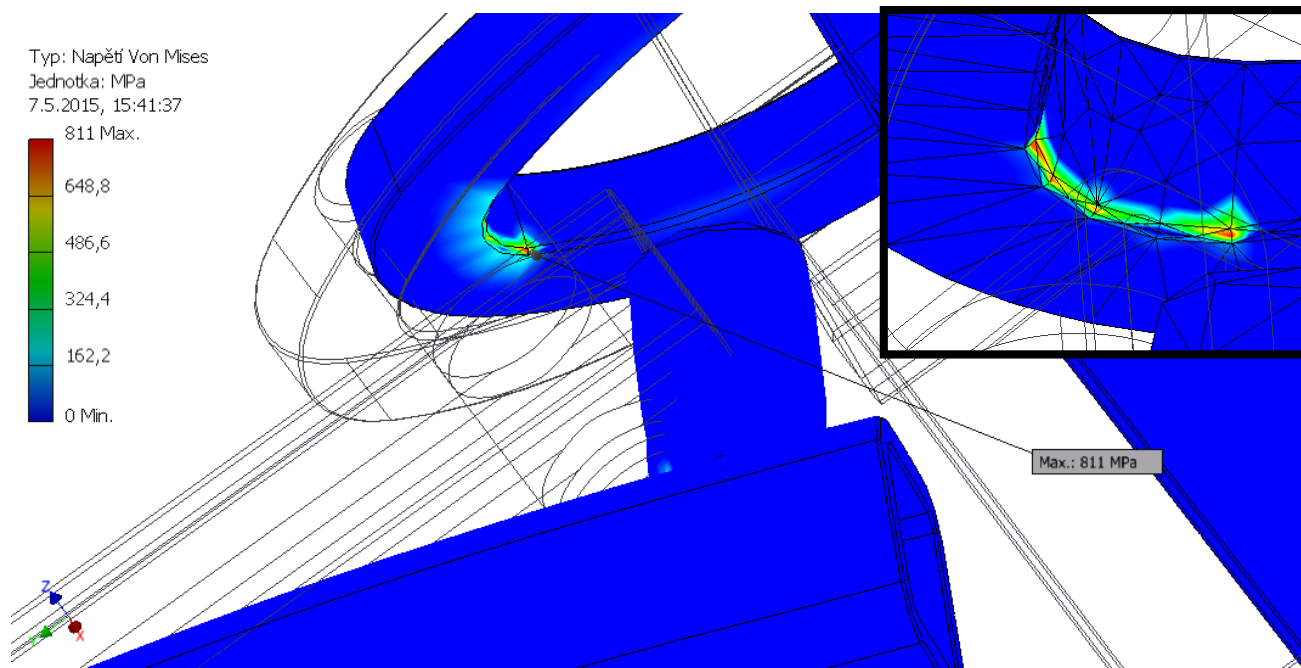
Obr. 9.3 Vytvořená síť. [Vlastní zpracování]

Zde na obrázku vidíme model s vytvořenou sítí, s kterou program dále počítá. Síť byla vytvořena automaticky s tím, že na určitých místech byla zmenšena ručně velikost prvku sítě pro dosažení přesnějšího výsledku.

### Výsledky MKP analýzy – Napětí Von Mises



Obr. 9.4 Napětí Von Mises. [Vlastní zpracování]

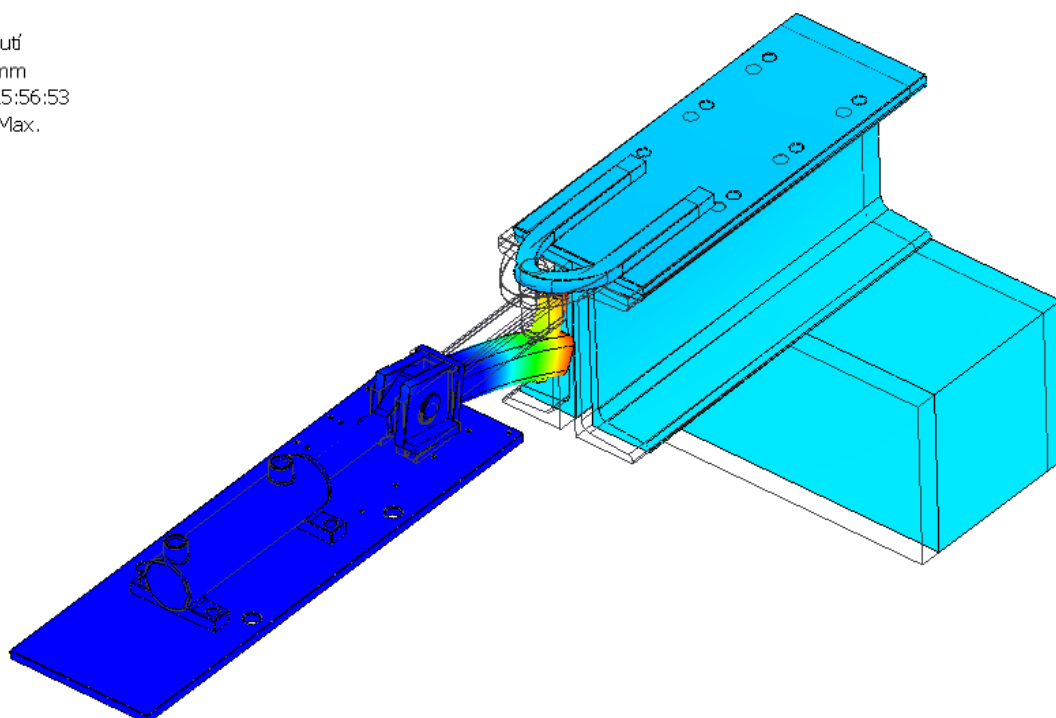
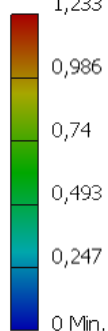


Obr. 9.5 - Napětí Von Mises - detail [Vlastní zpracování]

Největší napětí zde při výpočtu vyšlo 811MPa a bylo umístěno na spodní hraně přítlačného háku. Toto napětí ale neberu při výsledcích zkoušky v potaz, neboť se jedná o špičky napětí, které vzniká u spojení prvku sítě. (Lze vidět na detailu výše). Toto napětí zde vzniká jen při dolním okraji, a to z toho důvodu, že při zatížení celou silou má tendenci čep jakoby „klouzat“ po této hraně. Průměrné napětí, které se zde vyskytuje je patrné z prvního obrázku (9.4) a dle barevné stupnice lze vidět, že se pohybuje kolem 100MPa.

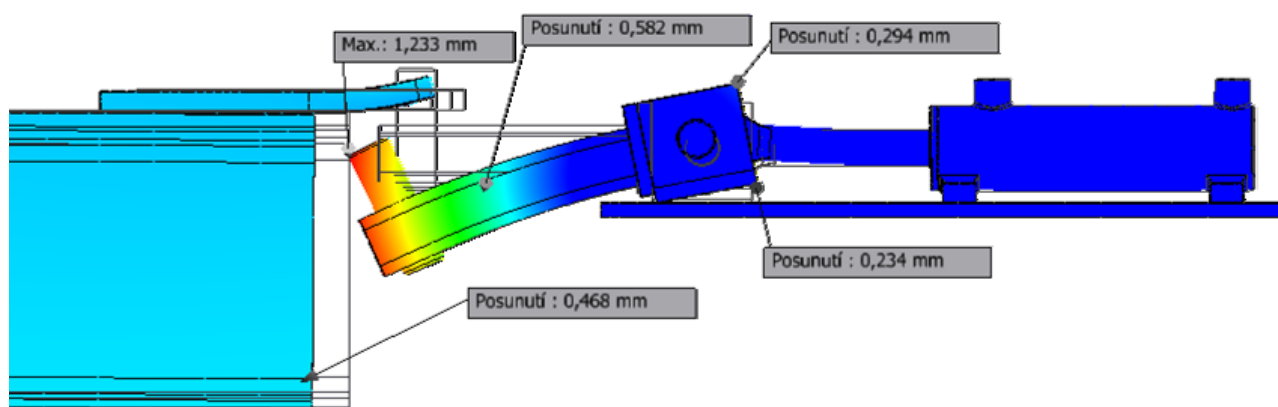
### Posunutí

Typ: Posunutí  
 Jednotka: mm  
 7.5.2015, 15:56:53  
 1,233 Max.



Obr. 9.6 Posunutí [Vlastní zpracování]

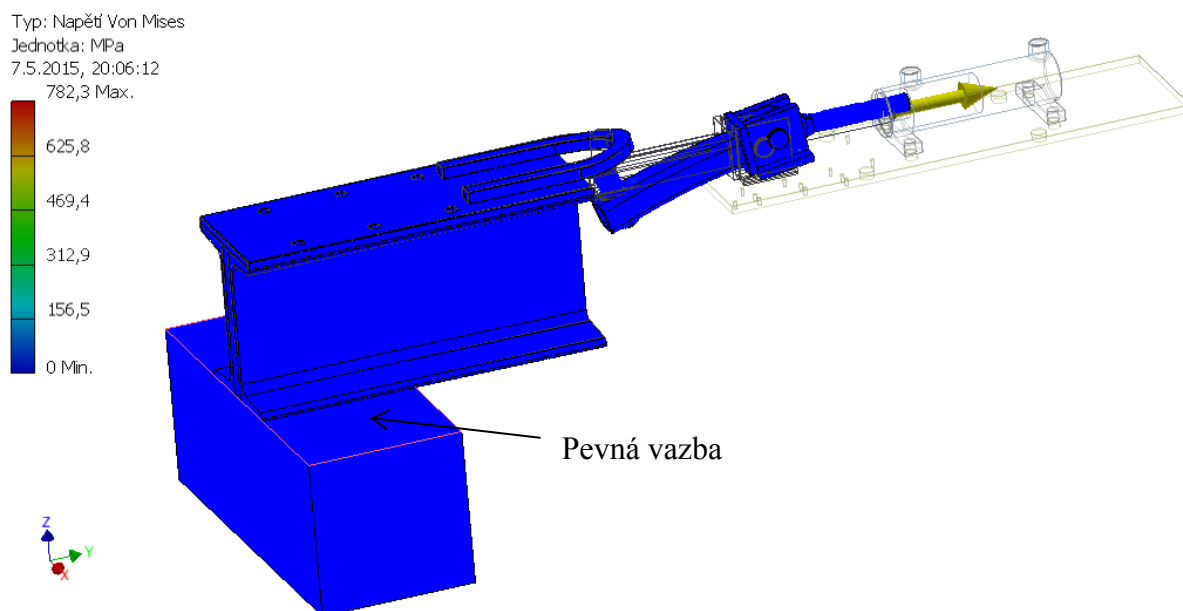
Celkový pohled na posunutí modelu od zatížení síly. A na obrázku níže můžeme vidět jednotlivá posunutí prostřednictvím sond. Maximální posunutí, ke kterému zde došlo je



Obr. 9.7 Posunutí – jednotlivé sondy [Vlastní zpracování]

## 8.2 Druhá zkouška

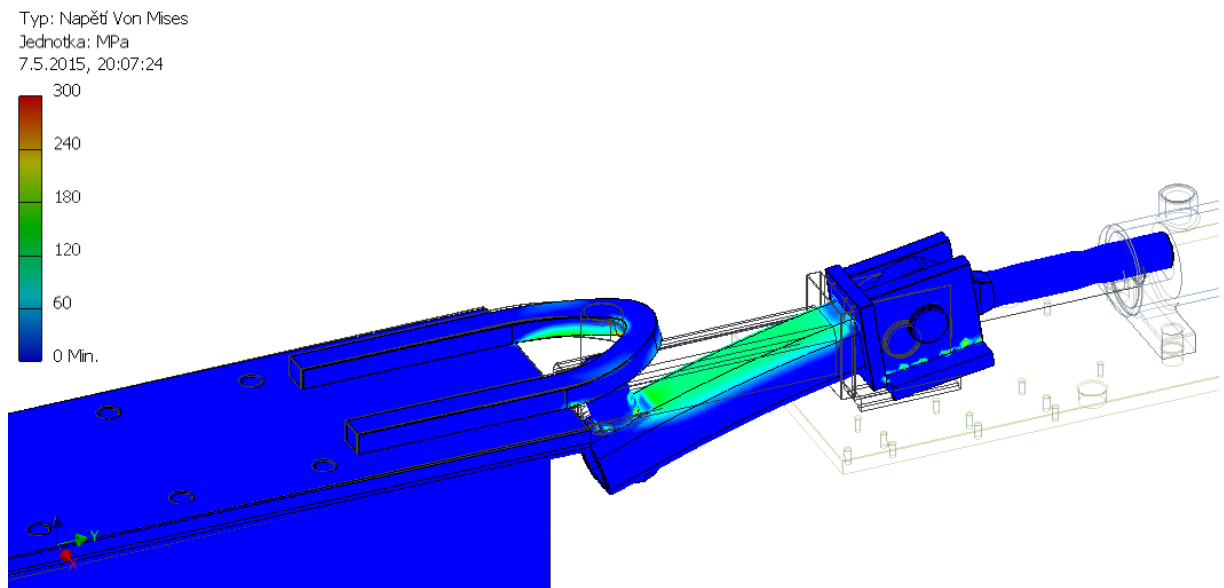
Následující dvě zkoušky se liší od první umístěním síly (která zůstává stejně velká jako v první zkoušce) a umístěním vazeb.



Obr. 9.8 Umístění vazby a síly [Vlastní zpracování]

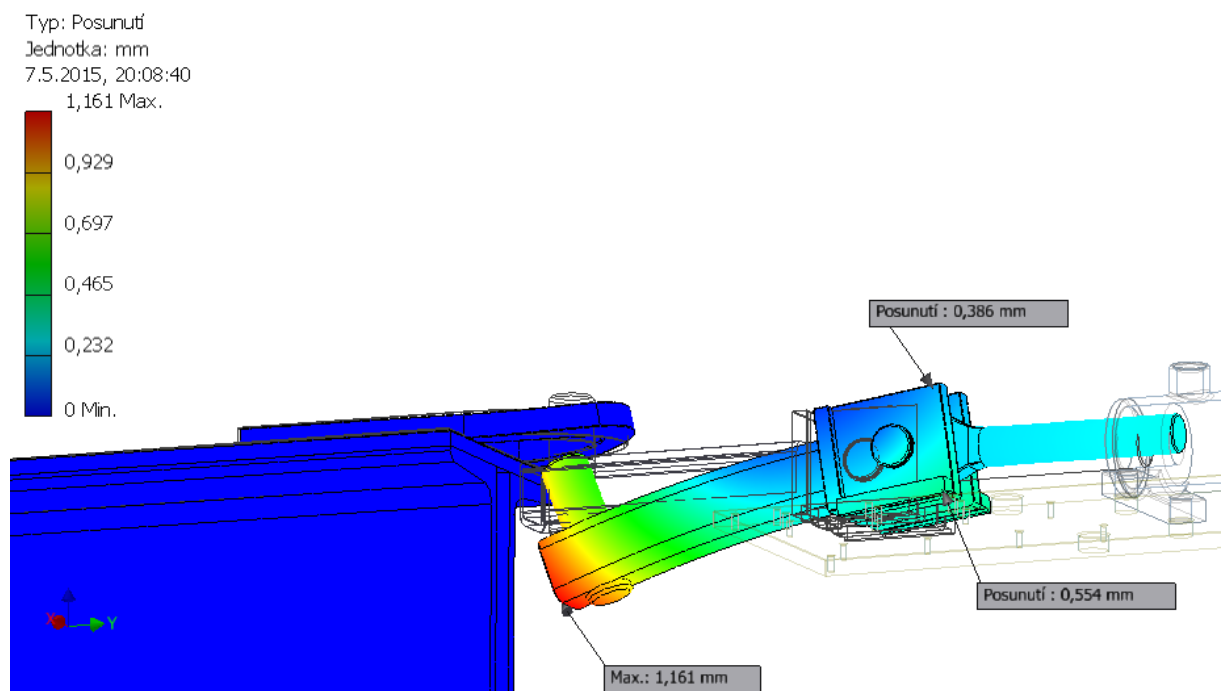
Zde tedy vidíme umístění síly na pístnici čepu a také změnu vazeb, kde zde byla umístěna pouze jedna vazba pevná, a to na vytvořený kvádr, který tímto simuluje pevné dveře pece.





Obr. 9.9 Napětí Von Mises [Vlastní zpracování]

Jak můžeme vidět, i v tomto případě vychází napětí podobné první zkoušce a vychází zde i podobná napěťová špička (782 MPa) na stejném místě.



Obr. 9.10 Posunutí [Vlastní zpracování]

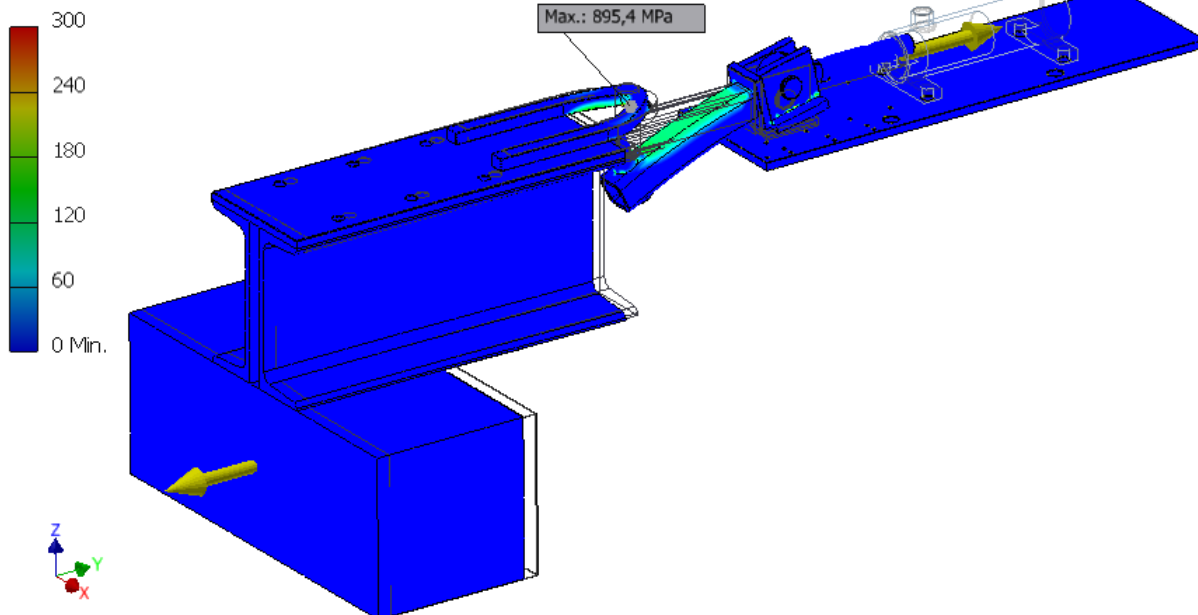
Posunutí u druhé zkoušky je taktéž podobné jako u první zkoušky. Maximální posun zde vychází na spodním okraji čtvercového profilu a je 1,2mm.

### 8.3 Třetí zkouška

Typ: Napětí Von Mises

Jednotka: MPa

8.5.2015, 0:36:27



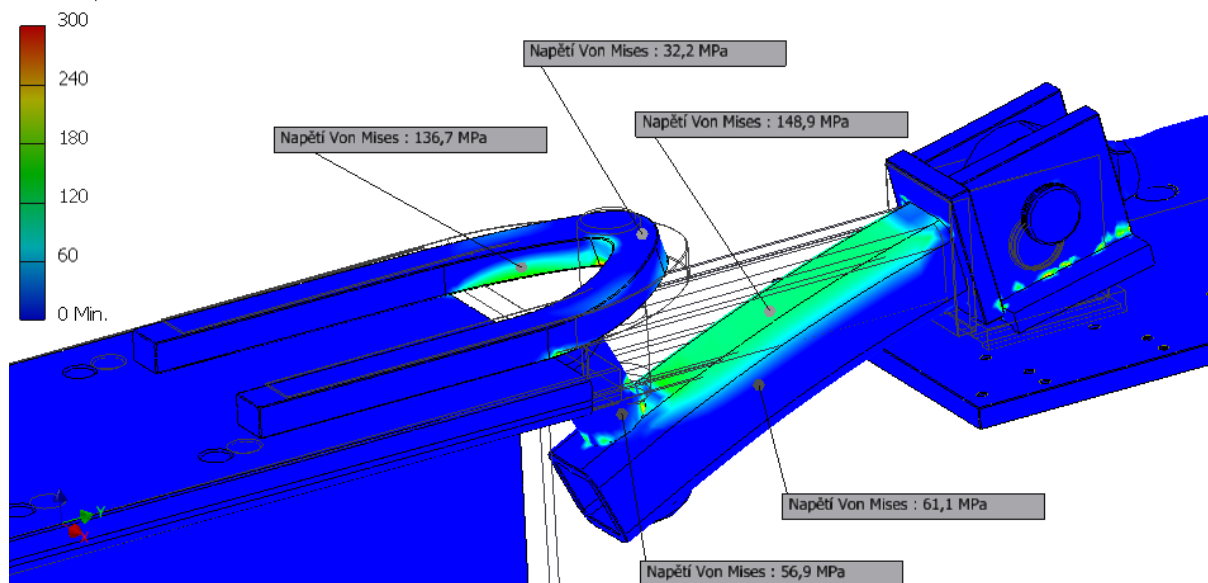
Obr. 9.11 Napětí Von Mises [Vlastní zpracování]

Zde jen pro kontrolu umístění sil jako v prvním a druhém případě, ovšem najednou a s použitím ideální a pevné vazby jako v první zkoušce. Napětí zde opět vychází velice podobně jako v obou předešlých zkouškách.

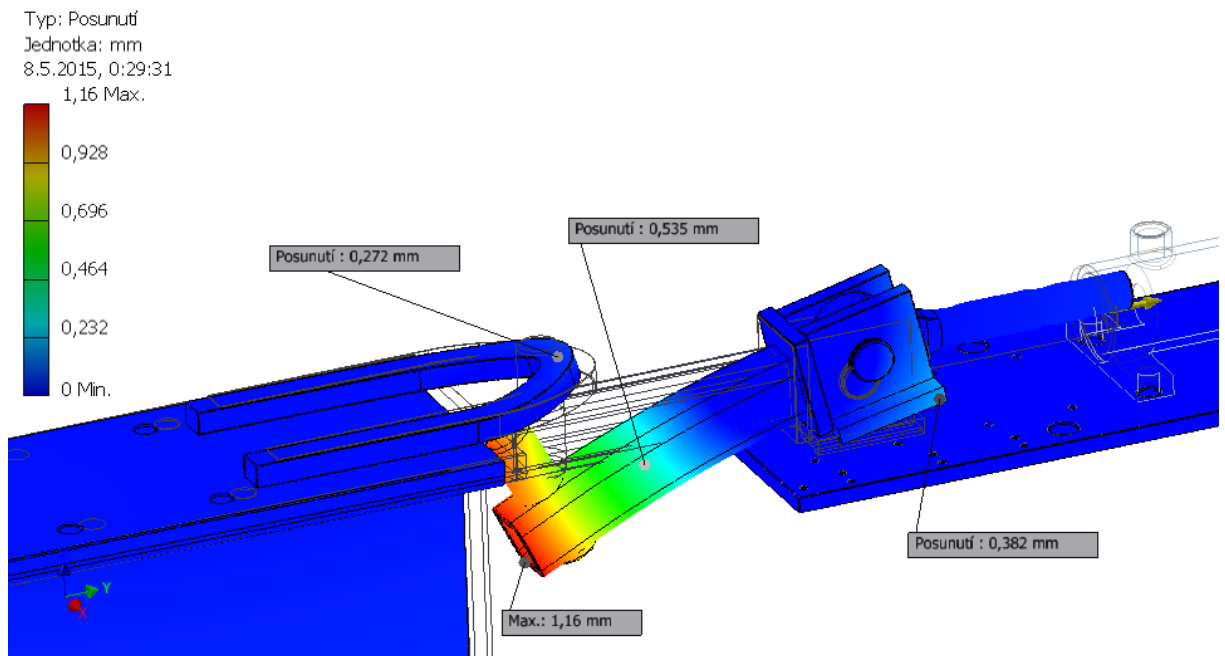
Typ: Napětí Von Mises

Jednotka: MPa

8.5.2015, 0:34:01



Obr. 9.12 Napětí Von Mises [Vlastní zpracování]

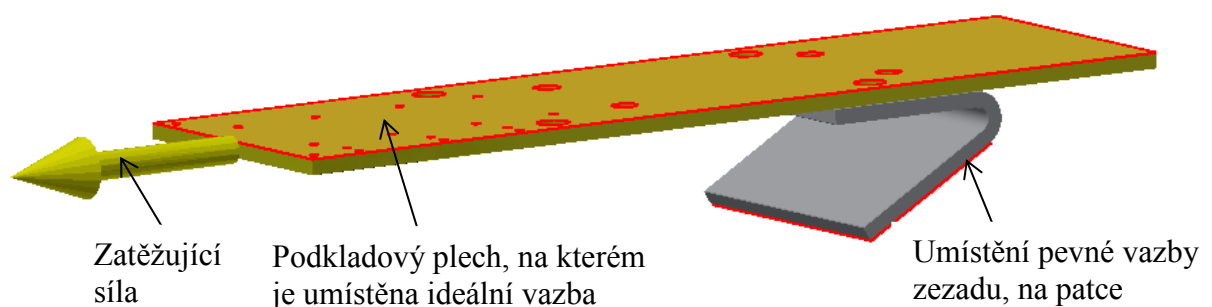


Obr. 9.13 Posunutí [Vlastní zpracování]

Z těchto zkoušek vyplývá, že umístění síly (pokud je umístěna jako reálně působící) nemá vliv na výsledek zkoušky, nebo jen minimální. Ve skutečnosti by to tak mělo i být, neboť při zatížení jen jednou silou na jednu stranu vznikne stejná síla na straně druhé jakožto reakce. Tuto sílu a reakci jsme jakoby vytvořili ve třetím případě, kdy jsme nechali působit na model dvě síly opačného směru na rozdílných plochách. V tomto třetím případě vyšlo největší napětí (i největší špička napětí), může to být právě i tím, že jsme použili dvě síly, které v reálu nebudou působit, ale bude zde právě síla jedna a od ní vznikající reakce.

#### 8.4 Patka – MKP

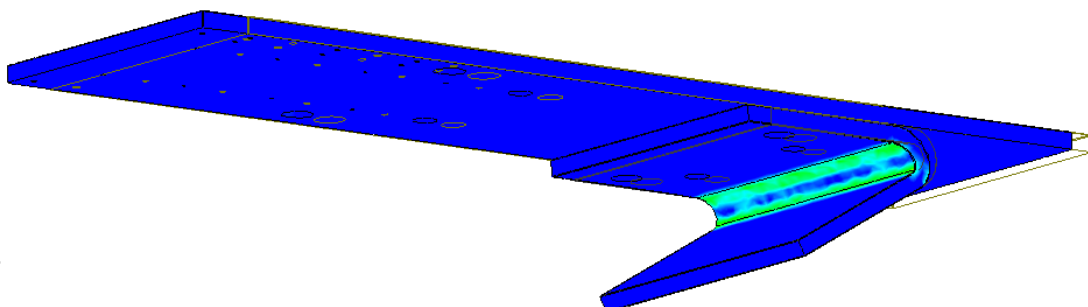
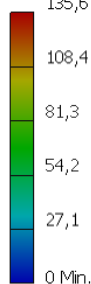
Zde jsem pomocí MKP otestoval uchycující plech. Byla použita opět síla pístu viz bod (8.3) 23561,6N. Síla je umístěna na čelní ploše podkladového plechu a snaží se jakoby „tahat“ uchycující plech. Vazby jsou zde použity dvě. Jedna pevná vazba, simulující přivaření plechu ke konstrukci rámu pece (umístěná na uchycujícím plechu) a jedna ideální vazba, která nedovoluje plechu se ohnout, neboť v přední části plechu bude ležet na profilu



Obr. 9.14 Popis zkoušky [Vlastní zpracování]

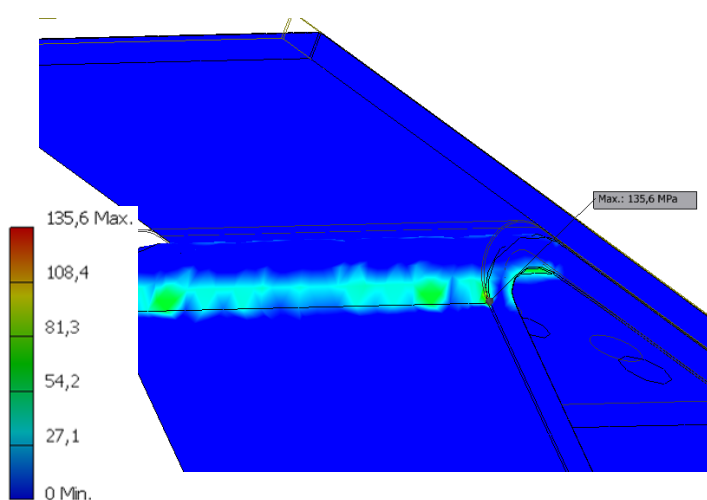
## Napětí Von Mises

Typ: Napětí Von Mises  
Jednotka: MPa  
7.5.2015, 20:45:59  
135,6 Max.

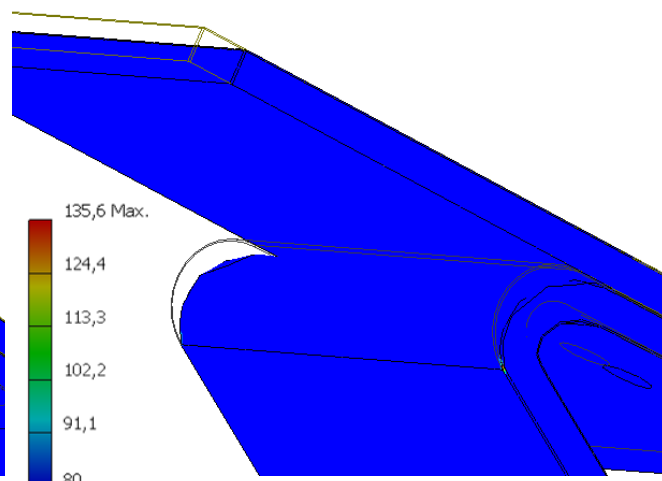


Obr. 9.15 Napětí Von Mises [Vlastní zpracování]

Jediné napětí, které se zde vytvořilo, bylo napětí v ohybu plechu, přičemž maximální napětí zde vyšlo 136MPa. Jedná se ale o špičku napětí, které vzniklo na hranici se zkosením plechu, a proto jej nebudu brát v úvahu. Na obrázku vpravo dole můžete vidět, že napětí v celém modelu nepřekročí hranici 80MPa.



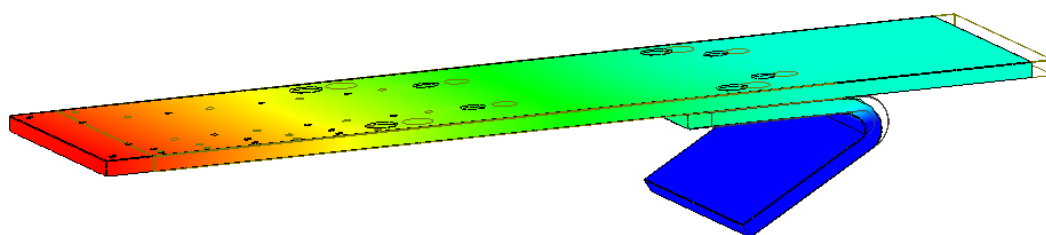
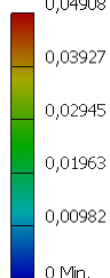
Obr. 9.16 Napětí Von Mises  
[Vlastní zpracování]



Obr. 9.17 Minimální napětí 80MPa  
[Vlastní zpracování]

## Posunutí

Typ: Posunutí  
Jednotka: mm  
7.5.2015, 20:49:30  
0,04908 Max.



Obr. 9.18 Posunutí [Vlastní zpracování]

## 9. Závěr

Cílem diplomové práce bylo navrhnout přítlačný mechanismus na dotlačení litinových desek na vratech pece, k litinovým deskám připevněných na sloupu portálu v horním místě pecních vrat, aby nedocházelo nahodile k nedokonalému uzavření pecního otvoru a tím i únikům tepla. Z rešerše bylo zjištěno, že žádný dnes používaný přítlak pecních dveří neřeší samostatně přítlak v horních místech dveří. V práci bylo navrženo několik koncepcí řešení přítlaku. Většinou se jedná o mechanismus spojený s hydraulickým válcem, který vyvozuje přítlačnou sílu. Tato síla pak dovře možné vzniklé netěsnosti mezi litinami na vratech a na portálu pece a utěsní tak pecní otvor. Jedna část vybraného konceptu mechanismu je umístěna na sloupu portálu pece a druhá část na vratech pece, respektive na rámu vrat. Po dojetí vrat do dolní úvratí dojde ke „spojení“ obou částí. V návrhu tedy bude hlavní přítlačnou sílu (23561,6 N) vyvozovat dvoučinný hydraulický válec H1-50/25x125-R. Pístnice bude pomocí čepu spojena v kluzném vedení a v tomto vedení se bude pohybovat vodící člen, ke kterému je přivařena tyč čtvercového profilu. Na konci tohoto čtvercového profilu je navařený čep, do kterého dosedá při přítlačování hák. Hák bude přivařen k ocelové desce a tato deska bude spojena s dvojicí profilů tvaru U a tyto profily budou spojeny již přímo s konstrukcí rámu pecních vrat. O zajištění správné polohy pístnice a tak i přítlaku se bude starat trojice koncových snímačů polohy 440P-ACRS11CS.

V diplomové práci jsou dále uvedeny všechny jednotlivé potřebné výpočty, jako je například pevnostní kontrola šroubů a svarů. Správnost těchto výpočtů je ověřena pomocí software Autodesk Inventor 2013 v nastavbových modulech (k nahlédnutí v příloze). Při srovnání výpočtů výsledných napětí u svarů, vychází výsledky téměř totožně a liší se pouze o desetiny. Při srovnání výpočtu u šroubů se koncová výsledná bezpečnost liší v řádech pěti desetin. Tato odlišnost může být dána například jiným algoritmem výpočtového software. Všechny dosažené výpočty vyšly jako vyhovující při zadaných parametrech.

V poslední řadě byla provedena pevnostní analýza MKP pomocí software Autodesk Inventor 2013, a to jak na celek, tak na dílčí části. Vyvozuující síla zde byla použita od hydraulického pístu. Průměrné napětí vyskytující se na pracovních částech modelu bylo kolem 100MPa. Nejvíce namáhanou součástí je navařený čep ve čtvercovém profilu, kde se vyskytlo i největší posunutí, a to 1,2 mm. K diplomové práci je vypracována kompletní výrobní dokumentace a sestavné výkresy.

## Literatura

- [1] BRUNKLAUS, J. Henry. 1996. *Stavba průmyslových pecí*. Praha: SNTL.
- [2] ŠMÁLEK, Josef, Zdeněk ŠTĚTKA a Ivan ŠTĚLOVSKÝ. 1965. *Průmyslové pece ve strojírenství*. Praha: SNTL.
- [3] PŘÍHODA, Miroslav a Pavel HAŠEK. *Hutnické pece*. Ostrava: VŠB.
- [4] BALABANOV, Ing. Vladimír. *Výpočet a konstrukce pecí III*. Ostrava: VŠB.
- [5] KALÁB, Květoslav. 2007. *Části a mechanismy strojů pro bakaláře: Části spojovací*. Ostrava: VŠB. ISBN 978-80-248-1290-8.
- [6] ZELENÝ, Jiří. 2003. *Stavba strojů strojní součásti*. Brno: Computer Press. ISBN 80-7226-311-0.
- [7] LEIVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. *Strojírenské tabulky: Třetí doplněné vydání*. 3. vydání. Praha: Albra, 2006. ISBN 80-7361-033-7.
- [8] VLADIMÍR MYNÁŘ A KOLEKTIV. *Části strojů: Spojovací části*. 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská, 1975. ISBN ISBN 80-7078.
- [9] Technická zpráva pec č. 21 Vítkovice Mechanika a.s.

### Internetové zdroje:

- [10] *Elsklo* [online]. [cit. 2015-05-12]. Dostupné z:  
<http://www.elsklo.cz/soubory/katalog/cs/rsv-otevrena-ii-t6.jpg>
- [11] *RCC* [online]. [cit. 2015-05-12]. Dostupné z:  
<http://www.rccomponents.sk/Vyrobne-zariadenia.html>
- [12] *Rychlostní hořák* [online]. [cit. 2015-05-12]. Dostupné z:  
<http://www.ohnut.cz/horak-thermjet>
- [13] *Sibral* [online]. [cit. 2015-05-12]. Dostupné z:  
<http://www.rajstavitelu.cz/p/919/fiberfrax-durablanket-s-1250-c-96-kg-m-tl-25-mm-1-m>
- [14] *Výrobní katalog primocarych hydromotoru* [online]. [cit. 2015-05-13].  
Dostupné z: [http://www.hydraulics.cz/Vyrobni\\_katalog\\_primocarych\\_hydromotoru.pdf](http://www.hydraulics.cz/Vyrobni_katalog_primocarych_hydromotoru.pdf)
- [15] *Molykote* [online]. [cit. 2015-05-13]. Dostupné z:  
[http://www.exvalos.cz/soubory/File/MOLYKOTE\\_katalog.pdf](http://www.exvalos.cz/soubory/File/MOLYKOTE_katalog.pdf)
- [16] *Rockwellautomation* [online]. [cit. 2015-05-13]. Dostupné z:  
<http://ab.rockwellautomation.com/>

[17] *Hydraulický pist* [online]. [cit. 2015-05-13]. Dostupné z:  
<http://www.kardanka.cz/rady-tipy-kardany-hydraulika/rady-k-hydraulice/vypocet-sily-hydraulickeho-valce/>

[18] *Tření* [online]. [cit. 2015-05-13]. Dostupné z:  
[http://www.roymech.co.uk/Useful\\_Tables/Tribology/co\\_of\\_frict.htm#method](http://www.roymech.co.uk/Useful_Tables/Tribology/co_of_frict.htm#method)

[19] *E-konstrukter* [online]. [cit. 2015-05-13]. Dostupné z: <http://e-konstrukter.cz/technicke-vypocty/11-vypocet-pneumatickych-a-hydraulickych-valcu/132-vypocet-sily-hydraulickeho-valce>



## **Seznam příloh**

### Výkresová dokumentace

- HUR0016-S00 – Sestava
- HUR0016-S01 – Sestava celková
- HUR0016-S02 – Svařenec středu
- HUR0016-S03 – Svařenec háku
- HUR0016-S04 - Clona
- HUR0016-S05 – Sestava 5
- HUR0016-S06 – Svařenec 6
- HUR0016-01 – Čep 25
- HUR0016-02 – Čep 28
- HUR0016-03 – Díl středu
- HUR0016-04 – Díl středu 2
- HUR0016-05 – Díl středu 3
- HUR0016-06 – Podkladový plech přední
- HUR0016-07 – U200
- HUR0016-08 – Držák koncáku
- HUR0016-09 - Háček
- HUR0016-10 – Profil 40x40x5
- HUR0016-11 - Patka
- HUR0016-12 – Plech clony
- HUR0016-13 – Aktivační plech
- HUR0016-14 - Plech
- HUR0016-15 – Podkladový plech
- HUR0016-16 - Vedení
- HUR0016-17 – Profil úprava
- HUR0016-18 – Úprava litin

### Ověření výpočtů pomocí software

### Kompaktní disk

## Přílohy

### Ověření výpočtů pomocí software

#### VÝPOČET SÍLY HYDRAULICKÉHO VÁLCE

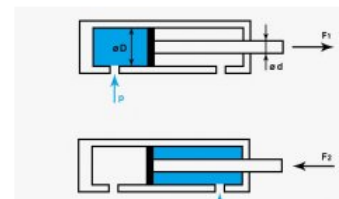
##### Vstupní parametry

p tlak	16	MPa	D průměr pístu	50	mm
d průměr pístnice	25	mm			

→  **VYPOČÍTAT**  ←

##### Výstupní hodnoty

F <sub>1</sub> síla při vysouvání válce		F <sub>2</sub> síla při zasouvání válce	
<b>31.4159</b>	kN	<b>23.5619</b>	kN



Obr. 12.1 Ověření výpočtu síly hydraulického válce [19]

Generátor komponent – čepy vidlice

Návrh Výpočet

Typ výpočtu pevnosti: Kontrolní výpočet

Zatížení: Síla F 23561,6

Rozměry: Průměr kolíku d 25, Délka kolíku l 55, Šířka vidlice a 12, Šířka táhla b 20,000 mm

Vlastnosti spoje: Provozní součinitel K<sub>s</sub> 1,000 ul, Požadovaná bezpečnost S<sub>v</sub> 1,000 ul

Materiál kolíku: Vlastní, Dovolené napětí v ohybu σ<sub>BA</sub> 220, Dovolené smykové napětí τ<sub>A</sub> 85

Materiál vidlice: Vlastní, Dovolенý tlak p<sub>A</sub> 60

Materiál táhla: Vlastní, Dovolенý tlak p<sub>A</sub> 60

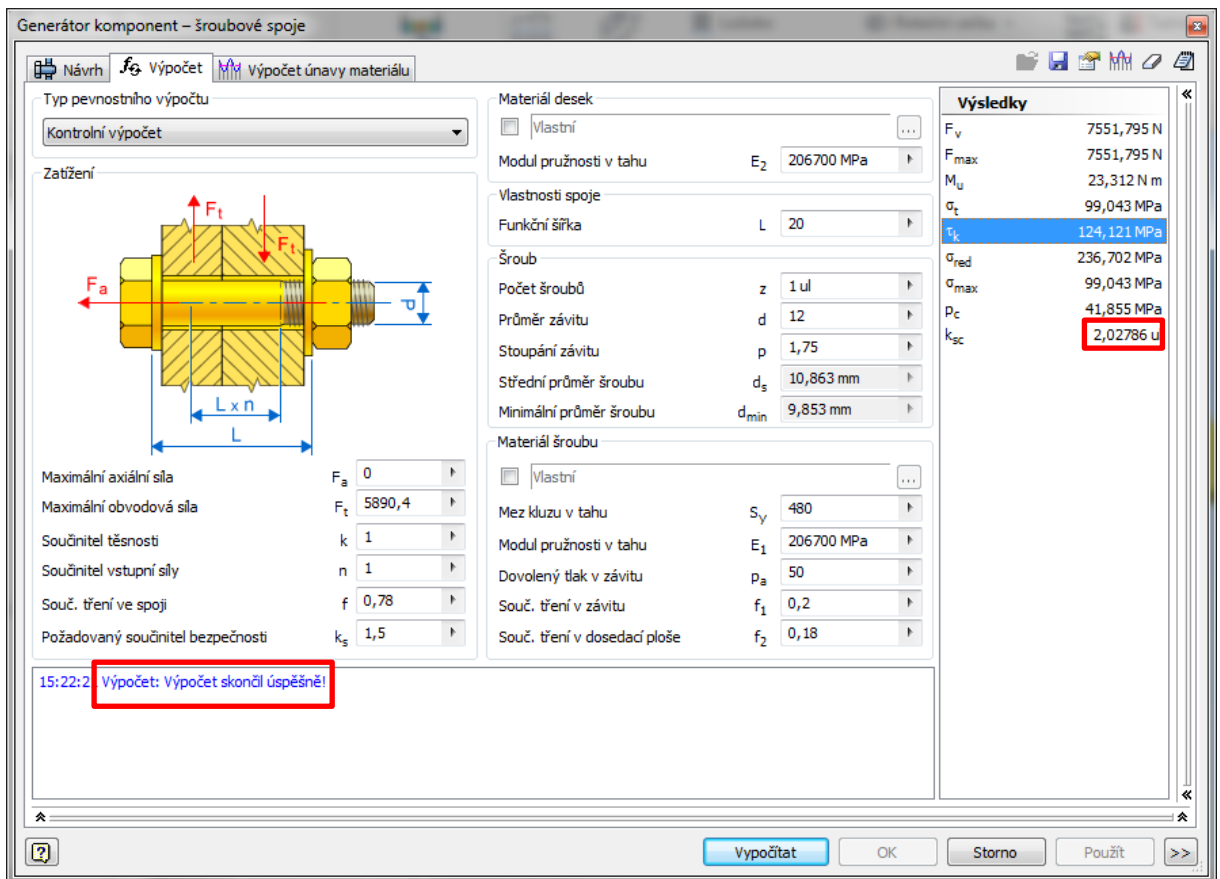
Výsledky:

l <sub>f</sub>	55,000 mm
d <sub>min</sub>	18,171 mm
<b>Kolík</b>	
S	2,604 ul
τ <sub>c</sub>	<b>24,000 MPa</b>
τ <sub>Ared</sub>	85,000 MPa
σ <sub>Bc</sub>	<b>84,479 MPa</b>
σ <sub>BAred</sub>	220,000 MPa
<b>Vidlice</b>	
S	1,528 ul
P <sub>c</sub>	<b>39,269 MPa</b>
P <sub>Ared</sub>	60,000 MPa
<b>Táhlo</b>	
S	1,273 ul
P <sub>c</sub>	<b>47,123 MPa</b>
P <sub>Ared</sub>	60,000 MPa

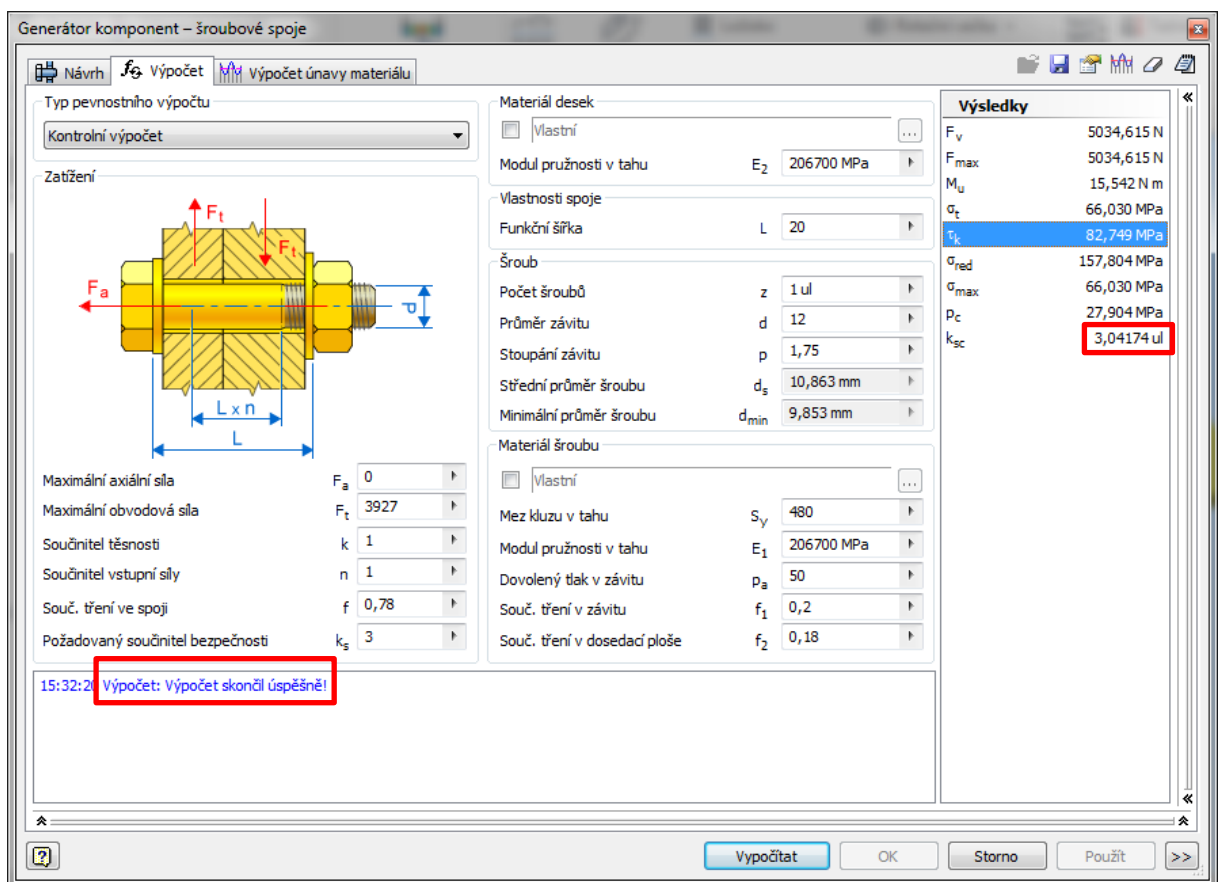
10:18:49 Výpočet: Výpočet skončil úspěšně!

Vypočítat OK Storno Použít

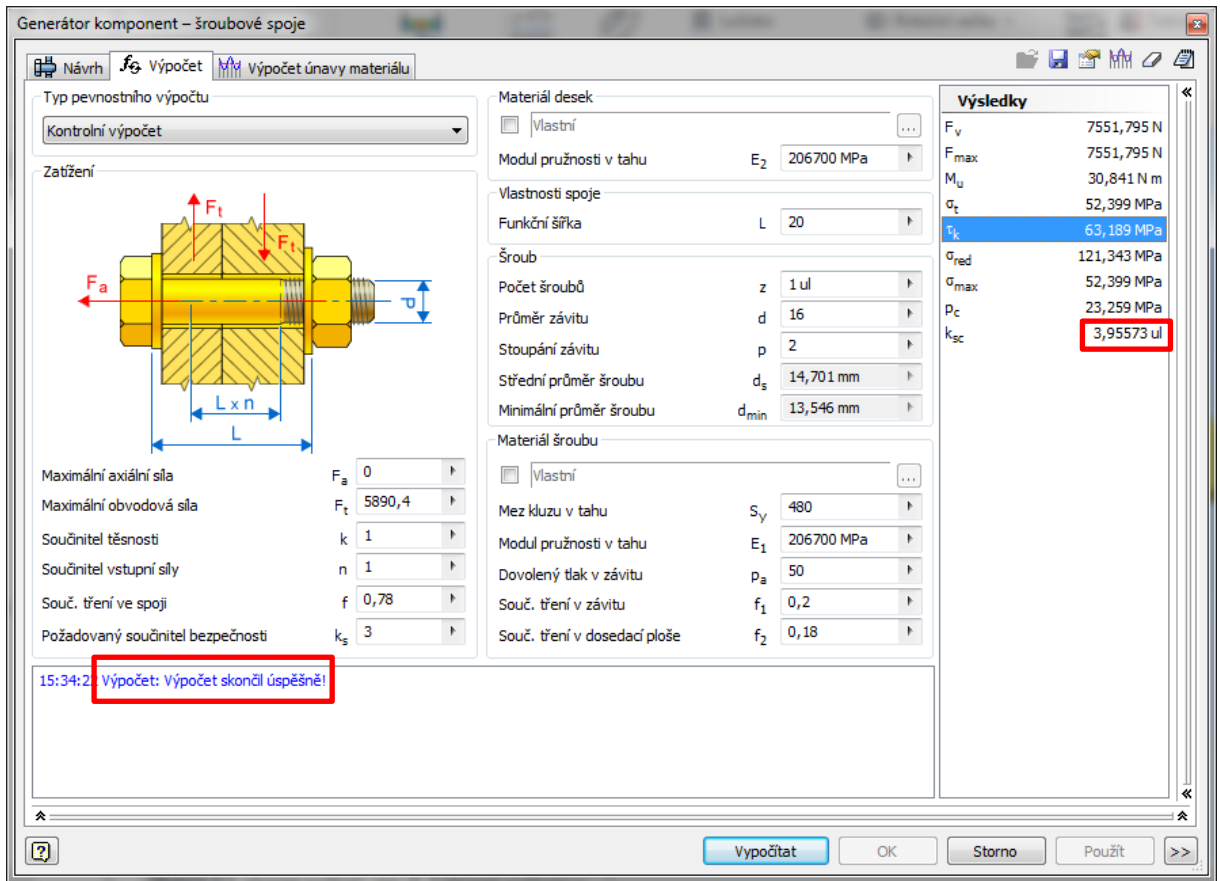
Obr. 12.2 Ověření pevnostního výpočtu čepu [Autodesk Inventor 2013]



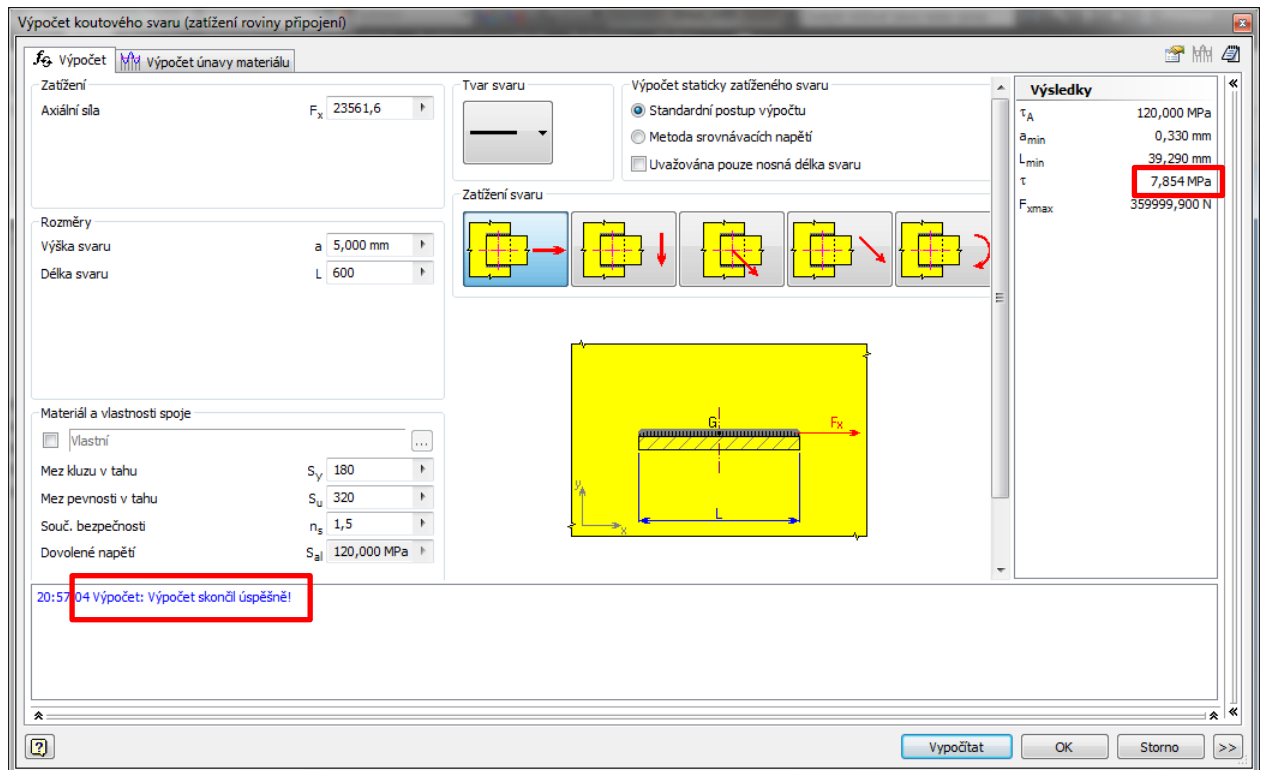
Obr. 12.3 Ověření pevnostního výpočtu šroubu  $M12 \times 1,75$ ,  $i=4$   
 [Autodesk Inventor 2013]



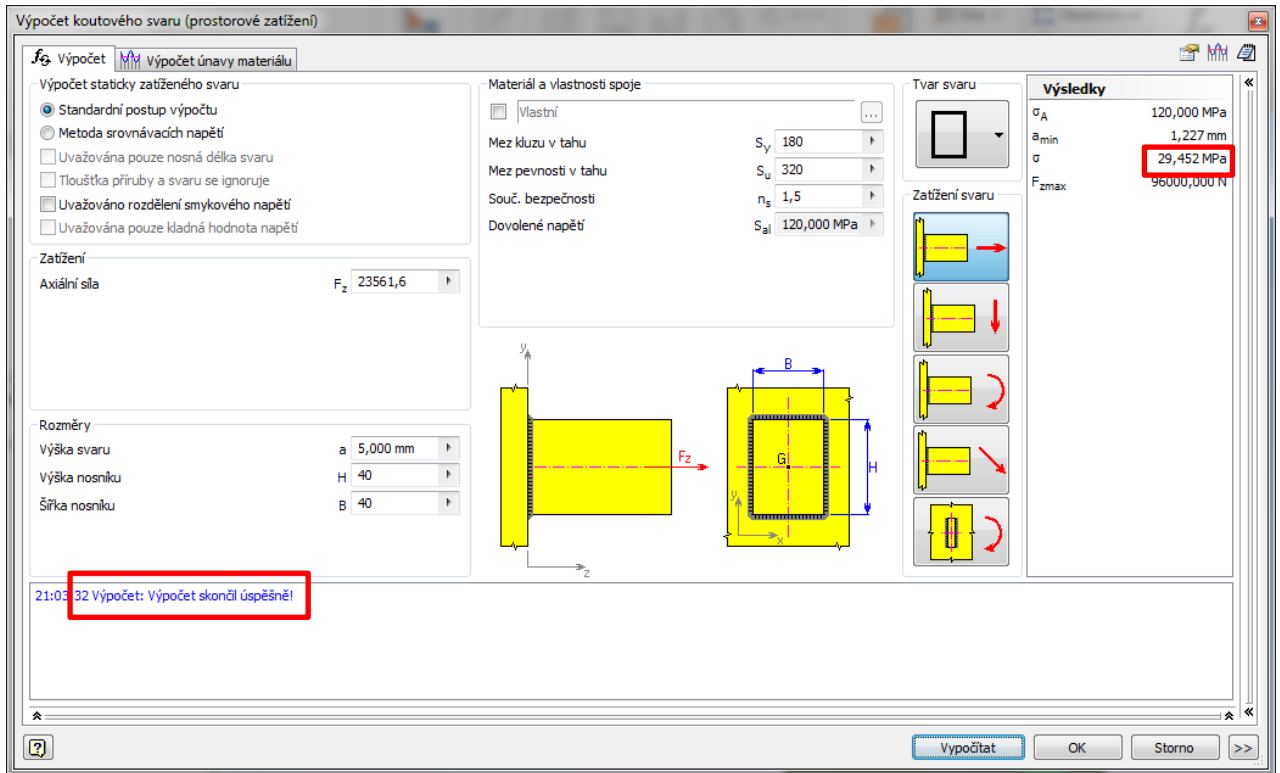
Obr. 12.4 Ověření pevnostního výpočtu šroubu  $M12 \times 1,75$ ,  $i=6$   
 [Autodesk Inventor 2013]



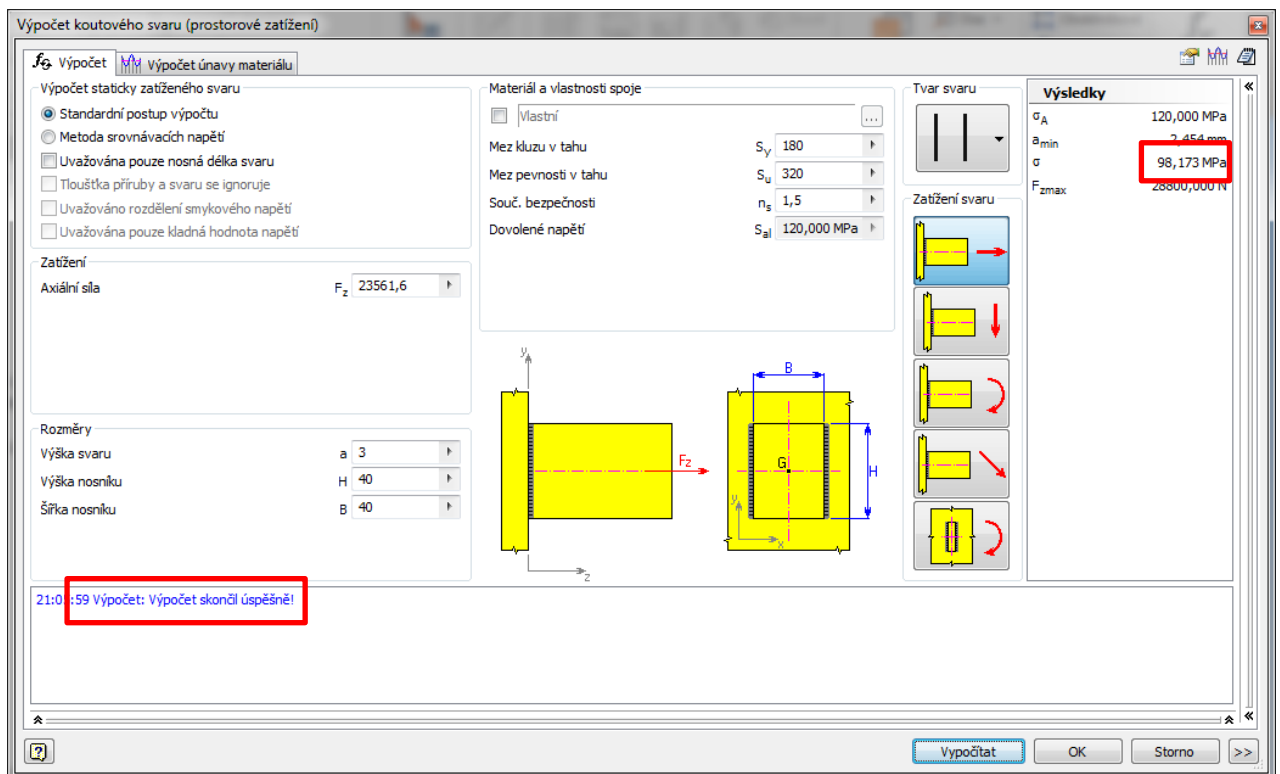
Obr. 12.5 Ověření pevnostního výpočtu šroubu M16x2,  $i=4$   
[Autodesk Inventor 2013]



Obr. 12.5 Ověření pevnostního výpočtu svaru háku na plech  
[Autodesk Inventor 2013]



Obr. 12.5 Ověření pevnostního výpočtu svaru trubky  
[Autodesk Inventor 2013]



Obr. 12.5 Ověření pevnostního výpočtu svaru desky  
[Autodesk Inventor 2013]