



VYSOKÉ
UČENÍ
TECHNICKÉ
V BRNĚ

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že bakalářskou práci na téma: „Pružinový závěs pece Parního Reformingu“ jsem vypracoval samostatně, za využití níže uvedené odborné literatury, z vlastních zkušeností při konstrukci, výrobě a konečné instalaci u zákazníka a v neposlední řadě z cenných rad, jenž poskytl vedoucí mé bakalářské práce Ing. Jiří Malášek Ph.D..

V Brně dne 1.5.2008

.....
Libor Horsák



VYSOKÉ
UCENÍ
TECHNICKÉ
V BRNĚ

Anotace

Návrh pružinového závěsu pece parního reformingu. Předmětem práce je kompenzace posuvů prostřednictvím vhodného uložení, vzniklých tepelnou dilatací potrubí v peci parního reformingu. Nastíněny jsou různé systémy řešení těchto problémů, přičemž jeden z nich je rozpracován do konstrukčních výpočtů a výkresů, které jsou uvedeny dále v textu a přílohách.

Klíčová slova:

Pružinový závěs, pec parního reformingu, tepelná dilatace trubek, KELLOG.

Annotation

Spring hanger design of Steam Reformer furnace. Subject of this project is movement compensation by proper restraint, originate from tube heat dilatation in Steam Reformer furnace. Foreshadow are various system solutions of these problems, whereas one of them is elaborate in construction calculations and drawings, which are below in text and appendix.

Key words:

Spring hanger, Steam Reformer Furnace, Tube heat dilatation, KELLOG.



VYSOKÉ
UČENÍ
TECHNICKÉ
V BRNĚ

Bibliografická citace

HORSÁK, L. *Pružinový závěs pece parního reformingu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2008. 32 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jiří Malášek, Ph.D.



VYSOKÉ
UČENÍ
TECHNICKÉ
V BRNĚ

Poděkování

Rád bych zde poděkoval Ing. Jiřímu Maláškovi Ph.D. za vedení, jenž mi pomohlo při vypracování zadané bakalářské práce. Dále pak bych zde rád poděkoval Ing. Františkovi Stejskalovi za poskytnutí cenných informací a to nejen při zpracovávání námětu Bakalářské práce. A v neposlední řadě patří dík také mému zaměstnavateli CHEMPEX – HTE a.s. za umožnění studia při zaměstnání a záležitosti z něj plynoucí.

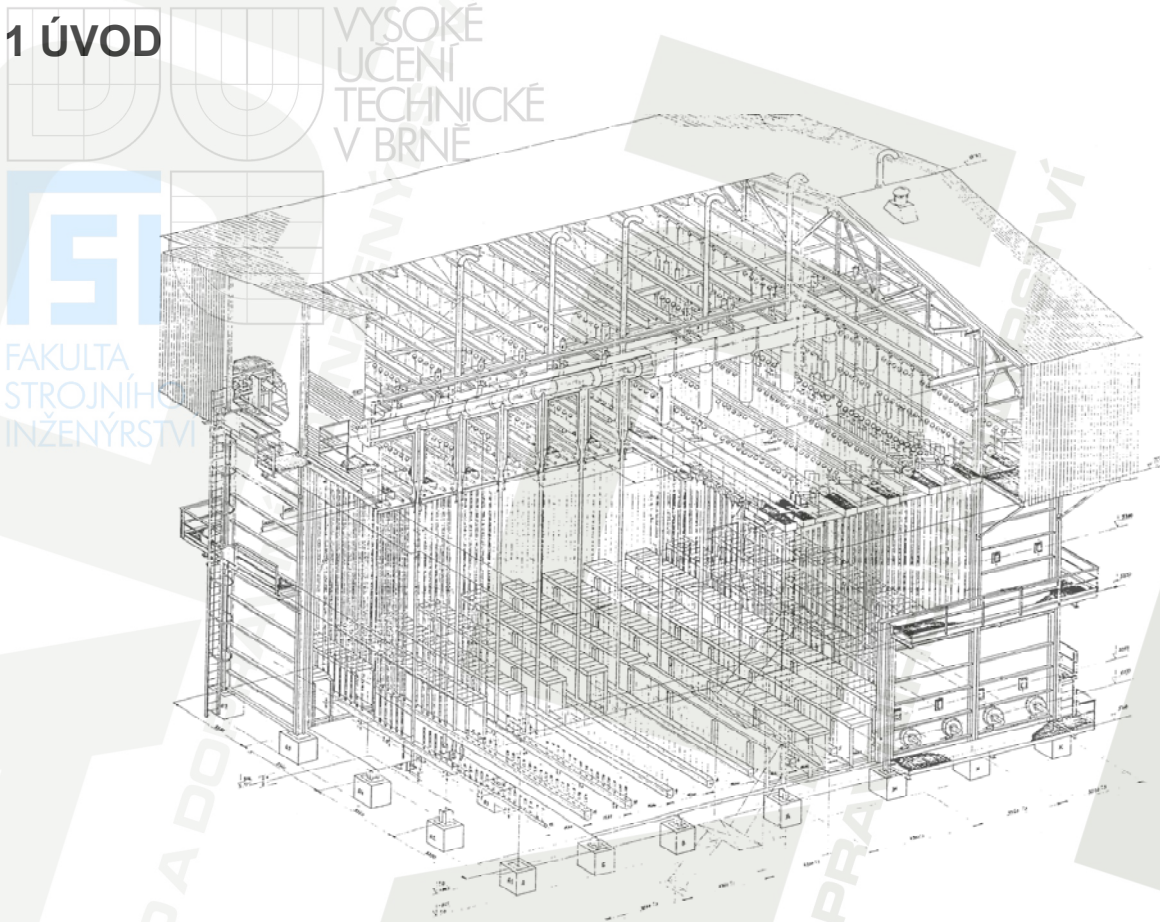
Obsah

Titulní list	1
Zadání	2
Čestné prohlášení	3
Anotace	4
Bibliografická citace	5
Poděkování	6
Obsah	7
1 Úvod - Pec parního reformingu (PPR)	9
1.1 Typy pecí	10
1.2 Princip PPR	10
1.3 Deformace PPR	11
2 Zavěšení trubkového systému PPR	12
2.1 Druhy	12
2.1.1 Kladka s protizávažím	12
2.1.2 Závěs s konstantní silou	13
2.1.3 Závěs s proměnlivou silou	13
2.2 Parametry kladené na závěsný systém	14
2.3 Pružinový závěs – „Jednoduchý“	15
2.4 Pružinový závěs – „Dvojité“	15
2.5 Výsledná tuhost	16
2.6 Párování pružin	16
2.7 Uložení potrubí	18
3 Konstrukce pružin	19
3.1 Zadání pro výpočet pružiny	19
3.2 Materiál pružiny	19
3.3 Zatížení pružiny	19
3.4 Návrh pružiny	19
3.4.1 Předpokládaný průměr drátu	19
3.4.2 Výpočet průměr drátu	20
3.4.3 Stlačení pružiny při maximálním zatížení F_8	20
3.4.4 Počet aktivních závitů	20
3.4.5 Celkový počet závitů	20
3.5 Kontrola výpočtu	20
3.5.1 Vyvolané napětí při maximálním zatížení F_8	20
3.5.2 Tuhost pružiny	21
3.5.3 Omezení pružiny	22
3.5.4 Bezpečnost při vzpěru	22
3.6 Zatížení vs. chod pro jednu pružinu	23
3.7 Zatížení vs. chod pro celé zavěšení	24
3.8 Kalibrace závěsů	24
3.9 Vyhodnocení konstrukce pružin	25
4 Porovnání s konkurencí	25
5 Úskalí zvoleného řešení	25
5.1 Výkyv střelky ukazatele při otáčení seřizovací tyče	26
5.2 Paralaxa	27
6 Závěr	27
7 Seznam použitých zdrojů	28

8	Seznam použitých zkratk a symbolů	29
9	Obrazová příloha	31
10	Seznam výkresové dokumentace	32



1 ÚVOD



Obr.1.1 Pec parního reformingu - Axonometrie

PEC PARNÍHO REFORMINGU NA VÝROBU AMONIAKU

V současné technologii výroby především amoniaku, metanolu a vodíku je široce používáno parního reformingu. Přírodní plyn (metan) reaguje s vodní parou za vzniku vodíku, kyslíčnicku uhelnatého a uhlíčitého. Získaný vodík je pak jednou ze složek syntézní směsi, z níž se následně vyrábí čpavek. Ten se používá převážně k výrobě hnojiv. Uvedená reakce probíhá ve svislých trubkách na niklovém katalyzátoru za velmi vysokých teplot (asi 900°C) a poměrně vysokých tlaku (asi $3,0\text{MPa}$).

Jednou z principiálních otázek konstrukčního návrhu těchto pecí je zvládnutí teplotně-dilatačních problémů a s tím spojeného uložení celého trubkového systému radiace. Nejvíce nás pak trápí, abychom předešli nebo alespoň částečně omezili namáhání trubek na vzpěr a jejich následné „vybočování“.

Jelikož zvolený materiál při tak velkých teplotních rozdílech vykazuje poměrně značnou teplotní dilataci cca 150-190 mm na trubce, je potřeba velmi pečlivě volit přívod a odvod média a zvláště pak uložení samotných trubek. Existuje několik způsobů, jak tyto problémy konstrukčně řešit.

1.1 Typy pecí na výrobu amoniaku

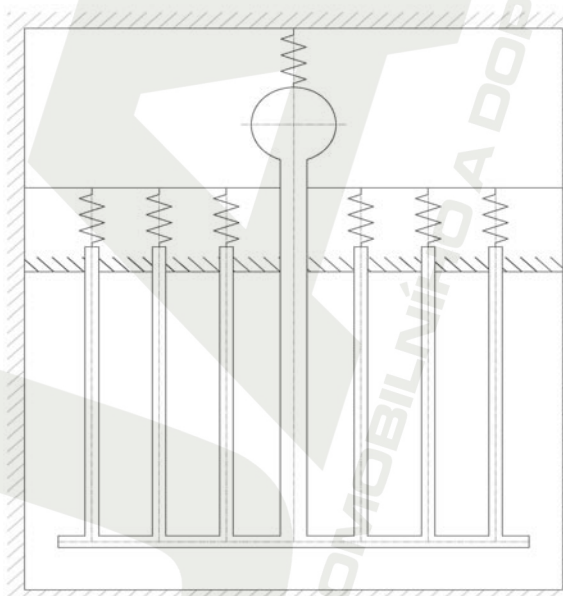
Existuje několik typů pecí, jenž se od sebe výrazně liší ať už konstrukčním řešením nebo technologií. Z nich plynou parametry, jenž charakterizují danou pec. Mezi ně taktéž patří tyto typy:

- C. F. BRAUN
- Harold Topse (Snamprogetti)
- UHDE, GmbH
- ICI – AMV Proces
- ICI – LCA Proces
- KELLOG
- a jiné.

Typy pecí jsou pojmenovány podle názvu firem, jenž danou konstrukci vymysleli.

Z mnoha hledisek, se jeví jako nejlepší řešení typ KELLOG. Tento typ byl také vybrán pro následné rozpracování.

1.2 Princip PPR typu KELLOG

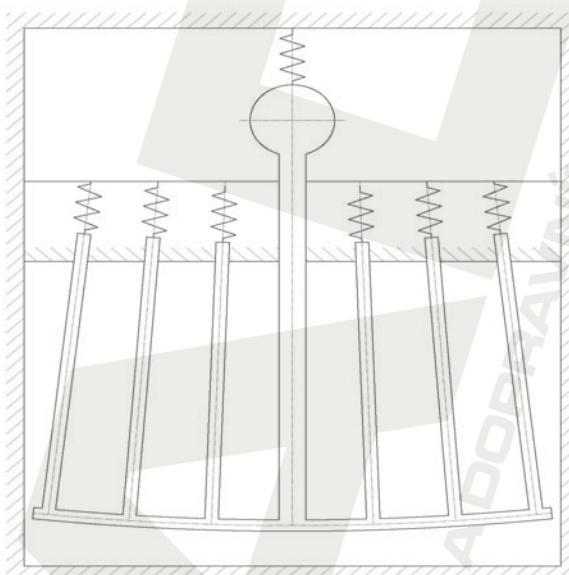


Obr.1.2 Schéma jedné řady PPR

Jedná se o šachtovou reakční pec obdélníkového půdorysu. Tepelně izolovaná ocelová konstrukce, podobná tvaru kvádra, je nosnou kosterou pro trubkový systém a příslušenství. Trubkový systém se skládá z 12-ti řad. Každá řada má 42 reakčních trubek. Trubky z materiál HK 40 (25Cr20Ni) nebo 24Cr 24Ni Nb jsou zavěšeny prostřednictvím závěsného systému pod střechou pece. Zpracovávané médium je přiváděno pomocí Vstupního kolektoru. Prostřednictvím „Pigtailů“ (trubky malého průměru a tloušťky, velmi poddajné vůči posuvům) je médium rozváděno

k jednotlivým trubkám. Všechny trubky v jedné řadě jsou na svém spodním konci propojeny Spodním kolektorem, který ve střední části navazuje na Stoják. Řady jsou spojeny Vyzděným kolektorem, do něhož vstupují Stojáky. Vyzděný kolektor je také zavěšený na závěsném systému, který je však podstatně tužší než v případě samotných trubek. Pro potřebné účely se celý systém dá nahradit modelem, kde vyzděný kolektor zanedbáme, a tak stačí vyřešit pouze jednu opakující se řadu trubek. Dolní kolektor posuzujeme jako nosník na plovoucích podporách. Tento model je však možné aplikovat pouze pro tvorbu závěsného systému samotných trubek, nikoli však pro závěsný systém Vyzděného kolektoru, který je nezbytnou součástí PPR. Avšak pro dané účely zcela postačuje.

1.3 Deformace PPR



Obr.1.3 Tepelně - dilatační deformace

Jelikož v trubkách pobíhá endotermická reakce a Dolní kolektor je izolovaný, tak dilatační teploty Stojáku a trubek jsou rozdílné. Navíc trubky a Stoják mají také rozdílnou dilatační délku. Z těchto důvodů dochází v trubkovém systému k nerovnoměrným tepelným dilatacím všech propojených součástí a dochází tak k nežádoucím deformacím celého systému. Dojde k prohnutí Dolního kolektoru a z něj plynoucí natočení trubek, které je částečně kompenzováno vhodně zvolenými vůlemi ve vodorovném směru. Taktéž dochází k posuvům jednotlivých trubek ve svislém i vodorovném směru. Posuvy ve svislém směru musí vhodně kompenzovat závěsný systém a zároveň musí umožnit posuvy ve směru vodorovném. Je nezbytné se vyhnout situaci, kdy bude ať už z jakéhokoliv důvodu zabráněno těmto posuvům. Jinak by prudce vzrostlo napětí v materiálu a došlo tak k plastické deformaci a následné destrukci. Jelikož je výpočtová teplota poměrně vysoká (až 1000°C), tak životnost celého systému určuje převážně tečení materiálu. Pakliže by nastaly plastické deformace, výrazně by se snížila životnost, která je nutná na čerpání tečení. Celý systém je poměrně komplikovaný a je nezbytné dodržovat předepsané tolerance, které se mohou negativně sčítat a následně vyvolat onu nežádoucí plastickou deformaci.

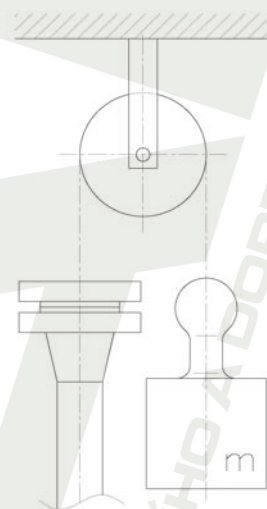
2 ZAVĚŠENÍ TRUBKOVÉHO SYSTÉMU PPR

Pro celou pec parního reformingu, je zavěšení trubkového systému stěžejní záležitostí a tak je nezbytné, aby vyhovělo všem požadovaným parametrům pokud možno v co největší míře.

2.1 Druhy zavěšení

Způsobů, jak zavěsit trubkové systémy je mnoho. Při výběru, který druh použít, bylo zohledněno převážně technicko–ekonomické hledisko. Neboli použit adekvátní systém při minimálních nákladech. Takové hledisko, dopředu vyřadilo, možnost použití různých speciálních systémů jako např. Hydraulický systém, kde každá trubka má svůj odpovídající hydraulický válec, senzory a řídicí jednotka vše optimalizuje. Z možných způsobů, tedy zůstaly tři „reálné“ použitelné.

2.1.1 Kladka s protizávažím



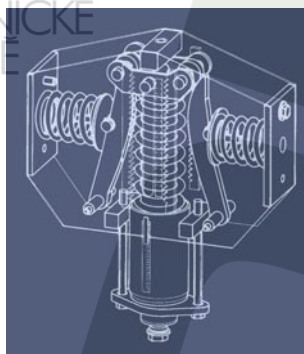
Obr.2.1 Kladka s protizávažím

Tento typ zavěšení je brilantní, co se týče samotného trubkového systému. Stačí pouze přiřadit adekvátní váhy na vyvážení a všechny naše požadavky jsou briskně splněny. Ale diskvalifikující nevýhodou je fakt, že toto řešení dvojnásobně zatíží nosnou ocelovou konstrukci. Z toho plyne nezbytná úprava respektive zvětšení nosných prvků, u nichž se taktéž zvedne vlastní hmotnost. Tím se běžný konstrukční materiál dostává za své limity. Z toho plyne změna materiálů ocelové konstrukce, což je ekonomicky nepřijatelné. Z kalkulace zavěšení pomocí kladky a protizávaží také plyne, že pro dosažení uspokojivých silových parametrů, je také nutné použít valivé ložisko, které je drahé.

Byť je tento druh zavěšení ideální z hlediska technických požadavků trubkového systému, je zcela nevyhovující z hlediska finančního, proto je nutné hledat jiné východisko.

Kladka s protizávažím:
NEVYHOVUJE.

2.1.2 Závěs konstantní síly



Obr.2.2 Závěs konstantní síly

Závěs konstantní síly je ve svém působení podobný předchozímu typu zavěšení kladky s protizávažím. Jak už jeho název napovídá, tento závěs je konstruován tak, aby v rámci pracovního chodu vyvíjel konstantní sílu. Na rozdíl od kladky s protizávažím však toto řešení nijak výrazně nezatěžuje ocelovou konstrukci.

Při konkrétní cenové kalkulaci závěsů s konstantní silou, však vyplyne taktéž neúnosné finanční zatížení.

Navíc z technického hlediska je konstantní síla relativní a je adekvátní pouze v omezeném rozsahu. Při uzpůsobení řešení pomocí závěsů konstantní síly na potřebné parametry by tyto závěsy dosahovaly rozměrových parametrů přesahující možnost běžné obsluhy.

Závěs konstantní síly:
NEVYHOVUJE.

2.1.3 Závěs s proměnlivou silou



Obr.2.3 Pružinový závěs

Tento typ zavěšení je založený na principu tlačné pružiny, kdy tažná síla je závislá na stlačení pružiny. Když je pružina více stlačena, tak vyvolává větší sílu a naopak, neboli síla není konstantní. Síla F se vypočte jako součin tuhosti pružiny c a stlačení pružiny y (ve svislém směru). Tato síla se mění lineárně.

Síla vyvolaná pružinou:

$$F = c \cdot y \quad (2.1)$$

Principiálně, tedy našim požadavkům efekt měnící se síly nevyhovuje. Řešení však není nikterak složité a zahrnuje pouze závitovou tyč a stavící matici. Tímto způsobem je umožněno regulovat stlačení pružiny a tím také její sílu. V praxi to však znamená, že pokud dojde k „najíždění“ pece, je potřeba po „najetí“ všechny pružiny seřadit. Vzhledem k tomu, že tuto regulaci je potřeba udělat pouze při prvním najetí, je tato skutečnost akceptována.

Z hlediska ekonomického se tato varianta jeví jako jednoznačně nejlepší. Ostatním parametrům taktéž vyhovuje. I když to není ideální řešení a nese sebou několik nevýhod oproti předchozím řešením, tak v poměru užitné vlastnosti a cena, nemá konkurenci.

Závěs s proměnlivou silou:
VYHOVUJE.

2.2 Parametry kladené na závěsný systém

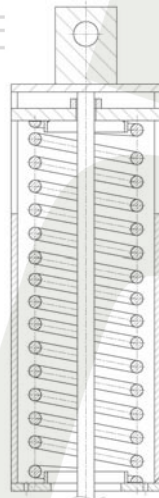
Z celého systému vyplývá několik nezbytných požadavků, z nich plynou parametry na výrobu závěsného systému. Parametry jsou stanoveny s ohledem na zvolený způsob závěsného systému. Obecné parametry pro jakýkoliv systém zavěšení je taktéž obsažen ve specifických parametrech, ale bylo by v případě potřeby je jinak pojmenovat a také zvolit jiné jednotky, neboli transformovat. Jiné zadání požaduje např. hydraulický systém a jiné zase systém pružinových závěsů.

Jako závěsný systém byly zvoleny pružinové závěsy.

Základní parametry pro konstrukci pružinových závěsů.

1. Statická hmotnost	$m = 540 \text{ kg}$
2. Pracovní chod závěsu	$s = \pm 80 \text{ mm}$
3. Tuhost zavěšení	$C = 25 \text{ N / mm}$
4. Tolerance tuhosti	$t_c = 3\%$
5. Uchycení trubky na čepech	$\phi d_c = 85 \text{ mm}$
6. Životnost	$h = 100\,000 \text{ hodin}$
7. Teplota okolí	$T = + 100^\circ\text{C}, - 40^\circ\text{C}$
8. Povrchová úprava	Petrochemický průmysl, výroba amoniaku

2.3 Pružinový závěs – „jednoduchý“



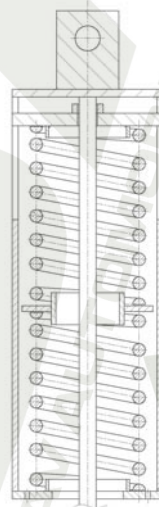
Obr.2.4 Pružinový závěs – „jednoduchý“

Pružinový závěs se skládá ze samotné pružiny, pružinového válce, dna, stropu, přítlačného talíře, stavící matice, závitové tyče, stupnice, ukazovací štelky a oka.

Z vývoje a samotného konstrukčního návrhu bylo nutno potýkat se s několika záležitostmi.

Pro dané parametry, hlavně tuhosti závěsu a pracovního chodu, byla zvolena pružina. Jak při kontrolním výpočtu, tak také při zkouškách prototypu se ukázalo, že pružina svými parametry má sklon vybočovat. Při zkouškách pracovního chodu, docházelo k „dřením“ pružiny o pružinový válec, což je nepřijatelné. Vzhledem k omezenému stavebnímu prostoru, které limitují celkovou velikost zavěšení, bylo obtížné změnit průměr pružiny. Tato situace byla vyřešena použitím dvou pružin řazených sériově za sebou. Mezi ně byla vložena vodící deska s prstencem. Kratší pružiny stejného průměru už nevybočovaly.

2.4 Pružinový závěs – „dvojitý“



Obr.2.5 Pružinový závěs – „dvojitý“

Použitím dvou pružin spojených vodící deskou a prstencem bylo odstraněno vybočování pružiny, ale vyvstala otázka, jak zjistit výslednou tuhost?

2.5 Výsledná tuhost dvou sériově řazených pružin

Dvě na délku poloviční pružiny o dvojnásobné tuhosti sériově za sebou mají stejnou tuhost jako jedna celá pružina. Výsledná tuhost dvou sériově řazených pružin se vypočte jako součin tuhosti pružiny 1 a 2 podělena jejich součtem.

$$C = \frac{c_1 \cdot c_2}{c_1 + c_2} = \frac{50 \cdot 50}{50 + 50} = 25 \text{ N/mm} \quad (2.1)$$

Požadovaný tuhost celého zavěšení je:

$$C = 25 \text{ N/mm}$$

Požadovaná tolerance tuhosti celého zavěšení je:

$$t_c = 3\%$$

Požadovaná tuhost celého zavěšení tedy musí být v intervalu:

$$C = 25 \pm 0,75 \text{ N/mm}$$

Požadovaná tuhost jedné pružiny:

$$c = 50 \pm 1,5 \text{ N/mm}$$

Samotná pružina je poměrně náročná na výrobu, pokud je potřeba dosáhnout více parametrů současně. Např. tuhost pružiny a stavební délka. I při výrobě takzvaných „Přesných pružin“ je dosahovaná minimální tolerance tuhosti 7%.

Výrobní tolerance tuhosti pružin je v intervalu:

$$c_v = 50 \pm 3,5 \text{ N/mm}$$

Celá situace se řešila výběrem. Byly vybrány pružiny, které vyhovovaly požadované tuhosti. Tím však docházelo k velké zmetkovosti a následnému prodražování. Jelikož cena pružiny tvoří základní složku celkové ceny celého zavěšení. Jako jednoduché, ale zároveň brilantní řešení se jeví tzv. „Párování pružin“.

2.6 Párování pružin

Na peci parního reformingu typu KELLOG je 492 pružin. Zmetkovost tvoří až 45%.

Příliš velké tolerance, které způsobují zmetkovost, jsou velmi nepříjemné, ale při vhodném „Párování“ se dají využít ku prospěchu věci. Výrobní tolerance tuhosti pružin jsou jak v kladném tak také v záporném rozsahu. Použijeme-li v sérii jednu pružinu tužší a jednu méně tuhou, výsledná celková tuhost bude stejná, jako když použijeme dvě ideální pružiny. Z výrobní tolerance vybereme pružiny s extrémními hodnotami avšak opačné orientace.

Tuhost pružin:

$$c_1 = 46,5 \text{ N/mm}$$

$$c_2 = 53,5 \text{ N/mm}$$

Výsledná celková tuhost:

$$C = \frac{c_1 \cdot c_2}{c_1 + c_2} = \frac{46,5 \cdot 53,5}{46,5 + 53,5} = 25 \text{ N/mm} \quad (2.1)$$

Při aplikaci „Párování pružin“ na stejnou várku pružin byla výsledná zmetkovost, přesahující požadovanou toleranci tuhosti celého zavěšení, rovna nule. Skutečně nebyla vyhozena ani jedna pružina. To vedlo k podstatnému snížení finančních nákladů. Pro samotné „Párování pružin“ byl vytvořen jednoduchý algoritmus, kde se sestupně seřadily všechny pružiny podle tuhosti. A pak se k sobě do série řadí, nejtužší pružina s nejméně tuhou, pak druhá nejtužší s druhou nejméně tuhou atd..

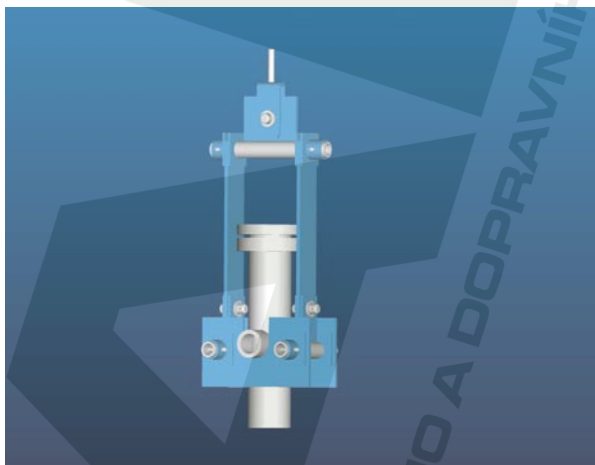
Tab.2.1 Párování pružin pro jednu řadu

Číslo pružiny	Tuhost pružiny	Číslo pružiny	Tuhost pružiny	Výsledná tuhost	Číslo závěsu
12	46,50	18	53,50	24,88	42
22	46,71	7	53,37	24,91	1
70	46,75	64	53,32	24,91	41
3	46,83	37	53,22	24,91	2
54	46,69	48	53,47	24,93	40
84	46,94	72	53,17	24,93	3
17	49,65	30	50,09	24,93	39
28	49,51	25	50,28	24,95	4
74	49,60	73	50,22	24,95	5
76	49,74	75	50,08	24,95	38
8	48,34	11	51,59	24,96	6
67	49,35	63	50,49	24,96	37
71	49,58	69	50,26	24,96	7
27	47,31	35	52,83	24,96	36
68	49,50	66	50,35	24,96	8
19	49,49	13	50,37	24,96	35
23	48,22	26	51,76	24,96	9
36	49,86	14	50,01	24,97	34
15	48,89	2	51,04	24,97	10
46	48,33	47	51,68	24,97	33
40	47,24	1	52,99	24,98	11
43	47,28	77	52,94	24,98	32
10	48,51	38	51,48	24,98	12
6	49,33	31	50,59	24,98	31
4	48,82	33	51,14	24,98	13
51	48,49	50	51,52	24,98	30
5	49,06	32	50,90	24,98	14
45	48,15	44	51,92	24,98	29
58	48,86	57	51,12	24,98	15
24	48,79	21	51,20	24,98	28
49	48,46	82	51,57	24,98	16
56	48,81	55	51,18	24,98	27
60	49,01	83	50,97	24,99	17

62	49,11	59	50,87	24,99	26
39	49,24	29	50,74	24,99	18
65	49,30	61	50,68	24,99	25
80	49,98	78	49,99	24,99	19
79	47,50	81	52,76	25,00	24
9	47,97	34	52,21	25,00	20
53	48,68	52	51,47	25,02	23
16	47,68	20	52,68	25,03	21
41	47,83	42	52,54	25,04	22

Tabulka párování pružin je částečně fiktivní. Slouží jako příklad, kde je vidět maximální možný rozptyl tolerance tuhosti pružin. Ve skutečnosti je rozptyl výsledné tolerance, díky většímu počtu pružin, podstatně menší. Ale i při teoretické situaci je dosaženo prostřednictvím „Párování pružin“ nulové zmetkovosti pružin.

2.7 Uložení potrubí



Obr.2.6 Uložení potrubí

Trubka má navrchu pod přírubou přivařeny dva čepy naproti sobě po 180°. Jelikož je tato část již nad stropem pece, tak teplota trubek a hlavně okolí jsou řádově nižší a dovoluje nám tak použít běžný konstrukční materiál. Z deformací PPR plyne, že trubky v místě svého uložení „vyžadují“ jak posuvy tak také natočení. Z těchto důvodů bylo nezbytné zkonstruovat takové uložení, které zároveň bude schopné přenášet váhové zatížení a zároveň bude co nejvíce umožňovat tepelné dilatace a z něj plynoucí pohyby. Z hlediska trubkového systému z pohledu vodorovných posuvů a natočení by bylo ideální, kdyby trubky byly zavěšeny na laně. Ale to nám neumožňuje posuvy vertikální při zachování tažné síly. Z těchto důvodů je uložení potrubí poměrně komplikované, má mnoho „kloubů“, které se co nejvíce snaží přiblížit flexibilitě lana.

3 KONSTRUKCE PRUŽIN

Stěžejní část pro konstrukci pružinového závěsu je samotná pružina.

Pružina je navržena v souladu s normou ČSN 02 6001 „Šroubovitě pružiny válcové tlačné a tažené z drátu a tyčí kruhového průřezu. Základní pojmy a veličiny, výpočet a směrnice pro konstrukci“

3.1 Zadání pro výpočet pružiny

Zatížení	$F = 5\,400,00\text{ N}$
Tuhost pružiny	$c = 50,00\text{ N/mm}$
Pracovní chod	$y = \pm 40,00\text{ mm}$
Nominální průměr pružiny	$D = 132,00\text{ mm}$
Volná délka pružiny	$L_0 = 300,00\text{ mm}$

3.2 Materiál pružiny

Si Cr Ocel Wr.N. 1.8159

Součást	Drát stočený do šroubovice
Modul pružnosti ve smyku	$G = 84\,200,00\text{ N/mm}^2$
Modul pružnosti	$E = 206\,000,00\text{ N/mm}^2$
Dovolené namáhání ve smyku	$\tau_A = 918,00\text{ N/mm}^2$

3.3 Zatížení pružiny

Minimální zatížení pružiny

$$F_1 = F - c \cdot y = 5400 - 50 \cdot 40 \quad (3.1)$$

$$F_1 = 3\,400,00\text{ N}$$

Maximální

$$F_8 = F + c \cdot y = 5400 + 50 \cdot 40 \quad (3.2)$$

$$F_8 = 7\,400,00\text{ N}$$

3.4 Návrh pružiny

3.4.1 Předpokládaný průměr drátu

Faktor i

$$i = \frac{D}{d} = \frac{132}{16} \quad (3.3)$$

$$i = 8,25 -$$

Faktor K

$$K = \frac{i + 0,2}{i - 1} = \frac{8,25 + 0,2}{8,25 - 1} \quad (3.4)$$

$$K = 1,17$$

3.4.2 Výpočet průměr drátu

$$d_v = 2 \cdot \sqrt[3]{\frac{F_8 \cdot D \cdot K}{\pi \cdot \tau_A}} = 2 \cdot \sqrt[3]{\frac{7400 \cdot 132 \cdot 1,17}{\pi \cdot 918}} \quad (3.5)$$

$$d_v = 14,67 \text{ mm}$$

Zvolený průměr drátu $d = 16,00 \text{ mm}$:

VYHOVUJE

3.4.3 Stlačení pružiny při F_8

$$s_8 = \frac{F_8}{c} = \frac{7400}{50} \quad (3.6)$$

$$s_8 = 148,00 \text{ mm}$$

3.4.4 Počet aktivních závitů

$$n = \frac{G \cdot s_8 \cdot d^4}{8 \cdot F_8 \cdot D^3} = \frac{84200 \cdot 148 \cdot 16^4}{8 \cdot 7400 \cdot 132^3} \quad (3.7)$$

$$n = 5,99 \text{ závitů}$$

$$n = 6,00 \text{ závitů}$$

Zvolený počet závitů

3.4.5 Celkový počet závitů

$$z = n + 1,5 = 6 + 1,5 \quad (3.8)$$

$$z = 7,5 \text{ závitů}$$

3.5 Kontrola výpočtu

3.5.1 Vyvolané napětí při F_8

$$\tau = \frac{8 \cdot F_8 \cdot D \cdot K}{\pi \cdot d^3} = \frac{8 \cdot 7400 \cdot 132 \cdot 1,17}{\pi \cdot d^3} \quad (3.9)$$

$$\tau = 707,79 \text{ N/mm}^2$$

$\tau_A = 918 \text{ N/mm}^2$ je větší než $\tau = 707,79 \text{ N/mm}^2$. Proto pružina pro zatížení vyvolané maximální silou F_8 :

VYHOVUJE

3.5.2 Tuhost pružiny

$$c = \frac{G \cdot d^4}{8 \cdot D^3 \cdot n} = \frac{84200 \cdot 16^4}{8 \cdot 132^3 \cdot 6} \quad (3.10)$$

$$c = 49,98 \text{ N/mm}^2$$

3.5.3 Omezení pružiny

Úhrnná délka obrobení ploch $z_0 = 0,50 \text{ mm}$

Největší dovolení deformace pružiny

$$L_9 = (z + 1 - z_0) \cdot d = (7,5 + 1 - 0,5) \cdot d \quad (3.11)$$

$$L_9 = 128,00 \text{ mm}$$

Limitní stlačení pružiny

$$s_9 = L_0 - L_9 = 300 - 128 \quad (3.12)$$

$$s_9 = 172 \text{ mm}$$

Rozteč závitů

$$t = \frac{s_9}{n} + d = \frac{172}{6} + 16 \quad (3.13)$$

$$t = 44,67 \text{ mm}$$

Kontrola rozteče závitů

$$1,5 \cdot d < t < 0,55 \cdot D$$

$$1,5 \cdot 16 < 44,67 < 0,55 \cdot 132$$

$$24 < 44,67 < 72,6$$

Velikost rozteče závitů se nachází ve vymezeném intervalu, proto rozteč závitů:

VYHOVUJE.

Maximální mezní zatížení pružiny

$$F_9 = s_9 \cdot c = 172 \cdot 50 \quad (3.14)$$

$$F_9 = 8\,600,00 \text{ N}$$

Napětí pružiny v mezním stavu

$$\tau_9 = \frac{8 \cdot F_9 \cdot D \cdot K}{\pi \cdot d^3} = \frac{8 \cdot 8600 \cdot 132 \cdot 1,17}{\pi \cdot 16^3} \quad (3.15)$$

$$\tau_9 = 822,57 \text{ N/mm}^2$$

Vyvolané napětí τ_9 je $822,57 \text{ N/mm}^2$. Dovolené napětí τ je 918 N/mm^2 . Protože vyvolané napětí nepřesahuje hodnotu dovoleného napětí, tak pružina meznímu stavu:

VYHOVUJE.

3.5.4 Bezpečnost při vzpěru

Parametr a

$$a = \frac{L_0}{D} = \frac{300}{132}$$

(3.16)

$$a = 2,27 -$$

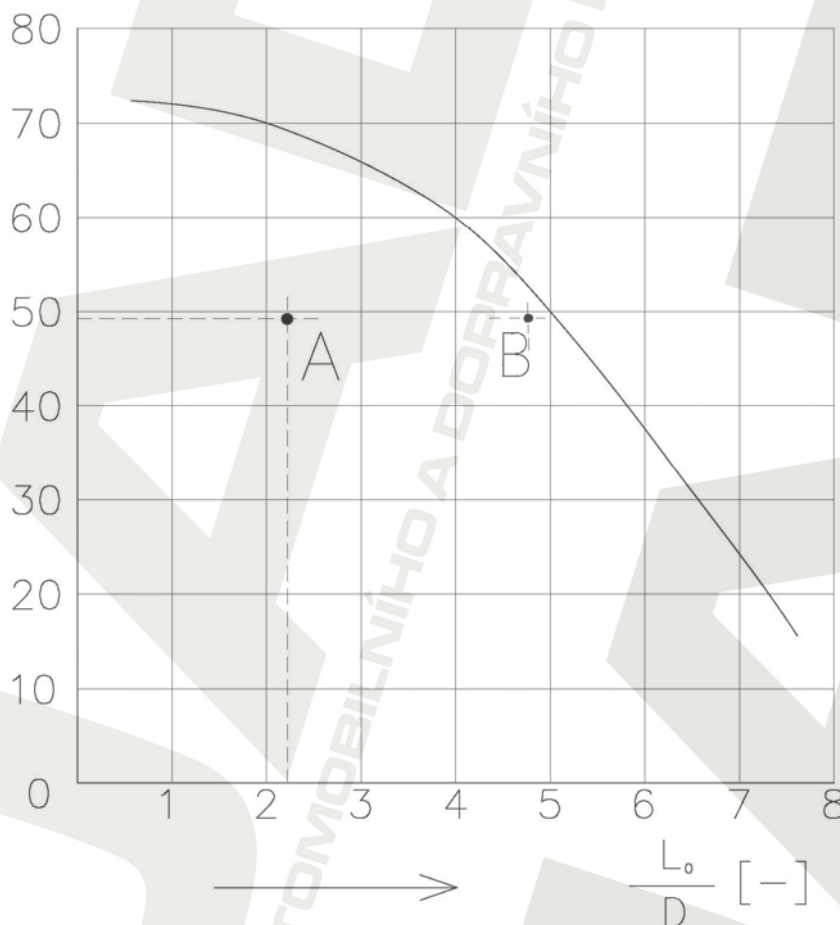
Parametr b

$$b = \frac{100 \cdot s_8}{L_0} = \frac{100 \cdot 148}{300}$$

(3.17)

$$b = 49,33 \%$$

$$\frac{100 \cdot s_8}{L_0} [\%]$$

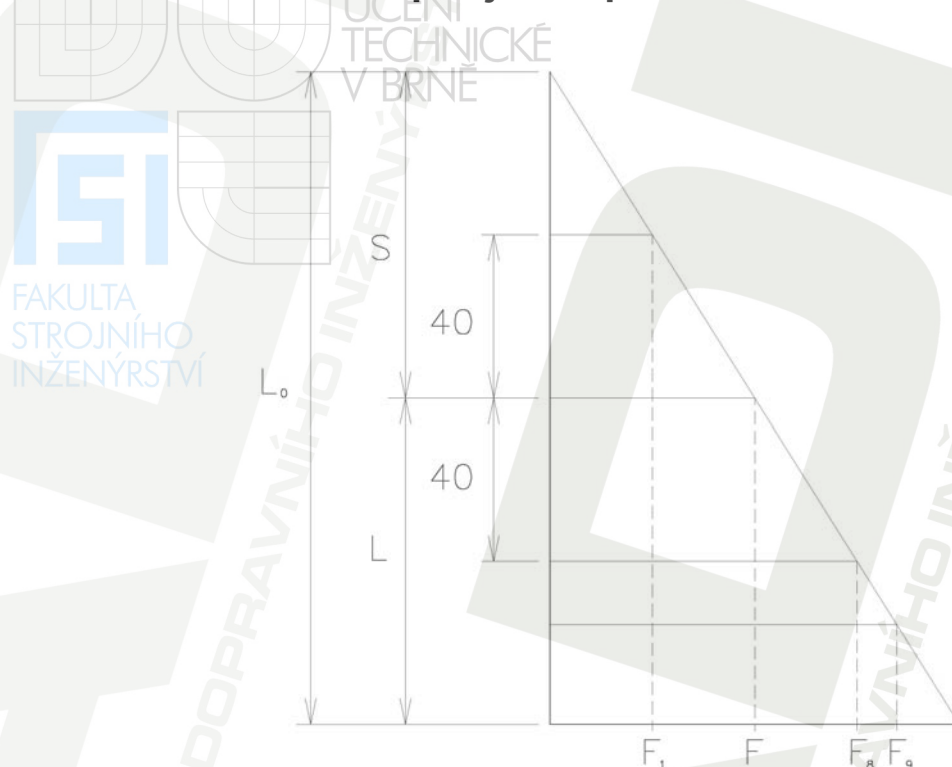


Graf 3.1 Bezpečnosti při vzpěru

Bod „A“ s parametry „a“ a „b“ se nachází dostatečně daleko od mezní křivky, určující oblast, kde pružina má tendenci vybočovat.

V případě, kdy pružinový závěs obsahoval pouze jednu pružinu, tak bod „B“ sice nebyl za křivkou, ale byl už v její těsné blízkosti. Na vybočování pružin má vliv více faktorů např. rovnoběžnost dosedacích ploch pružiny atd.. Při testování prototypu se také ukázalo, že k vybočování skutečně dochází.

3.6 Zatížení vs. chod pro jednu pružinu



Graf 3.2 Zatížení vs. chod pro jednu pružinu

Tab.3.1 Přehled hodnot pro jednu pružinu

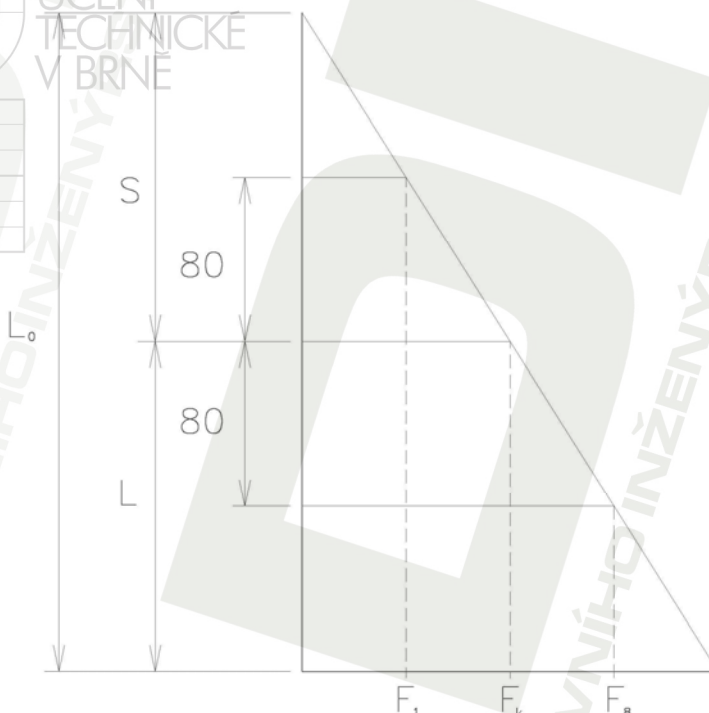
	Délka L [mm]	Stlačení s [mm]	Zatížení F [N]
0	300	0	0
1	262	68	3 400
	204	108	5 400
8	152	148	7 400
9	128	172	8 600

Pracovní chod
Tuhost pružiny

$$y = \pm 40 \text{ mm}$$

$$c = 50 \text{ N/mm}$$

3.7 Zatížení vs. chod pro celé zavěšení



Graf 3.3 Zatížení vs. chod pro celé zavěšení

Tab.3.1 Přehled hodnot pro celé zavěšení

	Délka L [mm]	Stlačení s [mm]	Zatížení F [N]
0	604	0	0
1	468	136	3 400
k	388	216	5 400
8	308	296	7 400
9	260	344	8 600

Pracovní chod
Tuhost závěsu

$$y = \pm 80 \text{ mm}$$

$$C = 25 \text{ N/mm} = 2,5 \text{ kgs/mm}$$

V praxi se ukázalo, že je výhodnější označovat tuhost na závěsech v tzv. „Silových kilogramech“, protože je jednodušší následná orientace pro obsluhu.

Délka $L_0 = 604$ je oproti dvěma pružinám po 300 mm navýšena o 4 mm díky, vodící desce s prstencem mezi pružinami.

3.8 Kalibrace závěsů

Síla $F_k = 5\,400 \text{ N} = 540 \text{ kg}$ je tzv. „Síla kalibrační“. Totéž platí o délce L_k , která se stává základní stavební délkou pružiny. Kalibrace zavěšení probíhá tak, že se na něj zavěsí břemeno $m = 540 \text{ kg}$. V místě kam ukáže střelka se připevní stupnice do výchozí polohy. Jedině kalibrací skutečně dojde k jistotě, že všechny pružinové zavěšení táhnou stejnou silou.

3.9 Vyhodnocení konstrukce pružin

Vzhledem k výše uvedenému všechny vypočítané parametry vyhovují požadavkům normy ČSN 02 6001 „Šroubovitě pružiny válcové tlačné a tažené z drátu a tyčí kruhového průřezu. Základní pojmy a veličiny, výpočet a směrnice pro konstrukci“.

Proto je navržená pružina vhodná pro použití v pružinových závěsech pro zavěšení trubkového systému pece parního reformingu, typu KELLOG. Dle daného výpočtu již byly tyto pružinové závěsy vyrobeny a následně instalovány na místo určení. Jelikož při montáži a následném ověření skutečným provozem nevznikly s těmito závěsy žádné problémy, lze konstatovat, že teoretický výpočet je adekvátní a je možné se na něj i v budoucnu spolehnout.

4 POROVNÁNÍ S KONKURENCÍ

Pružinové závěsy dnes vyrábí mnoho firem. Mezi něž patří např.:

Witzenmann

Lisega

PPS

Macroflex

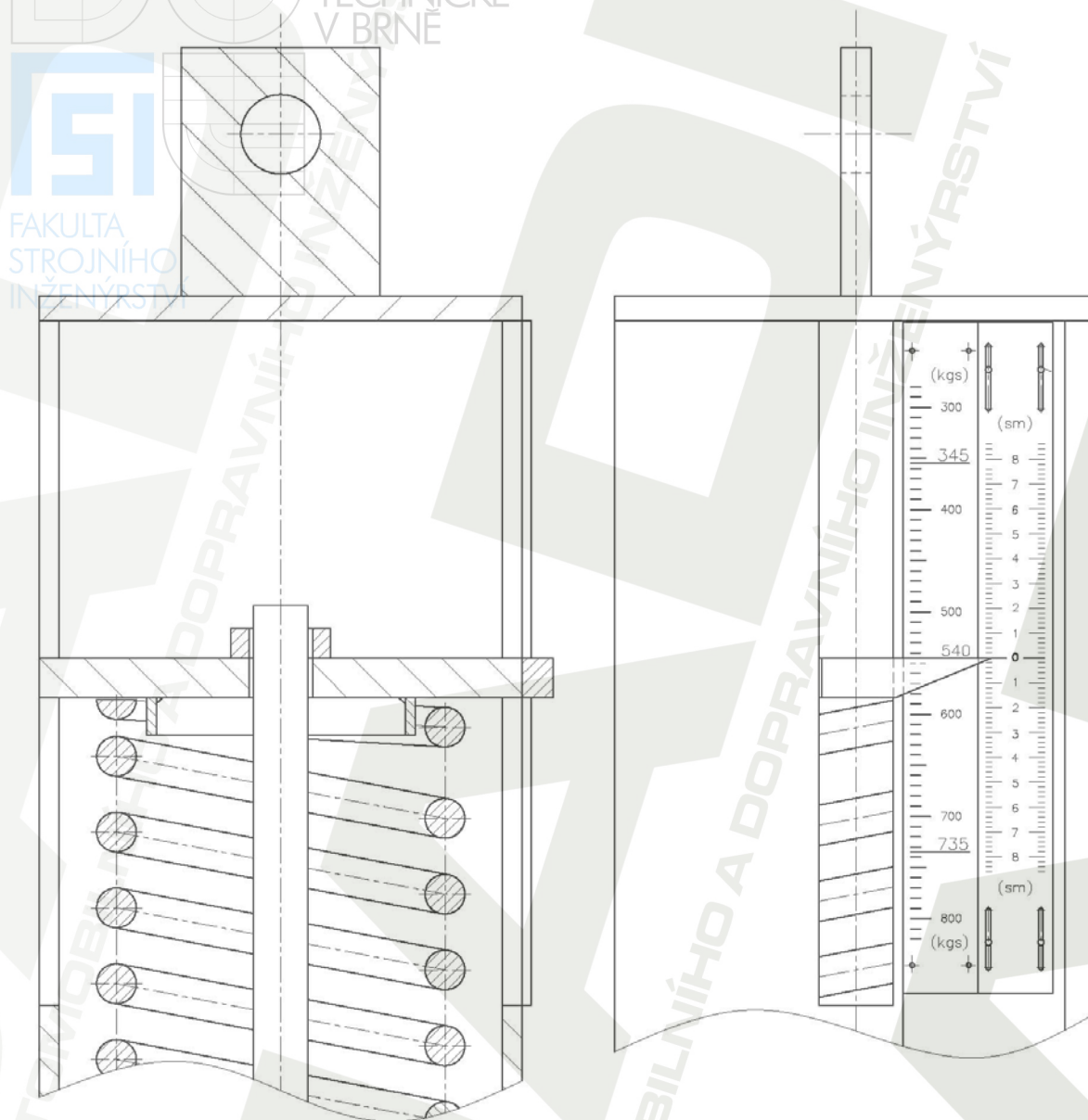
aj.

Tyto firmy vyrábí mnoho pružinových závěsů mnoha typů ve velkých sériích a tak minimalizují své výrobní náklady. Aby se jim to vyplatilo, mají své katalogové řady. Při poptávce dle našich požadavků však došlo ke zjištění, že dané parametry jsou mimo obvyklé hodnoty v katalogích. Obzvláště pak pracovní chod ± 80 mm. Z těchto důvodů by se musely závěsy vyrobit tzv. „na zakázku“, což řádově zvedne cenu, už tak velmi drahých závěsů. Z těchto důvodů byla vytvořena vlastní konstrukce pružinového zavěšení.

5 ÚSKALÍ ZVOLENÉHO ŘEŠENÍ

Při konstrukci celého zavěšení bylo potřeba zohlednit situace, které se vyskytly. Tyto záležitosti vyplynuly až při aplikaci závěsů u zákazníka. Bylo potřeba je vyřešit jak na stavbě, tak také principiálně vyřešit konstrukci zavěšení.

5.1 Výkyv střelky ukazatele při otáčení seřizovací tyče

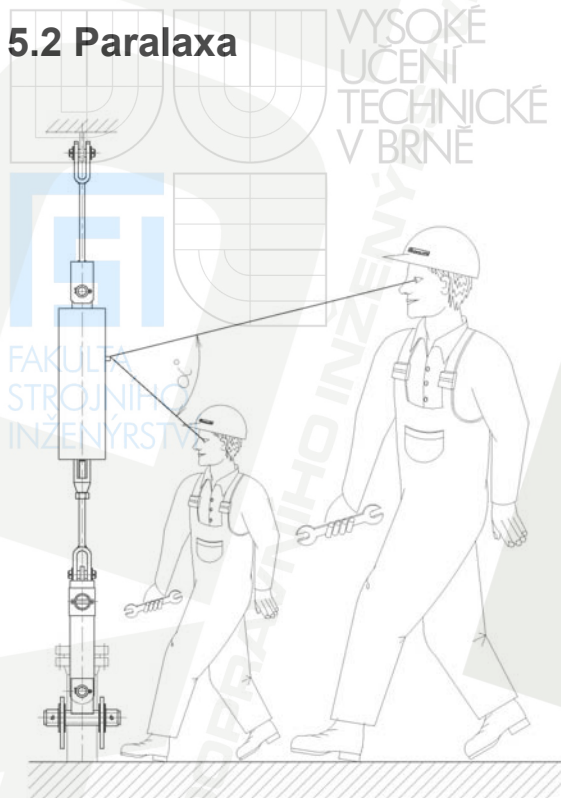


Obr.5.1 Přítlačná deska - Střelka

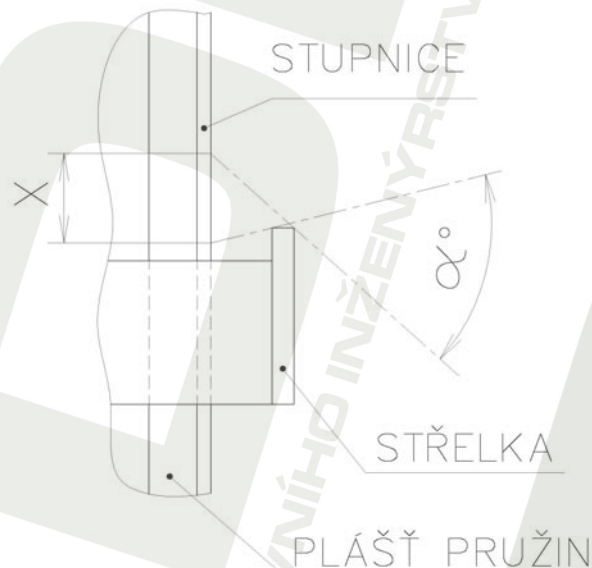
Stavící matice je pevně spojena s táhlem pružiny. Na konci táhla je přivařený Koncový prstenec. Dosedací plocha je mezi přítlačnou deskou a Koncovým prstencem. Na jedné straně přítlačné desky je přivařena střelka ukazatele. Při otáčení táhla se stavící maticí dochází k výkyvu střelky ukazatele. To je způsobeno převážně dosedacím kroužkem, který není přesně přivařený. Dochází tak k výkyvu až $\pm 5\text{ mm}$, což je nepřijatelné, vzhledem k tomu, že otočením stavící matice o 360° došlo k posuvu uložení trubky pouze o 2 mm .

Řešením bylo osoustružit dosedací plochu Koncového prstence až po přivaření k táhlu pružiny. Po této úpravě dosahoval výkyv střelky pouze $\pm 1\text{ mm}$.

5.2 Paralaxa



Obr. 5.2 Ergonomie



Obr. 5.3 Paralaxa

Paralaxa je obecný fyzikální jev, který se objevuje u všech podobných zařízení. Potýkají se s ním tedy všichni. Nicméně je potřeba se s tím vypořádat. Při kontrole stavu zatížení, dochází vlivem Paralaxy ke zkreslení výsledků až o 5 mm. Což je opět nepřijatelné. Paralaxa vzniká v případě pohledu z různého úhlu, zapříčiněného rozdílným vzrůstem obsluhy. Vlivem různého úhlu přes střelku se jeví hodnota na stupnici rozdílná.

Řešení spočívá v instrukci obsluhy o vhodném odečítání, které se vždy musí provádět kolmo ke stupnici. Z těchto důvodů je zavěšení konstruováno dle ergonomie přizpůsobené průměrné výšce obsluhy 180cm.

6 ZÁVĚR

Shrnutí, zdali se podařilo splnit cíle a zadání Bakalářské práce. V cílech bylo vybrat vhodnou koncepci systému zavěšení potrubního systému pece parního reformingu.

Tento cíl byl splněn, byť nebyl vybrán systém zavěšení, který by byl nejvhodnější pro trubkový systém, ale systém pomocí pružinových závěsů s proměnlivou silou splnil veškeré naše požadavky. Navíc za mnohonásobně nižší cenu, což bylo také stěžejní hledisko.

Během konstrukce se vyskytly různá úskalí, která se taktéž podařilo dostatečně vyřešit. Vzhledem k tomu, že je k dispozici reakce od zákazníka, je možné tuto konstrukci dále vyvíjet a vylepšovat. Jelikož už není žádný další závažný problém, který by bránil ať už správné funkci či výrobě, lze považovat celou konstrukci za:

VYHOVUJÍCÍ.

7 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY:

- [1] Janíček P., Ondráček E., Vrbka J.: Pružnost pevnost, VUT Brno, 1992
- [2] Jančík, L.: Části a mechanismy strojů, ČVUT Praha, 2004
- [3] Klimeš P.: Části a mechanismy strojů I, II, VUT Brno 2003
- [4] Kolektiv autorů: Sborník - Zařízení na výrobu vodíku, DT ČSVTS Brno, 1990
- [5] Kotíšek, J., Rod, V.: Trubkové pece v chemickém průmyslu, SNTL Praha, 1961

8 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

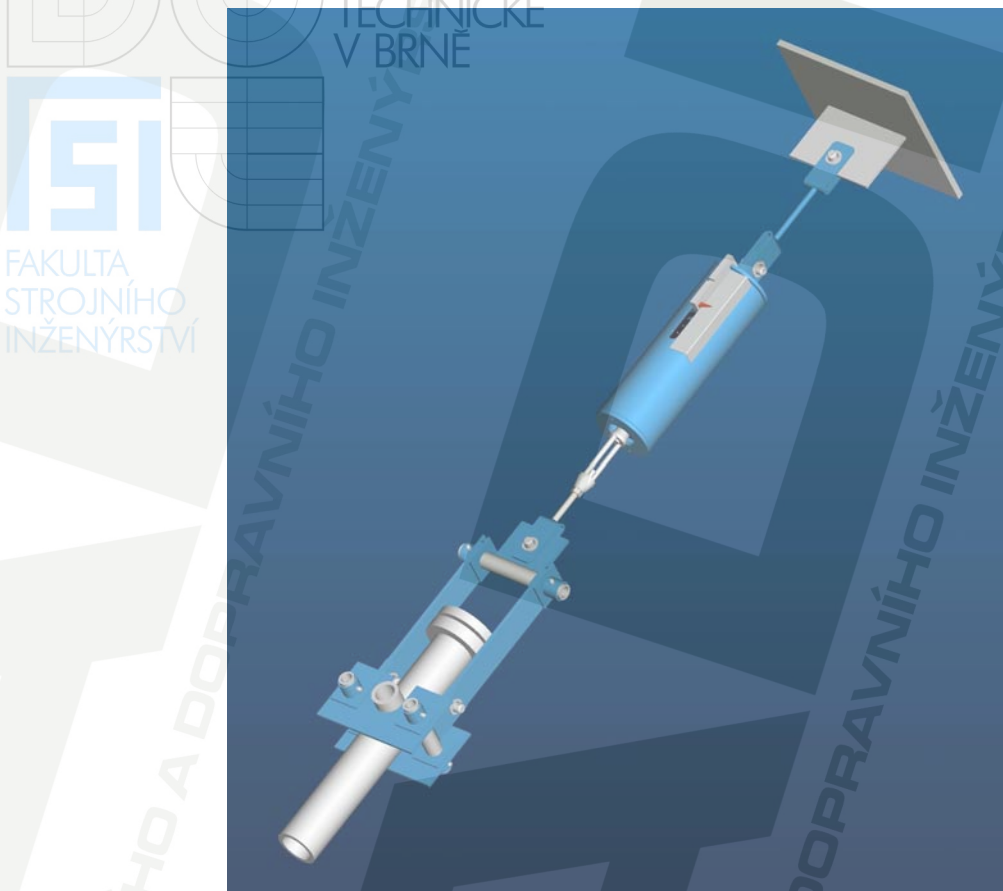
Tab.8.1 Seznam použitých zkratk a symbolů

Symboly	Jednotky	Názvy veličin
a	-	Parametr a
b	%	Parametr b
c	N/mm	Obecná tuhost jedné pružiny
c ₁	N/mm	Tuhost první pružiny v sérii
c ₂	N/mm	Tuhost druhé pružiny v sérii
c _v	N/mm	Výrobní tuhost pružiny
d	mm	Průměr drátu pružiny
d _č	mm	Průměr čepu na trubce
d _v	mm	Výpočtový průměr drátu pružiny
h	hod.	Životnost
i	-	Koeficient poměru vinutí
m	kg	Statická hmotnost jedné trubky a příslušenstvím
n	-	Počet činných závitů
s	mm	Deformace při normálním zatížení F
s ₁	mm	Deformace při minimálním zatížení F ₁
s ₈	mm	Deformace při maximálním zatížení F ₈
s ₉	mm	Deformace při mezním zatížení F ₉
s _k	mm	Deformace při kalibračním zatížení F _k
t	mm	Rozteč závitů pružiny
t _c	%	Tolerance tuhosti pružiny
y	mm	Chod pružiny
z	-	Celkový počet závitů
z ₀	-	Úhrnná délka obrobených ploch vyjádřena v počtu závitů
C	N/mm	Celková tuhost dvou pružin v sérii
C _v	N/mm	Výsledná kontrolní tuhost
D	mm	Nominální průměr pružiny
E	N/mm ²	Modul pružnosti
F	N	Požadované normální zatížení pružiny
F _k	N	Kalibrační zatížení pružiny (předpětí)
F ₁	N	Minimální pracovní zatížení
F ₈	N	Maximální pracovní zatížení
F ₉	N	Mezní zatížení
G	N/mm ²	Modul pružnosti ve smyku
K	-	Korekční součinitel napětí v krutu
L	mm	Požadovaná normální délka pružiny
L ₀	mm	Volná délka pružiny
L ₁	mm	Délka pružiny při minimálním zatížení F ₁
L ₈	mm	Délka pružiny při maximálním zatížení F ₈
L ₉	mm	Délka pružiny při mezním zatížení F ₉
L _k	mm	Délka pružiny při kalibračním zatížení F _k
T	°C	Teplota okolí zavěšení
τ	N/mm ²	Napětí v krutu
τ _A	N/mm ²	Dovolené namáhání ve smyku
τ ₁	N/mm ²	Napětí v krutu při minimálním zatížení F ₁

τ_8	N/mm ²	Napětí v krutu při maximálním zatížení F_8
τ_9	N/mm ²	Napětí v krutu při mezním zatížení F_9
τ_k	N/mm ²	Napětí v krutu při kalibračním zatížení F_k



9 OBRAZOVÁ PŘÍLOHA



Obr. 8.1 Sestava pružinového zavěšení v programu PTC Pro/Engineer 3.0



Obr. 8.2 Pružinový závěs v programu PTC Pro/Engineer 3.0

10 SEZNAM VÝKRESOVÉ DOKUMENTACE

BP – 3K2 – 01	Sestava zavěšení
BP – 3K2 – 02	Pružinový závěs
BP – 3K2 – 03	Pružina
BP – 3K2 – 04	Seřizovací táhlo
BP – 3K2 – 05	Vodící deska s prstencem

FAKULTA
STROJNÍHO
INŽENÝRSTVÍ