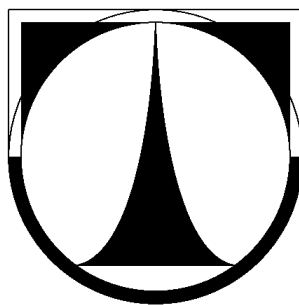


TECHNICKÁ UNIVERZITA

V LIBERCI

Fakulta strojní



Diplomová práce

Inovace odlučovače nečistot plynu
horizontálního typu

2010

Václav Vlček

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojn **Studijní program: N2301 - Strojní inženýrství**

Obor: Inovační inženýrství

Zaměření: Inovace výrobku

Katedra částí a mechanismů strojů

INOVACE ODLUČOVAČE NEČISTOT PLYNU HORIZONTÁLNÍHO TYPU

INNOVATION OF A GAS MOISTURE SEPARATOR

Jméno autora: Václav Vlček

Vedoucí DP: doc.Ing. Ladislav Ševčík, CSc.

Konzultant DP: Ing. Pavel Bartoš

Rozsah práce a příloh:

Počet stran:	82
Počet obrázků:	35
Počet tabulek:	10
Počet příloh:	6
Počet výkresů	2

Datum: 27. 5. 2010

ZADÁNÍ

ZADÁNÍ



Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 - školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mě požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

Datum: 27. 5. 2010

Podpis:

Václav Vlček



Poděkování

Děkuji vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Ladislavu Ševčíkovi, CSc. z katedry částí a mechanismů strojů TU v Liberci za poskytnutý čas, trpělivost a věcné připomínky, a svému konzultantovi Pavlovi Bartošovi za jeho čas a podporu.

Dále bych rád poděkoval všem, kteří mě při mém úsilí podporovali a poskytli cenné rady a názory či pomocnou ruku. Můj velký dík patří i těm, kteří mě podporovali při studiu na TUL.

V neposlední řadě děkuji mé malé rodině za soustavnou podporu při studiu na technické univerzitě a tvorbě této diplomové práce.

Anotace

DIPLOMOVÁ PRÁCE

TÉMA:

Inovace Odlučovače nečistot plynu horizontálního typu

Anotace:

Diplomová práce se zabývá návrhem inovace odlučovače nečistot zemního plynu. Po identifikování kritické potřeby, byly navrženy čtyři varianty opatření pro zvýšení bezpečnosti práce beztlakové nádoby odlučovače. Z navržených opatření byla vybrána pomocí kritériálních metod varianta instalace bezpečnostní membrány, která zohlednila především zvýšenou bezpečnost a nízké náklady. Koncept byl podrobně rozpracován a optimalizován. Byly navrhnuty hlavní konstrukční prvky, které byly podpořeny výpočty. Při návrhu byl kladen důraz na využití moderních metod inovačního inženýrství. Na modelu vybraného konceptu byla provedena pevnostní analýza, která byla ve shodě s provedenými numerickými propočty.

DIPLOMA THESIS

THEME:

The innovation of a gas moisture separator

Annotation:

This thesis deals with a proposal of an innovation of a gas moisture separator. After the identification of crucial needs, four modifications of remedy were designed to increase the working safety of a non-pressure trap. From the designed remedies, the variant with an installation of a safety membrane was selected, which considered principally the safety increase and low costs. The concept was thoroughly analysed and optimized. During the design an emphasis was put on a utilization of modern methods of innovative engineering. A finite element method analysis was performed for the selected concept. The results corresponded with the conventional computations.

Obsah

PROHLÁŠENÍ.....	4
PODĚKOVÁNÍ.....	5
ANOTACE	6
OBSAH.....	7
POUŽITÉ SYMBOLY A OZNAČENÍ.....	9
SEZNAM OBRÁZKŮ.....	10
SEZNAM TABULEK.....	11
1 ÚVOD.....	12
1.1 CÍL DIPLOMOVÉ PRÁCE	13
1.2 ÚVOD K PROBLEMATICE ODLUČOVAČŮ	14
2 SOUČASNÝ STAV INOVOVANÉHO ODLUČOVAČE.....	17
2.1 STÁVAJÍCÍ ŘEŠENÍ INOVOVANÉHO TECHNOLOGICKÉHO ZAŘÍZENÍ.....	18
2.1.1 Význam odlučovače a jeho role.....	18
2.1.2 Popis konstrukce zařízení.....	18
2.1.3 Analýza fáze dojezdu čistícího pístu	19
2.1.4 Problematika práce odlučovače	20
2.1.5 Klady a zápory v současnosti používaného řešení.....	21
2.2 POTŘEBA INOVACE - SHRNUTÍ A DALŠÍ MOŽNOSTI	21
3 INOVAČNÍ ZÁMĚR A VÝBĚR VARIANTY	22
3.1 INOVAČNÍ ZÁMĚR	22
3.2 HARMONOGRAM ČINNOSTÍ	23
3.3 IDENTIFIKACE ZÁKAZNICKÝCH POTŘEB	24
3.3.1 Afinní diagram	26
3.3.2 Relativní významnost požadavků.....	29
3.4 HLEDÁNÍ JÍŽ ZNÁMÝCH ŘEŠENÍ	30
3.4.1 Vertikální odlučovač - varianta 1	31
3.4.2 Mobilní odlučovač - varianta 2.....	33
3.5 KREATIVNÍ ŘEŠENÍ	34
3.5.1 Metoda TRIZ.....	36
3.5.2 Zabudování bezpečnostních membrán - varianta 3	38
3.5.3 Změna řízení průtoku plynu odlučovačem - varianta 4.....	39
3.6 METODY DETAILNÍHO KONSTRUOVÁNÍ.....	40
3.6.1 DFA - Design for Assembly.....	41
3.6.2 DFM - Design for Manufacturing	41
3.6.3 DFE - Design for Environment	41
3.6.4 DFD - Design for Disassembly	42
3.6.5 Design for testing	42
3.6.6 Design for Maintenance.....	42
3.6.7 Design for Transportation	43
3.6.8 Design for Safety	43
3.6.9 Design to Cost.....	43
3.7 KRITERIÁLNÍ HODNOCENÍ VARIANT.....	44
3.8 VOLBA VHODNÉ VARIANTY	47
4 ROZPRACOVÁNÍ VYBRANÉ VARIANTY.....	48
4.1 TLAKOVÉ POMĚRY	48
4.2 NÁVRH MEMBRÁNY.....	49



4.2.1	Předpoklady výpočtu	50
4.2.2	Odvození průběhu napětí a průhybu membrány	51
4.2.3	Výpočet tloušťky membrány	53
4.2.4	Výpočet pro rovná nevyztužená kruhová dna a víka	55
4.2.5	Namáhání střihem	57
4.2.6	Volba tloušťky membrány	57
4.2.7	Zkouška statickým přetlakem	58
4.3	NÁVRH ŠROUBOVÉHO SPOJE	58
4.3.1	Napětí s_{F_1} v jednom šroubu od síly F_1	61
4.3.2	Napětí s_2 v jednom šroubu vycházející z meze kluzu Al membrány	62
4.3.3	Návrh montážního předpětí	62
4.3.4	Určení geometrických charakteristik šroubového spoje	62
4.3.5	Výpočet krouticích momentů	63
4.4	KONSTRUKČNÍ ÚPRAVY TĚLESA ODLUČOVAČE	63
4.5	HODNOCENÍ OPTIMALIZACE	66
4.6	PŘEZKOUMÁNÍ KONSTRUKČNÍHO NÁVRHU - FMEA	67
4.7	PEVNOSTNÍ ANALÝZA	71
4.7.1	Catia	71
4.7.2	Abaqus	75
4.7.3	Zhodnocení dosažených výsledků	77
5	ZÁVĚR	78
	LITERATURA	81
	PŘÍLOHY	82

Použité symboly a označení

Symbol (veličina)	Jednotka	Název
a	mm	rozměr pro klíč
$\varnothing B_1$	mm	vnitřní průměr příruby
d	mm	pracovní průměr membrány
d_2	mm	střední průměr závitu šroubu
d_3	mm	malý průměr závitu šroubu
d_M	mm	průměr membrány
e	mm	rozměr přes hrany
E	GPa	modul pružnosti v tahu
E	MPa	Youngův modul pružnosti
E^x	MPa	„zpevněný“ modul pružnosti v tahu
F	N	výsledná síla (síla od přetlaku $\bar{p}$)
f_H	-	součinitel tření pod hlavou šroubu
f_M	-	součinitel tření pod maticí
H	-	integrační konstanta
K	-	konstanta z okrajové podmínky
K_0	-	součinitel zeslabení
k_t	-	míra bezpečnosti
K_U	-	součinitel upevnění okraje membrány
$M^{\text{“D“}}$		označení průměru metrického závitu
$\overline{M_{KK}}$	Nm	krouticí moment na klíči při uvolňování
$\overline{M_{KK}}$	Nm	krouticí moment na klíči při utahování
$\overline{M_{KZ}}$	Nm	krouticí moment v dřívku šroubu při uvolňování
$\overline{M_{KZ}}$	Nm	krouticí moment v dřívku šroubu při utahování
$\overline{M_{TH}}$	Nm	krouticí moment pod hlavou šroubu
$\overline{M_{TM}}$	Nm	krouticí moment pod maticí
$\bar{p}$	MPa	přetlak
P	mm	rozteč závitu
p_{dov}	MPa	dovolený tlak
q	MPa	zatížení desky na jednotku plochy
Q_1	N	předpětí šroubu
Q_x	MPa	celkové příčné zatížení na část desky o poloměru x
r	mm	poloměr
R_m	MPa	mez pevnosti
$R_{p0,2}$	MPa	smluvní mez kluzu
s	mm	rozměr pro klíč
S_3	mm ²	průřez jádra šroubu
S_M	m ²	plocha membrány
S_R	mm ²	plocha řezu obvodem membrány
S_S	mm ²	sevřená plocha membrány

t	mm	tloušťka membrány
x	mm	vzdálenost od středu desky
y	mm	průhyb
φ	°	úhel normály řezu deformované membrány
φ'	°	třecí úhel závitů
γ	°	úhel stoupání závitů
η_C	-	účinnost celková
η_Z	-	účinnost závitové dvojice
δ	mm	průměr díry
μ	-	Poissonovo číslo
π	-	Ludolfovo číslo
ρ_H	mm	třecí poloměr
ρ_M	mm	třecí poloměr
$\rho_{M,H}$	mm	součet třecích poloměrů
σ	MPa	napětí v membráně
σ_{F1}	MPa	napětí v jednom šroubu od síly F_1
σ_{Kt}	MPa	mez kluzu
σ_r	MPa	radiální ohybové napětí
σ_t	MPa	tečné obvodové napětí
t_{DOV}	MPa	dovolené napětí ve smyku

Seznam obrázků

Obr. 1.1 Spotřeba zemního plynu.....	12
Obr. 1.2 Tranzitní soustava ČR.....	14
Obr. 1.3 Čistící písky.....	15
Obr. 1.4 Inteligentní ježek.....	16
Obr. 1.5 Část potrubního dvora - komora.....	17
Obr. 2.1 Těleso odlučovače.....	19
Obr. 3.1 Zkrácený harmonogram.....	24
Obr. 3.2 Afinní diagram.....	28
Obr. 3.3 Vertikální odlučovač.....	32
Obr. 3.4 Mobilní odlučovač.....	34
Obr. 3.5 Odlučovač nečistot - stávající provedení.....	38
Obr. 3.6 Odlučovač nečistot osazen bezpečnostními membránami.....	39
Obr. 3.7 Odlučovač osazen snímačem tlaku.....	40
Obr. 4.1 Průběh napětí v membráně.....	51
Obr. 4.2 Řez válcové části desky pod vlivem zatížení.....	51
Obr. 4.3 Předpoklad rovného víka.....	55
Obr. 4.4 Předpokládané uložení víka podle normy.....	56
Obr. 4.5 Typy průběhů zatěžující síly.....	59
Obr. 4.6 Zatížení šroubu, pohled na šroub modelu.....	59
Obr. 4.7 Plochá přivařovací příruba, typ 01.....	60
Obr. 4.8 Základní rozměry příruby.....	60

Obr. 4.9 Upravené těleso odlučovače	64
Obr. 4.10 Detail inovované části	64
Obr. 4.11 Znázornění proudění plynu řez odlučovače.....	65
Obr. 4.12 Řez vloženým pojistným komínkem.....	65
Obr. 4.13 Zatížení membrány a deformace.....	72
Obr. 4.14 Detail elementů a uchycení membrány	72
Obr. 4.15 Deformace - přetlak 0,07 MPa.....	73
Obr. 4.16 Redukované napětí - deformace	73
Obr. 4.17 Redukované napětí - hodnoty	74
Obr. 4.18 Hlavní napětí.....	74
Obr. 4.19 Redukované napětí - elastická deformace	75
Obr. 4.20 Redukované napětí - plastická deformace.....	76
Obr. 4.21 Radiální napětí - elastická deformace	76
Obr. 4.22 Smykové napětí - elastická deformace.....	76

Seznam tabulek

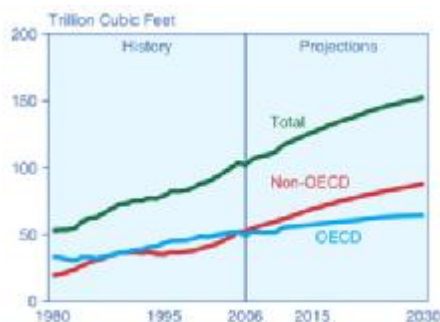
Tab. 3.1 Tabulka s interpretovanými potřebami zákazníka	26
Tab. 3.2 Relativní významnost požadavků	29
Tab. 3.3 Část matice TRIZ	36
Tab. 3.4 Hodnocení konceptů metodami DFX	44
Tab. 3.5 Rozhodovací tabulka pro rozřídění konceptů.....	46
Tab. 3.6 Rozhodovací tabulka pro detailní hodnocení konceptů	47
Tab. 4.1 FMEA odlučovače nečistot (viz Příloha č. 3).....	68
Tab. 4.2 - Závažnost způsobu poruchy - S.....	69
Tab. 4.3 Výskyt způsobu poruchy - O	69
Tab. 4.4 Pravděpodobnost detekce při řízení návrhu - D	70

1 Úvod

Zemní plyn je jedním z nejvýznamnějších zdrojů energie. Jde o přírodní fosilní palivo, jehož hlavní složkou je metan. Z místa naleziště do míst bližších konečnému zákazníkovi se přepravuje na velké vzdálenosti potrubním systémem. Plynovod, jak se říká tomuto zařízení, je téměř po celé své délce uložen v zemi, která slouží především jako ochrana proti narušení kompaktnosti povrchu. Plyn se těží z podzemních nalezišť a před konečným spalováním je potřeba jej důkladně vyčistit. Oddělování nežádoucích složek z plynu probíhá především po samotném vytěžení. Neméně důležité je rovněž čištění plynu po celou dobu přepravy, které se provádí v místech speciálně upravených pro tyto potřeby. Ani nejlepší čištění není natolik dokonalé, aby při dopravě tak velkého množství, jaké se v dnešní době přepraví, nebylo potřebné udržovat a čistit samotné potrubí.

Plyn je nutné ve vysokotlakém potrubí pohánět. K tomu slouží kompresorové stanice, které tlačí zemní plyn potrubím. Tato poháněcí zařízení mají velký podíl na znečištění plynu, do kterého uvolňují především olej. Proto je nutné zajistit možnost čištění plynu při výstupu z kompresorové stanice a samozřejmě též možnost pravidelného čištění potrubí.

Na celém světě se ročně spotřebují tisíce trilionů metrů krychlových zemního plynu. Některé zdroje mluví o stagnaci v posledních letech, některé dokonce o poklesu spotřeby v předchozích několika letech [1]. To jsou ale pouze krátkodobé statistiky, zaměřující se na Českou republiku. Celosvětová a dlouhodobá spotřeba zemního plynu neustále roste a dle analýz a odhadů stále růst bude. Stejný zdroj udává, že v roce 2006 dosáhla hodnoty 104 trilionu kubických stop, což v přibližném přepočtu znamená 2 945 000 bilionů metrů krychlových [2].



Obr. 1.1 Spotřeba zemního plynu.
(Zeleně - celková spotřeba na světě, Červeně - spotřeba nečlenů OECD, Modře - spotřeba členů OECD) [2].

1.1 Cíl diplomové práce

Cílem diplomové práce je návrh inovace stávajícího provedení odlučovače nečistot horizontálního typu. Z toho důvodu je nutné seznámit se s problematikou vysokotlakých plynovodů a situací v ČR, zjistit základní údaje o přepravě plynu, údaje o frekvenci použití odlučovačů, způsoby a důvody čištění tranzitního plynovodu.

Dále je cílem seznámit se s funkcí odlučovače, postupem a důvody údržby plynovodů, popsat současné zařízení, diskutovat jeho stav se zohledněním výhod a nevýhod, provést analýzu fáze dojezdu pístu a vlivů na práci odlučovače. Shrnutím je nutné identifikovat nevyhovující části zařízení.

Pomocí moderních metod inovačního inženýrství definovat inovační záměr a vysvětlit postup inovačního procesu, naplánovat projekt inovace odlučovače nečistot horizontálního typu a při návrhu využít software pro řízení projektů a s jeho pomocí sestavit harmonogram.

Využitím moderačních technik identifikovat zákaznické potřeby, vést diskuzi s obsluhujícím personálem, zjistit a zaznamenat i skryté potřeby inovace. V průběhu moderace využívat moderační techniky, tyto popsat a vysvětlit. Zároveň respektovat hlavní zásady správné moderace. Zjištěné poznatky je nutné logicky seskupit, kvantifikovat relativní významnost jednotlivých potřeb a zjistit kritické potřeby. Pro zjištěné nejvýznamnější potřeby provést průzkum trhu současně používaných řešení. Řešení prostudovat, vhodným způsobem popsat a zhodnotit možnost jejich použití.

Následně s pomocí metod pro kreativní řešení problému navrhnout nová možná řešení. Využít metody pro kreativní generování konceptu, respektovat metody pro detailní konstruování a použité metody vysvětlit.

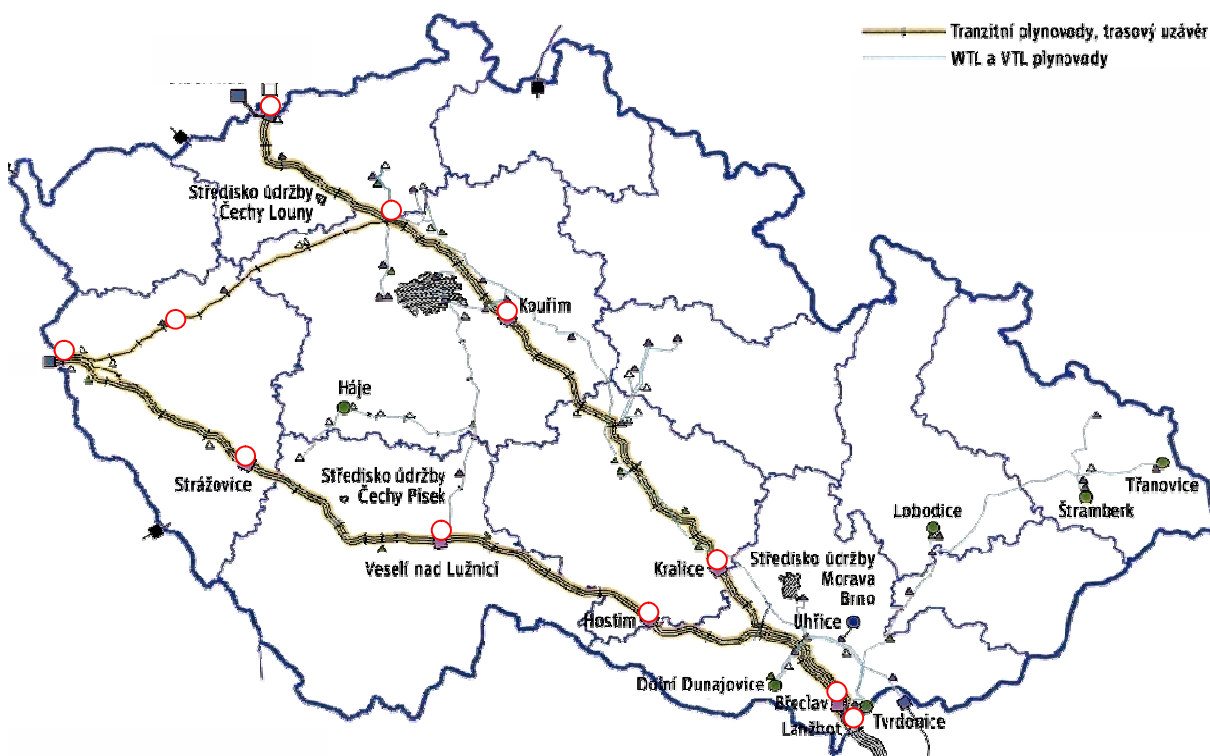
Na zamýšlenou inovaci nahlížet především z pohledu dodržení bezpečnosti a z pohledu minimalizování nákladů na potřebné úpravy spojené s realizací navržené inovace.

Z navržených konceptů inovovaného výrobku vybrat nejvhodnější variantu. Zvolit vhodnou metodu pro výběr, diskutovat úroveň subjektivity. Pro hlavní prvky zvolené varianty provést potřebné výpočty. Navrhnout konstrukční úpravy vybrané varianty, zkonstruovat model a vytvořit výkres sestavy. Provedené výpočty ověřit simulační metodou. Použitím vhodných metod posoudit míru optimalizace a dále posoudit míru bezpečnosti. Vhodně zvoleným programem provést pevnostní analýzu.

V závěru provést zhodnocení přínosu navrhované inovace pro současně používané řešení, zhodnotit splnění jednotlivých cílů a diskutovat případné nesrovnalosti a další možnosti zlepšení.

1.2 Úvod k problematice odlučovačů

Spotřeba zemního plynu v České republice činila v roce 2008 9 177 mil. m³. Tranzitní plynovod České republiky, vlastněný firmou NET4GAS, měří v celkovém součtu téměř 2 500 kilometrů (obr. 1.2). Nejedná se o jeden průměr potrubí, ale o součet všech průměrů potrubí od DN 800 mm do DN 1400 mm, ve kterých je tlak plynu nad 4 MPa. Plynovody, vedoucí přes celou republiku, jsou rozděleny na menší, cca 100 kilometrové úseky. Tím lze zajistit čistitelnost a zvýšit bezpečnost plynovodů.



Obr. 1.2 Tranzitní soustava ČR

Na každém takovém přerušení (na obr. 1.2 znázorněny červeným kolečkem), je potrubí vyvedeno na povrch a na jeho koncích jsou navařeny tzv. komory. To je zařízení, kudy je možné vkládat a na druhé straně naopak vyjímat čistící píst nebo inteligentního ježka.

Údržba plynovodu spočívá v mnoha krocích. Většina z nich se pravidelně opakuje a některé z nich také předepisuje norma. Mezi nejdůležitější kroky údržby patří zjišťování

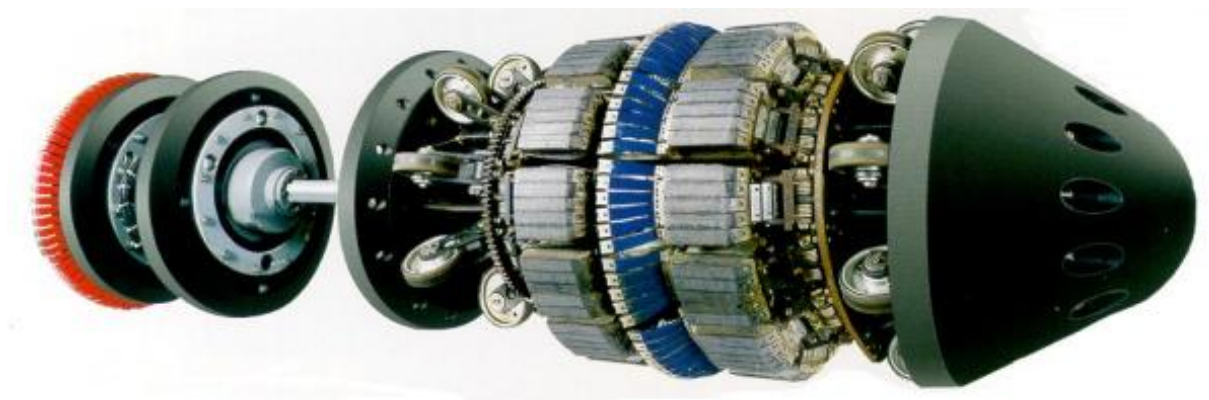
poškození plynovodu, následné opravy a samozřejmě také vnitřní čištění. Pokud by se plynovod „zanesl“ nemohl jím proudit plyn. Mezi časté znečišťovatele patří prach a písek z těžby a výstavby a olej z kompresních stanic. K čištění od těchto a jiných nečistot slouží čistící píst (obr. 1.3).



Obr. 1.3 Čistící písty

Zjišťování narušení potrubí je velmi složitý úkol. Protože tato operace se dané diplomové práce dotýká jen okrajově, budou zmíněny pouze základní, nezbytné údaje. Základní rozdíl spočívá v tom, kde je potrubí umístěno. Zda v zemi, či na povrchu. Pokud je potrubí na povrchu, je situace jednoduchá a metod pro zjišťování kvality povrchu je mnoho. Ultrazvuk, rentgen, speciální zařízení, které vyhodnocuje např. magnetickou nebo ultrazvukovou metodou úbytky materiálu na větší ploše, velmi moderní roboti na posuzování stavu, magnetická zkouška a spousta dalších zařízení a metod, které lze použít.

Jiná situace je u potrubí uloženého v zemi. Zde není možné zmíněné metody použít, protože se k plynovodu nelze jednoduše dostat, zkontrolovat celý jeho povrch atd. Jediná možnost je vpustit do potrubí zařízení, které bude schopné projet daným úsekem, změřit úbytky ve stěně, všechny informace uchovat a následně je předat specialistům, kteří tato data vyhodnotí. Takovéto zařízení se nazývá „inteligentní ježek“ (obr. 1.4) Jde o velmi složité zařízení, k jehož popisu by bylo zapotřebí více prostoru. (Zvídavému čtenáři lze doporučit např. časopis Plyn nebo internet). Po vyhodnocení dat z inteligentního ježka se odkryje přesně dané místo vady, vada se lokalizuje a následně tým expertů rozhodne o způsobu opravy.



Obr. 1.4 Inteligentní ježek

Existují tedy dva typy pístů. Inteligentní ježek a čistící píst. Oba tyto písty (dále jen píst) je nutné do vysokotlakého plynovodu vložit, nechat projet celý daný úsek, cca 100 kilometrů a na konci opět vyjmout z potrubí. A to při natlakovaném plynovodu za přetlaku cca 6,5 MPa.

Zařízení, umožňující vložení a vyjmutí pístu z potrubí se nazývá komora (obr. 1.5). Jde o několik metrů potrubí, které má ale zvětšený průměr a na jehož konci jsou vrata. Jakmile je píst tlakem plynu dotlačen do komory, za pomoci mnoha dalších ovládacích prvků, díky většímu průměru komory se ježek uvolní a plyn začne proudit okolo něj. Tím dojde k jeho úplnému zastavení. Plyn je spolu s nečistotami, které před sebou píst tlačí, postupně odváděn do odlučovače nečistot plynu. To je další velmi důležité zařízení, které zajistí ekologičnost celé akce.



Obr. 1.5 Část potrubního dvora - komora
1 - přijímací komora; 2 - odlučovač nečistot; 3 - zásobník na nečistoty

V odlučovači nečistot plynu dochází k oddělení plynu od pevných a kapalných částic. Tyto částice jsou považovány za toxické a velmi nebezpečné pro přírodu. Proto se s nimi nakládá jako s velmi nebezpečným odpadem. Čistý plyn, který nejde dále přepustit do dalšího potrubí, se vypouští do atmosféry a nečistoty odtékají do zásobníku.

Projetí celého úseku 100 kilometrů trvá za normálních podmínek cca 10 hodin. Celou tuto dobu plyn proudí potrubím dále, do dalšího úseku. Ve chvíli, kdy se píst dostane do těsné blízkosti kulového uzávěru, umístěného na plynovodu před přijímací komorou, uzávěry na plynovodu se přenastaví tak, aby byl píst tlačěn do komory. Od tohoto okamžiku jde plyn s nečistotami, které má píst před sebou, do odlučovače nečistot. Po oddělení nečistot odchází čistý plyn do ovzduší. V okamžiku, kdy se píst dostane do rozšířené části potrubí, komory, dojde k ukončení celé akce. Píst je v komoře, nečistoty v zásobníku a nezbytné množství zemního plynu vypuštěno do atmosféry. Celá akce trvá jednotky minut.

2 Současný stav inovovaného odlučovače

Při čištění plynovodu pomocí pístu je nutno odpouštět plyn z výstupních komor plynovodu a umožňovat tak pohyb pístu, který před sebou tlačí nečistoty do výstupní komory.

Přítom odpuštěný plyn, škrcený z tlaku 6 MPa do tlaku několika barů v přívodu k odlučovači, s sebou nese jak kapalné tak i tuhé nečistoty.

Objem nečistot může při některých čištěních dosáhnout objemu i několika tisíc litrů. Plyn, ve kterém je dominující složkou metan, se při expanzi z tlaku 60 bar do tlaku 1 bar (atmosférický tlak) ochlazuje cca o 36 °C. Nečistoty unášené plynem jsou tudíž podchlazené a jejich konzistence může přecházet od sypkých nečistot, do polotuhých až tuhých usazenin dehtového charakteru.

2.1 Stávající řešení inovovaného technologického zařízení

Uspořádání odlučovače zajišťuje expanzi plynu v expanzním nástavci odlučovače z tlaku několika bar v přívodním potrubí do přetlaku maximálně 0,07 bar v tělese odlučovače. Hodnotou 0,07 bar je zajištěno, že těleso odlučovače je beztlaková nádoba. Tuto hodnotu definuje norma ČSN 690010 [9].

Hrubé nečistoty se oddělí z proudu plynu za expanzním nástavcem, kde dochází ke změně směru proudu plynu, do spodního prostoru pro nečistoty. Prachové a kapalné částice jsou z plynu zachycovány v deskových eliminátorech a padají nebo stékají do spodní části odlučovače a odtud rovněž do spodního prostoru pro nečistoty. Plyn je po průchodu eliminátorem vypouštěn do ovzduší komínem odlučovače.

2.1.1 Význam odlučovače a jeho role

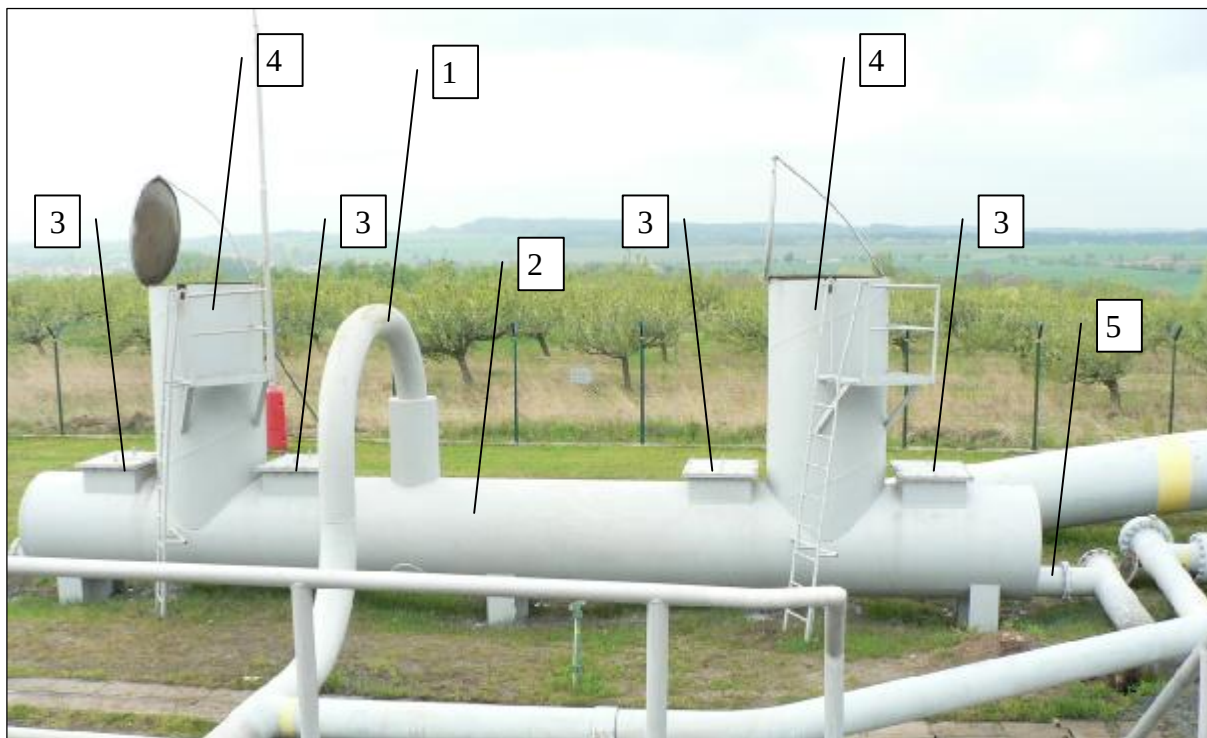
Pokud nenastanou žádné komplikace a vše je dobře připraveno, plní všechna zařízení svojí funkci. Problémy mohou nastat, pokud je potrubí více znečištěné, pokud obsluha není dostatečně zkušená a píst se zastaví ještě před komorou a v mnoha dalších situacích. V tuto chvíli nastává situace, kdy je potřeba zajistit větší rozdíl tlaků před pístem a za pístem a tím uvést píst do pohybu. Pak je do odlučovače pouštěno větší množství plynu, než bylo navrženo při konstrukci. Spolu s plynem proudí do odlučovače také nečistoty, které je potřeba oddělit. Nastává situace, kdy může dojít k porušení podmínky beztlakové nádoby.

2.1.2 Popis konstrukce zařízení

Těleso odlučovače je vyrobeno z ocelové spirálně svařované trubky DN 1200.

Jde o nejrozšířenější typ odlučovače, konstrukčně také nejjednodušší. K oddělení hlavních větších částí nečistot dochází ve střední části tělesa, zbývajících lehčích nečistot, unášených proudem plynu ve formě drobných kapek, v systému eliminátorů.

Na obr. 2.1 je obrázek odlučovače. Plyn vstupuje z přívodního potrubí (1) do střední části válcového tělesa odlučovače (2). Zde naráží do oddělovacích přepážek a dochází k prvnímu oddělení. Odloučené nečistoty stékají do spodní části odlučovače. Zpomalený plyn ve střední části válcové nádoby je rozdělen na čtvrtiny a v horizontálním směru prochází eliminátory (3). Systém eliminátorů je sestaven z usměrňovacích lopat, šikmých lamel a výstupních lamel. Čistý plyn odchází komínou (4) do vzduchu.



Obr. 2.1 Těleso odlučovače

1 - Přívodní potrubí; 2 - těleso odlučovače; 3 - eliminátory; 4 - výfukový komín; 5 - odpadní potrubí

Eliminátory jsou zakryty víkem, které umožní jejich čištění. Detailnější popis eliminátoru není z hlediska práce důležitý, proto nebude dále rozebírán.

2.1.3 Analýza fáze dojezdu čistícího pístu

Dojezd čistícího pístu nebo inteligentního ježka do komory, kde po odtlakování dochází k jeho vyjmutí z potrubního systému, řídí obsluha potrubního dvora postupným a plynulým odpouštěním plynu z prostoru před ježkem. Plyn obsahuje různé množství

prachových a kapalných příměsí. Z prostoru před ježkem je plyn odpouštěn spojovacím potrubím (obvykle) DN 300 do odlučovače nečistot. Vzniklý tlakový spád mezi prostorem před ježkem a prostorem za ježkem má za následek uvedení ježka do pohybu. Tento proces řídí obsluhující pracovníci na základě intenzity hluku generovaného plynem, který proudí z komínu odlučovače ven. Řídící obsluha nemá údaje o tlakových poměrech ve vnitřních objemech odlučovače.

Obsluhující pracovníci reportovali během několika posledních let problémy s odlučováním nečistot ve fázi dojezdu pístu. A to vždy pokud nastaly komplikace způsobené nedostatečně velkým tlakovým spádem, kdy následně došlo při zvyšování tlaku za pístem ke zvýšení tlaku na vstupu odlučovače nečistot a tím i úniku nečistot do ovzduší.

2.1.4 Problematika práce odlučovače

Odlučovač je navržen jako beztlaková nádoba, ve které jsou zabudovány eliminátory. Na jejich povrchu se při průchodu plynu odděluje kapalná fáze obsažená v plynu. Tlak ve vnitřních objemech odlučovače při zvyšujícím se průtoku plynu roste vlivem nárůstu tlakových hydraulických ztrát v jednotlivých částech odlučovače. V extrémních situacích, vznikajících při pohybu ježka v potrubí, je nutno pro udržení rychlosti jeho pohybu zvětšit tlakový rozdíl mezi prostory před a za ježkem dalším otevíráním řídicího kulového uzávěru DN 300. Velikost tlakového rozdílu na přední a zadní straně ježka určuje objemové množství znečištěného plynu, které vytéká z prostoru před ježkem do vnitřního objemu odlučovače. Při určité velikosti objemového průtoku pak může dojít k takovému nárůstu hydraulických odporů v celém odlučovači, že tlak ve vnitřních prostorách odlučovače převyší povolený tlak, jehož hodnota zabezpečuje beztlakový provoz odlučovače.

Druhý případ, který může být příčinou zvýšení tlaku ve vnitřních objemech odlučovače nad povolený tlak zaručující beztlakový provoz odlučovače, je ucpání jeho jednotlivých průtočných částí kapalnými nečistotami s velkou viskozitou. I v tomto případě dochází k nárůstu celkových hydraulických odporů odlučovače nad výpočtovou hodnotu a s tím spojeným růstem tlaku ve vnitřním objemu odlučovače. Při vysokém znečištění průtočných průřezů musí obsluha, aby uvedla píst do pohybu, více otevírat řídicí kulový kohout, který zaručuje potřebný tlakový rozdíl na čistícím pístu. Tímto dochází při zvětšeném průtoku plynu odlučovačem k nárůstu vnitřního přetlaku, který může převýšit povolený přetlak definující beztlakovost odlučovače. Podobně jako v předešlém případě je proces

čištění řízen obsluhou jen na základě zkušeností ze sluchových vjemů z hluku plynu vycházejícího z komínu odlučovače.

2.1.5 Klady a zápory v současnosti používaného řešení

Stabilní horizontální odlučovač nečistot slouží k čištění zemního plynu, odcházejícího z potrubí do atmosféry, při pravidelné či náhodné údržbě potrubí za účelem zvýšení bezpečnosti provozu přepravy zemního plynu tímto potrubím. Odlučovač je napevno přivařen k potrubí a není možné jej přemístit na jiné místo.

Výhodou je jeho jednoduchost konstrukce, dlouhá životnost a až na výjimečné stavy bezproblémový provoz a zajištěné procento odloučení nečistot od zemního plynu. Konstrukce umožňuje rovněž bezproblémové vyčištění, což je velmi důležité z hlediska opakovaného provozování a z hlediska nákladů s tím spojených.

Problémem je ovšem stav, kdy dojde ke zvýšení tlaku v potrubí za ježkem. Tím dojde také ke zvýšení tlaku v přívodním potrubí do odlučovače. Odlučovač není konstruován na práci s přetlakem větším než 0,07 MPa. Hrozí poškození či roztrhnutí pláště odlučovače a rovněž je snížena účinnost odlučování nečistot. Obsluhující personál se nachází v bezprostředním okolí odlučovače a hrozící nebezpečí roztržení odlučovače není přípustné.

2.2 Potřeba inovace - shrnutí a další možnosti

Důvodem studie tohoto problému je vzrůstající tlak na ekologii provozu, neustálé monitorování situace unikajících zplodin do ovzduší, bezpečnost provozu a především práce personálu. Bezpečnost plynárenských zařízení popisují mnohé zákony a technické předpisy, ale i firma klade na bezpečnost velmi velký důraz. V tomto směru jsou zákonem předepsané normy mnohem mírnější, než vnitřní nařízení firmy.

Jak bylo popsáno v odstavci 2.1.3, problémové jsou krizové stavy, jejichž následkem je úniku škodlivin do ovzduší spolu se zemním plynem. Tímto dochází nejen k poškozování okolního prostředí, což způsobuje nemalé vedlejší náklady na likvidaci škod, ale především je ohrožena bezpečnost celého systému a obsluhujícího personálu.

V případě, že dojde ke zvýšení tlaku uvnitř beztlakého odlučovače, hrozí narušení kompaktnosti pláště, přívodního potrubí, uvolnění nebo utržení vnitřních součástí odlučovacích membrán a další. Mechanická poškození mohou vést nejen k poškození dalších součástí, ale mohlo by dojít k přeskočení jiskry, která by mohla způsobit výbuch. Zemní plyn

je se vzduchem extrémně výbušné médium. Výbuch na potrubním dvoře, kde se plyn vyskytuje i v okolních potrubích je velký problém. V ohrožení je spousta životů.

Ojedinelý problém nemusí zákonitě znamenat vznik rizika, vyjmenované případy byly krajními, ale riziko je třeba předpokládat a počítat s ním. Pak je možné jej eliminovat. Je zde markantní potřeba změny - inovace. Proto bude v dalších částech problém diskutován a rozebrán za pomoci moderačních technik inovačních metod a bude nalezeno opatření k eliminaci rizika.

3 Inovační záměr a výběr varianty

Definovat pojem inovace nelze zcela jednoznačně. Dnes, mnohem více než před sto lety, je kladen důraz na finanční stránku. Minimalizovat náklady, maximalizovat zisk. Pro dnešní moderní dobu zcela jasné omezení.

Bohužel někdy na úkor kvality. Inovace je z pravidla výsledkem lidské kreativity, přičemž základní charakteristikou je její podnikatelské využití. Inovace musí vždy zákazníkovi nabídnout vyšší hodnotu [3].

Proces inovace je potřeba systematicky plánovat a řídit. K usnadnění tohoto procesu můžeme využít specifických metod a postupů inovačního inženýrství, které celý proces zrychlí a zefektivní. Plánovací proces začíná sestavením harmonogramu (alespoň rámcového), identifikací inovačních příležitostí, které jsou založeny na diskuzi se zákazníkem (v našem případě pracovníky), rozboru již známých a používaných řešení, jejich hodnocením a výběrem nejvhodnější varianty, která se dále rozpracuje. Důležité je průběžně kontrolovat plnění daných bodů a termínů, to bude dále vysvětleno v kapitole 3.2.

V předchozí kapitole byly diskutovány problémy, které by bylo možné zlepšit. Za nejzávažnější je považována snížená bezpečnost personálu. Nebezpečí přetlakování beztlakově zkonstruované nádoby odlučovače se jeví jako prioritní potřeba, proto byl tento problém vybrán jako stěžejní a bude pro něj dále proveden návrh inovace odlučovače.

3.1 Inovační záměr

Odlučovač nečistot by měl být doplněn nebo upraven takovým způsobem, aby nemohlo dojít ke zvýšení tlaku uvnitř tohoto odlučovače a tím k ohrožení bezpečnosti přítomných pracovníků. Měly by být zachovány jeho současné provozní vlastnosti, schopnost

odlučování nečistot, zásadně by ani nemělo dojít k nárůstu hmotnosti sestavy. Vlastní provedení inovace se předpokládá co nejjednodušší a dosažení tak nízkých nákladů. Montáž musí být jednoduše realizovatelná a rovněž demontovatelná pro potřeby pravidelné údržby. Použití recyklovatelných a ekologicky šetrných materiálů je rovněž vítáno.

Úspěšný inovovaný prvek by bylo vhodné otestovat a při splnění všech bezpečnostních předpokladů by byla inovace následně realizována.

3.2 Harmonogram činností

Přípravy projektu inovace odlučovače vznikly již v minulém roce, kdy vedení firmy poprvé obdrželo od pracovníků provozu námět na prověření správné funkce odlučovače. Studie problému s návrhem řešení by měla proběhnout do konce roku 2010. Na jejím základě by pak následovala implementace navrhnutého opatření.

Práce na projektu byla rozvržena do několika fází:

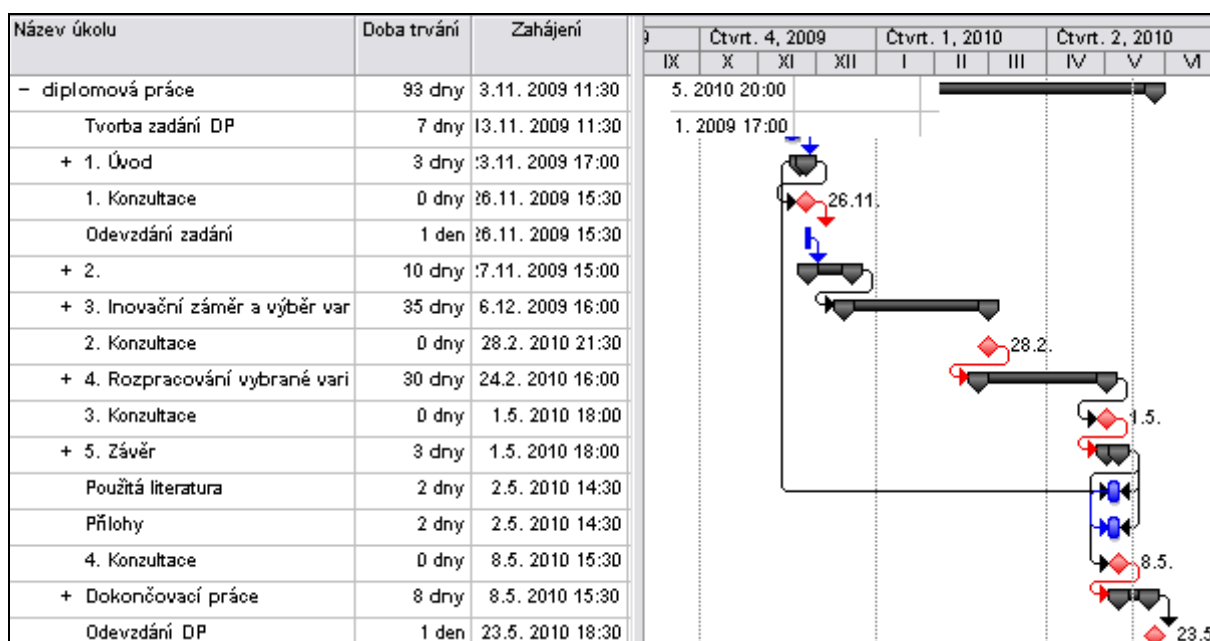
- Analýza současného stavu
- Hodnocení vlastností současného řešení
- Plánování inovace
- Analýza možných řešení
- Identifikace zákaznických potřeb
- Konstrukční návrhy
- Výběr vhodného řešení
- Rozpracování vybrané varianty
- Zhodnocení přínosu zvolené inovace

Pro řízení projektu byl využit software MS Project určen především pro plánování projektů. S jeho pomocí bude vytvořen plán projektu, bude sledováno jeho plnění, je možné v případě potřeby provést i přeplánování projektu. Byly vyhotoveny dvě verze plánu projektu. Obr. 3.1 ukazuje zkrácenou verzi vybraného harmonogramu, nezkrácenou verzi najdeme v příloze. K projektu je také možno v tomto programu přiřadit jiné projekty a kapacity a tím zajistit rovnoměrnou vytíženost pracovníků.

Struktura harmonogramu odpovídá kapitolám diplomové práce. Projekt začíná volbou počátečního nebo koncové data. Byl zvolen postup od konce, tzn. od data odevzdání diplomové práce. Tento datum byl přednastaven pro celý plán. Pokud nějaký úkol přesáhne

toto datum, uživatel je informován. Dále byl nastaven kalendář, tzn. pracovní fond. Za pracovní byly zvoleny středa, sobota a neděle. Tedy tři dny v týdnu. Doba trvání úkolů byla jednotně udávána po celých dnech. Naplánovány byly také dvě dovolené. Datum zahájení projektu bylo postupně dopočítáno podle náročnosti jednotlivých úkolů a jejich propojení.

Postup tvorby harmonogramu byl následující: Po zvolení data dokončení byly sepsány hlavní úkoly. Kapitoly 1 až 5 s vnořenými podkapitolami. Pak byly dopsány body jako tvorba přehledu literatury a další. Byly vytvořeny milníky, které znamenaly jednotlivé konzultace DP. Posledním bodem bylo odevzdání diplomové práce, označeno jako milník. Milník je bod s nulovou délkou trvání a byl využíván k označení dokončení souhrnného úkolu.



Obr. 3.1 Zkrácený harmonogram

Harmonogram je zobrazen do 2. úrovně. Kompletní harmonogram viz Příloha č. 1 - Časový plán projektu

Následovalo logické propojení jednotlivých úkolů. V některých případech bylo využito možnosti v předstihu začít pracovat na dalším úkolu, což je v harmonogramu znázorněno např. úkolem 4.4. Cílové datum bylo 28.5.2010. Ze zadaných potřebných dní na jednotlivé úkoly vyšel začátek projektu na 10.11.2010.

3.3 Identifikace zákaznických potřeb

Základem inovace je potřeba. Předpokladem jejího úspěchu je vytvoření informačního kanálu mezi managementem a členy inovačního týmu, kteří bezprostředně ovlivňují

charakteristiku výrobku, a vlastním zákazníkem. Je dobré seznámit se s výrobkem, jeho používáním a ovládáním. Jen tak může být objeveno skutečné inovační řešení.

Cílem metod zaměřených na identifikaci zákaznických potřeb je zejména [3]:

- identifikovat a zaznamenat skryté a zřejmé potřeby zákazníků
- zajistit, že nebude opomenuta žádná zásadní potřeba
- umožnit ověření vazby mezi potřebami a charakteristikami výrobku
- usnadnit manažerům a členům inovačního týmu porozumět potřebám jednotlivým potřebám zákazníků

S přispěním moderačních technik byly získány nejdůležitější poznatky. Bylo využito především „interview“ s pracovníky obsluhy liniové části přímo na jejich pracovišti, „pozorování pracovníků“ při konání obslužných a manipulačních prací a „moderované diskuze“ s manažery procesu a vedoucími pracovníky. Jako největší problém moderované diskuze se ukázala zásada definovat potřebu, nikoli snažit se formulovat řešení. Účastníky bylo nutné seznámit s pravidly diskuze a cíli práce. Po zapsání jednotlivých vyjádření, byli účastníci rovněž zapojeni do samotné interpretace potřeb. Mezi hlavní pravidla interpretace patřilo:

- vyjadřovat potřeby co možná nejdetailněji
- používat jen pozitivní formulace
- popisovat vlastnosti nikoli řešení
- a další

Tento přístup byl pro účastníky zcela jiný než doposud. S moderními metodami vedení diskuze se zatím nesetkali. Výsledkem byl souhrnný zápis, z něhož byl dále vytvořen afinní diagram. Tab. 3.1 ukazuje výtah zápisu.

Tab. 3.1 Tabulka s interpretovanými potřebami zákazníka

Otázka	Vyjádření zákazníka	Interpretace potřeby
Má současné provedení odlučovače stále reálné využití?	- odloučení nečistot plynu - odpuštění plynu z komory - přitahování pístu - opakované zachycení nečistot	- čistý plyn - komora bez tlaku - regulace průtoku - čistý odlučovač
Má současné provedení odlučovače nějaké dobré vlastnosti?	- masivní provedení - možnost čištění komory	- silnostěnný materiál - čistá komora
Jaké jsou záporné vlastnosti současného provedení odlučovače?	- špatný přístup k nečistotám - nemožnost dobře/přesně nastavit průtok plynu - obtížné zajištění beztlakého režimu práce odlučovače - zanášení potrubí a změna hluku pro regulaci průtoku - nebezpečí přetlakování	- rozebíratelné provedení - monitorování průtoku v reálném čase - snímač tlaku v odlučovači - snímač průtoku - regulačně bezpečnostní prvek
Jaká navrhujete opatření pro zlepšení současné funkce?	- chybí bezpečnostní prvek zajišťující beztlaký odlučovač - možná nějaký regulátor tlaku - doplnit snímač tlaku	- přetlaková ochrana odlučovače nečistot - dálkové ovládání KU - snímač tlaku

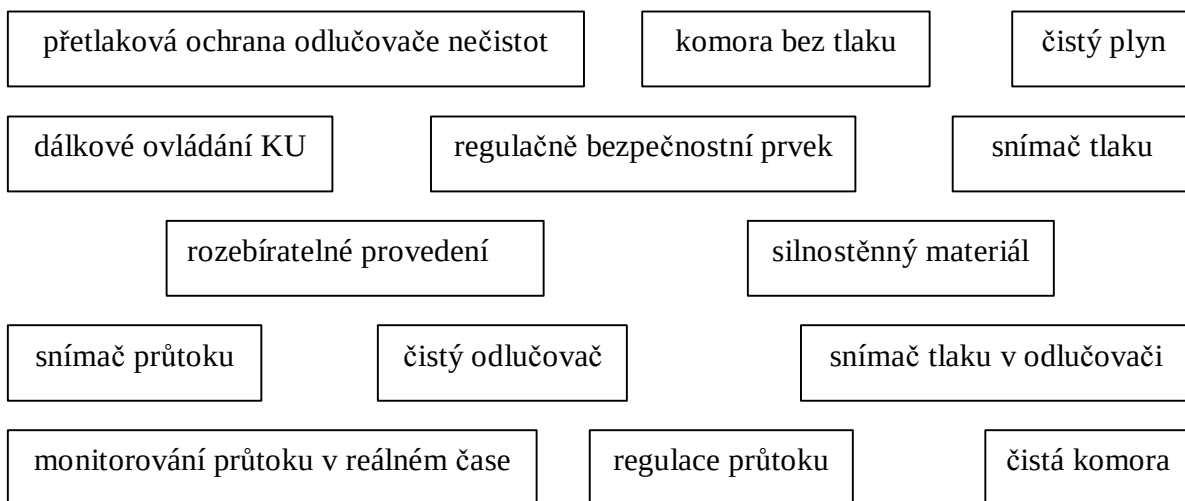
3.3.1 Afinní diagram

Pracovní skupina (tým) by měla se získanými body dále pracovat, aby byly myšlenky logicky uspořádány. K efektivnímu využití získaných nápadů bude dále pracováno s nástroji, vhodnými pro třídění vygenerovaných myšlenek.

K možným nástrojům patří např. afinní diagram, stromový diagram, relační diagram, maticový diagram a další.

Skupinou byl zvolen afinní diagram. Tvorba spočívala ve čtyřech krocích, které jsou dále uvedeny.

Krok 1 - Získané interpretované potřeby



Krok 2 - První logické uspořádání potřeb

komora bez tlaku regulace průtoku snímač průtoku monitorování průtoku v reálném čase snímač tlaku v odlučovači dálkové ovládání KU	silnostěnný materiál čistá komora rozebíratelné provedení přetlaková ochrana odlučovače nečistot snímač tlaku	čistý plyn čistý odlučovač regulačně bezpečnostní prvek
---	---	---



Krok 3 - Logické přeuspořádání potřeb

dokonalá čistota plynu	přesná regulace průtoku	pevnost konstrukce odlučovače	bezpečnost provedení
čistý plyn	komora bez tlaku	silnostěnný materiál	snímač tlaku
čistý odlučovač	snímač průtoku	rozebíratelné provedení	přetlaková ochrana odlučovače nečistot
čistá komora	dálkové ovládání KU		
regulace průtoku	regulačně bezpečnostní prvek		
snímač tlaku v odlučovači	monitorování průtoku v reálném čase		



Krok 4 - Výsledné logické uspořádání potřeb

čistota	bezpečnost
čistá komora	dálkové ovládání KU
čistý odlučovač	komora bez tlaku
čistý plyn	přetlaková ochrana odlučovače nečistot
monitorování průtoku v reálném čase	regulačně bezpečnostní prvek
regulace průtoku	silnostěnný materiál
rozebíratelné provedení	snímač tlaku v odlučovači
snímač průtoku	
snímač tlaku	

Obr. 3.2 Afinní diagram

Jak se ukázalo, šlo o vhodný nástroj. Skupina dokázala v logickém sledu zachytit témata, která se v průběhu brainstormingu vyvinula. Byly využity moderační techniky a pomůcky jako tabule, lepící barevné papíry a postupně docházelo k třídění do skupin (viz obr. 3.2).

S výsledkem byl pracovní tým spokojen. Nevýhodou této metody je, že výsledný afinní diagram neposkytuje dostatek informací o relativním významu jednotlivých potřeb, který je důležitý pro dělání nutných kompromisů.

3.3.2 Relativní významnost požadavků

Při zohlednění relativní důležitosti každé jedné potřeby můžeme postupovat opět několika způsoby. Nabízí se dohoda členů inovačního týmu nebo další průzkum.

Zvolený inovační tým je složen z odborníků, proto byla zvolena první možnost. Tým si byl také vědom časové náročnosti a dalších nákladů druhé varianty.

Na začátek bylo nutné dohodnout škálu významnosti. Bylo zvoleno pěti stupňové hodnocení 1 až 5, kde pět znamená nejvyšší prioritu. Popis škály je následující:

- 1 - tato vlastnost je pro mě nepřijatelná
- 2 - tato vlastnost pro mne není zajímavá, ale nevadí mi
- 3 - tato vlastnost je zajímavá, výrobek by ji mohl mít
- 4 - velmi důležitá vlastnost, výrobek by ji měl mít
- 5 - kritická vlastnost, výrobek ji musí mít

Z důvodu časové tísně a rozdílnosti pohledů bylo zvoleno individuální hodnocení. Každý člen týmu ohodnotil jednotlivé potřeby na rozdané karty. Ty byly vybrány a během přestávky byly spočteny průměry a výsledek zaokrouhlen na celé číslo.

V následující Tab. 3.2 je uvedeno výsledné bodové hodnocení jednotlivých potřeb. Dále do tabulky přibyla potřeba č. 15 - minimální náklady. Tato potřeba nebyla dříve uváděna, ač byla diskutována hned v počátcích. Každý člen týmu měl stále na paměti, že pokud se dostanou na extrémně vysoké finanční náklady, nebude projekt schválen a realizován. Vzhledem k velkému počtu odlučovačů (cca 20), byly předpokládány nemalé náklady.

Tab. 3.2 Relativní významnost požadavků

Poř. č.	Potřeba	Relativní důležitost
1	čistá komora	4
2	čistý odlučovač	3
3	čistý plyn	4
4	monitorování průtoku v reálném čase	2
5	regulace průtoku	4
6	rozebíratelné provedení	3
7	snímač průtoku	2
8	snímač tlaku	3
9	dálkové ovládání KU	2

10	komora bez tlaku	5
11	přetlaková ochrana odlučovače nečistot	5
12	regulačně bezpečnostní prvek	5
13	silnostěnný materiál	2
14	snímač tlaku v odlučovači	4
15	Minimální náklady	5

Výsledkem této části projektu je získání přehledu potřeb a jejich ohodnocení. Relativně nejdůležitější vyšla potřeba „Komory bez tlaku“, „Přetlakové ochrany odlučovače nečistot“ a „Regulačně bezpečnostního prvku“. Všechny uvedené potřeby jsou z dříve uvedené skupiny afinního diagramu „Bezpečnost“. Je patrné, že členům týmu jde především o zlepšení bezpečnosti práce odlučovače. Potřeba „komory bez tlaku“ bude splněna, pokud se podaří plyn odpustit skrz odlučovač. Tedy pokud by byla splněna potřeba bezpečnostního prvku, bude automaticky splněna i potřeba prvá.

3.4 Hledání již známých řešení

Správné volbě konceptu inovace musí předcházet průzkum trhu a konkurence. Jde o přirozeně levnější a rychlejší krok než kreativní hledání zcela nových řešení. Nalezení případných řešení by mělo inovačnímu týmu ušetřit energii, kterou by měl soustředit na následující kreativní řešení kritických problémů.

Ověření již ověřených technologií má úzkou souvislost s TPS (Toyota Production System), kde jedna z nejdůležitějších zásad praví: „Užívejte pouze důkladně prověřených technologií, které prospívají lidem i procesům“ [19].

Principiálně je hledání známých řešení založeno na použití některé z možných metod. Lze využít např.:

- Interview se zkušenými uživateli
- Diskuse se spolupracovníky
- Konzultace řešení s experty v daném odvětví
- Průzkum patentového úřadu
- Studium odborné literatury
- Reverzní inženýrství
- Analýza příbuzných výrobků

- Průzkum internetu
- A další

Tranzitní plynovody spadají do velmi specifické oblasti, kde se těžko hledá nabídka trhu na jakékoli zařízení. Konkurenti v České republice nejsou, ale okolní země by mohly podobné řešení vlastnit.

Tento problém nebyl v naší zemi zatím řešen. V okolních zemích používají odlišný způsob čištění plynu a mají jiný pracovní postup. Díky dlouholeté tradici plynárenství má Česká republika oproti okolním zemím tu výhodu, že má několik typů zařízení, dlouhodobou spolupráci s technickými univerzitami a další projekty, které nebyly z rozličných důvodů realizovány. Z toho lze dnes s výhodou čerpat podněty, které mohou pomoci inovačnímu procesu.

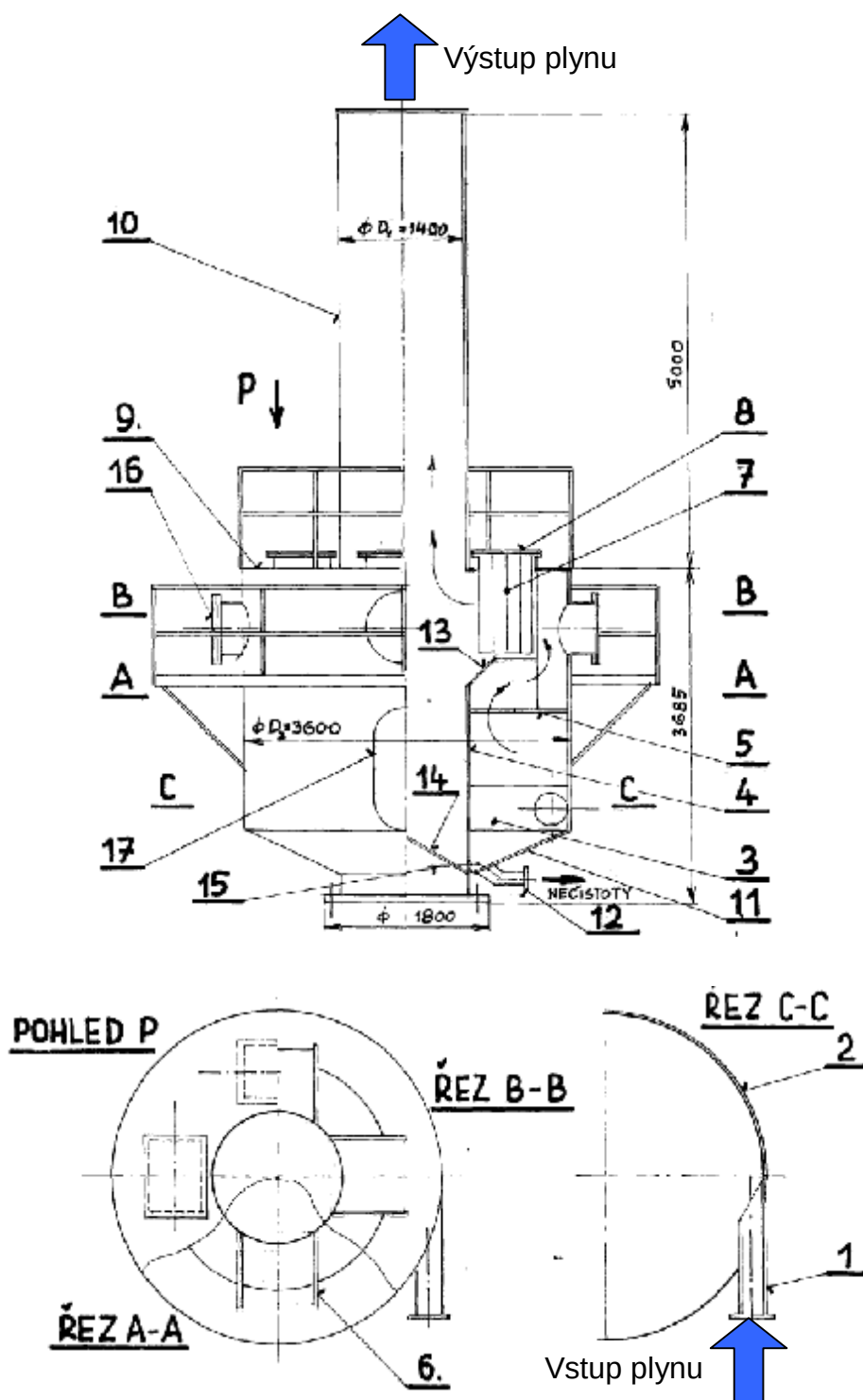
Pro najetí nejlepšího řešení problému je důležité nesoustředit se pouze na jeden daný směr a hledat možnosti všude. Proto nebyl žádný z návrhů ztracen, všechny byly diskutovány.

3.4.1 Vertikální odlučovač - varianta 1

Konstrukčně jde o nejmodernější a nejmladší typ používaného odlučovače. Funkce je založena na využití principu oddělení hlavní části nečistot v cyklónové části zařízení a zbývajících částí nečistot, unášené proudem plynu ve formě drobných kapek, v systému eliminátorů.

Na obr. 3.3 je konstrukční schéma uspořádání vertikálního odlučovače. Plyn vstupuje do odlučovače tangenciálně umístěným vstupem (1), do dolní části válcového tělesa odlučovače (3). Rotující plyn v dolní části válcové nádoby přechází do horní části válcové nádoby mezikružím mezi vnitřní rourou (4) a vnitřním průměrem mezistěny (5) mezi stěnami (6), které zastavují rotaci plynu. Stěny (6) vytvářejí zároveň prostor pro umístění systému eliminátoru (7). Systém eliminátoru je sestaven z usměrňovacích lopat, šikmých lamel a výstupních lamel.

Lopaty i lamely jsou přivařeny k hornímu víku eliminátoru (8), v dolní části jsou spojeny přivařeným pásem a výztuhami. Kondenzát odstředěný v cyklónové části odlučovače stéká po kuželovém dnu válcového tělesa odlučovače (11) do výstupního hrdla nečistot (12).



Obr. 3.3 Vertikální odlučovač

Výhodou tohoto odlučovače je dobrá účinnost odloučení nečistot a provozní spolehlivost. Složitost konstrukce zapříčiňuje jeho vysokou cenu. Vertikální odlučovače byly navrženy pro dimenzi potrubí 1000 mm. Použití pro jiné dimenze by vyžadovalo další úpravy.

Např. zvětšení průměru tělesa odlučovače, zvětšení průtočné plochy eliminátorů a další nákladné úpravy.

Problém s bezpečností proti přetlakování odlučovače zde není nijak vyřešen. Spoléhá se na zkušenost obsluhy a robustnost konstrukce. Tento odlučovač je trvale umístěn v objektu potrubního dvora. Přívodní potrubí bylo při realizaci osazeno snímačem tlaku a regulace průtoku plynu z plynovodu do odlučovače probíhá pomocí elektronických regulátorů.

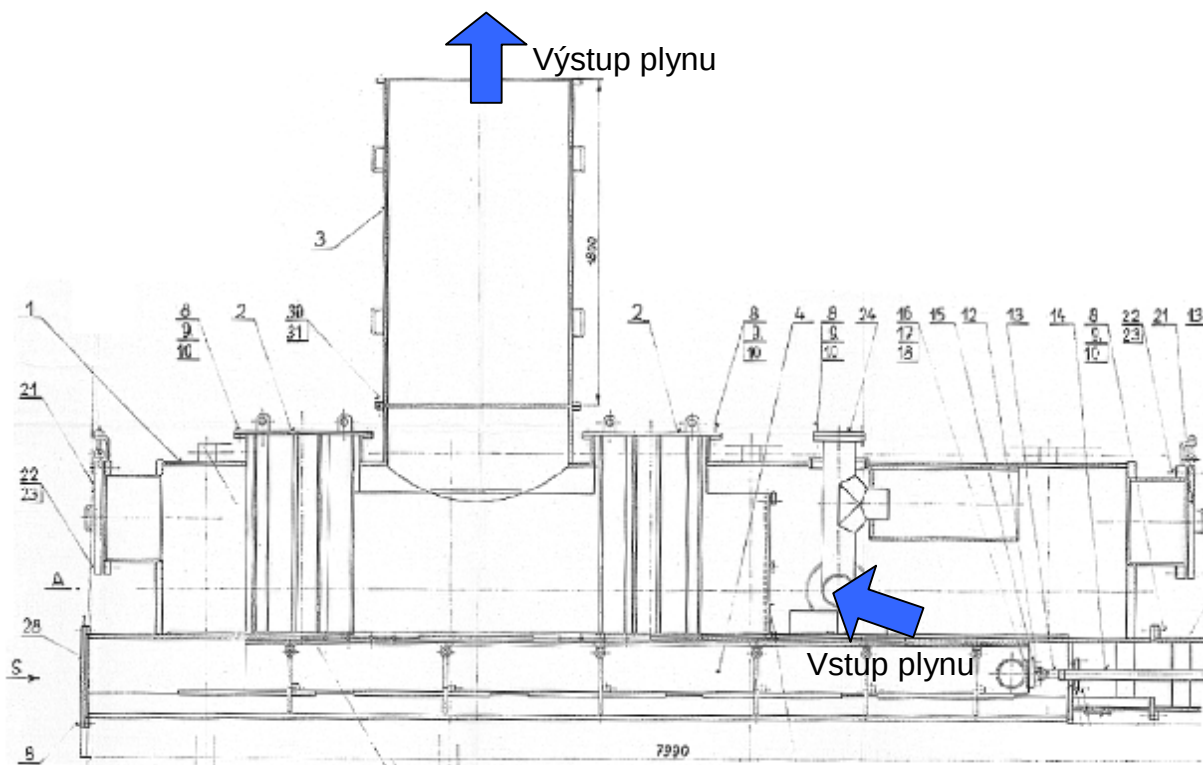
3.4.2 Mobilní odlučovač - varianta 2

Další možné řešení bylo spatřeno v mobilním odlučovači nečistot. Na obr. 3.4 je schéma mobilního odlučovače, který se v současné době používá jako alternativa stacionárních horizontálních odlučovačů. Použití není pravidelné, je dáno aktuálními potřebami.

Vnitřní konstrukce a princip funkce jsou podobné jako u předchozího typu, proto se jí nebudeme detailněji zabývat. Chybí cyklónová část, která je nahrazena deskovými eliminátory.

Odlučovač je konstruován pro plynovody do dimenze 700 mm. Je mobilní za pomoci jeřábu a návěsu. Při přepravě má maximální rozměry: šířka 2,5 m, výška 4,0 m, délka 8 m, hmotnost 34 tun s plnou nádrží nečistot.

Hrubé nečistoty sedimentují z proudu plynu za expanzním nástavcem (vstupní T kus) do spodního prostoru pro nečistoty. Prachové a kapalné částice nečistot jsou z plynu zachycovány v deskových eliminátorech a padají nebo stékají do spodní části odlučovače a do spodního prostoru pro nečistoty. Plyn je po průchodu eliminátory vypouštěn do ovzduší.



Obr. 3.4 Mobilní odlučovač
Odlučovač je znázorněn bez svařence kontejneru.

Mobilní odlučovač je konstruován na odlučování jak kapalných, tak sypkých nečistot. Kapalné nečistoty jsou odlučovány s účinností 90 %, sypké pak s 85% účinností. Náklady na pořízení jsou vysoké. Manipulace se zařízením vyžaduje speciální manipulační techniku. Tento odlučovač není možné použít pro průměry plynovodu větší než 700 mm a tím je jeho použití také velmi omezeno.

Odlučovač by mohl posloužit jako vzor pro konstrukci mobilního odlučovače pro dimenze nad 700 mm. Výhodou odlučovače je jeho mobilita a možnost používání na více místech. Expanze je řešena v expanzním nástavci avšak jak bylo napsáno, pouze pro malé dimenze. Pro větší dimenze je potřeba větší tlakový spád a při použití stávajícího řešení by zde také bylo riziko přetlakování.

3.5 Kreativní řešení

Vedle již existujících řešení byla hledána další řešení. Nalezená existující řešení pomohla nasměrovat tým k hledání nejlepšího řešení. Tým byl složen z jednotlivců zastupujících různé útvary. Každý člen týmu je specialista. Hlavní výhoda týmu byla

produktivita, která je v případě práce v týmu vždy větší než produktivita jednotlivce. Tým byl sestaven na dobu určitou a to s cílem navrhnout inovaci odlučovače.

Kreativní řešení je založeno na vlastních znalostech, schopnostech a zkušenostech členů inovačního týmu. Pro efektivní proces kreativního a inovačního řešení problémů bylo použito následující desatero [3]:

1. nejdříve divergujte (hledejte více řešení problémů)
2. zpožd'ujte posuzování návrhů (konvergence)
3. dbejte na kvalitu návrhů
4. podporujte vznik námětů, které se zdají být absurdní
5. kreslete a skicujte, jak je to jenom možné
6. využívejte celé spektrum metod, podporujících kreativitu
7. střídejte práci v týmu s individuální prací
8. studujte příbuzné problémy v jiném odvětví či v přírodě
9. využívejte metody průmyslové moderace
10. využívejte pomůcky a fyzikální modely

Práce týmu byla časově omezena na jedno dopoledne. Proto bylo nutné rozvrhnout tento čas. Na nástěnnou tabuli bylo napsáno téma pro kreativní řešení „Zajištění beztlakového odlučovače“, aby jej měl každý neustále na očích. Dále byl rozdělen čas do pěti bloků s přestávkami. V prvním bloku pracovali členové týmu samostatně. Cílem bylo vymyslet minimálně pět možností řešení. Další blok byl zaměřen na diskuzi případných dotazů, protože každý člen je úzce specializovaný odborník. Následně byly návrhy vybrány a sepsány na druhou tabuli.

V dalším bloku byla postupně vedena diskuze nad každým řešením. Z celkového počtu 7 námětů bylo pět zhodnoceno jako možných. Předposledním krokem bylo kreslení skic. Výsledné skici byly umístěny na poslední tabuli. Následovala přestávka, při které se již začalo diskutovat o jednotlivých variantách. Inovační skupina diskuzí vyřadila několik řešení, zůstalo sedm skic, z nichž vznikla dvě řešení, která budou dále představena jako další dvě varianty.

Výsledkem týmové práce byla shoda a odsouhlasení daných návrhů. Tímto byl ušetřen cenný čas potřebný na schvalování jednotlivci a realizaci připomínek. Výsledky budou dále popsány.

3.5.1 Metoda TRIZ

Metoda TRIZ je další možný nástroj napomáhající vzniku nových nápadů. Skrývá souhrn nástrojů pro generování inovačních myšlenek a řešení. Nejde o kreativní techniku, jako Brainstorming, ale o využití určitých algoritmů, předem definované matice tabulky a zobecněný postup. Tato metoda nám umožňuje odstranit psychologickou setrvačnost pohledu. Na začátku je nutné definovat technický nebo fyzikální konflikt. Tedy co je nutné změnit. Výsledkem jsou odpovědi na tři základní otázky „Co?“, „Proč?“ a „Jak“. Tab. 3.3 ukazuje část matice vystihující naše potřeby a konflikty.

Tab. 3.3 Část matice TRIZ

	Co se nepřípustně zhoršuje?			
Co je nutné změnit?		2. Hmotnost nepohyblivého objektu	8. Objem nepohyblivého objektu	37. Složitost kontroly a měření
	11. Napětí a tlak		35, 24	2, 36, 37
	14. Pevnost	1, 8, 40, 15		

Byly vybrány dva konkrétní rozpory: „Napětí a tlak“ a „Ztráta látky“. K rozporům byly přiřazeny zhoršující se vlastnosti následovně:

Fyzikální konflikt „11 - 8“ nastane v případě, kdy chceme zmenšit tlak v tělese odlučovače nečistot (zlepšení), což při standardním řešení přinese zvětšení objemu odlučovače (zhoršení).

Fyzikální konflikt „11 - 37“ nastane ve stejném případě jako předchozí, tentokrát ale standardní řešení vyžaduje zavést důmyslnější kontrolu a měření látky a tlaku v odlučovači.

Fyzikální konflikt „14 - 2“ nastane v případě, kdy chceme zvýšit pevnost tělesa odlučovače, což při standardním řešení přinese zvýšení hmotnosti.

Pomocí matice standardních řešení byly pro fyzikální konflikt „11 - 8“ nalezeny následující směry řešení:

- Inovační princip č. 35 - Princip změny fyzikálně chemických parametrů objektu

Tento princip zahrnuje nejen jednoduché přechody, např. z tuhého stavu do tekutého, ale i přechody k pseudostavům (pseudokapalina) a k dočasným stavům, např. využívání elastických tvrdých předmětů.

a) změnit agregátní sestavení objektu

b) změnit koncentraci nebo konzistenci

c) změnit stupeň elastičnosti

d) změnit teplotu

- Inovační princip č. 24 - Princip prostředníka

a) využít dočasný objekt pro přenos působení

b) dočasně k objektu připojit jiný, lehce odlučitelný, objekt

Dále byly nalezeny pro fyzikální konflikt „11 - 37“ tyto směry řešení:

- Inovační princip č. 2 - Princip oddělení
- Inovační princip č. 36 - Princip využití přechodů mezi fázemi
- Inovační princip č. 37 - Princip využití tepelné roztažnosti

Pro fyzikální konflikt „14 - 2“ tyto směry řešení:

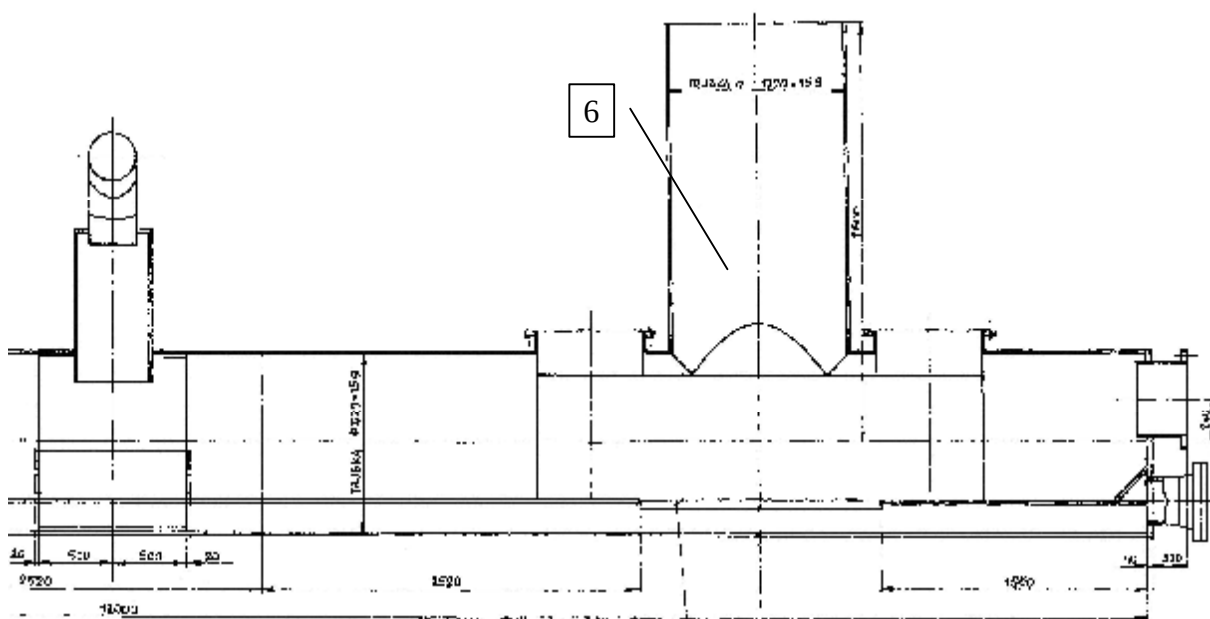
- Inovační princip č. 1 - Princip drobení
- Inovační princip č. 8 - Princip antitíže
- Inovační princip č. 40 - Princip použití kompozitních materiálů
- Inovační princip č. 15 - Princip dynamičnosti

Je patrné, že ne všechna navrhovaná řešení jsou pro náš problém vhodná. Ale např. v inovačním principu 24 můžeme vidět již navrhované řešení pomocí mobilního odlučovače. Princip 15 vede k dynamické změně velikosti v závislosti na průtoku. Všechny navrhované inovační principy byly důkladně prostudovány a s jejich pomocí vznikly navrhované varianty, které jsou dále popsány.

3.5.2 Zabudování bezpečnostních membrán - varianta 3

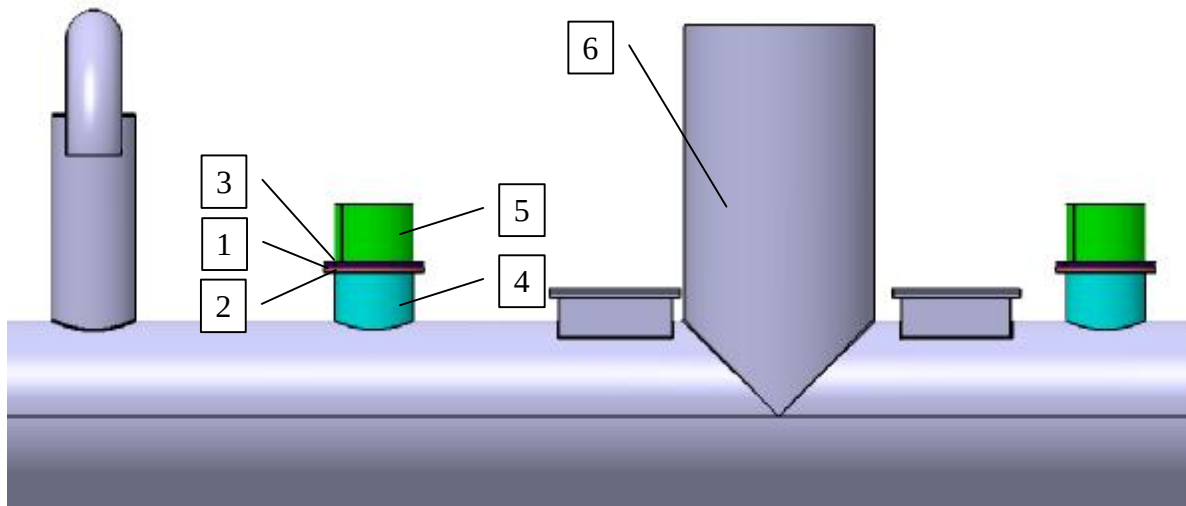
Tato varianta spočívá v úpravě současného tělesa odlučovače (viz obr. 3.5). Z důvodu zajištění beztlakového režimu práce odlučovače budou do pláště tělesa odlučovače zabudovány tři průchody tvořené trubkou o průměru 508 mm, síle stěny 8 mm. Nové úpravy jsou znázorněny na obr. 3.6. Průchody - pozice 4 jsou opatřeny přírubami DN 500, PN 6 - pozice 2 a 3. Mezi přírubami bude umístěna pojišťovací membrána - pozice 1. Stávající těleso je pozice 6. Tři průchody byly zvoleny z důvodu pokrytí celého odlučovače. Separátory rozdělují těleso na tři části. Tlak v nich by měl být stejný, jsou propojené, ale v případě náhlého zanesení jednoho eliminátoru je dobré, aby v jeho těsné blízkosti byl pojistný prvek., který by dokázal okamžitě zareagovat. V případě vzniku přetlaku v tělese pozvolným nárůstem, by reagovaly všechny membrány najednou. Větším počtem membrán je také zvětšena uvolňovací plocha.

Pojišťovací membrána bude vyrobena z hliníkového plechu průměru $\varnothing 570$ mm. Síla membrány bude navržena podle dovoleného přetlaku a zvoleného materiálu.



Obr. 3.5 Odlučovač nečistot - stávající provedení
6 - těleso odlučovače

Z důvodu názornosti byl obrázek stávajícího provedení a návrh nového provedení umístěny pod sebe.



Obr. 3.6 Odlučovač nečistot osazen bezpečnostními membránami
Zobrazena poloviční část odlučovače. 1 - membrána; 2, 3 - příruba DN 500; 4, 5 - trubka Ø 508 mm; 6 - původní těleso odlučovače

Tímto způsobem lze použít stávající odlučovače, upravit je navrženými změnami a dále používat bez většího zásahu do potrubního dvora. Současně dojde k ušetření nemalých prostředků za kompletní renovaci odlučovačů a části potrubního dvora s tím spojenou.

Úprava odlučovače splní nejdůležitější požadavek, kterým je zachování bezpečnosti provozu a obsluhy. Není zde zlepšena regulace průtoku plynu odlučovačem - řízení režimu odpouštění plynu. Výhodou je rovněž jednoduchost navržených úprav a jednoduchá údržba. Účinnost odlučování nečistot zůstane zachována.

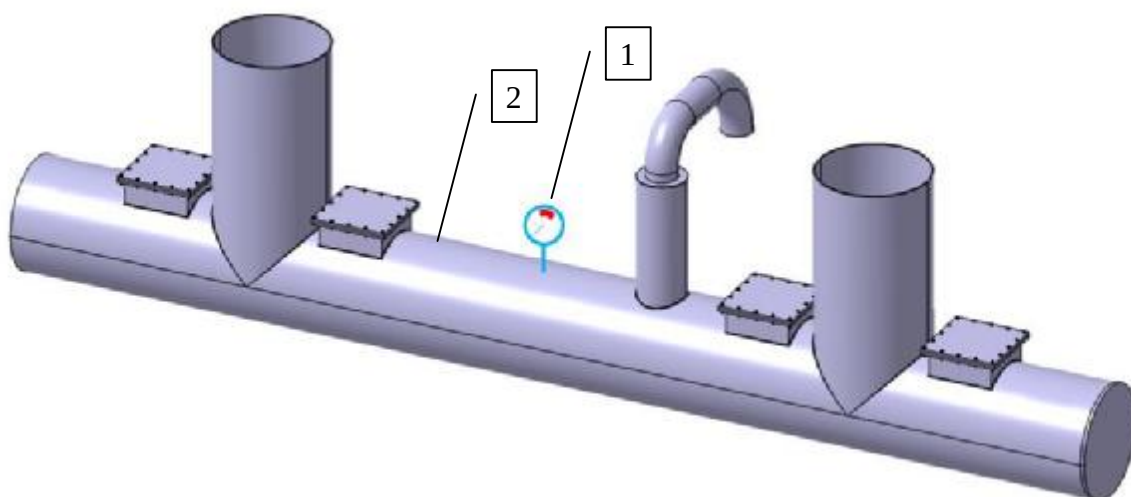
3.5.3 Změna řízení průtoku plynu odlučovačem - varianta 4

Druhá varianta navrhuje rovněž úpravu stávajícího odlučovače nečistot zemního plynu. Beztlakový režim odlučovače bude řízen na základě snímání hodnoty statického tlaku ve vnitřním prostoru odlučovače. Tlakový signál bude dále přiveden tlakovou hadičkou k místu stání řídicího pracovníka údržby. Zde bude osazen manometr o rozsahu do 0,5 MPa, umístěný v zorném poli pracovníka.

Získaný signál by bylo možné přivést do tlakového převodníku a elektrický signál z tlakového převodníku zobrazit na displeji přenosného počítače.

Na základě informací o tlaku by docházelo k řízení průtoku zemního plynu, aby bylo dosaženo maximální účinnosti odlučování kapalně fáze v eliminátorech odlučovače. Jak bylo uvedeno je vysoká účinnost odlučování kapalně fáze v eliminátorech odlučovače dosahována při rychlostech proudění zemního plynu menších než 8 m/s. Danému objemovému průtoku plynu eliminátory odpovídá rychlost plynu vytékajícího z komínů odlučovače, která bude měřena speciální tlakovou sondou snímající celkový tlak v ústí komínů odlučovače.

Řídící pracovník dostane informaci o přepočítané rychlosti proudění plynu v eliminátorech a bude moci kvalifikovaně ovládat pracovní režim odlučovače tak, aby byla dosahována maximální účinnost odlučování kapalných částí při dodržení bezpečnostních podmínek.



Obr. 3.7 Odlučovač osazen snímačem tlaku
Oproti textu je z důvodů prezentace manometr (1) osazen přímo na původním odlučovači (2)

3.6 Metody detailního konstruování

Metody detailního konstruování jsou označovány zkratkou DFX (z angl. design for X), kde X zastupuje jednotlivé obory působení metod. Použitím těchto metod bylo dosaženo snížení nákladů. Konečnou cenu výrobku lze ovlivnit zejména konstrukčním řešením, které ovlivňuje náklady na výrobek až ze 70 % [3] a stát se tak konkurenceschopnější. Použití uvedených metod je předpokládáno v předvýrobní fázi.

Kapitola popisuje jednotlivé varianty z pohledu dále uvedených metod, které budou použity pro porovnání konceptů mezi sebou, nikoli k hodnocení jen vybrané varianty. Důvodem je zařazení dvou již existujících konceptů. Cílem je odhalit případné zásadní

nedostatky, které mohou přispět k volbě nejlepší varianty a tu případně ještě vylepšit. V kapitole 4 bude proveden detailnější rozbor vybrané varianty.

Tab. 3.4 ukazuje hodnocení podle jednotlivých metod.

3.6.1 DFA - Design for Assembly

Návrh s ohledem na montáž je jeden z nejdůležitějších rozborů konceptu. Montáž je organizačně velmi složitý a nákladný proces. Nabízí se využití např. metody LUCAS, jejíž princip spočívá v rozdělení součástek do dvou skupin. Skupina A jsou podstatné díly v sestavě z hlediska funkce výrobku. Skupina B jsou díly nepodstatné, ale nezbytně nutné ke kompletaci. Metoda říká, že pokud je poměr počtu dílů A k celkovému počtu dílů sestavy minimálně 60%, lze ji považovat za efektivní. Z toho plyne, že je výhodné vyrábět tvarově složitější díly. Varianta 3 i 4 obsahuje je několik dílů, které jsou převážně normované, naopak varianta 1 a 2 obsahují mnoho součástek. Nelze je spočítat, protože není k dispozici kompletní rozpiska sestavy, je ale možné usuzovat, že by tento poměr nesplnily. Další metoda tohoto typu např. radí používat co nejméně šroubových spojení.

To např. v plynárenství, kde je vše spojeno přírubami, není možné. Podle tohoto kritéria by byly dobře hodnoceny varianty 1, 2, 4, které mají většinu částí svařenou.

Podle obou uvedených kritérií by měl být nejlépe hodnoceným koncept č. 4 a 3, které jsou z pohledu montáže navrhnuté velmi jednoduše.

3.6.2 DFM - Design for Manufacturing

Návrh s ohledem na výrobu.

Proti předchozímu kritériu Lucas stojí kritérium výroby. Vyrobit více jednoduchých dílů je efektivnější a tedy méně nákladné než vyrobit jeden složitý výrobek. Pokud je to možné, měly by být použity standardizované materiály a prvky. Stejně tak postupy. Je také nutné zvážit, jaké tolerance výrobku opravdu potřebujeme. Často se zbytečně požaduje nadměrná přesnost, která pak prodrazí celý výrobek.

V konceptu č. 3 můžeme spatřit standardizovaný hliníkový materiál a tolerance rozměru nejsou předepsány. I přesto se musí tolerance dodržet, jsou ale dány normou.

3.6.3 DFE - Design for Environment

Návrh s ohledem na životní prostředí.

Zemní plyn je „kontaminován“ velmi nebezpečnými nečistotami, proto je tato stránka velmi důležitá. Je důležité plyn oddělit od nečistot co nejdůkladněji a nečistoty shromáždit na

bezpečném místě. Nejlépe byla ohodnocena varianta 4, kde se díky sledování tlaků a řízení průtoků, zajistí ideální podmínky. Spadá sem také výroba, balení, transport, recyklace a mnoho dalších parametrů. Ty nejsou v tomto případě tak závažné, proto nejsou blíže popisovány. Důležité je, aby nebyly použity toxické ochranné nátěry. Norma to ani neumožňuje, ale mohlo by dojít ke změně vlastní ochranného laku vlivem zemního plynu a dalších látek.

V tomto pohledu vyhovují všechny varianty.

3.6.4 DFD - Design for Disassembly

Návrh s ohledem na demontáž.

Kritérium demontovatelnosti na konci životního cyklu výrobku je velmi úzce spjata s předchozím kritériem. Pokud se nám podaří výrobek rozebrat na typově stejné součásti, můžeme je recyklovat. Nezničené součástky lze repasovat nebo dále použít. Tím lze nejen ušetřit nemalé náklady na ekologickou likvidaci, ale případným prodejem lze mít ještě zisk.

Všechny koncepty odlučovače jsou ocelové, převážně svařované. Další použití je téměř vyloučené. Membránu by bylo možné snad použít na jiný odlučovač. Z konceptu 4 by se daly použít čidla, která jsou univerzální. Všechny koncepty jsou vyrobeny z materiálů, které lze velmi jednoduše recyklovat.

3.6.5 Design for testing

Návrh s ohledem na testování.

Proces testování může být časově velmi náročný. Je také nutné definovat podmínky, které se musí dodržet, veličiny, které se mají kontrolovat v průběhu testu, zajistit bezpečnost okolí a další.

Variantu 4 lze otestovat za určitých podmínek z části. Není možné simulovat celý proces čištění. Naopak mobilní odlučovač a membránu je možné odvézt na jiné pracoviště a otestovat.

3.6.6 Design for Maintenance

Návrh s ohledem na údržbu.

Jednoznačným faktorem ovlivňujícím údržbu je složitost zařízení. Čím složitější zařízení, více prvků, malé komponenty atd., tím je údržba složitější. Z hlediska životnosti zařízení je údržba velmi důležitá. Pravidelná a správně prováděná údržba má nižší náklady než kolik stojí opravy při poruše [7]. Proto je důležité již v návrhu počítat s možností údržby.

Nejjednodušší se zdá být koncept č. 3, kde je minimum součástí, nejsou tam žádné pohyblivé prvky, není potřeba udržovat čistá žádná čidla ani další otvory.

3.6.7 Design for Transportation

Návrh s ohledem na transport.

Transport zařízení nepatří k hlavním požadavkům. Ale pokud by byla vybrána varianta druhá, transport by v úvahu přicházel.

Z toho pohledu je tento koncept jediný navržený s ohledem na transport a splňuje rozměrové, hmotnostní a bezpečnostní podmínky pro přepravu.

3.6.8 Design for Safety

Návrh s ohledem na bezpečnost.

Není možné říci, že některý koncept je nebezpečný. Je možné ale posoudit, kde bylo pro bezpečnost uděláno více.

Jednoznačně bezpečnostní prvek obsahuje, vlastně jím je, koncept č. 3. Membrána slouží jako bezpečnostní přetlakový prvek.

3.6.9 Design to Cost

Návrh s ohledem na cenu.

Minimalizovat výrobní, montážní a další náklady je velmi důležité. Každý projekt musí projít analýzou, zda by bylo možné ještě někde ušetřit. Použitím pouze jiného materiálu se stejnými stěžejními vlastnostmi, je možné cenu zásadně ovlivnit.

Mezi nejdražší varianty budou patřit první dvě koncepce. Druhá a třetí spočívá v úpravě něčeho již existujícího a tím dojde k ušetření velkých nákladů. Čtvrtá varianta počítá s instalací elektroniky. Lze tedy usuzovat, že tato varianta bude nákladnější. Ve všech variantách byly použity materiály, kde cena a kvalita jsou kompromisem.

V tab. 3.4 jsou shrnuta výše uvedena kritéria. Zeleně bylo vybarveno políčko, kde daný koncept splňoval podle známých informací dané kritérium, a to nejlépe ze všech nebo všichni stejně dobře. V případě, že nebylo možno objektivně posoudit dané kritérium, zůstalo políčko nevybarveno. V případě, že koncept dané kritérium výrazně porušoval, bylo políčko vybarveno červeně.

Tab. 3.4 Hodnocení konceptů metodami DFX

Navrhovaná varianta	č. 1	č. 2	č. 3	č. 4
Design for Assembly				
DFM - Design for Manufacturing				
DFE - Design for Environment				
DFD - Design for Disassembly				
Design for testing				
Design for Maintenance				
Design for Transporting				
Design for Safety				
Design to cost				

Tato tabulka bude sloužit jako druhotný podklad pro rozhodování. Hlavní její funkcí je neopomenout žádné faktory. Barevné podání pomůže týmu v rychlejší orientaci, proto byla umístěna na flip chart.

Z hlediska inovačního pohledu a metod DFX se zdá být nejvhodnější variantou koncept č. 3.

3.7 Kriteriační hodnocení variant

Poslední fází procesu tvorby konceptu je hodnocení navržených variant a výběr vhodného řešení, které by mělo být dále navrženo a realizováno. Výběr varianty je možné provést pouze na základě vlastního výběru, posouzením externími experty nebo použitím některé z možných metod.

Mezi takové metody patří například rozhodovací tabulky. Patří mezi nejoblíbenější metody, protože poskytují dostatek objektivnosti a přitom se nejedná o složitou formu posuzování konceptů.

Další možností je například hlasovací metoda, kdy každý účastník dá hlas jedné variantě, přičemž vítězí koncept s největším počtem hlasů.

Hodnotit navržené varianty je také možné po sestrojení prototypů. V našem případě by se ale jednalo o velmi nákladnou záležitost.

Zde byly zvoleny rozhodovací tabulky. Pro hrubé rozdělení konceptů a pro detailní hodnocení konceptů. Tab. 3.5 ukazuje hrubé hodnocení variant. Hrubé roztrídění je vhodné použít tam, kde je více možností a je potřeba redukovat jejich počet. Hodnocení bylo provedeno formou „splňuje“ nebo „nesplňuje“ pro dané kritérium.

Kritéria byla volena s ohledem na zákaznické potřeby. Jako relativně nejvýznamnější potřeba vyšla potřeba zajištění bezpečného beztlakového provozu odlučovače nečistot. Rovněž bylo potřeba zohlednit celkovou finanční nákladnost jednotlivých konceptů. To byla hlavní kritéria.

Současně bylo nutné hodnotit možnost využití na všech ostatních odlučovačích a objektech. Výrobek musí být vyrobitelný, pokud možno co nejjednodušeji a nejlevněji, při zajištění dostačující kvality. S tím je spojena montáž a životnost.

Dále byla zvolena kritéria pro zhodnocení funkce a přínosů při práci. Nebylo také zapomenuto na velmi důležité kritérium a tím je údržba. Bylo prokázáno, že je výhodnější provádět pravidelnou údržbu než opravovat již vzniklé poruchy [7].

Tab. 3.5 Rozhodovací tabulka pro rozřídění konceptů

Kritérium	Varianta				
	Exist.	č. 1	č. 2	č. 3	č. 4
Bezpečnostní prvky	-	-	-	+	+
Cena		-	-	+	+
Další využití	-	-	+	-	-
Hmotnost		-	-	+	+
Kontrola tlaku	-	-	-	+	+
Montáž		+	+	+	+
Obsluha	-	+	-	+	+
Potřeba údržby	+	-	-	+	+
Regulace průtoku	-	-	-	-	+
Regulace tlaku	-	-	-	-	+
Rozměry		-	-	+	+
Řízení práce	-	-	-	-	+
Schopnost odlučování	-	+	+	+	+
Složitost údržby	+	-	-	+	-
Univerzálnost	-	+	-	+	+
Zajištění beztlakovosti	-	-	-	+	+
Životnost	+	+	+	+	-
Součet -	10 (14)	12	13	4	3
Součet +	3	5	4	13	14
Postup	ne	ano	ne	ano	ano

Znaménkem „+“ bylo označeno kritérium, které daná varianta splňuje, znaménkem „-“, které nesplňuje. Následně byl proveden součet a varianta s nejméně kladným hodnocením byla vyřazena.

Do tabulky byl přidán i stávající stav (sloupec Exist.), aby bylo možné porovnat zlepšení. U toho nebylo možné některá kritéria posoudit, proto zůstala políčka prázdná. V součtu jsou tyto prázdná políčka započtena do záporných, v závorce, aby neovlivňovaly kladný, důležitější parametr.

Tab. 3.6 ukazuje finální hodnocení, pomocí váhy každého kritéria. Pracovním týmem byla jednotlivá kritéria diskutována, jak moc je které kritérium důležité. Součet vah dává 100 %.

Tab. 3.6 Rozhodovací tabulka pro detailní hodnocení konceptů

Kritérium	Váha (%)	Varianta					
		č.1		č.3		č.4	
		Hodnota	Vážená hodnota	Hodnota	Vážená hodnota	Hodnota	Vážená hodnota
Bezpečnostní prvky	9	1	0,09	4	0,36	3	0,27
Cena	9	1	0,09	5	0,45	3	0,27
Další využití	3	1	0,03	1	0,03	1	0,03
Hmotnost	3	1	0,03	5	0,15	5	0,15
Kontrola tlaku	4	2	0,08	2	0,08	5	0,2
Montáž	4	2	0,08	4	0,16	5	0,2
Obsluha	5	2	0,1	5	0,25	4	0,2
Potřeba údržby	4	1	0,04	5	0,2	2	0,08
Regulace průtoku	5	1	0,05	1	0,05	4	0,2
Regulace tlaku	6	1	0,06	4	0,24	4	0,24
Rozměry	4	1	0,04	4	0,16	5	0,2
Řízení práce	6	3	0,18	3	0,18	5	0,3
Schopnost odlučování	6	3	0,18	3	0,18	4	0,24
Složitost údržby	5	2	0,1	4	0,2	3	0,15
Univerzálnost	4	3	0,12	5	0,2	4	0,16
Zajištění beztlakovosti	15	1	0,15	5	0,75	1	0,15
Životnost	8	2	0,16	5	0,4	3	0,24
Součet	100	-	1,58	-	4,04	-	3,28
Pořadí		3.		1.		2.	

Každé navrhované variantě konceptu bylo pro dané kritérium uděleno hodnocení na stupnici 1 až 5, přičemž 1 představuje téměř žádný přínos a 5 představuje maximální splnění kritéria.

Vynásobením hodnoty a váhy daného kritéria byla získána vážená hodnota, která přesněji charakterizuje vhodnost konceptu pro dané kritérium.

3.8 Volba vhodné varianty

Z rozhodovací tabulky vychází jako nejvhodnější koncept varianta č. 3, která spočívá v montáži bezpečnostní membrány. Protože byl proveden velmi detailní rozbor všech variant, byly hledány možné příčiny poruch, byla zohledněna konstrukce z pohledu metody DFX a další, panovala v týmu většinová shoda s výsledkem rozhodovací tabulky.

Byly vzneseny některé námitky, že by bylo vhodnější provést kompletní výměnu odlučovače za nový typ, který by splňoval nově vzniklé požadavky, avšak cena takého projektu by byla neúměrně vysoká.

Výhodou vybrané varianty je jednoznačně jednoduchost montáže, bezúdržbový provoz, pravděpodobně spolehlivost a především zajištění bezpečnosti, což se ukázalo být hlavním a tím nejdůležitějším cílem.

Při hodnocení inovačních návrhů byly rovněž zohledněny zásady TPS (výrobní systém Toyota) Nemawashi (rozhodnutí přijímejte pomalu na základě široké shody, po zvážení všech možností, a implementujte je rychle) a Hansei („Zastavme se a popřemýšlejme o tom“, hledání svých slabin, jedna ze zásadních idejí japonské kultury) [19].

Tato varianta bude v následující kapitole více rozpracována.

4 Rozpracování vybrané varianty

Vybráním varianty ještě celý projekt nekončí. Je nutné ji realizovat.

Tomu předchází stanovení finálních specifikací, ověření pomocí modelu, konstrukce prototypu, realizace případných úprav a pak může následovat aplikace do rutinního provozu.

Norma ČSN 69 2501 [4] popisuje použití a umístění pojistných membrán na zařízení. Pojistná membrána má být umístěn co nejbližší místu, které má být chráněno. A to s ohledem na tlakové rázy, teplotní podmínky atd., které by mohly vést k poškození. V doplňku této normy je speciálně popisován případ použití u zařízení, kde je pracovním médiem hořlavý plyn. V tomto případě musí být vyústění uvolňovacího systému vyvedeno na bezpečné místo, mimo objekt, do volného prostoru.

Dále je v normě zmíněna povinnost provozovatele provést opatření k zachycení účinků reakčních sil působících na nádobu a připojené potrubí, vznikajících při protržení nebo otevření membrány.

Tyto požadavky budou dále zohledněny při návrhu.

4.1 Tlakové poměry

Výpočty je především nutné doložit oprávněnost použití odlučovače jako beztlakové nádoby a určit horní hranici přetlaku, při kterém je potřeba plyn bezpečně odpustit skrz

bezpečnostní membrány. Dle normy ČSN 69 0010-1.1 [11] je za beztlakovou nádobu považována nádoba s přetlakem do $\bar{p} \leq 0,07$ MPa.

4.2 Návrh membrány

Protože normy neobsahují speciální výpočtové vzorce pro návrh tloušťky pojistných membrán, budou odvezeny vztahy pro namáhání tlakem a dále bude použito vzorců pro pevnostní výpočet dle normy ČSN 69 0010-4.9 [10], na kterou norma o membránách odkazuje.

Pojistná membrána se vyznačuje vlastnostmi tenké kruhové desky. Tj. její tloušťka je velmi malá vůči poloměru desky. Ohybová tuhost takového tělesa je nulová. Zatížení i uložení desky je rotačně symetrické. Rozdělení napětí v desce a její přetvoření bude zřejmě rotačně symetrické.

Plochá pojistná membrána je popisována ČSN 69 2501[4]. Vliv okolních teplot zanedbáme, protože systém je zakrytován ochranným víkem, které se otvírá těsně před samotným výkonem funkce.

Membrána bude uchycena mezi dvě příruby DN 500. Pro výrobu membrány bude použit hliníkový plech 1060-H12. Průměr membrány bude $d_M = 570$ mm, aby ji bylo možno dobře uchytit mezi příruby. Tloušťka hliníkového prvku bude navržena na základě maximálního dovoleného napětí meze pevnosti a tlaku, který je definován normou pro nádoby považované za beztlakové.

Navržené hodnoty budou následně ověřeny v programu Catia a Abaqus.

Vstupní parametry:

- Al plech 1060-H12 s těmito parametry (kompletní přehled viz Příloha č. 2 - Katalogový list Hliník 1060 - H12) [6].

$R_m = 82,7$ MPa,

$R_{p0,2} = 75,8$ MPa,

Poissonovo číslo $\mu = 0,33$

Modul pružnosti v tahu $E = 68,9$ GPa

- Dovolенý přetlak $\bar{p} = 0,07$ MPa
- Pracovní průměr membrány $d = 513$ mm

- Tloušťka membrány $t = ?$ mm

Výpočet základních veličin:

- plocha membrány :

$$S_M = \frac{p * d^2}{4} = \frac{p * 0,508^2 [m]}{4} = 0,2026 m^2$$

- nahrazení přetlaku výslednou silou F :

$$F = \bar{p} * S_m = 0,07 [MPa] * 0,2026 [m^2] = 70000 [Pa] * 0,2026 [m^2] = 14182 N = \underline{14,2 kN}$$

Působíště výsledné síly je ve středu membrány.

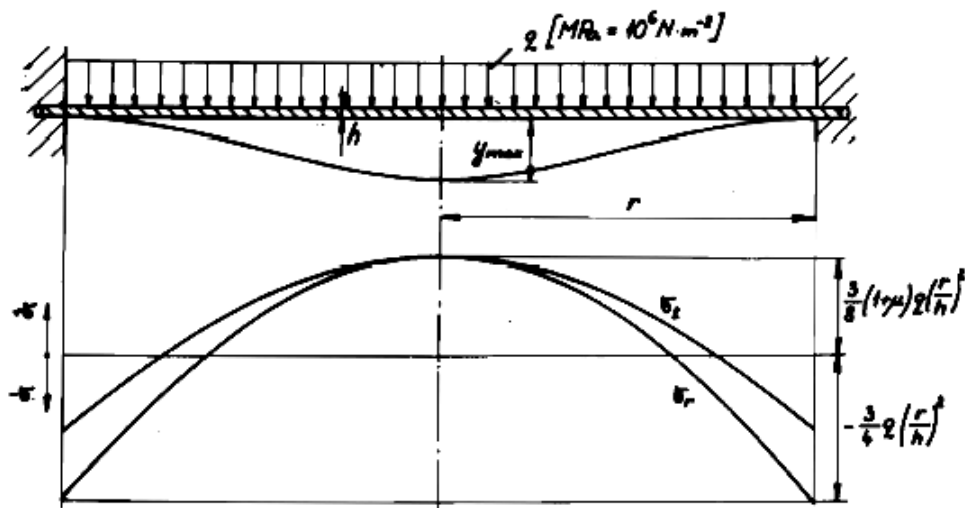
4.2.1 Předpoklady výpočtu

Pojistná membrána patří mezi tenké, kruhové, rotačně symetricky zatížené desky stálé tloušťky. Membrána je po obvodě vetknutá a spojitě zatížená tlakem.

Výpočty budou provedeny za těchto předpokladů:

- Deska je poměrně tenká, tj. její tloušťka t je velmi malá vůči poloměru desky r .
- Zatížení i uložení desky je rotačně symetrické. Potom zřejmě i rozdělení napětí v desce a její přetvoření bude rotačně symetrické.
- Podle analogie s ohybem přímých prutů považujeme tzv. ohybovou plochu, která vznikne z původní střední roviny, za neutrální vrstvu a předpokládáme, že se body této neutrální vrstvy při deformaci radiálně neposunou a že body, které byly na kolmicích ke střední rovině, zůstanou na normálách ohybové plochy. To znamená, že válcové souosé řezy nezatížené desky se po zatížení změny v rotační kuželové plochy (viz obr. 4.2).
- Neutrální rovina se po deformaci změní ve vrchlík. Každý plošný element tohoto vrchlíku bude mít obecně dva poloměry křivosti, z čehož vyplývá, že na něj působí dva vnitřní ohybové momenty v rovinách navzájem kolmých. Ohybová napětí od těchto momentů budou úměrná vzdálenosti od neutrální vrstvy. Ohybová napětí jsou tedy napříč deskou rozdělena lineárně.

4.2.2 Odvození průběhu napětí a průhybu membrány



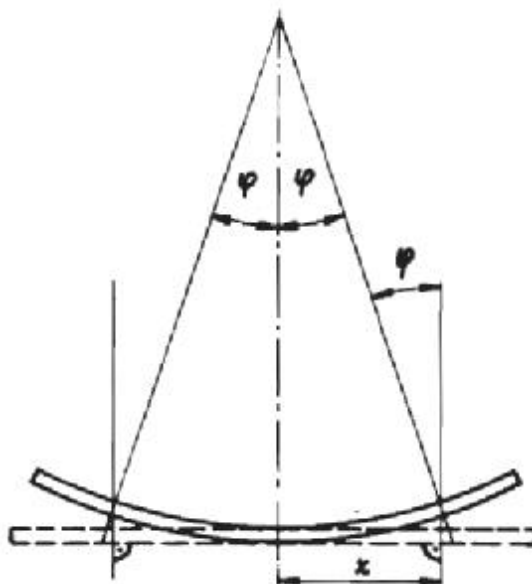
Obr. 4.1 Průběh napětí v membráně
Zdroj: [15]

Zatížení desky na jednotku plochy označíme $q [MPa = 10^6 \text{ Nm}^{-2}]$, pak bude

$$Q(x) = px^2 q$$

A základní rovnice desek bude mít tvar:

$$xj'' + j' - \frac{j}{x} = -\frac{6Q(x)}{pE^x h^3} = -\frac{6qx^2}{E^x h^3} \quad (c)$$



Obr. 4.2 Řez válcové části desky pod vlivem zatížení
Zdroj: [15]

Úplný integrál této rovnice je:

$$j = C_1 x + \frac{C_2}{x} + j_p$$

Kde j_p je partikulární integrál, který odhadneme podle pravé strany ve tvaru

$$j_p = Hx^3$$

Dosadíme-li tento partikulární integrál a jeho derivace

$$j_p' = 3Hx^2 \text{ a } j_p'' = 6Hx \text{ do rovnice (c), určíme}$$

$$H = -\frac{3}{4} \frac{q}{E^x h^3}$$

A úplný integrál rovnice (c) bude pak

$$j = C_1 x + C_2 \frac{1}{x} - \frac{3}{4} \frac{q}{E^x h^3} x^3 \quad (d)$$

Okrajové podmínky pro určení konstant C_1 a C_2 budou u plné a na obvodě vetknuté desky $j_{(x=0)} = 0$, odkud plyne $C_2 = 0$ a $j_{(x=r)} = 0$, odkud určíme

$$C_1 = \frac{3}{4} \frac{qr^2}{E^x h^3}, \text{ takže } j = \frac{3}{4} \frac{q}{E^x h^3} (r^2 x - x^3).$$

Pro napětí s_t a s_r vyjdou rovnice

$$s_t = \frac{3}{8} \frac{q}{h^2} [(1+m)r^2 - (1+3m)x^2] \quad (e)$$

$$s_r = \frac{3}{8} \frac{q}{h^2} [(1+m)r^2 - (3+m)x^2] \quad (f)$$

Tyto rovnice jsou rovnicemi parabol, jejich průběh je naznačen na obr. 4.1.

Průhyb desky vypočteme z rovnice

$$y = K - \int j dx = K - \frac{3}{4} \frac{q}{E^x h^3} \int (r^2 x - x^3) dx = K - \frac{3}{4} \frac{q}{E^x h^3} \left(\frac{r^2 x^2}{2} - \frac{x^4}{4} \right)$$

Konstanta K z okrajové podmínky $y_{(x=r)} = 0$ bude

$$K = \frac{3}{16} \frac{qr^4}{E^x h^3}$$

Takže rovnice průhybové plochy po úpravě bude mít tvar

$$y = \frac{3qr^4}{16E^x h^3} \left[1 - \left(\frac{x}{r} \right)^2 \right]^2$$

Největší průhyb bude uprostřed (pro $x = 0$) a jeho velikost je

$$y_{\max} = K = \frac{3}{16} \frac{qr^4}{E^x h^3}$$

4.2.3 Výpočet tloušťky membrány

Z rovnic (e) a (f) bude postupně vyjádřena tloušťka stěny h , kterou budeme pro jednoznačnost dále značit t .

$$s_t = \frac{3}{8} * \frac{q}{t^2} * [(1+m) * r^2 - (1+3m) * x] \dots \text{tečné obvodové napětí}$$

$$s_r = \frac{3}{8} * \frac{q}{t^2} * [(1+m) * r^2 - (3+m) * x] \dots \text{radiální ohybové napětí}$$

kde

q – přetlak $\bar{p}$

t – tloušťka membrány

m – Poissonova konstanta

r – poloměr membrány

x – vzdálenost od středu membrány

$$t = ? \text{ mm}$$

$$\bar{p} = 0,07 \text{ MPa}$$

$$m = 0,33 (\text{materiál 1060 – H12})$$

$$r = 256 \text{ mm}$$

$$x = 0; r$$

Při výpočtech budeme vycházet z meze pevnosti R_m , protože je požadováno porušení membrány.

$$\frac{s_t + s_r}{2} \leq t_{DOV} = R_m$$

$$t_{DOV} \leq \frac{s_{DOV}}{2}$$

$$s_t + s_r \leq 2 * t_{DOV} = 2R_m$$

$$s_t = 2R_m - s_r$$

Nejprve vypočteme tloušťku stěny z první okrajové podmínky $x = 0$
(střed membrány):

pro $x = 0$

$$s_t = \frac{3}{8} * \frac{q}{t^2} * [(1 + m) * r^2 - (1 + 3m) * x] =$$
$$= \frac{3}{8} * \frac{0,07[MPa]}{t^2} * [(1 + 0,33) * 256^2[mm^2]] = \frac{2288}{t^2}$$

$$s_r = \frac{3}{8} * \frac{q}{t^2} * [(1 + m) * r^2 - (3 + m) * x]$$
$$= \frac{3}{8} * \frac{0,07[MPa]}{t^2} * [(1 + 0,33) * 256^2[mm^2]] = \frac{2288}{t^2}$$

$$s_t + s_r = 2R_m$$

$$2 * \frac{2288}{t^2} = 2R_m$$

$$t = \sqrt{\frac{2288}{R_m}} = \sqrt{\frac{2288[MPa * mm^2]}{82,7[MPa]}} = \underline{5,26mm}$$

Výsledek ověříme druhou okrajovou podmínkou $x = r$ (místo vetknutí)

pro $x = r = 256mm$

$$s_t = \frac{3}{8} * \frac{q}{t^2} * [(1 + m) * r^2 - (1 + 3m) * x] =$$
$$= \frac{3}{8} * \frac{0,07[MPa]}{t^2} * [(1 + 0,33) * 256^2[mm^2] - (1 + 3 * 0,33) * 256] = \frac{-1135}{t^2}$$

$$s_r = \frac{3}{8} * \frac{q}{t^2} * [(1 + m) * r^2 - (3 + m) * x] =$$
$$= \frac{3}{8} * \frac{0,07[MPa]}{t^2} * [(1 + 0,33) * 256^2[mm^2] - 0(3 + 0,33) * 256] = \frac{-3440}{t^2}$$

$$s_t = 2R_m - s_r$$

$$2R_m - s_r = \frac{-1135}{t^2}$$

$$s_r = \frac{-3440}{t^2}$$

$$2R_m - \frac{-3440}{t^2} = \frac{-1135}{t^2}$$

$$165,4 * t^2 + 3440 + 1135 = 0$$

$$t = \sqrt{\frac{[-4475]}{165,4}} = \underline{5,26mm}$$

Dále spočteme maximální průhyb, který je ve středu membrány:

$$y_{\max} = \frac{3}{16} \frac{q * r^4}{E' * t^3}$$

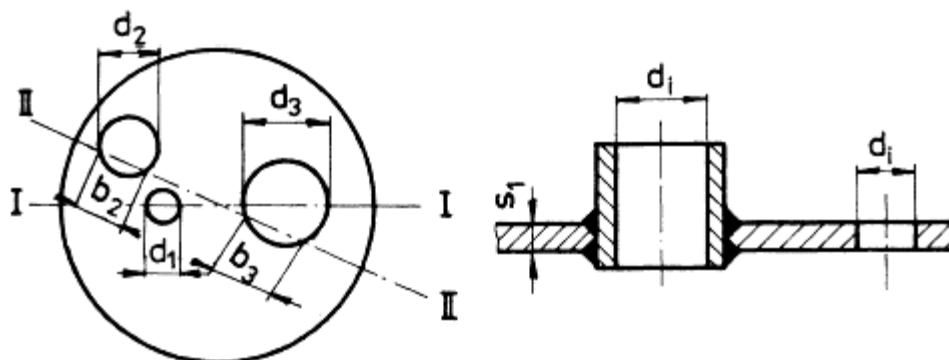
$$E' = \frac{E}{1 - m^2} = \frac{68,9[GPa]}{1 - 0,33^2} = 102,8GPa$$

$$y_{\max} = \frac{3}{16} \frac{0,07 * 256^4}{102,8.10^3 * 5,26^3} = \underline{3,8mm}$$

4.2.4 Výpočet pro rovná nevztužená kruhová dna a víka

Pro řádové ověření správnosti výpočtu použijeme vzorce pro návrh tloušťky rovných, kruhových nevztužených vík, která jsou připevněna pomocí příruby. Tento případ popisuje norma ČSN 69 0010 - 4.9 [10] a za níže uvedených předpokladů je možné jej použít. Na tuto normu odkazuje norma bezpečnostních zařízení s membránou.

Zde je popisovaný případ, kdy víko (v našem případě membránu považujeme za víko) nemá žádný otvor, není svařované a je upevněno mezi přírubou. Obr. 4.3 ukazuje znázornění případu v normě. Tloušťka s_1 je v naší úloze značena t .



Obr. 4.3 Předpoklad rovného víka
Zdroj: [4] [10]

Pak je tloušťka stěny počítána podle vzorce:

$$t = K_U * K_0 * d * \sqrt{\frac{\bar{p}}{s * j}} = 0,41[-] * 1[-] * 0,513[m] * \sqrt{\frac{70 \cdot 10^3 [Pa]}{82,7 \cdot 10^6 [Pa] * 1[-]}}$$
$$= 0,00616m = \underline{6.12mm}$$

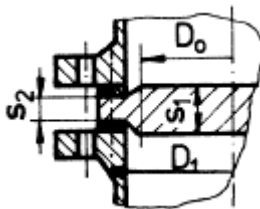
Z uvedené normy byly odečteny následující údaje

K_U - je součinitel upevnění okraje membrány $K_U = 0,41$ - mezi příruby

K_0 - je součinitel zeslabení $K_0 = 1$ - pro víko bez otvorů

j - je součinitel hodnoty svaru $j = 1$ - bezešvý

s - je dovolené namáhání materiálu = R_m



Obr. 4.4 Předpokládané uložení víka podle normy

Pro tento typ uložení byla odečtena hodnota $K_U = 0,41$. Zdroj: [4][10]

Uvedený výpočet podle dané normy je platný pro tenká víka když:

$$\frac{t - c}{d} \geq 0,11$$

kde c - je součet přídavků k výpočtovým tloušťkám. V našem případě $c = 0$

$$\frac{6,12}{513} = 0,012 \gg 0,11$$

Podmínka je splněna a vzorec lze použít.

Další podmínka je dána dovoleným přetlakem a výpočtovým tlakem (v našem případě jsou shodné):

$$K_p * p_{dov} \geq p_{výpočvypo}$$

$$K_p * 0,07 \geq 0,07$$

Pak

$$K_p = \frac{2,2}{1 + \sqrt{1 + 6 * \frac{t - c}{d}}} = \frac{2,2}{1 + \sqrt{1 + 6 * \frac{6,12}{513}}} = 1,099$$

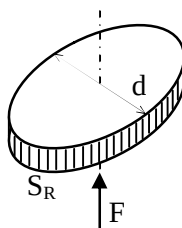
$$1,099 * 0,07 = 0,0769 > 0,07$$

Podmínka je splněna a vzorec lze použít.

Návrh podle normy 69 0010-4.9 splnil všechny podmínky pro použití daného vzorce.
Vypočtená tloušťka stěny membrány je 6,12 mm.

4.2.5 Namáhání stříhem

Ještě je potřeba provést kontrolu při uvažování namáhání stříhu.



- napětí v materiálu membrány s :

$$s = \frac{F}{S_R} = \frac{F}{p * d * t} = \frac{14182[N]}{p * 513[mm] * t}$$

kde S_R je plocha řezu obvodem membrány a t je tloušťka membrány

- z toho síla stěny :

$$t = \frac{F}{p * d * s} = \frac{14182[N]}{p * 513[mm] * 82,7[MPa]} = \underline{0,106mm}$$

Výpočet ukázal, že namáhání stříhem není relevantní pro volbu tloušťky membrány.

4.2.6 Volba tloušťky membrány

Uvedenými výpočty bylo zjištěno, že pro membránu není kritické namáhání stříhem, ale tečným a radiálním napětím. Porovnávací výpočet podle normy vyšel o 0,86 mm tlustší. Z nutnosti být na straně bezpečnosti a z požadavku destrukce membrány, volíme maximální tloušťku stěny 5,26 mm. Ve výpočtech není zahrnut žádná míra bezpečnosti k_t .

Zvolíme $k_t = 1,5$

Navržená tloušťka membrány bude tedy:

$$t_{skut} = \frac{t}{k_t} = \frac{5,26}{1,5} = \underline{\underline{3,5mm}}$$

Tato tloušťka je volena i s ohledem na možnosti dodavatelů.

4.2.7 Zkouška statickým přetlakem

Norma ČSN 69 2501 [4] - Pojistné membrány předepisuje provedení tlakových zkoušek na několika vzorcích z dodávky. Počet testovaných membrán je závislý na počtu membrán dodaných v sadě. Předpokládá se zkušební instalace na 4 odlučovače. Celkem jde tedy o dodávku 12 pojistných membrán. Tento počet spadá do druhé kategorie a měly by být otestovány 3 pojistné membrány.

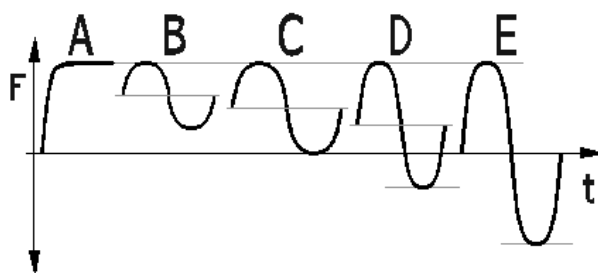
Detailní postup zkoušení je popsán v normě, proto zde nebude uváděn.

Zkoušky budou provedeny na membráně instalované na odlučovač. Místo zemního plynu bude použita voda. Tlaková zkouška vzduchem by byla rovněž možná, ale nevýhodou vzduchu je jeho stlačitelnost. Při dosažení kritického tlaku dojde k rychlé iniciaci trhlinky a následuje výbuch. Ten je způsoben pozvolnou expanzí stlačeného vzduchu, který také způsobí velký zvukový a tlakový ráz. Naopak tlak vody se při první iniciaci praskliny a jejím již malém otevření rychle zmenší a nehrozí výbuch ohrožující okolí.

4.3 Návrh šroubového spoje

Při návrhu přírubových šroubových spojů je nutné správně zvolit počáteční podmínky a zjistit především velikost a průběh zatěžující síly. Mezi možné typy průběhů zatěžující síly patří:

- Klidné (statické) - A
- Pulsující - B
- Míjivé - C
- Střídavé nesouměrné - D
- Střídavé souměrné - E

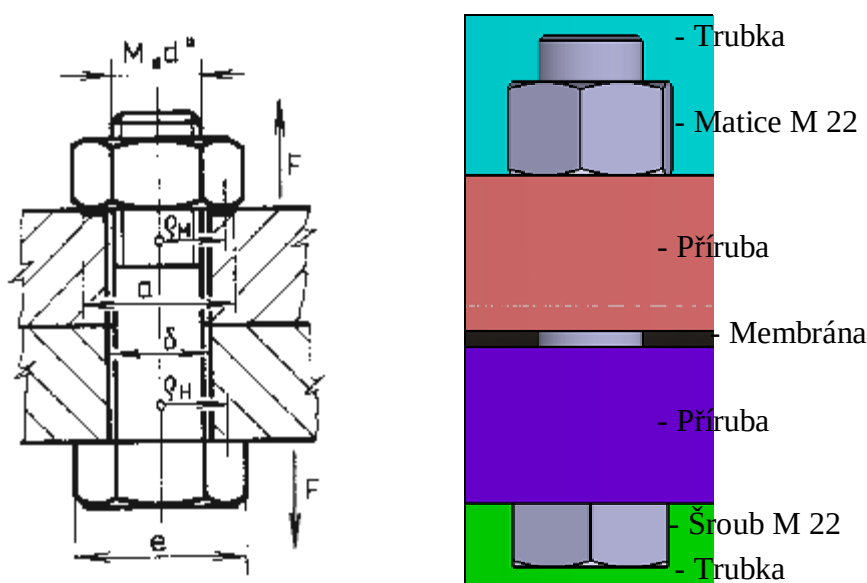


Obr. 4.5 Typy průběhů zatěžující síly
Zdroj: [8]

U cyklicky namáhaného spoje (zatížení B až E) je potřebné provádět, kromě běžných pevnostních kontrol, také kontrolu spojovacího šroubu z hlediska únavové pevnosti.

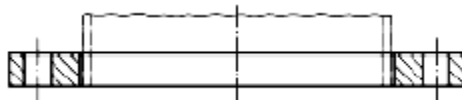
Odlučovač pracuje jen při pravidelné údržbě potrubí. Tlak plynu se začátkem akce postupně narůstá z nulové hodnoty až do blízkosti hranice přetlaku 0,07 MPa, pak zůstane stejný po dobu akce a následně se snižuje na nulovou hodnotu. Proto může být namáhání odlučovače považováno za statické namáhání. Není proto potřeba provádět kontrolní výpočty na cyklické namáhání.

Šroubové spojení spojuje dvě příruby, mezi nimiž je umístěna pojistná membrána z hliníkového plechu. Membrána je umístěna uvnitř pomyslné kružnice tvořené šrouby. Takto zvoleným uložením membrány vzniká dodatečný ohybový moment, který namáhá šroub v ohybu. Vzhledem k dostatečné tuhosti použitých přírub a malé utahovací síle, bude tento moment zanedbán.



Obr. 4.6 Zatížení šroubu, pohled na šroub modelu
Kde: M „D“ - označení průměru metrického závitu; F - síla; p_M , p_H - třecí poloměry; δ - průměr díry; a - rozměr pro klíč; e - rozměr přes hrany. Zdroj [8]

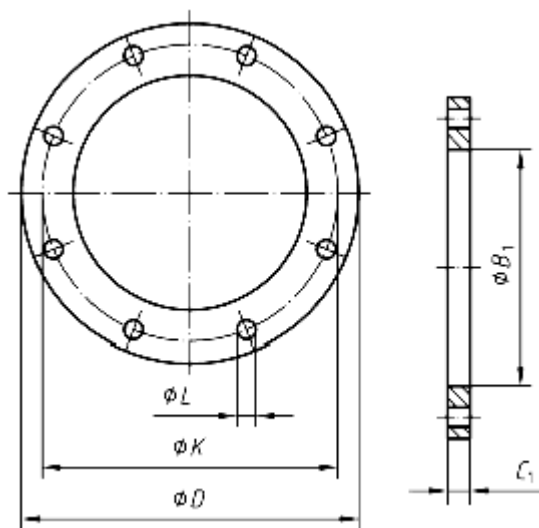
Síla působící na plochu membrány byla spočtena z maximálního dovoleného přetlaku v předchozí kapitole. Norma ČSN EN 1092-1 [12] předepisuje pro daný rozměr příruby a stanovený tlak, použít 20 šroubů M 20. Počet šroubů je nutné zachovat, aby byla dodržena dobrá těsnost. Byla zvolena plochá přivařovací příruba (viz obr. 4.7).



Obr. 4.7 Plochá přivařovací příruba, typ 01

Základní rozměry příruby (viz obr. 4.8) jsou:

- $\varnothing L = 22 \text{ mm}$
- $\varnothing K = 600 \text{ mm}$
- $\varnothing D = 645 \text{ mm}$
- $\varnothing B_1 = 513,5 \text{ mm}$
- $C_1 = 30 \text{ mm}$



Obr. 4.8 Základní rozměry příruby

Síla od přetlaku $\bar{p}$, působící na jeden šroub je:

$$F_1 = \frac{F}{20} = \frac{14182[N]}{20} = 709N$$

Pro takto malou sílu by postačoval šroub menšího průměru avšak norma ČSN 69 0010 4.18 [18] tuto volbu nedoporučuje. Vzhledem k provozním a pracovním podmínkám, málo

frekventovanému používání a použití šroubů M 22 na dalších přírubách, bude zvolena rovněž velikost M 22.

Utahovací moment bude navržen pro takové předpětí ve šroubovém spoji, aby splňoval podmínku velikosti síly F_1 a zároveň, aby nebyla překročena mez kluzu hliníkové membrány. Tím by došlo k jejímu poškození.

Vstupní parametry:

- M 22 x 2,5
- $R_m = 82,7 \text{ MPa}$
- $R_{p0,2} = 75,8 \text{ MPa}$
- Síla $F = 14182 \text{ N}$
- Vnější průměr membrány $d_M = 570 \text{ mm}$
- Vnitřní průměr příruby $\varnothing B_1 = 513,5 \text{ mm}$

Ze strojnických tabulek [5] byly odečteny následující rozměry pro šroubový spoj (dle obr. 4.6):

$$S_3 = 281,533 \text{ mm}^2$$

$$d_3 = 18,933 \text{ mm}$$

$$d_2 = 20,376 \text{ mm}$$

$$P = 2,5$$

$$e = 37,72 \text{ mm}$$

$$a = s = 34 \text{ mm}$$

$$f_M \cong 0,1$$

$$f_H = 0,15$$

Šroub je vyroben dle jakostní skupiny 8G. Pro tento materiál platí $s_{Kt} = 630 \text{ MPa}$.

4.3.1 Napětí s_{F1} v jednom šroubu od síly F_1

$$s_{F1} = \frac{F_1}{S_3} = \frac{709[N]}{281,533[\text{mm}^2]} = \underline{\underline{2,5 \text{ MPa}}}$$

4.3.2 Napětí s_2 v jednom šroubu vycházející z meze kluzu Al membrány

Membrána není sevřena na celé ploše přírub, nezasahuje pod šrouby, je sevřena na ploše mezikružší. Dvacet šroubů M 20 vytvoří sílu, která se rozprostře na tuto plochu. Jak bylo uvedeno, příruby uvažujeme tuhé, proto můžeme rozprostření tlaku pokládat za stejnoměrné.

- sevřená plocha membrány :

$$S_s = \frac{p \cdot (d_M^2 - B_1^2)}{4} = \frac{p \cdot (570^2 - 513^2)}{4} = 30875 \text{ mm}^2$$

- plocha připadající na 1 šroubový spoj :

$$S_1 = \frac{S_s}{20} = \frac{30875 [\text{mm}^2]}{20} = 1544 \text{ mm}^2$$

- podmínka pro maximální napětí s_2 :

$$s_{Kt} \geq s_2 = \frac{Q_1}{S_1} \leq R_{p0,2}$$

4.3.3 Návrh montážního předpětí

V následujících výpočtech bylo nutno zohlednit mez kluzu hliníkové membrány $R_{p0,2}$, dovolené napětí šroubu a minimální sílu, která musí na membránu působit.

- výpočet velikosti předpětí v jednom šroubu

$$Q_1 \leq R_{p0,2} \cdot S_1 = 75,8 [\text{MPa}] \cdot 1544 [\text{mm}^2] = 61720 \text{ N}$$

$$Q_1 \leq 61720 \text{ N}$$

- podmínka sil :

$$Q_1 \geq F_1 \Rightarrow \text{splněno}$$

Bylo zvoleno montážní předpětí pro jeden šroub $Q_1 = 61720 \text{ N}$

4.3.4 Určení geometrických charakteristik šroubového spoje

- úhel stoupání g , třecí úhel j' v závitě

$$\text{tg}(g) = \frac{p}{p \cdot d_2} = \frac{2,5}{p \cdot 20,376} \Rightarrow g = 0,0391 = 2,238^\circ$$

$$\text{tg}(j') \approx f' = 0,15$$

$$\text{tg}(g + j') \approx \text{tg}(g) + \text{tg}(j') = 0,0391 + 0,15 = 0,189 \Rightarrow \gamma + j' = 10,7^\circ$$

$$j' = 8,5^\circ$$

$$\text{tg}(g - j') \approx \text{tg}(g) - \text{tg}(j') = 0,0391 - 0,15 = -0,111$$

- třecí poloměry ρ_M , ρ_H

$$d = d + (1 \div 2 \text{ mm}) = 22 + 1 = 23 \text{ mm}$$

$$r_M \cong \frac{a+d}{4} = \frac{34+23}{4} = 14,25mm$$

$$r_H \cong \frac{e+d}{4} = \frac{37,72+23}{4} = 15,18mm$$

4.3.5 Výpočet krouticích momentů

- Krouticí moment v dříku šroubu při utahování:

$$M_{KZ} = Q_1 * \frac{d_2}{2} * tg(g + j') = 61720[N] * \frac{20,376 \cdot 10^{-3}[m]}{2} * tg(10,7^\circ) = 118,8Nm$$

- Krouticí moment v dříku šroubu při povolování:

$$\overline{M_{KZ}} = Q_1 * \frac{d_2}{2} * tg(g - j') = 61720[N] * \frac{20,376 \cdot 10^{-3}[m]}{2} * (-0,111) = -69,8Nm$$

- Krouticí moment pod maticí:

$$M_{TM} = Q_1 * f_M * r_M = 61720[N] * 0,1 * 14,25 \cdot 10^{-3}[m] = 87,9Nm$$

$$f_M \cong 0,1 \div 0,12$$

- Krouticí moment pod hlavou šroubu:

$$M_{TH} = Q_1 * f_H * r_H = 61720[N] * 0,15 * 15,15 \cdot 10^{-3}[m] = 140,5Nm$$

$$f_H \cong 0,15$$

- Krouticí moment na klíči při uvolňování:

$$\overline{M_{KK}} = \overline{M_{KZ}} + \overline{M_{TM}} = -69,8 - 87,9 = -157,7Nm$$

$$\overline{M_{TM}} = -M_{TM}$$

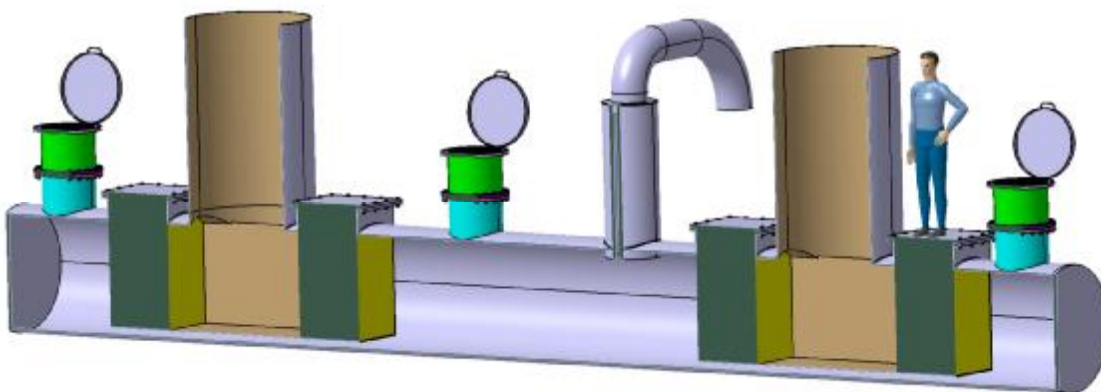
- Krouticí moment na klíči při utahování:

$$M_{KK} = M_{KZ} + M_{TM} = 118,8 + 87,9 = \underline{\underline{206,7Nm}}$$

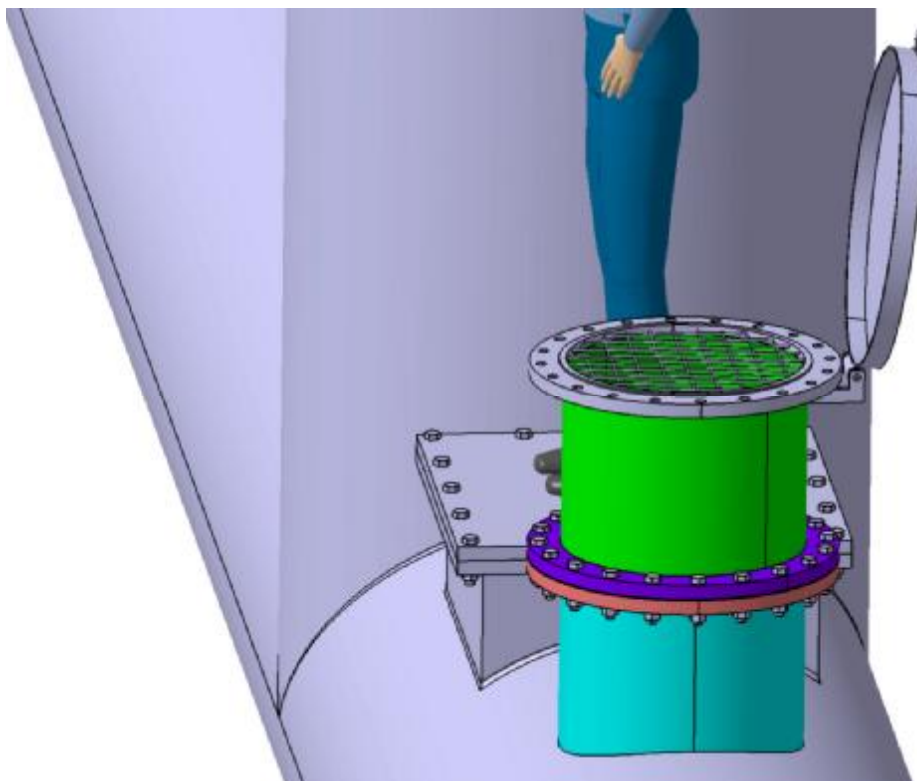
Spojení přírub bude provedeno pomocí 20 šroubů M 20. Krouticí moment při utahování nesmí překročit 206 Nm. Tuto hodnotu lze doporučit jako utahovací moment.

4.4 Konstrukční úpravy tělesa odlučovače

Navržené díly byly vymodelovány v systému Catia V5R19 dle vypočtených parametrů. Obr. 4.9 ukazuje původní odlučovač s eliminátory doplněný třemi pojistnými komíny. Každý pojistný komín je složen ze dvou částí trubky DN 500, které jsou spojené přírubami. Mezi nimi je membrána z hliníkového plechu (viz obr. 3.6). Ve vrchní části komínu je na třetí přírubě navařena ochranná ocelová síť. Příloha č. 4 znázorňuje popsanou sestavu. Pojistný komín je osazen víkem, které je nutné v případě práce odlučovače odklopit. K upozornění bude na odlučovači vyvěšena výstražná tabulka.



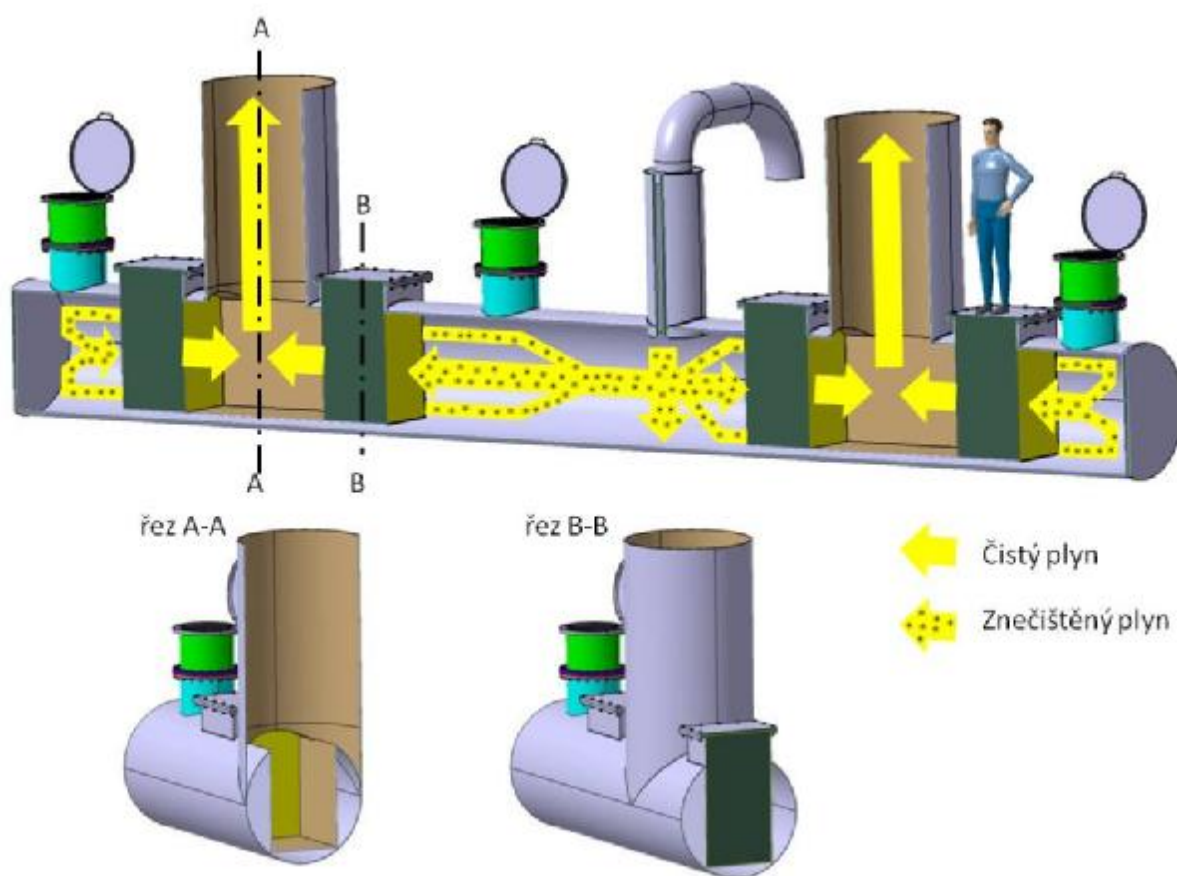
Obr. 4.9 Upravené těleso odlučovače
Je možné posoudit reálnou velikost pomocí modelu člověka.



Obr. 4.10 Detail inovované části

Na obr. 4.10 je mezi přírubami (červené a fialové barvy) membrána. V horní části je ochranná ocelová síť a víko. Detailní rozkreslení viz výkresy sestavy - Příloha č. 4, Příloha č. 6.

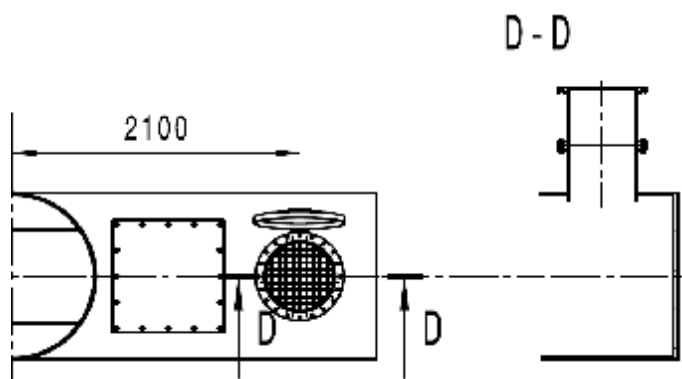
Obr. 4.11 znázorňuje proudění plynu s nečistotami a bez nečistot uvnitř inovovaného odlučovače. Jedná o pracovní stav, tedy kdy přetlak v odlučovači nepřekročil povolenou hodnotu. Velikost odlučovače je možné porovnat s velikostí průměrné osoby.



Obr. 4.11 Znáznornění proudění plynu řez odlučovače

Řez A - A znázorňuje řez komínem odlučovače, řez B - B znázorňuje řez eliminátorem. Žluté šipky znázorňují proudění plynu.

Instalace pojistného komínu spočívá ve vyříznutí otvoru v tělese stávajícího odlučovače, vložení trubky s přírubou (viz obr. 4.12) a přivaření k tělesu odlučovače. Následuje montáž dalšího kusu trubky, která je již opatřena přírubami a ochrannou sítí. Spojení bude uskutečněno dvaceti šrouby M 20 (viz sestava pojistného komínu - Příloha č. 4).



Obr. 4.12 Řez vloženým pojistným komínem
Výkres viz Příloha č. 6.

Vložená část trubky, která byla následně přivařena k tělesu odlučovače, není z vnitřní strany oříznuta podle tvaru tělesa odlučovače - viz řez D-D. Rozmístění pojistných komínů je ve výkresu v příloze č.6.

4.5 Hodnocení optimalizace

V kapitole 3.6 byly popsány jednotlivé metody návrhu konceptu výrobku. Nebudou zde opakovány zásady každého hlediska, budou zmíněny jen hlavní body týkající se vybraného konceptu.

Návrh s ohledem na montáž - DFA

Pro montáž byly zvoleny šrouby M 20. Šroubové spoje nebylo možné nahradit, proto byly zvoleny šrouby větší velikosti, aby se s nimi pracovníkům lépe manipulovalo i v pracovních podmínkách a ochranných pomůckách, kterými jsou pracovníci povinně vybaveni. Podle metody LUCAS bylo navrženo vytvoření jednoho vrchního dílu, kde došlo ke spojení ochranné sítě, trubky a příruby svařením. Tím byl vytvořen složitý díl, který zjednoduší montážní práce, zkrátí čas montáže a zvýší spolehlivost montáže. Dalším opatřením bylo zhotovení pojistného komínu použitím části trubky. Vytvoření kulatého otvoru do stávajícího tělesa (trubka DN 1200) je časově méně náročné než vyřezání hranatého otvoru. Víko bylo navrženo sklopné s uchycením v jednom místě. Pro snadnou montáž je konstrukce navržena tak, aby se víko dalo montovat v přiklopené poloze. Díky tomuto opatření si při montáži vystačí jeden pracovník.

Návrh s ohledem na výrobu - DFM

Navržená membrána má kruhový tvar. Nejsou kladeny žádné speciální nároky na kvalitu a přesnost řezu, jsou použity netolerované rozměry. Membrána je uložena mezi příruby a její akční rozměr je nezávislý na přesnosti jejího uložení. Je dán světlostí příruby, která je normovaná. Díky použití měkkého hliníkového materiálu není nutné hranu membrány po vyříznutí speciálně zabrušovat. Utahovací moment šroubových spojů je přesně stanoven a je počítán na mez kluzu, proto tyto malé nerovnosti a hranky se srovnají při dotažení. Dalším krokem pro jednoduchou montáž byla volba standardních normovaných komponentů, jako jsou šrouby a příruby.

Návrh s ohledem ochranu životního prostředí

Celá sestava byla navržena bez speciálních úprav povrchu. Po montáži bude nutné provést standardní ošetření povrchu jako ostatních kovových zařízení. Membrána je vyrobena z hliníku a je počítáno s vlastní pasivací povrchu. Sestava je navržena bez nutnosti použít maziva.

Návrh s ohledem demontáž a údržbu

Díky použití rozebíratelného spoje je možné po dosloužení oddělit železo a hliník a každé zvlášť recyklovat. Použité šroubové spoje umožní potřebnou údržbu. V případě zanesení tělesa odlučovače, je možné oddělit vrchní část odlučovače povolením šroubů spojujících příruby a zařízení pak může být zvednuto. Případná zanesená membrána může být očištěna, v případě poškození vyměněna.

Návrh s ohledem na cenu

Tento faktor byl volbou tohoto konceptu splněn již v začátcích. Byla vybrána nejlevnější varianta, která brala v úvahu využití stávajícího zařízení a minimalizování prací spojených s inovací. I přesto byla dodržena vysoká kvalita navrhnutého inovovaného zařízení. Cena je také odvislá od plnění výše uvedených kritérií, např. údržby. Pokud bude prováděna možná údržba, nebude potřeba vynaložit vysoké náklady na opravu případné poruchy pojistného komínu.

Navržený koncept byl posouzen jako cenově rozumný, nebyly shledány další možnosti uspořené nákladů. Proto lze prohlásit tento koncept za optimalizovaný.

4.6 Přezkoumání konstrukčního návrhu - FMEA

V minulosti bylo již prokázáno, že jakost nelze zvyšovat pouhou optimalizací vlastní výroby, ale že je nutné zlepšení jakosti aplikovat již ve fázi návrhu výrobku. Souviselo to s postupným vývojem QMS (Quality Management System). Fáze návrhu má vliv nejen na samotnou kvalitu výrobku, ale i na jeho spolehlivost a to je klíčové.

Je nutné vědět, na jakou životnost by měl být daný výrobek konstruován a podle toho se více či méně zaměřit na metody pro přezkoumání konstrukčního návrhu (Design Review).

Tyto metody mohou pomoci nejen k vyšší kvalitě, ale rovněž k rychlejšímu uvedení výrobku na trh a také k tomu, že zákazník dostane jakost, jakou potřebuje. Metod, které můžeme použít, je mnoho. Např. 7 nástrojů pro plánování jakosti, kontrolní listy a formuláře, QFD, FTA a další. Zde bude použita metoda FMEA.

FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) patří mezi přímé analýzy. Zde může být použita, protože je možné přesně specifikovat problém a demonstrovat jeho příčiny a následky pomocí analytických a simulačních postupů.

FMEA použijeme pro analýzu interakcí a následků vyvolaných navrženými změnami současného provedení a pro analýzu nových konstrukčních řešení.

Detailnější popis lze získat z normy ČSN EN 60812 [9], která se uvedenou metodou zabývá.

Stanovené cíle:

- stanovit a vyhodnotit možné poruchy výrobku
- navrhnout opatření, která by je eliminovala
- zpracovat výstup provedené analýzy

Tab. 4.1 FMEA odlučovače nečistot (viz Příloha č. 3)

Součást	Potenciální způsob poruchy	Potenciální důsledek poruchy	S	T	Podrobná příčina/mechanismus poruchy	O	Současná opatření	D	RPN	Doporučená opatření	Výsledky opatření			
											Provedená opatření	S	O	D RPN
O d l u č o v a č	přetlakování	podcházející membrána	9	-	nedotažení šroubů příruby správným Mk	3	žádná	9	243	napsat do výkresu utahovací moment	realizovat	-	-	- -
	šroub M20 chybí	menší životnost	4	-	menší pozornost pracovníka	1	žádná	2	8	100% kontrola dotažení šroubů na MK - předepsat do montážního postupu	realizováno	4	1	1 4
	poškození libovolného dílu při montáži	poškození funkce pojistné membrány	7	-	neznámý postup	5	vizuální kontrola	5	175	vydat podrobný postup	realizovat	-	-	- -
	zanesení membrány nečistotami	zvýšení destrukčního tlaku membrány	9	-	prach a špína okolí, voda	1	žádné	6	54	navrhnout a zkonstruovat víko	realizováno	9	1	1 9
	neotevření víka komínu	nezafungování membrány	10	-	lidský faktor	1	žádné	1	10	pověsit tabulku s nápisem na odlučovač	realizovat	-	-	- -
	ulomení víka	nemožnost znovu zakrýt	6	-	chybějící držák	3	žádné	3	54	navrhnout a zkonstruovat mechanismus pro zajištění otevřeného víka	realizováno	6	1	1 6
	Podložka chybí	povolení šroubu a poškození příruby	2	-	menší pozornost pracovníka	7	žádné	8	112	100% vizuální kontrola - předepsat do montážního postupu	realizováno	2	3	3 18
	Membrána netěsní	snížená funkce ochrany	7	-	poškození tvaru při manipulaci	3	žádné	6	126	zvýšená opatrnost při manipulaci	realizováno	7	2	2 28

Tab. 4.1 ukazuje FMEA pro odlučovač nečistot osazený bezpečnostní membránou. Tvorba spočívala v několika krocích:

- Nejprve byly nalezeny možné poruchy
- Následovalo určení možných příčin těchto poruch
- Poté byla prověřena současná opatření a doporučena nová
- Předposlední krok spočíval v ohodnocení těchto parametrů skupin

Hodnocení první skupiny bylo podle závažnosti S (severity), druhé skupiny podle častosti výskytu O (occurrence) a třetí skupiny podle pravděpodobnosti zjištění poruchy při úspěchu uvedených kontrolních mechanismů D (detection).

K hodnocení byly vytvořeny následující tabulky:

Tab. 4.2 - Závažnost způsobu poruchy - S

Závažnost	Popis kritéria	Klasifikace
žádná	Bez defektu	1
velmi málo významná	Provozeroschopné s vadou bez vlivu na hlavní funkci	2
málo významná	Provozeroschopné s nevýznamným porušením provozních předpisů	3
velmi nízká	Provozeroschopné s významným porušením provozních předpisů	4
nízká	Provozeroschopné s částečným splněním vedlejších funkcí	5
střední	Provozeroschopné bez splnění vedlejších funkcí	6
vysoká	Provozeroschopné se zhoršenou hlavní funkcí	7
velmi vysoká	Provozeroschopné, zvýšená nebezpečnost	8
nebezpečná s varováním	Provozeroschopné s vysokou nebezpečností	9
nebezpečná bez varov.	Neprovozeroschopné	10

Tab. 4.3 Výskyt způsobu poruchy - O

Četnost [ks/rok]	Popis kritéria	Klasifikace
0-1	velice slabý, porucha je nepravděpodobná	1
1-2	Nízký, poměrně málo poruch	3
2-5	Střední, občasné poruchy	5
5-10	Vysoký, opakující se poruchy	7
10-100	Velmi vysoký, porucha je téměř nevyhnutelná	10

Tab. 4.4 Pravděpodobnost detekce při řízení návrhu - D

Detekce	Popis kritéria	Klasifikace
téměř jistá	Při řízení návrhu se bude téměř jistě detekovat potenciální příčina /mechanismus a následný způsob poruchy	1
velmi vysoká	Je velmi vysoká naděje, ...	2
vysoká	Je vysoká naděje, ...	3
středně vysoká	Je středně vysoká naděje, ...	4
střední	Je střední naděje, ...	5
nízká	Je malá naděje, ...	6
velmi nízká	Je velmi malá naděje, ...	7
slabá	Je slabá naděje, ...	8
velice slabá	Je velice slabá naděje, ...	9
absolutně nejistá	Při řízení návrhu se nebude detekovat ...	10

Pronásobením jednotlivých koeficientů S, O, D byl spočten výsledný koeficient rizika RPN (risk priority number). Následně bylo pro stanovené poruchy navrženo opatření, jak jim předejít. Poté, v případě realizace opatření, je možné celý výpočet provést ještě jednou a zhodnotit efektivitu provedených opatření.

Význam použitých označení je následující:

- S je bezrozměrné číslo, které klasifikuje závažnost, tj. odhad, jak silně budou důsledky poruchy ovlivňovat systém nebo uživatele
- O klasifikuje pravděpodobnost výskytu nějakého způsobu poruch v předem určeném časovém období.
- D klasifikuje detekci, tj. odhad naděje, že se porucha zjistí a eliminuje před tím, než bude mít vliv na systém. Toto číslo bylo klasifikováno v obráceném pořadí než číslo závažnosti či výskytu.

Čím vyšší je detekční číslo, tím méně je pravděpodobné, že dojde k detekci. Nižší pravděpodobnost detekce v důsledku toho vede k vyššímu číslu RPN a vyšší prioritě řešení daného způsobu poruch.

- RPN klasifikuje prioritu rizika

$$RPN = S \times O \times D$$

Číslo priority rizika se může použít ke stanovení priority při soustředění se na zmírnění způsobů vzniku poruch. Kromě velikosti čísla priority rizika má na rozhodování se o

zmírňování vliv především závažnost způsobu poruch. V našem případě se to týká poruchy „zanesení membrány nečistotami“ a „ulomení víka“. Obě mají stejné RPN = 54. Ale důležitost je 9 resp. 6, proto bychom se měli soustředit více na první poruchu. Realizována byla obě navrhovaná řešení.

Jako nejzávažnější byla shledána možná porucha „přetlakování“ způsobená nedotažením šroubů. Proto byla do výkresu sestavy dopsána poznámka k montáži - Šrouby utáhnout momentovým klíčem na $M_k = 206 \text{ Nm}$.

Tab. 4.1 rovněž ukazuje zlepšení rizika možných poruch. U poruch, kde byla provedena realizace opatření, byly přehodnoceny koeficienty a došlo k výraznému zlepšení. Tyto úpravy již byly zapracovány do konstrukce úprav - kapitola 4.4.

Metodou FMEA, provedenou v tomto stádiu projektu byly ušetřeny více-náklady, které by vyplynuly z pozdějších opatření k zajištění spokojenosti zákazníka a ze zpožděného projektu.

Výsledky této analýzy mohou být díky zdokumentování rovněž použity pro budoucí inovační projekty.

4.7 Pevnostní analýza

Pro pevnostní analýzu bude využito dvou programů a výsledky budou porovnány mezi sebou i s analytickým výpočtem.

4.7.1 Catia

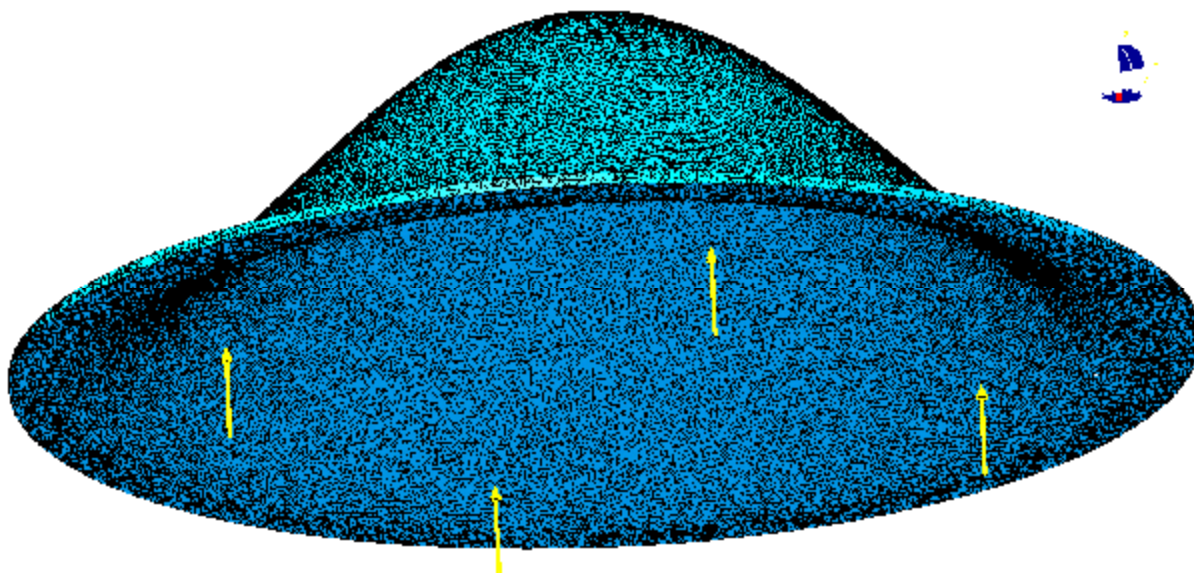
Systémem Catia V5R19 byla provedena pevnostní analýza pomocí metody konečných prvků. Tloušťka membrány byla zvolena 3 mm, pracovní průměr je 513 mm, materiál hliník s $R_m = 82,7 \text{ MPa}$, $R_{p0,2} = 75,8 \text{ MPa}$, $E = 68,9 \text{ GPa}$.

Membrána byla „upevněna“ za okrajové mezikružší. Byl tak zachován stejný pracovní průměr, jako je při uložení mezi přírubami. Zatížení bylo tlakem $0,07 \text{ MPa}$, což odpovídá dovolenému a výpočtovému přetlaku.

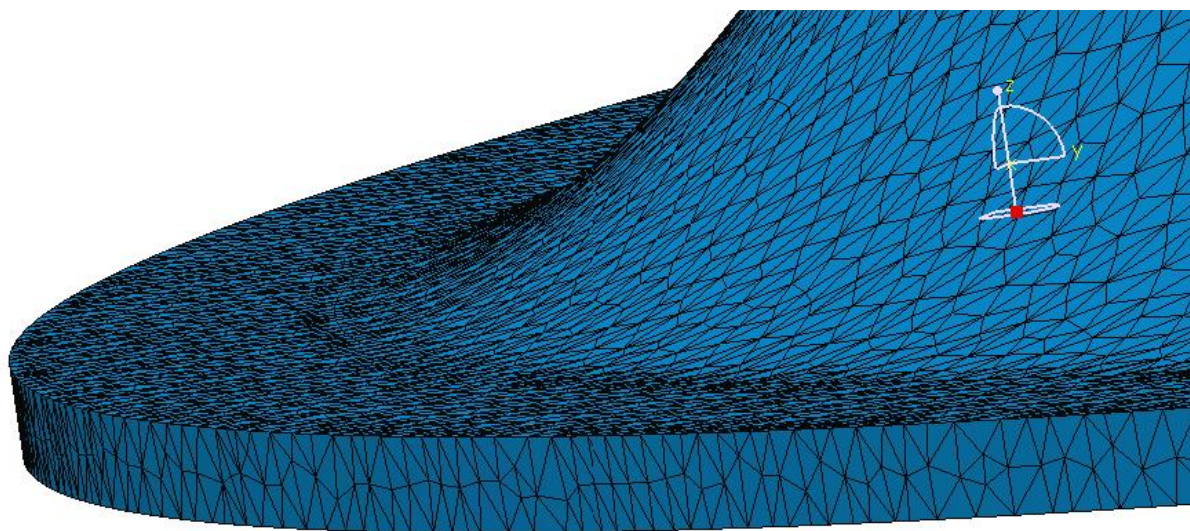
Dále byly přednastaveny některé parametry potřebné pro výpočet pevnostní analýzy. Pro výpočet byla zvolena síť elementů s lineární hranou. Maximální délka hrany byla zvolena 2,55 mm. Omezení bylo dáno výkonností grafické stanice. Bylo zjištěno, že při zvětšení hrany o jednotky milimetrů se výsledky neliší. Pokud byla velikost hrany zvolena 30 mm, pak byly

výsledky o několik řádů rozdílné. Lze tedy usuzovat, že velikost elementu byla dostatečně malá, pro přesný výpočet.

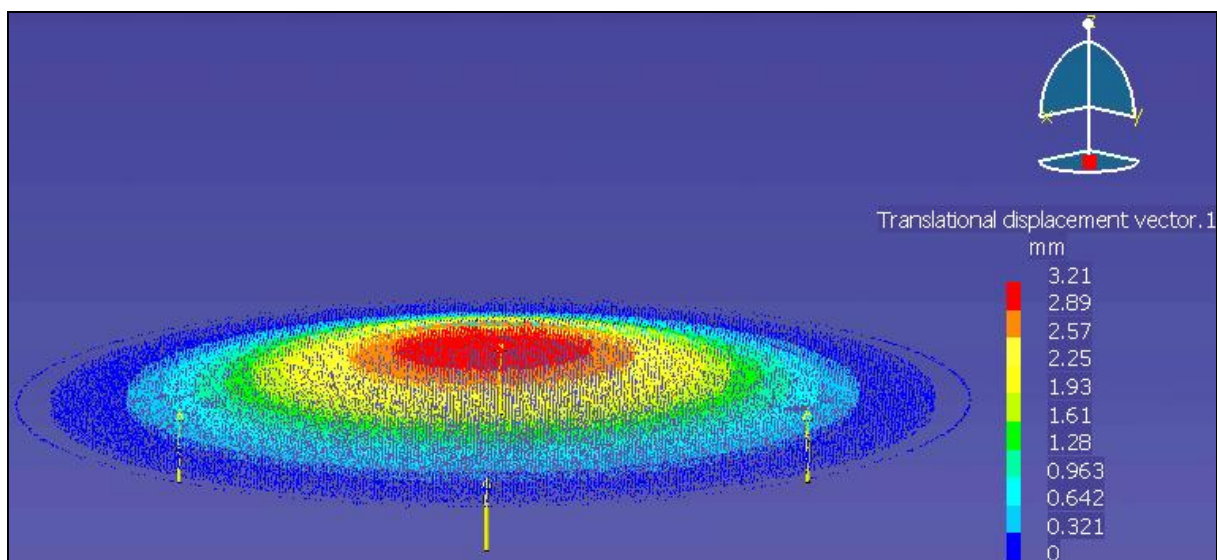
Grafická prezentace výsledků:



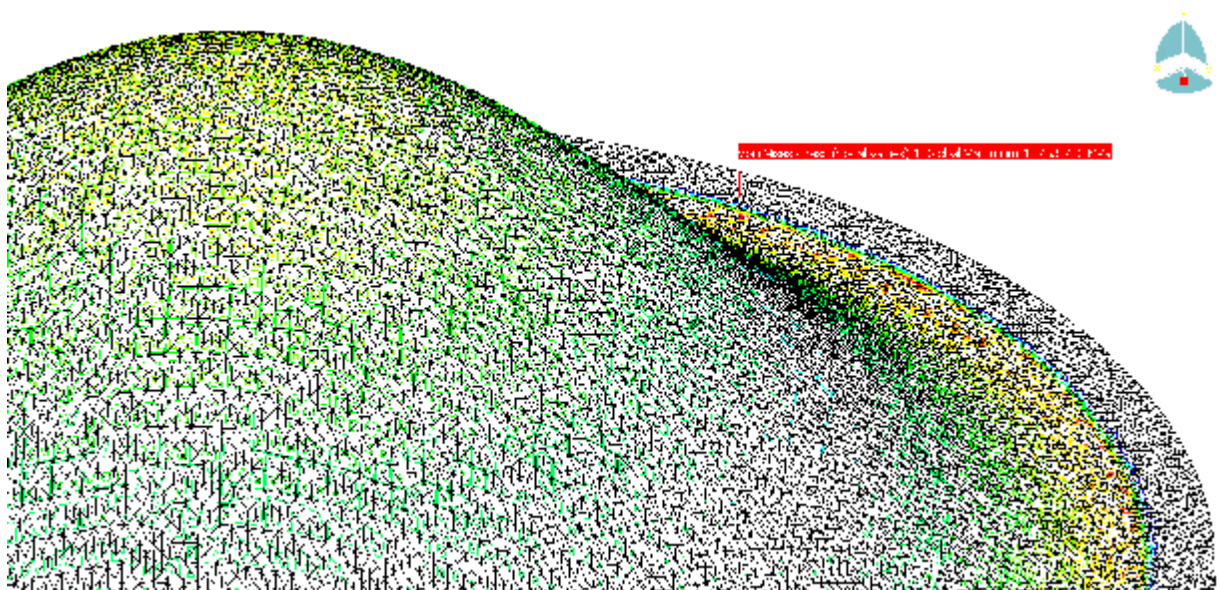
Obr. 4.13 Zatížení membrány a deformace
Síť elementů s hranou 2,55 mm. Tlak znázorňují žluté šipky. Simulováno uchycení mezi příruby.
Deformace 50x zvětšena.



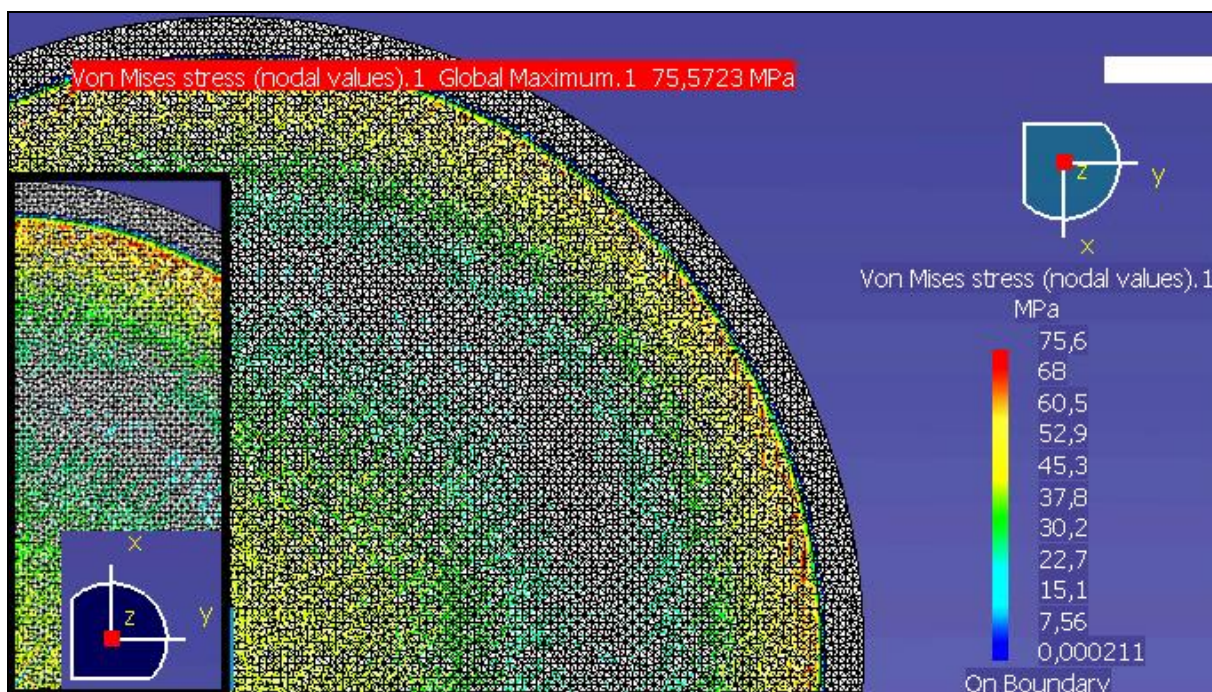
Obr. 4.14 Detail elementů a uchycení membrány
Deformace 50x zvětšena.



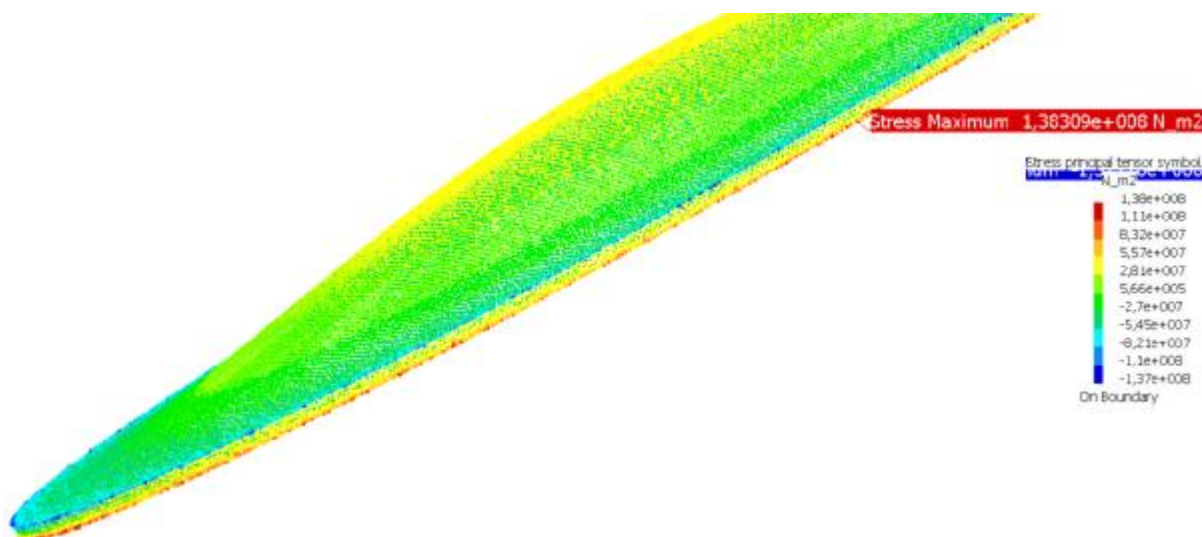
Obr. 4.15 Deformace - přetlak 0,07 MPa
Maximální dosažená deformace je 3,21 mm ve středu membrány.



Obr. 4.16 Redukované napětí - deformace
Maximální dosažená hodnota byla 75,6 MPa na vrchní straně membrány u okraje. Zvětšení deformace 50x.



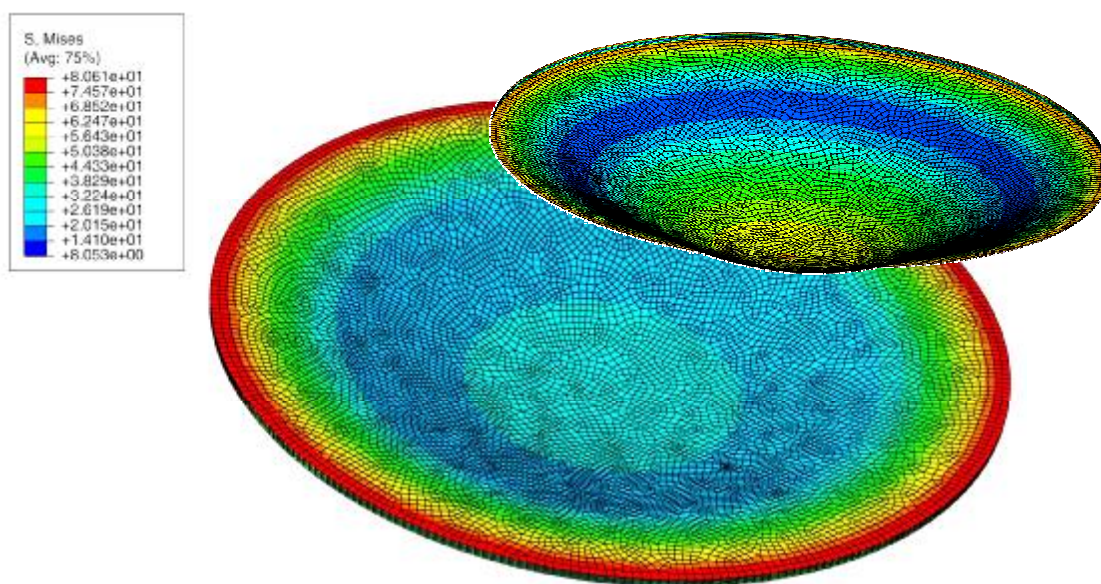
Obr. 4.17 Redukované napětí - hodnoty
Hlavní obrázek ukazuje pohled z vrchu, vložený obrázek pohled ze spodu. Maximální hodnota je 75,6 MPa při okraji membrány.



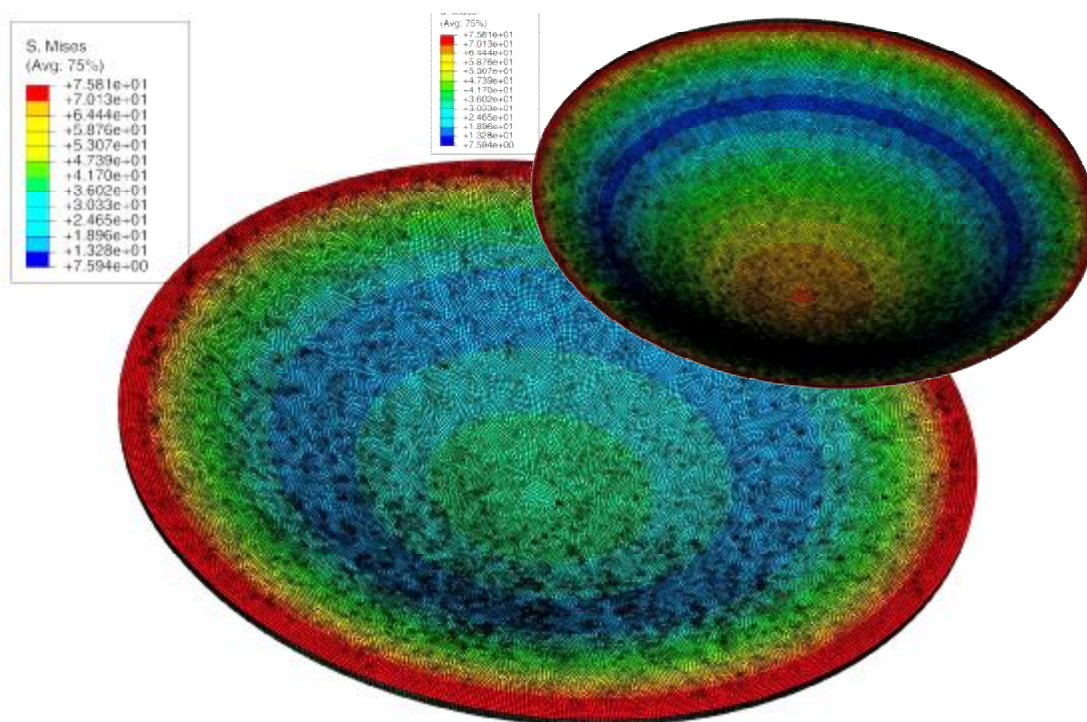
Obr. 4.18 Hlavní napětí
Membrána je na spodní straně namáhána podstatně více než na horní straně. Napětím 138,3 MPa.

4.7.2 Abaqus

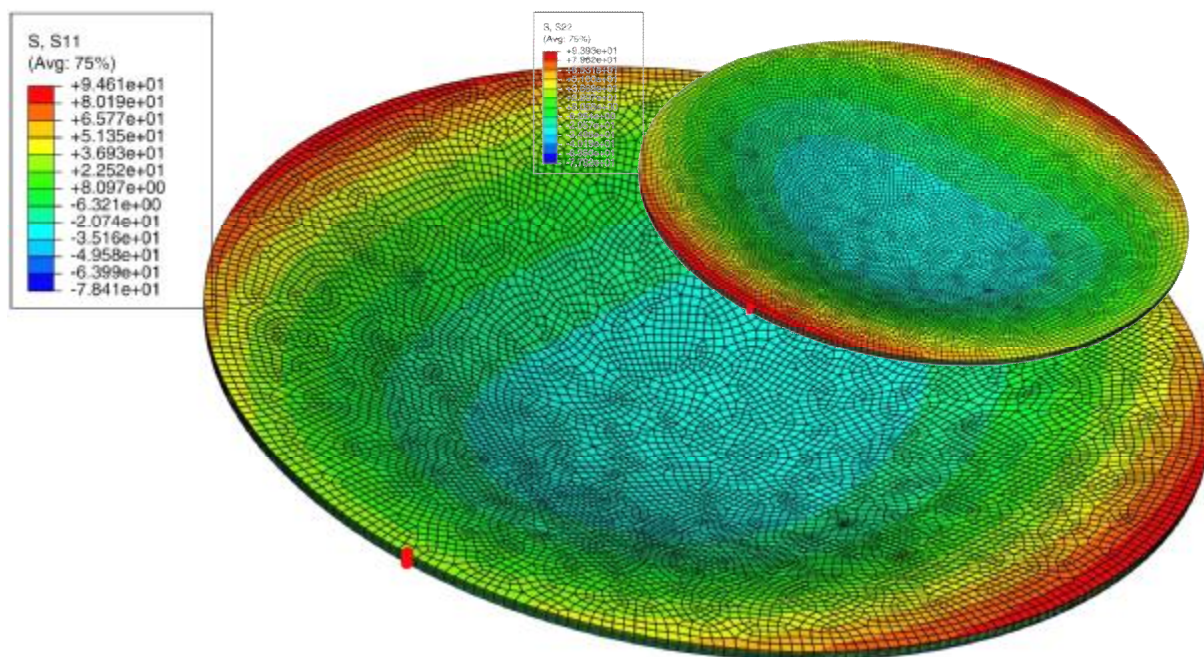
Pro kontrolu byl využit ještě program Abaqus, kde byl se stejnými parametry proveden také výpočet metodou konečných prvků. Zde bylo možné provést simulaci elastické deformace a plastické deformace. Výsledky jsou:



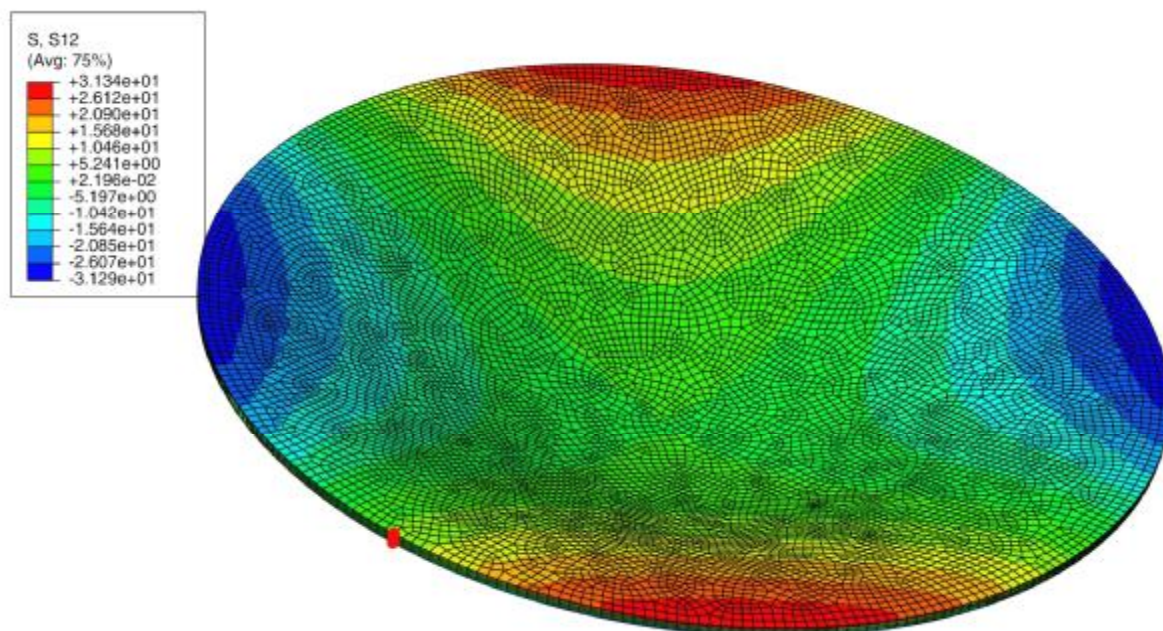
Obr. 4.19 Redukované napětí - elastická deformace
Maximální hodnota napětí vyšla 80,6 MPa na spodní straně (dolní obr.)



Obr. 4.20 Redukované napětí - plastická deformace
Maximální hodnota napětí vyšla 75,8 MPa na spodní straně (dolní obr.)



Obr. 4.21 Radiální napětí - elastická deformace
Maximální hodnota napětí vyšla 94,6 MPa na spodní straně (dolní obr.)



Obr. 4.22 Smykové napětí - elastická deformace
Maximální hodnota napětí vyšla 31,3 MPa.

V programu Abaqus byly pro dostatečnou přesnost zvoleny lineární elementy, ve čtyřech řadách v tloušťce membrány pro elastický výpočet a v pěti řadách pro plastický výpočet.

4.7.3 Zhodnocení dosažených výsledků

Výsledky provedených analýz je vhodné srovnat s vypočtenými hodnotami. Bude proveden výpočet radiálního a tečného napětí a porovnání s výsledky pevnostních analýz. Výpočty budou provedeny pro okraj membrány, kde vyšlo ve všech případech analýzy největší napětí Z kapitoly 4.2.3 vychází:

pro $x = r = 256 \text{ mm}$

$$s_t = \frac{-1135}{t^2} = \frac{-1135}{5,26^2} = 41,07 \text{ MPa}$$

$$s_r = \frac{-3440}{t^2} = \frac{-3440}{5,26^2} = 124,3 \text{ MPa}$$

Deformace membrány tloušťky 5,26 mm vyšla dle analýzy 3,21 mm. Analytické výpočty udávají maximální průhyb 3,8 mm. Výsledky jsou velmi podobné, lze usuzovat, že výpočty byly provedeny za správných předpokladů.

Radiální napětí 124,3 MPa z analytického výpočtu by mělo odpovídat složce o maximální hodnotě 94,6 MPa z programu Abaqus a 138,3 MPa z programu Catia. Rozptyl hodnot na obě strany od analytického výpočtu je do 33 %.

Tečné napětí 41,1 MPa z analytického výpočtu by mělo odpovídat složce o maximální hodnotě 31,3 MPa z programu Abaqus. Rozptyl hodnot je také do 33 %.

Redukované napětí z analýzy programu Catia vychází 75,6 MPa z programu Abaqus vychází pro elastickou deformaci 80,6 MPa a pro plastickou 75,8 MPa.

Z dosažených výsledků je patrné, že membrána je nejvíce namáhána na spodní straně v blízkosti upnutí mezi příruby. Dále je vidět rozdílné chování při plastickém a elastickém výpočtu. V tomto případě, kdy je požadována destrukce membrány, bude membrána procházet nejprve elastickými změnami a následně i plastickými změnami. Podle plastického výpočtu by k destrukci nedošlo.

Menší rozdíl mezi jednotlivými výpočtovými programy a analytickým výpočtem může být zapříčiněn vstupními parametry výpočtových programů, jako např. velikost elementu. Integrovaný MKP řešič by oba programy měly mít stejný. Výpočtové programy ani

analytické výpočty nelze použít bez rozboru možných nepřesností. Proto je také nutné počítat s jistou mírou bezpečnosti.

Výsledná napětí se ve všech případech pohybují v těsném okolí meze pevnosti. Z toho lze usuzovat, že byla dobře zvolena bezpečnost 1,5 a tedy použitá tloušťka membrány by měla být 3,5 mm.

5 Závěr

V diplomové práci bylo cílem navrhnout inovaci odlučovače nečistot plynu horizontálního typu, při respektování moderních metod inovačního inženýrství. Navržená inovace respektuje hlavní požadavky inovačních metod a ukazuje jak výhodnost, tak efektivitu použití těchto metod.

Byly zjištěny hlavní údaje o přepravě plynu, příčinách jeho znečištění a četnosti použití odlučovače. Byla provedena studie významu odlučovače nečistot na tranzitní soustavě plynovodů, zařízení bylo popsáno a prezentováno. Provedená analýza fáze dojezdu pístu a popis principu čištění ukázaly řadu problémů, které by mohly být řešeny. Problematika práce odlučovače byla diskutována z pohledu možných příčin poruchy a možností řešení, byly také zhodnoceny klady a zápory současného provedení. Kritickým bylo shledáno riziko zvýšení přetlaku uvnitř beztlakové nádoby nad povolenou mez 0,07MPa a možnost porušení kompaktnosti tělesa. S tím jsou spojena další rizika zranění personálu a škod na ostatních zařízeních.

Jako Inovační záměr bylo vybráno vyřešení tohoto problému. Pomocí programu MS Project byl sestaven harmonogram inovace tak, aby byl projekt dokončen k přesně stanovenému datu 28. 5. 2010. Harmonogram byl dodržen. Průběžně probíhalo jeho sledování a plnění jednotlivých bodů a shod s termíny jejich dokončení. To bylo jednoduše možné díky vytvořenému harmonogramu, čímž byl efektivně využit naplánovaný čas.

S pomocí moderačních technik (především moderované diskuze) a moderačních pomůcek (např. přenosné prezentační tabule - flip chart), byly identifikovány zákaznické potřeby. Moderační metody umožnily zjistit i skryté potřeby. Dále bylo ukázáno použití metod pro hodnocení zákaznických potřeb. Ze zjištěných potřeb byl sestaven afinní diagram, kde byly potřeby logicky uspořádány do skupin. Výsledné skupiny byly bezpečnost a čistota. Následně bylo provedeno kriteriální hodnocení jednotlivých potřeb pomocí rozhodovací

tabulky se zohledněním důležitosti jednotlivých potřeb. Nejdůležitějšími byly shledány potřeby komory bez tlaku, přetlakové ochrany, bezpečnostního prvku a minimálních nákladů.

Následně byl proveden průzkum trhu již známých a používaných řešení. Byly zjištěny dvě možnosti řešení, tj. vertikální odlučovač a mobilní odlučovač, které byly popsány a byla vysvětlena jejich funkce. Byly zhodnoceny přínosy jednotlivých řešení pro daný problém.

Dále byly hledány možnosti dalších řešení. Využitím metod pro kreativní generování konceptu byla navržena nová řešení. Byly využity znalosti týmové práce, dále byla použita metoda TRIZ, která pomohla odstranit psychologickou setrvačnost pohledu většiny specialistů týmu. Výsledkem byly dva prezentované koncepty, varianta se zabudováním bezpečnostních membrán a varianta s instalováním snímačů tlaku. Největší důraz byl kladen na míru bezpečnosti a také na nízké náklady, což byly hlavní cíle práce.

Navržené koncepty byly dále hodnoceny z pohledu metod detailního konstruování (DFX). Metody byly podrobně vysvětleny. Pomocí nástrojů inovačního inženýrství byly varianty hodnoceny. Nejprve byla použita rozhodovací tabulka k hrubému roztřídění konceptů. Varianty, které nebyly vyřazeny, byly dále hodnoceny podobnou rozhodovací tabulkou, kde byly zohledněny váhy jednotlivých kritérií. Kritérium s největší vahou bylo kritérium pro zajištění beztlakovosti. Vybrána byla varianta s bezpečnostní membránou, která se umístila na prvním místě s váženou hodnotou 4,04 bodu. Podle Toyota production system byly zváženy všechny návrhy řešení, byla diskutována slabá místa jednotlivých návrhů a byl vyhrazen dostatečný časový prostor pro správné rozhodnutí.

Vybraná varianta byla dále rozpracována. Bylo navrženo konstrukční řešení inovované části odlučovače, vysvětlena funkce a vliv na práci inovovaného odlučovače. Hlavní konstrukční prvky byly podloženy výpočty. Byla vypočtena tloušťka membrány 5,26 mm dle maximálního přetlaku 0,07 MPa.

Membrána byla zařazena mezi tenké kruhové rotačně symetrické a spojitě zatížené desky stálé tloušťky. Byly odvozeny vztahy pro radiální ohybové napětí a tečné obvodové napětí. Pro dvě okrajové podmínky byla vypočtena uvedená tloušťka a průhyb membrány. Dále byl proveden výpočet namáhání na stříh, ale vypočtená tloušťka 0,11 mm nebyla rozhodující pro návrh.

Dále byla diskutována míra bezpečnosti a s ohledem na standardní výrobní tloušťky hliníkových plechů bylo doporučeno zvolit hliníkový plech o tloušťce 3,5 mm. V tomto

případě je míra bezpečnosti 1,5. Byl také popsán průběh tlakové zkoušky membrány, kterou nařizuje norma a počet testovaných membrán pro zamýšlený počet inovací.

Inovovaný prvek byl osazen přírubami. Dle dané normy byly zvoleny šrouby M 20 a spočteny utahovací momenty tak, aby nebyla překročena mez kluzu hliníkové membrány. S ohledem na zvolený typ uložení membrány byl spočten utahovací moment 206 Nm, který vyvolá v jednom šroubu předpětí 61,7 kN.

Pro navrženou membránu byla provedena pevnostní analýza v programech Catia a Abaqus. Dosažené výsledky z těchto programů jsou ve shodě a rovněž jsou ve shodě s analytickými propočty. Lze tedy usuzovat na správnost výpočtů a správnost volby míry bezpečnosti 1,5.

Navržená inovace odlučovače splnila dané cíle. Inovací je zaručena bezpečnost beztlakového režimu odlučovače, byla zachována daná odlučitelnost nečistot plynu a celková bezpečnost práce byla zvýšena.

Byla provedena optimalizace se zohledněním bezpečnosti a ceny. Výsledky byly ověřeny pomocí programového vybavení. Protože se jedná o potenciálně rizikové zařízení, je nutné provést otestování odlučovače osazeného inovačními prvky a to na předepsaném počtu membrán.

Literatura

- [1] GAS s.r.o. *Přeprava a uskladnění*. Praha, 19. března 2009 [cit. 17.11.2009]. URL:<<http://www.zemniplyn.cz/doprava/>>
- [2] Energy Information Administration (EIA). Official Energy Statistics from the U.S. Government [online]. *International Energy Outlook 2009*; release date 27.5.2009 [cit. 17.11.2009]. URL:<http://www.eia.doe.gov/oiaf/ieo/nat_gas.html>
- [3] MAŠÍN, I.; ŠEVČÍK, L.: *Metody inovačního inženýrství*. 1. vyd., Liberec : Institut technologií a managementu s.r.o., 2006. 181 s. ISBN 80-903533-0-4
- [4] ČSN 69 2501. *Pojistné membrány. Membrány pro tlakové nádoby*. Praha : Český normalizační institut, 1994.
- [5] LEINVEBER, J.; VÁVRA, P.: *Strojnické tabulky*. 1. vyd., Úvaly : Albra, 2003. ISBN 80-86490-74-2
- [6] MatWeb : *Material Property Data Aluminium 1060-H12* [online]. MatWeb 5.0.Automation Creations, Inc., 2007 [cit. 2010-05-23]. URL:< <http://www.matweb.com/search/datasheet.aspx?matguid=0df660ac8b87434ca82af7681a6098e1>>
- [7] WIREMAN, Terry. *World Class Maintenance Management*. 1st ed. New York, N.Y : Industrial Press, 1990. 171 s. ISBN 0831130253
- [8] ŠVEC, V.: *Části a mechanismy strojů - Příklady*. Praha : Vydavatelství ČVUT, 2003.
- [9] ČSN EN 60812. *Techniky analýzy bezporuchovosti systémů – Postup analýzy způsobů a důsledků poruch (FMEA)*. Praha : Český normalizační institut, 2007 (beztlaká nádoba podle ČSN 690010 - 1.1 z října 1993)
- [10] ČSN 69 0010 - 4.9. *Tlakové nádoby stabilní, technická pravidla, výpočet pevnosti - Rovná nevyztužená dna a víka*. Praha : Český normalizační institut, 1991.
- [11] ČSN 69 0010-1-1. *Tlakové nádoby stabilní. Technická pravidla. Část 1.1: Základní část. Všeobecná ustanovení a terminologie*. Praha : Český normalizační institut, 1993.
- [12] ČSN EN 1092-1. *Příruby a přírubové spoje - Kruhové příruby pro trubky, armatury, tvarovky a příslušenství s označením PN - Část 1: Příruby z oceli*. Praha : Český normalizační institut, 2008.
- [13] ČSN EN 485-2. *Hliník a slitiny hliníku - Plechy, pásy a desky - Část 2: Mechanické vlastnosti*. Praha : Český normalizační institut, 2009.
- [14] ČSN EN ISO 4126-6. *Bezpečnostní pojistná zařízení proti nadměrnému tlaku - Část 6: Použití, výběr a montáž bezpečnostního zařízení s průtržnou membránou*. Praha : Český normalizační institut, 2004.
- [15] MICHALEC a kol.: *Pružnost a pevnost II*. Praha : Vydavatelství ČVUT, 2006. 80-01-02375-3
- [16] DRASTÍK, F.: *Technické kreslení podle mezinárodních norem I. Pravidla tvorby výkresů ve strojírenství*. Ostrava : Montanex, 1994.
- [17] PEŠÍK, L.: *Části strojů I*. Liberec : TUL, 2005. ISBN 80-7083-938-4
- [18] ČSN 69 0010-4.18. *Tlakové nádoby stabilní. Technická pravidla. Výpočet pevnosti. Přírubové spoje*. Praha : Český normalizační institut, 1990.
- [19] LIKER, J. K.: *Jak to dělá Toyota*. Praha : Management Press, s.r.o., 2004. ISBN 978-80-7261-173-7



Přílohy

Příloha č. 1 - Časový plán projektu

Příloha č. 2 - Katalogový list Hliník 1060 - H12

Příloha č. 3 - FMEA

Příloha č. 4 - Výkres sestavy pojistného komínu

Příloha č. 5 - Kusovník

Příloha č. 6 - Výkres modifikovaného odlučovače



Příloha č. 2 - Katalogový list Hliník 1060 - H12 Aluminum 1060-H12

Categories: Metal; Nonferrous Metal; Aluminum Alloy; 1000 Series Aluminum

Material Notes: Data points with the AA note have been provided by the Aluminum Association, Inc. and are NOT FOR DESIGN.

Composition Notes:

The aluminum content for unalloyed aluminum not made by a refining process is the difference between 100.00 percent and the sum of all other analyzed metallic elements present in amounts of 0.010 percent or more each, expressed to the second decimal before determining the sum. For alloys and unalloyed aluminum not made by a refining process, when the specified maximum limit is 0.XX, an observed value or a calculated value greater than 0.005 but less than 0.010% is rounded off and shown as "less than 0.01%".
Composition information provided by the Aluminum Association and is not for design.

Key Words: Aluminium 1060-H12; UNS A91060; AA1060-H12

Vendors: No vendors are listed for this material. Please [click here](#) if you are a supplier and would like information on how to add your listing to this material.

Physical Properties	Metric	English	Comments
Density	2.705 g/cc	0.09772 lb/in³	AA; Typical
Mechanical Properties	Metric	English	Comments
Hardness, Brinell	23	23	AA; Typical; 500 g load; 10 mm ball
Tensile Strength, Ultimate	82.7 MPa	12000 psi	AA; Typical
Tensile Strength, Yield	75.8 MPa	11000 psi	AA; Typical
Elongation at Break	16.0 % @Thickness 1.59 mm	16.0 % @Thickness 0.0625 in	AA; Typical
Modulus of Elasticity	68.9 GPa	10000 ksi	AA; Typical; Average of tension and compression. Compression modulus is about 2% greater than tensile modulus.
Poissons Ratio	0.330	0.330	
Fatigue Strength	27.6 MPa @# of Cycles 5.00e+8	4000 psi @# of Cycles 5.00e+8	completely reversed stress; RR Moore machine/specimen
Shear Modulus	26.0 GPa	3770 ksi	Calculated
Shear Strength	55.2 MPa	8000 psi	AA; Typical
Electrical Properties	Metric	English	Comments
Electrical Resistivity	0.0000280 ohm-cm	0.0000280 ohm-cm	
Thermal Properties	Metric	English	Comments
Heat of Fusion	390 J/g	168 BTU/lb	
CTE, linear	23.6 µm/m-°C @Temperature 20.0 - 100 °C	13.1 µin/in-°F @Temperature 68.0 - 212 °F	AA; Typical; average over range
	25.5 µm/m-°C @Temperature 20.0 - 300 °C	14.2 µin/in-°F @Temperature 68.0 - 572 °F	average
Specific Heat Capacity	0.900 J/g-°C	0.215 BTU/lb-°F	
Thermal Conductivity	230 W/m-K	1600 BTU-in/hr-ft²-°F	
Melting Point	646.1 - 657.2 °C	1195 - 1215 °F	AA; Typical range based on typical composition for wrought products 1/4 inch thickness or greater
Solidus	646.1 °C	1195 °F	AA; Typical
Liquidus	657.2 °C	1215 °F	AA; Typical
Processing Properties	Metric	English	Comments
Annealing Temperature	343 °C	650 °F	
Component Elements Properties	Metric	English	Comments
Aluminum, Al	>= 99.6 %	>= 99.6 %	
Copper, Cu	<= 0.050 %	<= 0.050 %	
Iron, Fe	<= 0.35 %	<= 0.35 %	
Magnesium, Mg	<= 0.030 %	<= 0.030 %	
Manganese, Mn	<= 0.030 %	<= 0.030 %	
Other, each	<= 0.030 %	<= 0.030 %	
Silicon, Si	<= 0.25 %	<= 0.25 %	
Titanium, Ti	<= 0.030 %	<= 0.030 %	
Vanadium, V	<= 0.050 %	<= 0.050 %	
Zinc, Zn	<= 0.050 %	<= 0.050 %	

References for this datasheet.

Some of the values displayed above may have been converted from their original units and/or rounded in order to display the information in a consistent format. Users requiring more precise data for scientific or engineering calculations can click on the property value to see the original value as well as raw conversions to equivalent units. We advise that you only use the original value or one of its raw conversions in your calculations to minimize rounding error. We also ask that you refer to MatWeb's disclaimer and terms of use regarding this information. [Click here](#) to view all the property values for this datasheet as they were originally entered into MatWeb.

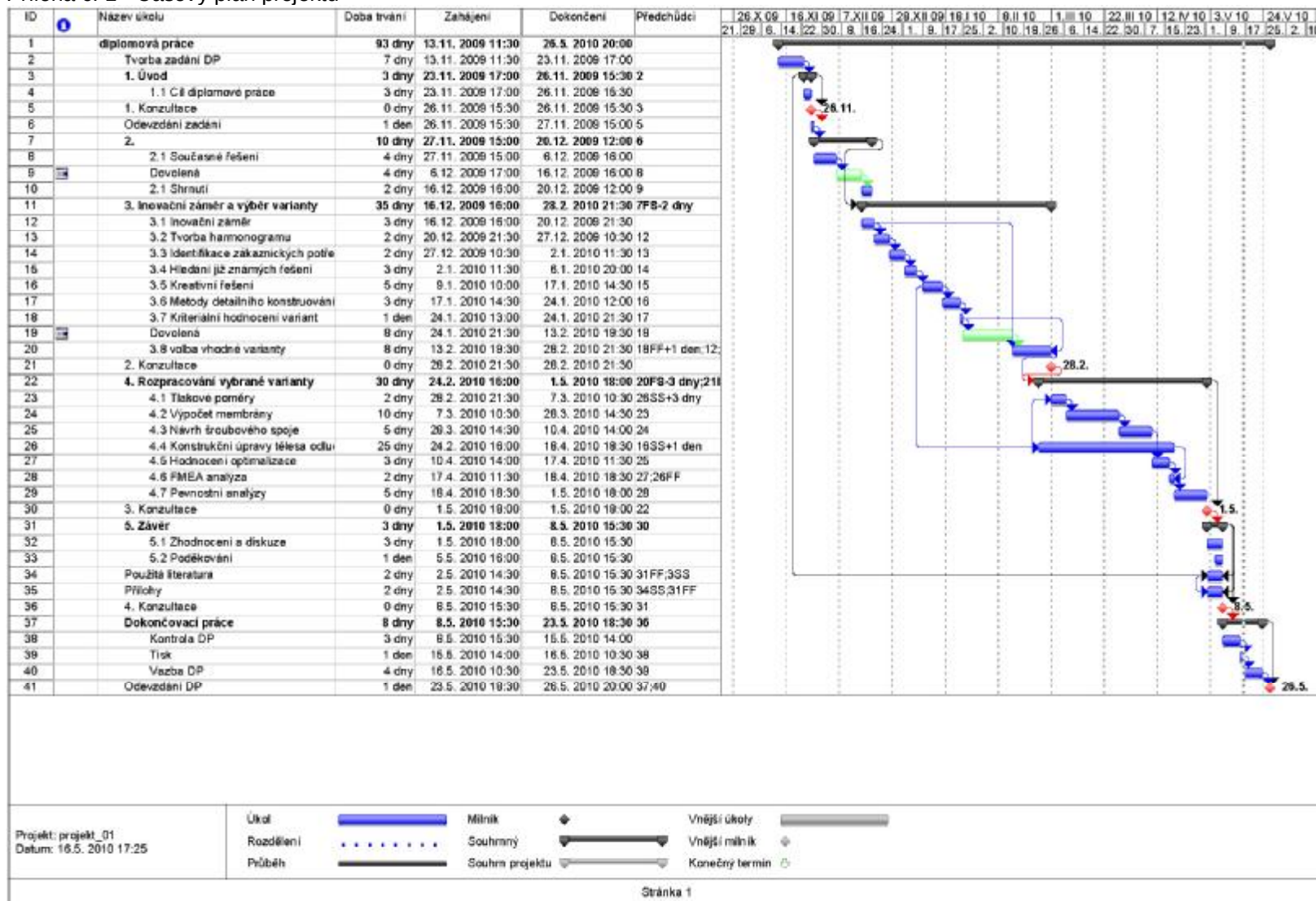


Příloha č. 3 - FMEA

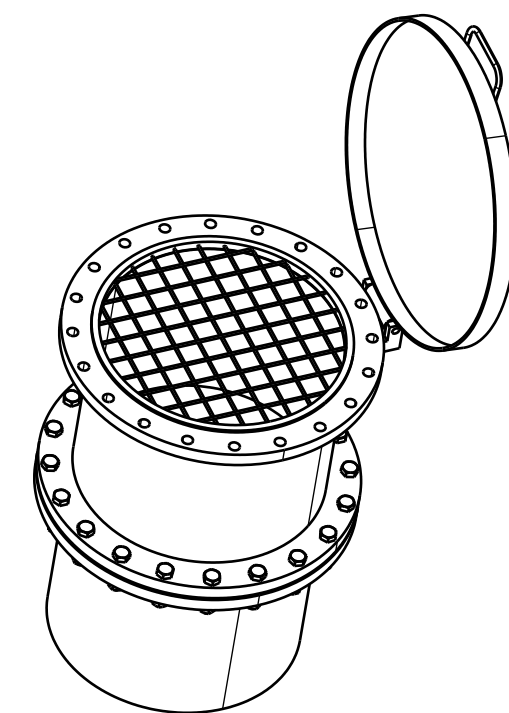
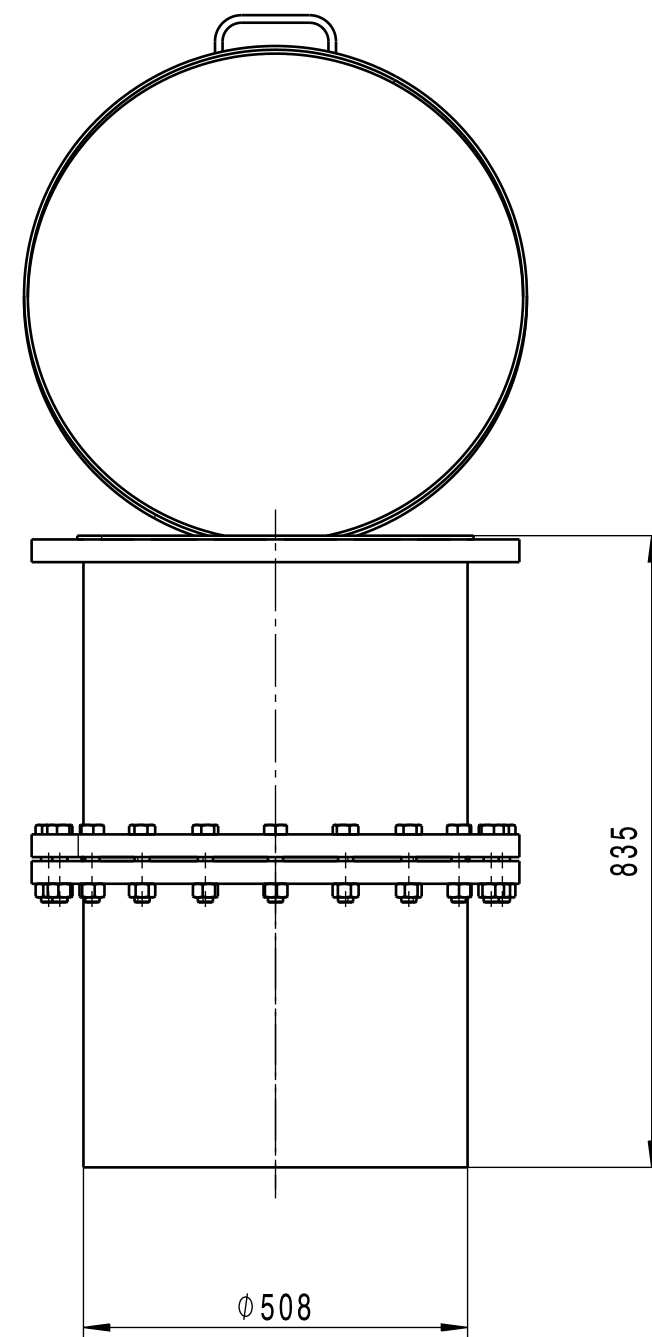
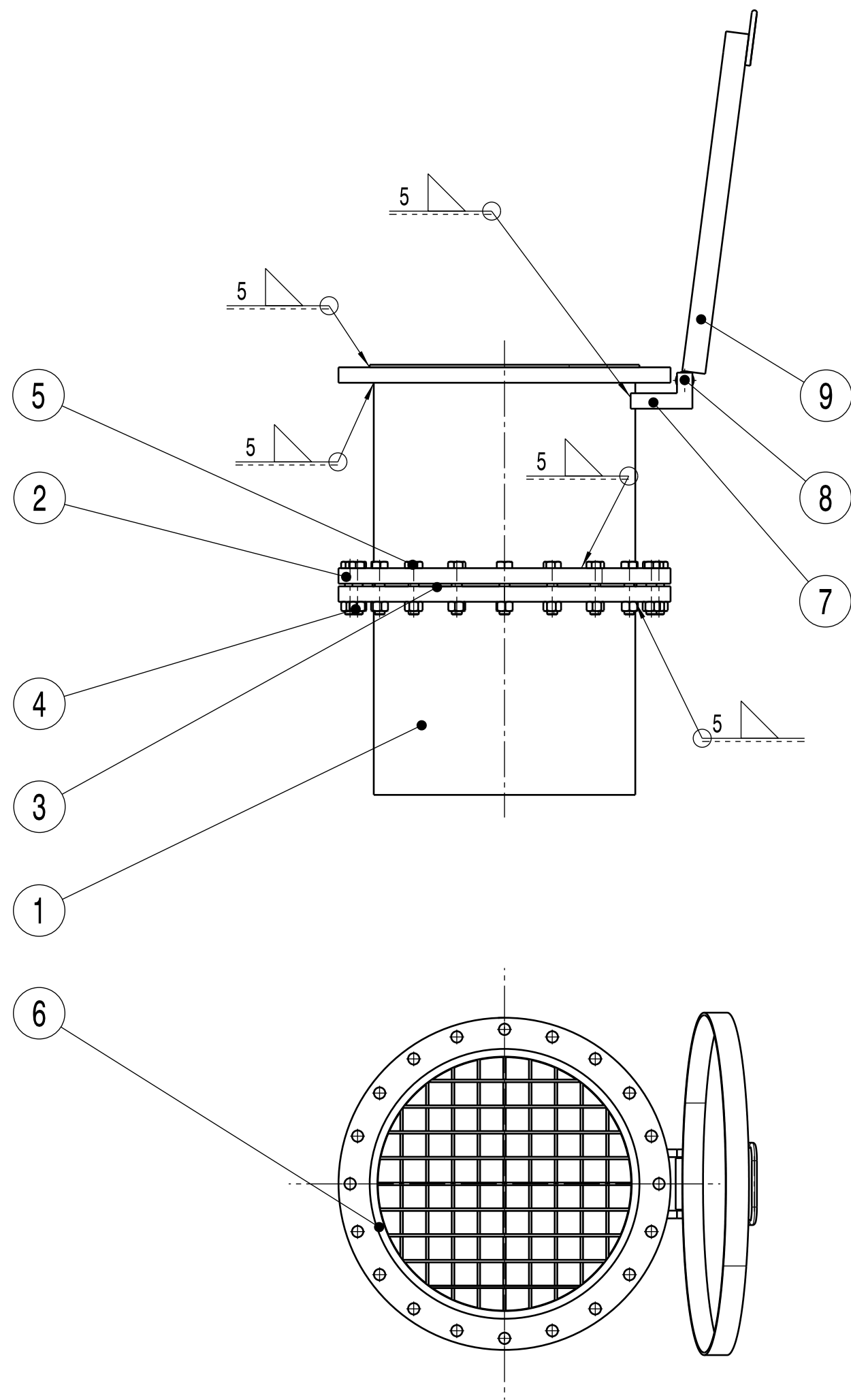
Součást	Potenciální způsob poruchy	Potenciální důsledek poruchy	S	T	Podrobná příčina/mechanismus poruchy	O	Současná opatření	D	RPN	Doporučená opatření	Výsledky opatření				
											Provedená opatření	S	O	D	RPN
O d l u č o v a č	přetlakování	podcházející membrána	9	-	nedotažení šroubů příruby správným Mk	3	žádná	9	243	napsat do výkresu utahovací moment	realizovat	-	-	-	-
	šroub M20 chybí	menší životnost	4	-	menší pozornost pracovníka	1	žádná	2	8	100% kontrola dotažení šroubů na MK - předepsat do montážního postupu	realizováno	4	1	1	4
	poškození libovolného dílu při montáži	poškození funkce pojistné membrány	7	-	neznámý postup	5	vizuální kontrola	5	175	vydat podrobný postup	realizovat	-	-	-	-
	zanesení membrány nečistotami	zvýšení destrukčního tlaku membrány	9	-	prach a špína okolí, voda	1	žádné	6	54	navrhnout a zkonstruovat víko	realizováno	9	1	1	9
	neotevření víka komínu	nezafungování membrány	10	-	lidský faktor	1	žádné	1	10	pověsit tabulku s nápisem na odlučovač	realizovat	-	-	-	-
	ulomení víka	nemožnost znovu zakrýt	6	-	chybějící držák	3	žádné	3	54	navrhnout a zkonstruovat mechanismus pro zajištění otevřeného víka	realizováno	6	1	1	6
	Podložka chybí	povolení šroubu a poškození příruby	2	-	menší pozornost pracovníka	7	žádné	8	112	100% vizuelní kontrola - předepsat do montážního postupu	realizováno	2	3	3	18
	Membrána netěsní	snížená funkce ochrany	7	-	poškození tvaru při manipulaci	3	žádné	6	126	zvýšená opatrnost při manipulaci	realizováno	7	2	2	28



Příloha č. 1 - Časový plán projektu





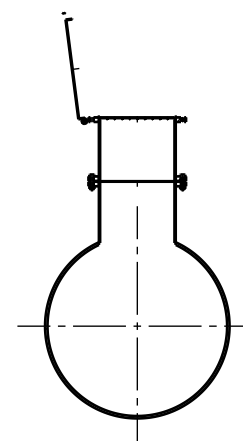
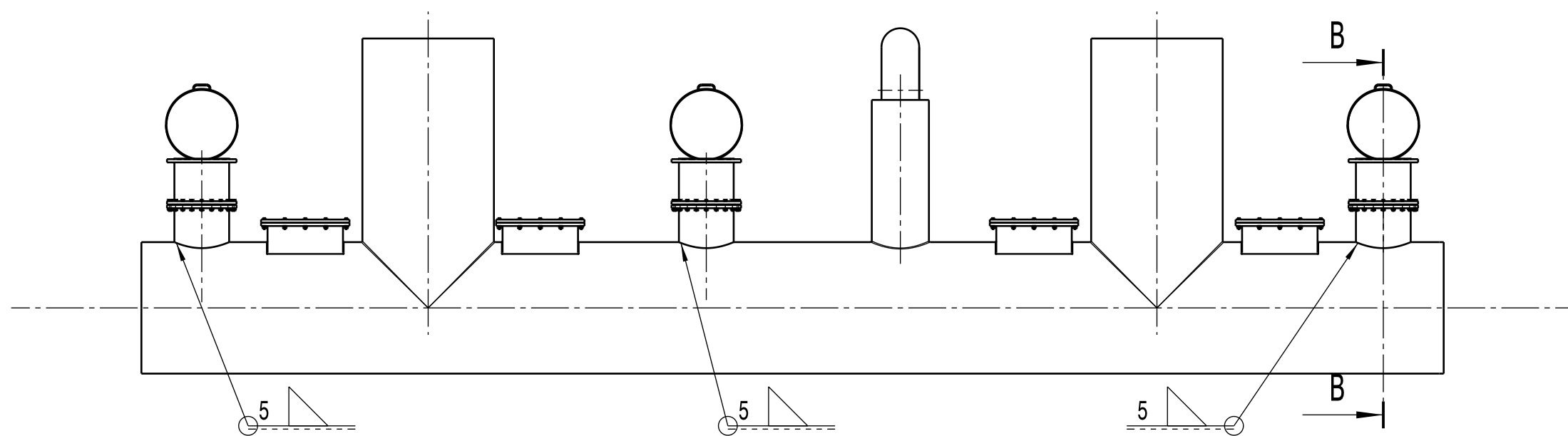


POZOR!!!

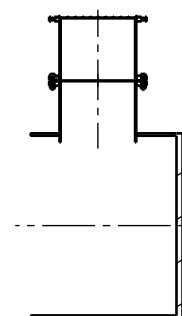
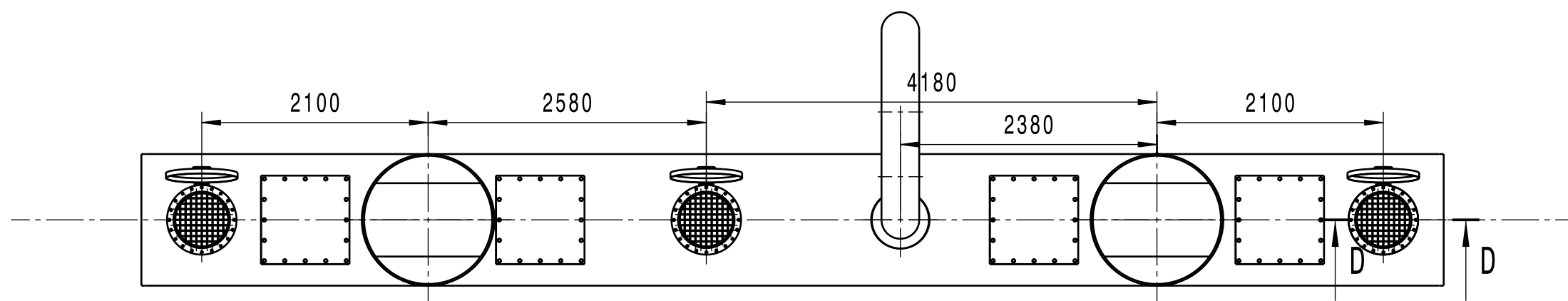
Pred zahajenim praci je nutne odklopit vika vŝech komínu!

Šrouby utáhnout momentovým klícem na $M_k=206Nm$

	Podpis	Datum		Podpis	Datum		MEŘÍTKO 1 : 10
NAVŘEL			STATIK			HMOTNOST 194 kg	
KRESLIL	Vlček	20.5.2010	NORM. REF.			MIKROFILM	Č. SVITKU
SKUPINÁŘ			PŘEZK.			SESTAVA	KUSOVNIK
TECHNOL.			SCHVÁLIL			STARÝ V.	
TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI				NÁZEV TYP: POJISTNÝ KOMÍN			
FAKULTA STROJNÍ				ČÍSLO VÝKRESU 001			
				LIST:			



Section cut B-B
Scale: 1:50



Section cut D-D
Scale: 1:50

	Podpis	Datum		Podpis	Datum	HMOTNOST 4265 kg	MERITKO 1: 50
NAVŘEL			STATIK			MIKROFILM	Č. SVITKU
KRESLIL	Vlček	20. 5.	NORM. REF.			SESTAVA	KUSOVNIK
SKUPINÁŘ		2010	PŘEZK.			STARÝ V.	
TECHNOL.			SCHVÁLIL				

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA STROJNÍ

NÁZEV

Odlučovac

TYP:

ČÍSLO VÝKRESU

002

Index	Změna			Datum		Podpisy	
Podpis	Datum		Podpis	Datum	Č. svitku:		
Vypracov	VLČEK	20.5.2010	Norm. ref.			Mikrofilm	
Skupinař			Přezk.			Sestava	001
Technol			Schválil			Hmotnost	

LIST: 1.