

Návrh odplynového havarijního systému

M. Šmerda
J. Pavlík

V rafineriích ropy, ale často také i v jiných chemických výrobnách, vzniká značné množství odplynů a par, které je nutno odpouštět. Tyto odplyny jsou většinou těžší než vzduch, hořlavé a často bývají i zdraví škodlivé nebo jedovaté. Většinu z nich tedy není možno volně vypouštět do ovzduší (jednak by zhoršovaly ovzduší, jednak by zvyšovaly nebezpečí požáru). Proto se tyto odplyny zavádějí do společného sběrného potrubí a odvádějí na pochodeň, kde spálením se likvidují.

Množství a složení odplynů spalovaných na pochodni se značně liší nejen v různých rafineriích ropy, ale může se i lišit v každé rafinerii v průběhu času, s ohledem na změny v technologii, na zpracovanou surovinu, kvalitu výrobků, výkon zařízení, provádění údržby (odstávky jednotek), najíždění jednotek a podobně.

Pochodňový odplynový systém je tedy důležitě ekologické a především bezpečnostní zařízení. V rafineriích ropy bývá na tento systém napojena většina pojišťovacích ventilů, které uvolňují většinou hořlavé plyny a páry především při poruchách provozu a haváriích (požár, výpadek energií a pod.). V případě havárie některé výrobní jednot-

ky, nutno z ní co nejrychleji, s ohledem na možnost šíření požáru či vzniku výbuchu, uvolnit hořlavé kapaliny a plyny, což se děje do uvolňovacího pochodňového systému.

Správný návrh havarijního uvolňovacího systému vyžaduje kromě dobrých znalostí technologie provozu a pochopení funkce celého systému, také dobré provozní zkušenosti.

Havarijní uvolňovací systém sestává z těchto hlavních částí:

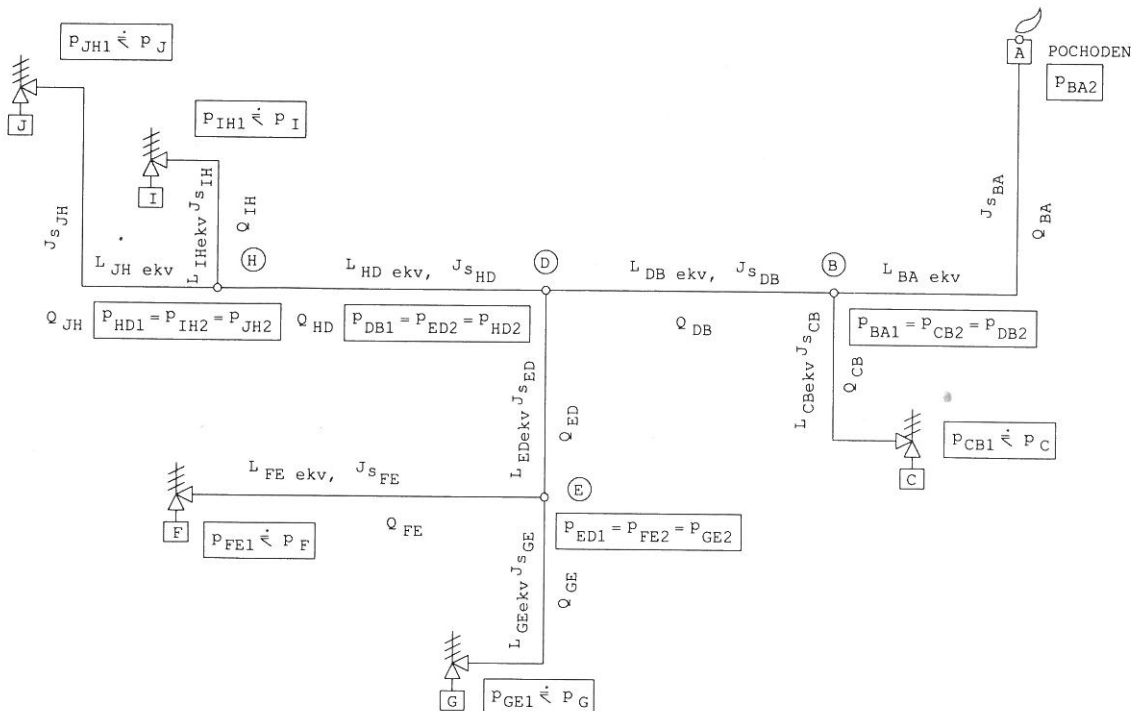
- uvolňovacích (pojišťovacích) orgánů,
- odlučovacích nádrží,
- sítě sběrného potrubí,
- likvidace odplynů (pochodeň s příslušenstvím).

Odlučovací nádrže (b), mající především účel separace kapalné části od části plynné, neboť na pochodeň (d) se kapalná část nesmí dostat, mohou být umístěny jak ve výrobních jednotkách, většinou za uvolňovacími orgány (a), tak v síti sběrného potrubí (c) či u zařízení na likvidaci odplynů – pochodni (d).

Měla by však platit zásada, aby každá výrobní jednotka, u níž může dojít k většímu výronu kapaliny ať z jakéhokoliv důvodu, měla vlastní odlučovací nádrž (b) na zachycení celého množství kapaliny, aby nebyla zbytečně zatěžována touto kapalinou síť sběrného potrubí (c).

Vlastní pochodeň (d) má zpravidla ve svém příslušenství rovněž odlučovací nádrž, která by však měla především odloučit všechny případné kapky před vstupem do hořáku pochodně.

Pro návrh uvolňovacích orgánů (a), či likvidace odplynů (d), existují různé předpisy či návrhy řešení, které jsou poměrně známé, i když ne vždy jednoznačné.



Obecný příklad odplynové sítě

Účelem tohoto pojednání je řešení problematiky síť sběrného havarijního odplynového potrubí (c), která je poměrně rozsáhlá a nebyla jí dosud (kromě článků v odborné literatuře, řešících mnohdy pouze specifické případy) v globálním rozsahu věnována náležitá pozornost.

V dřívějších dobách se při návrhu havarijních odplynových systémů vycházelo především z praktických zkušeností. Teprve v šedesátých letech se začínají objevovat články v odborné literatuře, které značně přispěly k pokroku při navrhování těchto systémů.

Návrh první americké normy API RP 520 vznikl až v roce 1955.

Americká norma RP 521 byla vydána v září 1969 a v jejím úvodě se praví, že doposud nebyl k dispozici žádný



Velín - pohľad na poľné horáky

souhrn informací tohoto typu. Tato publikace snad ani nebyla zpracována původně jako norma. Až teprve dodatečně byla jako norma schválena. Některá ustanovení této normy byla podrobena kritice v zahraniční literatuře (viz např. [11]). V současné době je platné její 2. vydání, ze září 1982. Zvýšený zájem o návrh havarijních systémů byl na celém světě vyvolán několika faktory. Kapacita jednotek v rafineriích se postupně zvyšovala, vznikala vzájemná integrace jednotek, která vedla až k velkým kompaktním blokům. Vyvinuly se nové, velmi složité technologické jednotky např. hydrokrakování, petrochemické výroby, které často pracují s vysokými teplotami a tlaky a jejichž provoz je značně rizikový.

Bezpečnost práce nestačila držet krok s rychlým technologickým rozvojem a několik vážných havárií si vynutilo věnovat větší pozornost bezpečnosti práce. Na bezpečnost práce se vynakládají větší prostředky. Správně navržený havarijní systém může podstatně přispět k větší bezpečnosti a to i při mimořádných událostech.

Protože náklady na jeho výstavbu, provoz i údržbu mohou být značné, je potřebné při jeho návrhu zajistit naprostou spolehlivost, ale také maximální hospodárnost.

ZÁKLADNÍ KRITÉRIA PŘI NÁVRHU ODPLYNOVÉHO HAVARIJNÍHO SYSTÉMU

Při návrhu odplynového havarijního systému nutno vzít v úvahu tato základní kritéria:

- 1.1. druh odplynů
- 1.2. teplota odplynů
- 1.3. tlakové poměry uvolňovaných odplynů
- 1.4. množství odplynů
- 1.5. zpětné získávání energie z odplynů

1.1. Druh odplynů

Druh odplynů odváděných k likvidaci je závislý na jejich chemickém složení. Může ovlivnit podstatnou mírou návrh celého systému odplynového potrubí (materiálové provedení, počet systémů a pod.).

Můžeme rozlišovat čtyři základní druhy odplynů:

- 1.1.1. kyselé
- 1.1.2. toxické
- 1.1.3. obsahující větší množství kyslíku
- 1.1.4. běžné uhlovodíky (nekysele, netoxické)

1.1.1. Kyselé odplyny

V rafineriích ropy přichází v úvahu především otázka kyselosti odplynů (procento obsahu H_2S), která ovlivňuje materiálové provedení celého odplynového systému včetně koncového zařízení k likvidaci odplynů. Běžnou uhlíkatou ocel možno použít v případě, že obsah síry v odplynech je v nízkých koncentracích. Při větším obsahu je nutno buď potrubí podtápět, nebo je provést z nerezů.

Většinou je výhodnější použít dvou odplynových systémů: S přihlédnutím na světlost potrubí, je vhodnější kyselý odplyn, jehož množství bývá podstatně menší (a tím i menší DN) odvádět v samostatném nerezovém potrubí. Tím již docházíme ke dvěma odplynovým havarijním systémům, místo jednoho společného. Nerezové potrubí možno ve většině případů nahradit podtápěným potrubím z uhlíkaté oceli.

1.1.2. Toxické odplyny

V případě, že je nutno likvidovat jedovaté nebo zapáchající odplyny (aby neobtěžovaly okolí) a tyto nejsou dostatečně hořlavé a není možno je odvádět společně s jinými hořlavými odplyny, jež mají kontinuální průtok, nutno do těchto odplynů uměle přimíchávat například metan nebo jiný hořlavý plyn.

Vhodnější řešení pro likvidaci toxických odplynů je jejich spalování v incinerátoru, tedy zvláště, mimo normální odplynový systém. Incinerátory jsou zvláště vhodné pro těžce spalitelné odplyny.

1.1.3. Odplyny obsahující větší množství kyslíku

Jinou otázkou je obsah kyslíku v odplynech. Je třeba si uvědomit, že kyslík v určité koncentraci s uhlovodíky může vytvořit výbušnou směs a tím při její iniciaci, být příči-

nou exploze. Proto pojistné ventily a uvolňovací potrubí, která odvádějí odpyny bohaté na kyslík, se nedoporučuje napojovat do běžného odpynového potrubí, vedoucího k pochodni. Většinou se tyto plyny uvoňují přímo do atmosféry.

Pokud jsme nuceni přesto odvádět kyslíkové odpyny do společného sběrného odpynového systému vedoucího k pochodni (s ohledem na jejich chemické složení a tím nutnost likvidace), nutno za místem jejich napojení do společného sběrného potrubí umístit kontinuální měření obsahu kyslíku a v případě dosažení kritického množství kyslíku v tak vzniklé směsi odpynů, zajistit automatický přívod proplachovacího plynu (který neobsahuje kyslík) v takovém množství, aby koncentrace kyslíku klesla pod kritické množství. V krajním případě nutno automaticky uzavřít přívodní potrubí s plynem, obsahujícím kyslík. Toto opatření však nutno pečlivě uvážit s ohledem na bezpečnost havarijního potrubí ve vztahu k jeho základní funkci a příslušným předpisům. Přívod proplachovacího plynu musí být proveden přímo u střežícího zařízení obsahu kyslíku v odplynech.

V každém případě je nutno vždy předem zvážit, zda v místě napojení kyslíkového odpynu prochází kontinuálně dostatečné množství jiného odpynu (který neobsahuje kyslík), aby při případném výronu kyslíkového odpynu výsledná směs obou odpynů obsahovala podkritické množství kyslíku. Jinak, jak již bylo shora uvedeno, je nezbytné uměle přivádět proplachovací plyn, což ovšem znamená energetickou ztrátu a zhoršení ekonomie provozu. Skutočností ovšem je, že v případě použití molekulového či fluidního uzávěru pod či v hlavici pochodně (což jsou zařízení proti zpětnému šlehnutí plamene), je požadavek kontinuálního přívodu vytěšňovacího plynu (ovšem může se jednat o podstatně menší množství), který se zavádí buď pod hlavici pochodně, do molekulového uzávěru či do sběrného odpynového potrubí. Tato praxe však neřeší otázku odpynu bohatého na kyslík.

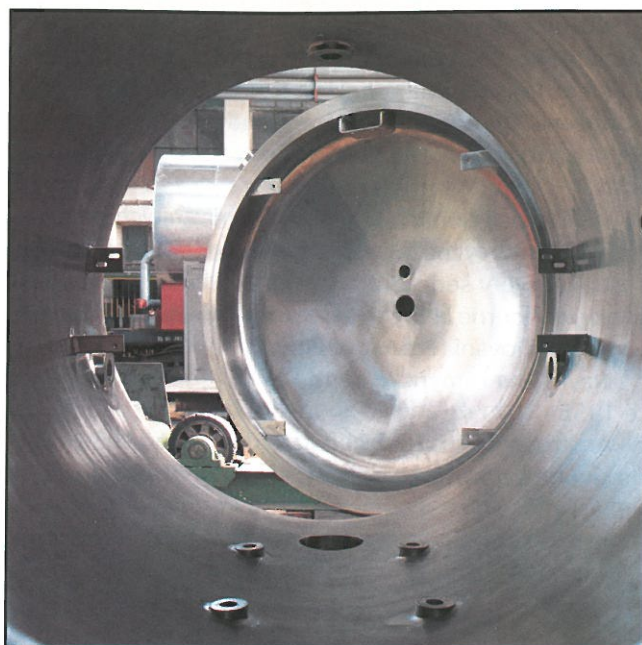
1.1.4. Běžné uhlovodíkové odpyny (nekyselé, netoxické)

Uhlovodíkových odpynů, které nejsou kyselé ani toxické je v rafineriích ropy podstatná většina. Pokud k nim není přimísen některý shora uvedený odpyn, nemusí být bezúčelově spáleny na pochodni, ale možno je s výhodou použít ke zpětnému získání energie (spalování v pecích a pod.) prostřednictvím rekompresní stanice. Zařazením rekompresní stanice se tedy může podstatnou měrou ovlivnit návrh havarijního odpynového systému. Podrobněji o této problematice je pojednáno ve zvláštní kapitole 2.5.

1.2. Teplota odpynů

Některé výrobní jednotky, především petrochemické, pracují s nízkými teplotami, příp. při jejich havarijním odpouštění dochází ke značnému podchlazení (řádově i kolem -100°C) odpynového potrubí.

S ohledem na tuto skutečnost je nutné volit také příslušný materiál potrubí, což je jedním z důvodů, že odpyny o velmi nízké teplotě odvádíme většinou k jejich likvidaci samostatným systémem, který není napojen na hlavní sběrný systém odpynů.



1.3. Tlakové poměry uvolňovaných odpynů

Volbu počtu odpynových systémů mohou ovlivnit také jednotky, které pracují s velmi vysokým tlakem, neboť zásadně nelze připustit, aby při havarijním uvolňování vysokotlakých jednotek, přestoupil tlak v odpynovém systému otevírací tlak pojišťovacích ventilů kterékoli jednotky na tento systém napojené.

Tato skutečnost se ověřuje při vlastním výpočtu havarijního odpynového systému.

Jedním z faktorů je rovněž zapojení rekompresní stanice do sítě odpynového potrubí. Viz kapitolu 2.5.

1.4. Množství odpynů

Pokud byla odpynová síť navržena dle předchozích kapitol, t.j. 1.1. – druh odpynů, 1.2. – teplota odpynů a 1.3. – tlakové poměry odpynů, pro návrh světlosti jednotlivých větví je rozhodující množství odpynů. Konečné stanovení světlosti se provádí na základě výpočtu tlakových ztrát.

Pro stanovení množství odpynů jsou většinou rozhodující havarijní stavy na výrobních jednotkách a jejich příčiny, najždění a sjždění jednotek a odhadnutí současné možnosti výskytu uvedených výronů s přihlédnutím ke kontinuálně odcházejícímu množství odpynů. Tato problematika je dosti komplikovaná a nelze pro ni stanovit jednoznačné předpisy, pouze určitá kritéria, dle nichž je nutno se řídit. V každém případě je zde nutný předpoklad provozních zkušeností.

Je samozřejmé, že jednotlivé rafinerie ropy se vzájemně liší počtem i druhem výrobních a pomocných jednotek. Zásady poruch ve výrobě, zapříčiňujících havarijní výrony odpynů, zůstávají však neměnné. Jedná se především o výpadky energií, požáry a pod.

Do uvolňovacího havarijního systému jsou odváděny plyny, případně kapaliny, jednak automaticky prostřednic-

tím pojišťovacích orgánů při stoupaní tlaku nad dovolenou mez, jednak uměle prostřednictvím čerpadel, např. při havarijním vyprazdňování kolon, nádrží a pod. v případech nouze. V těchto případech může být vlivem vysoké rychlosti stržena do odplynového potrubí i kapalina, i když odplynový systém má být na jednotce chráněn odlučovací nádrží (viz kapitola 1.).

Příčin, které způsobují stoupaní tlaku nad povolenou hodnotu, je několik. Mezi nejznámější patří:

- 1.4.1. požár
- 1.4.2. uzavřené výstupy
- 1.4.3. výpadek refluxu
- 1.4.4. výpadek chladicí vody
- 1.4.5. výpadek elektřiny a páry
- 1.4.6. porucha měření a regulace
- 1.4.7. prasklá trubka ve výměníku
- 1.4.8. expanze kapaliny.

Kromě těchto poruch existují ještě další poruchy, ale proti některým z nich neexistuje rozumná ochrana. Jako příklad je možné uvést následující možnosti: proniknutí vody nedopatřením do zařízení, ve kterém je horký olej, vnitřní exploze, nekontrolovatelné reakce uvnitř zařízení a pod. Podrobněji se o tom píše v literatuře.

1.4.1. Požár

Každá nádrž nebo zařízení může být vystavena požáru, i když obsahuje nehořlavé látky. Teplo z vnějšího požáru se přenáší stěnami dovnitř do zařízení. Obsahující zařízení kapalinu, přívod tepla způsobí, že se kapalina začne vypařovat a vzniklé páry je nutno uvolnit pojišťovacím ventilem, aby nedošlo k poškození zařízení. Pojišťovací ventil musí být schopen odvést všechny páry, které vzniknou odpařováním kapaliny při požáru.

Vzorec pro výpočet množství tepla pohlceného stěnamí nádoby, se kterým je nutno počítat při stanovení velikosti pojišťovacího ventilu, je uveřejněn v literatuře [2].

$$H = 21\,000 F A_w^{0,82}$$

H ~ absorbované teplo (Btu/hr)

A_w ~ smočený povrch nádoby (sqft)

F ~ faktor

pro neizolované zařízení $F = 1,0$

pro izolaci 1 palec (25 mm) $F = 0,3$

2 palce (50 mm) $F = 0,15$

4 palce (100 mm) $F = 0 - 0,03$

Při výpočtu v jednotkách SI je možno použít tento vzorec:

$$H = 43,19 \cdot A_w^{0,82} \cdot F$$

H ~ absorbované teplo (KW)

A_w ~ smočený povrch (m^2)

Uvolňované množství par se stanoví ze vzorce:

$$G = \frac{H}{2}$$

H ~ absorbované teplo (KW)

q ~ výparné teplo kapaliny (KJ/kg)

G ~ množství vzniklých par (kg/s)

Jestliže zařízení je značně vysoké, nebo umístěné na konstrukci ve výšce, kam až nezasahuje účinek požáru, smočený povrch se počítá až do výšky 25 feet t.j. asi 8 m nad zemí nebo nad jinou pevnou úrovní, na které se může udržovat oheň (např. na střeše budovy).

U horizontálních nádrží nebo u sferických nádob se smočený obvod počítá do maximálního průměru, nebo do výšky 8 m, podle toho, která z hodnot je vyšší.

Do úvahy je také nutno vzít skutečnou výšku hladiny kapaliny v nádrži. Např. hladina kapaliny je udržována automatickou regulací na určité výšce v koloně. Smočený povrch nemůže zahrnovat povrch, který nebude kapalinou smáčen. (např. nad úrovní maximální hladiny danou regulací).

Pojišťovací ventil, který slouží jako ochrana proti požáru by měl být umístěn buď na nejvyšším místě, nebo dostatečně vysoko nad maximální možnou hladinou kapaliny. Literatura (2) také uvádí vzorec pro výpočet pojišťovacích ventilů na zařízení, které obsahuje jen plyn a je vystaveno ohni.

Při výpočtu požárních úseků, případně požárního zatížení, nutno postupovat v souladu s ČSN 73 0802. O pojišťovacích ventilech je dostatek literatury viz např. 21, 22, 23.

1.4.2. Uzavřené výstupy

Každá nádrž, jejíž výstupy mohou být uzavřeny a není odvodušněna do atmosféry, a do níž se může dostávat tekutina o vyšším tlaku než je provozní tlak, musí být vybavena pojišťovacím ventilem. Tento pojišťovací ventil musí být navržen tak, aby stačil odvést veškerou přiváděnou kapalinu (t.j. např. maximální výkon čerpadla) nebo veškeré přiváděné plyny a páry vč. těch, které v nádrži ještě při normálním provozu vznikají.

1.4.3. Výpadek refluxu

Pojišťovací ventil nutno umístit před hlavovým kondenzátorem a musí být tak dimenzován, aby mohl odvést veškeré množství par odcházejících hlavou kolony do kondenzátoru.

Pokud někde jinde existuje možnost jak odvést ze systému zkondenzovaný hlavový produkt, má výpadek refluxu malý vliv na vzrůst tlaku v systému.

Při výpadku bočního cirkulačního refluxu se vypočítá množství, potřebné pro uvolnění pojišťovacím ventilem z rozdílu množství par vstupujících a vystupujících z příslušné sekce. Viz literatura [12].

1.4.4. Výpadek chladicí vody

Výpadek přívodu chladicí vody do kondenzátoru způsobí, že se musí navrhnouti tak velké zařízení na uvolnění plynů, aby se mohly odvést všechny vstupující páry.

U frakcionačních kolon uvolňované množství se rovná veškerému množství plynů, par a vodní páry, které vstupuje do kolony, plus veškeré množství, které vznikne v koloně, zmenšené o všechny páry, které zkondenzují účinkem cirkulačního refluxu chlazeného jiným médiem, než chladicí vodou nebo které zkondenzují v kondenzátorech chlazených jiným médiem než chladicí vodou.

1.4.5. Výpadek elektřiny

Vliv výpadku elektřiny se dá určit pouze ve vztahu k určitému zařízení. Dobrou pomůckou k tomu je technologické schéma. Některé názory se dají zobecnit.

Čerpadla poháněná parou se dají pokládati za náhradu elektrického pohonu pouze tehdy, jsou-li vybavena zařízením pro automatický zások při výpadku elektřiny.

K největšímu výronu odplynů dochází u vzduchem chlazených procesních jednotek při úplném výpadku elektrického proudu. Čerpadla, kompresory a ventilátory se zastaví, přestane přívod refluxů ke kolonám a na základě tepelného obsahu pecí a kolon proudí uhlovodíky v plynném stavu přes pojišťovací ventily do odplynového havarijního systému. V jednotlivých částech jednotky však nedosahuje tlak svého maxima současně. Proto pro odfuk možno vzít koeficient současnosti cca 0,75.

U vzduchových chladičů se podstatně sníží výkon, když se zastaví motor pro pohon vrtule, ale v důsledku přirozeného proudění může část par kondenzovat. Někdy se uvádí, že tímto přirozeným prouděním je možno odvést až 20 % tepla z celkového tepelného výkonu kondenzátoru. Přesnou hodnotu by měl znát výrobce vzduchového chladiče. Uvolňování probíhá v časovém intervalu minut, ne vteřin.

1.4.6. Porucha měření a regulace

Může dojít k poruše buď pouze jednoho nebo všech přístrojů. Musí se proto zvažovat obě možnosti. Při výpadku vzduchu nebo elektřiny pro SRTP zůstane každý přístroj podle své konstrukce v poloze buď otevřená nebo zavřená. Jaké důsledky z toho vzniknou, to je nutné zvážit pro každý případ zvlášť.

Jestliže nějaký ventil při výpadku vzduchu SRTP (nebo elektřiny pro SRTP) zůstane v poloze otevřeno a zařízení za ventilem není dimensováno na tlak, který je před regulačním ventilem, potom pojišťovací ventil musí být schopen uvolnit veškeré páry, které při otevřeném regulačním ventilu proniknou za regulační ventil při rozdílu tlaku před a za regulačním ventilem.

Zůstane-li regulační ventil při poruše v poloze zavřeno, je nutno prošetřit všechny možnosti, které mohou nastat při uzavřených výstupech. (viz odstavec 1.4.2.).

1.4.7. Prasknutá trubka ve výměníku nebo ve vodním chladiči

Jestliže je v plášti nebo v trubkách vyšší tlak než je normální provozní tlak na druhé straně, musí být chráněna ta strana, kde je nižší provozní tlak, pokud není nějak zabráněno, aby nemohlo dojít k přetlakování nízkotlaké strany při prasknutí trubky.

Bylo navrženo několik vzorců pro výpočet tohoto případu. Uvedený vzorec uvažuje s trhlinou v prasklé trubce o ploše, rovnající se dvojnásobku průřezu dané trubky a s výtokem při tlakové diferenci rovné normálnímu provoznímu tlaku na vysokotlaké straně minus projektovaný tlak na nízkotlaké straně. Takto vypočtený objem se používá pro určení velikosti pojišťovacího ventilu na nízkotlaké straně.

Pro páry je navržen tento vzorec (viz [20])

$$W = 1580 d^2 \cdot (P \cdot \rho)^{1/2}$$

Tento vzorec platí za předpokladu, že na vysokotlaké straně je tlak aspoň dvakrát vyšší než na nízkotlaké straně. Pro kapalinu je navržen tento vzorec:

$$Q = 34,8 d^2 \cdot \left(\frac{\Delta P}{s}\right)^{1/2}$$

W – množství par (1bs/h)

ρ – hustota (1bs/ft³)

Q – množství kapaliny (gpm)

ΔP – tlaková diference (psi)

d – vnitřní průměr trubky (in)

s – specifická hmotnost

P – provozní tlak na vysokotlaké straně (psia)

Pro výpočet v jednotkách SI je možno použít vzorec:

$$W = 334,6 \cdot d^2 \cdot (P \cdot \rho)^{1/2}$$

W – množství par (kg/h)

d – vnitřní průměr trubky (cm)

P – provozní tlak na vysokotlaké straně (Mpa abs)

ρ – hustota (kg/m³)

$$Q = 14,76 \cdot d^2 \cdot \left(\frac{\Delta P}{s}\right)^{1/2}$$

ΔP – tlaková diference (Mpa)

s – specif. hmotnost

d – vnitřní průměr trubky (cm)

Q – množství kapaliny (m³/hod)

1.4.8. Expanze kapaliny

Každá nádrž nebo zařízení, které jsou zcela naplněny kapalinou a mohou být uzavřeny, musí být chráněny proti přetlaku, způsobenému tepelnou expansí kapaliny.

Dlouhá potrubí musí být také chráněna a to zvláště ta, která jsou vystavena slunečnímu záření jako jsou např. potrubí na tankovištích a na potrubních rozvodech. Obvykle platí, že nejmenší typ pojišťovacího ventilu, který je k dispozici je zpravidla mnohokrát větší, než se požaduje.

Tam, kde je žádán výpočet, je možné použití pro výpočet uvolňovacího ventilu následující vzorec:

$$Q = \frac{\beta \cdot H}{7,2 \cdot S \cdot c}$$

Q – požadovaná kapacita (gmp)

H – přívod tepla (Btu/h)

c – měrné teplo (Btu/lb, °F)

β – koeficient objemové roztažnosti na °F:

0,0001 – pro vodu

0,0010 – pro lehké uhlovodíky

0,0008 – pro benzin

0,0006 – pro destiláty

0,0004 – pro zbytkový topný olej

s – spec. hmotnost:

$$s = \frac{\rho}{\rho_v}$$

ρ – hustota látky (1 bs/cuft)

ρ_v – hustota vody (1 bs/cuft)

V jednotkách SI je možné použití tento vzorec:

$$Q = 0,25 \cdot \frac{\beta \cdot H}{S \cdot c}$$

Q – množství kapaliny (m³/hod)

H – přívod tepla (W)

s – spec. hmotnost

c – měrné teplo (KJ/kg, °C)

β – koef. objemové roztažnosti na °C:

0,00018 – pro vodu

0,00180 – pro lehké uhlovodíky

0,00144 – pro benzin

0,00108 – pro destiláty

0,00072 – pro zbytkový topný olej

$$s = \frac{\rho}{\rho_v}$$

ρ – hustota látky (kg/m³)

ρ_v – hustota vody (kg/m³)

Pro každý možný případ se výpočtem požadavky na velikost pojišťovacího ventilu na zařízení. Vypočtené množství se sestaví do tabulky. Pro návrh pojišťovacího ventilu se použije nejhorší případ.

1.5. Zpětné získávání energie z odplynů

Veškeré odplyny, které jsou k likvidaci (na spálení), představují určitou ztrátu energie. Aby se omezila tato ztráta energie na minimum, možno v systému havarijního odplynového potrubí instalovat zařízení pro zpětné získávání energie, tzv. rekompresní stanice.

Podmínkou pro její instalaci v rámci odplynového systému je především kontinuální přívod průměrného množství nekyselých a netoxických hořlavých odplynů, u nichž je nutno ověřit jak výhřevnost, tak složení. V praxi to znamená, že rekompresní stanice neřeší likvidaci všech odplynů a je podmíněna existencí havarijní pochodně.

Minimální kontinuální přívodní množství odplynu do rekompresní stanice by mělo být alespoň 250 m³ při 0 °C a 101,325 kPa abs. za hodinu ($\chi = 1,3$).

Rekompresní stanice tedy může ovlivnit sběrnou síť odplynového potrubí, na niž je napojena jak co do dimenzování, tak co do dispozičního řešení, přičemž je nutno zaručit na sání kompresorů minimální tlak 50 mm vodního sloupce.

Prakticky při použití rekompresní stanice bývá do nekyselého a netoxického sběrného odplynového potrubí zařazen kapalinový uzávěr. Při stanovování výšky vlastního kapalinového uzávěru nutno vzít v úvahu uvolňovací tlaky z jednotlivých výrobních jednotek, aby nevznikl proti-

tlak, který by nedovolil uvolnit příslušnou jednotku do sběrného potrubí. Je možné jednotky o velmi nízkém uvolňovacím tlaku zařadit až za kapalinový uzávěr.

NÁVRH SYSTÉMU HAVARIJNÍHO ODPLYNOVÉHO POTRUBÍ NA POCHODEŇ

Jak již bylo v kapitole 1. uvedeno, nebyla dosud věnována náležitá pozornost návrhu sítě havarijního odplynového potrubí.

Autoři tohoto článku v rámci tématického úkolu CHP č. 55 v roce 1985 zpracovali výpočetní metodu původně pro programovatelné kalkulátory TI 58 a TI 59, které se v Československu běžně používaly. Jako základ byla použita především literatura [1].

Tento program byl modernizován a převeden na osobní počítače PC AT nebo PC XT a byl nazván FLARE.

2.1. Popis a použití programu

Uvedený program je určen především pro výpočet systému havarijního odplynového potrubí, vedoucího na pochodeň. Výpočet v každé větvi odplynového systému se provádí ze známého výstupního tlaku (p_2) této větve. Z vypočítané tlakové ztráty v této větvi se stanoví vstupní tlak (p_1) do této větve.

Program předpokládá, že průtok plynu je izotermický, a že je znám výstupní tlak (p_2) z dané větve. Výchozím bodem výpočtu je ústí pochodně, kde se uvažuje přibližně atmosférický tlak. (viz kapitolu 3.5, odstavec 4)

Při výpočtu se kontroluje rychlost plynu a Machovo číslo. Vyjde-li výpočtem Machovo číslo příliš vysoké, je nutno navrhnout větší průměr potrubí.

Poměrně jednoduchou úpravou programu, a to modifikací výrazu pro výpočet „r“, je možné ho přizpůsobit pro výpočet tlakových ztrát plynů a par v potrubí.

Tato metoda vychází z postupu doporučeného H. Y. Makem a pak z programu vypracovaného P. Kandellem. Je však přepracován pro jednotky SI, v některých částech je zjednodušen a upraven.

2.2. Použití vzorce ve výpočtovém programu

Reynoldsovo číslo:

$$Re = \frac{v_a \cdot D \cdot \rho \cdot 1000}{\mu} \quad (1)$$

Poměr vstupního tlaku k výstupnímu tlaku v potrubí:

$$r = \frac{P_1}{P_2} \quad (2)$$

Průtočný objem směsi plynu na výstupu z potrubí:

$$V_2 = \frac{W \cdot 22,4146 \cdot 0,101325 \cdot (273,15 + t_c) \cdot z}{M_v \cdot 273,15 \cdot p_2} \cdot z \quad [m^3 / hod] \quad (3)$$

Uvažovaná rychlost směsi plynu v potrubí:

$$v_a = \frac{V_2}{3600 \cdot a} [m/s] \quad (4)$$

Úprava konstanty:

$$\frac{22,4146}{273,15} = 0,082059674$$

Rychlost zvuku v dané směsi plynu:

$$v_s = \sqrt{-\frac{g \cdot R \cdot T \cdot z}{M_v}} [m/s] \quad (5)$$

(dle literatury [25]) Kompresibilitní faktor „z“ je do vzorce doplněn dle literatury [26] Vol. III. str. 271.

Machovo číslo na výstupu z potrubní sekce:

$$Mach_2 = \frac{v_a}{v_s} \quad (6)$$

Měrná hmotnost:

$$\rho = \frac{W}{V} [kg/m^3] \quad (7)$$

Výpočet ztráty tlaku v potrubí:

$$r^2 = Mach_2^2 \cdot \left(f \frac{L_{ekv}}{D} + \ln r^2 \right) + 1 \quad (8)$$

(dle literatury [1], str. 89)

Výpočet koeficientu tření dle Churchilla:

$$f = 8 \cdot \left[(8/Re)^{12} + 1 / (C+B)^{3/2} \right]^{1/12}$$

$$kde C = \left[2,457 \ln \frac{1}{(7/Re)^{0,9} + 0,27 \epsilon/D} \right]^{16}$$

$$B = (37530/Re)^{16} \quad (9)$$

(dle literatury [27], str. 297)

$$T = 273,15 + t_c \quad (10)$$

2.3. Drsnost potrubí

bezešvé trubky

hliníkové, měděné, mosazné, skleněné a další 0,002

potrubí z umělých hmot

D ≤ 200 mm 0,01

D > 200 mm 0,05

ocelové potrubí

natřené epoxidovým nátěrem 0,01

bezešvé 0,01–0,05

svařované 0,03–0,15

galvanizované 0,1–0,2

mírně zrezavělé 0,15–0,4

s tlustým nánosem 2,0–4,0

potrubí z nerezové oceli 0,0013–0,0015

litinové potrubí 0,2–0,3

zrezavělé 1,0–1,5

s nánosy a usazeninami 1,5–4,0

betonové potrubí 0,3–1,5

(údaje jsou převzaty z literatury [13])

2.4. Ekvivalentní délka potrubí

Postup pro stanovení ekvivalentní délky potrubí je popsán v běžné literatuře (například [13], [26]) nebo v manuálu Chemoprojektu PT 10 T 02 na straně 13. Dá se také částečně použít i „Program pro výpočet tlakové ztráty třením v potrubí pro pseudoplastické látky str. 15“ vypracovaný pro počítač Wang 2200.

2.5. Postup při návrhu sběrného odplynového potrubí

- 1) Pro každou sekci (BA, CB, DC atd.) sběrného odplynového potrubí se odhadne předpokládaný průměr potrubí a stanoví se jeho ekvivalentní délka ($L_{xy,ekv}$).
- 2) Maximální dovolená rychlost na výstupu z každé sekce nesmí překročit 0,7 Mach.
- 3) Vlastnosti protékajícího media ve sběrném odplynovém potrubí mohou být určeny z následujících vztahů pro směsi plynů:

$$M_v = \frac{\sum W_i}{\sum \left(\frac{W}{M_v} \right)_i} \quad \text{molekulová hmotnost}$$

$$t_c = \frac{\sum W_i \cdot t_i}{\sum W_i} \quad \text{teplota odplynů [°C]}$$

$$\mu = \frac{\sum x_i \mu_i (\sqrt{M_v})_i}{\sum x_i (\sqrt{M_v})_i} \quad \text{dynamická viskozita [m Pa \cdot s]}$$

při čemž index „i“ znamená i-tou komponentu.

- 4) Kontrola navrženého sběrného odplynového potrubí začíná u hlavy pochodně (bod A), kde se předpokládá výstupní tlak (p_2) zhruba atmosferický, ke kterému je však nutno přepočítat tlakovou ztrátu zařízení jako například vlastní hlavice, molekulového, či fluidního uzávěru, kapalinového uzávěru, případně odlučovací nádrže a tlak. ztrátu výšky pochodní.
- 5) Výpočet se provádí zpětně po jednotlivých sekcích proti proudu odplynu, směrem k pojišťovacím ventílům na jednotkách rafinerie.

NORMY

ČSN prakticky neřeší uvolňování plynů nebo par z chemických nebo rafinerských výrob. Podle „Rejstříku k seznamu platných norem k 1.1.1989“ se pojistných ventilů týkají tyto serie ON: 1343, 1370, ČSN: 650201

Z těchto sérií je důležitá zejména ON 13 4309 (platnost od 1.5.1973), nazvaná „Pojistné ventily“, „Výpočet průtočného průřezu v sedlech“. V ní se píše: „Tato norma neplatí pro pojistné ventily jednoúčelové a úzce oborové např. ... nebo pro chemické látky“. Z tohoto hlediska je její používání v chemickém respektive v rafinerském průmyslu diskutabilní. Podle § 15 této normy „výfukové potrubí je ... nutno dimenzovat tak, aby vlastní protitlak nepřekročil 2 % z otevíracího přetlaku, pokud výrobce výslovně nepovoluje vyšší hodnotu...“

Protože plyny nebo páry z chemických nebo rafinerských výrob většinou nelze z pojišťovacích ventilů zavádět přímo do ovzduší, ale je nutno je zavést do sběrného potrubí a odtud na pochoděň, je tato podmínka velmi důležitá pro výpočet tlakových ztrát ve sběrných (uvolňovacích) potrubích.

Uvážíme-li, že v uvolňovacím potrubí na pochoděň bývá často přetlak vyšší než 0,05 MPa, aby byla splněna tato podmínka dle ON 13 4309, mohou být do tohoto potrubí zavedeny pouze pojišťovací ventily s otevíracím přetlakem vyšším než 2,5 MPa.

To znamená, že české a slovenské pojišťovací ventily, pokud to nebude s výrobcem výslovně dohodnuto, nelze používat pro nižší otevírací přetlak než 2,5 MPa, budou-li zavedeny do společného uvolňovacího potrubí na pochoděň.

Pojišťovací ventily s nižším přetlakem musí být z dovozu, protože zahraniční normy připouštějí protitlak až 10 % z nastaveného otevíracího přetlaku a u tzv. „balanced valve“ (odlehčený pojišťovací ventil) je možný protitlak až 40 % (30–50 %) otevíracího přetlaku. U tohoto

ventilu není otevírací přetlak ovlivňován protitlakem na výstupní straně poj. ventilu. Viz literatura [1].

Ze zahraničních norem jsou pro návrh uvolňovacích systémů na pochoděň důležité zejména tyto americké normy používané v petrolejářském průmyslu:

- 1) API RP 520: Recommended Practice for the Design and Instalation of Pressure Relieving Systems in Refineries; Part I Design – 4th edition 1976, Part II Installation 2nd 1963, reaffirmed 1973
- 2) API RP 521: Guide for Pressure Relief and Depressuring systems 2nd ed. September 1982
- 3) API RP 526: Flanged Steel Safety Relief Valves third edition September 1982
- 4) API Std 2000: Venting Atmospheric and Low-Pressure Storage Tanks 3rd ed. 1982
- 5) API Std 2510: Design and Construction of LP-Gas Installations at Marine and Pipeline Terminals, Natural Gas Processing Plants, Refineries and Tank Farms 4th ed. 1978
- 6) ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section VIII „Pressure Vessels“ 1980
- 7) NFPA No 30: Flammable and Combustible Liquids Code 1981

Srovnání různých zahraničních norem pro výpočet pojišťovacích ventilů je možno najít v [5].

Pro tlakové nádoby je ze zahraničních norem důležitá zejména „ASME Boiler and Pressure Vessel Code“, která se týká kotlů i tlakových nádob.

Požární bezpečnost staveb řeší ČSN 73 0802 a následující normy v této řadě.

ZÁVĚR

Tento předpis dává obecný návod, jak přistupovat k řešení havarijních potrubních systémů. Vychází z teoretických znalostí i praktických zkušeností domácích, ale hlavně zahraničních.

Tabulka 1

	pochodeň	AB	BD	DF	DE	BC	CH	CG
D [m]	0,746	0,441	0,304	0,203	0,203	0,304	0,255	0,154
L [m]	76,2	304,8	60,90	54,9	30,5	35,0	91,5	45,7
W [kg]	158757,3	158757,3	81646,6	27215,5	54431,1	77110,7	45359,2	31751,5
t_c [°C]	86,1	86,1	112,2	171,4	82,5	59,0	65,9	49,2
M_v	56,0	56,0	69,5	55,0	80,0	46,4	40	60
μ [cP]	0,01078	0,01078	0,01177	0,01302	0,01103	0,00992	0,01	0,00979
p_2 [MPa]	0,1	0,103	0,235	0,260	0,260	0,235	0,252	0,252
výpočty:								
$Mach_2$	0,233	0,647	0,285	0,233	0,345	0,306	0,259	0,397
Re	6982062	11810926	8070411	3641807	8597717	9043509	6291190	7448493
f	0,0113	0,0122	0,0131	0,0143	0,0141	0,0131	0,0136	0,0150
p_1 [MPa]	0,103	0,235	0,260	0,287	0,294	0,252	0,292	0,337
Δp [MPa]	0,0034	0,132	0,025	0,027	0,034	0,017	0,040	0,085

Rozhodující je však vždy přístup každého projektanta při řešení konkrétních situací, aby správně a rozumně využil těchto předpisů. Každý havarijný systém musí být vždy především bezpečný a spolehlivý při dodržení maximální hospodárnosti.

Protože i názory na bezpečnost se stále vyvíjejí a zdokonalují, budou i tyto předpisy překonány a bude nutné je doplňovat a revidovat na základě nových poznatků.

Žádná publikace tohoto typu nemůže být kompletní ani nemůže nahradit kvalifikovanou inženýrskou analýzu, může být jen vodítkem. ■

LITERATURA

1. Chemical Engineering 1981 June 29, p 89 Paul Kandell: „Program Sizes Pipe and Flare Manifolds for Compressible Flow“
2. API RP-520 Part I Design 4th ed. Dec. 1976; Part II Installation 2nd ed. 1963, reaffirmed 1973 „Recommended Practice for the Design and Installation of Pressure Relieving Systems in Refineries“
3. API RP-521 II. ed. 1982 „Guide for Pressure Relief and Depressuring Systems“
4. API RP-526 III. ed. 1982 „Flanged Steel Safety Relief Valves“
5. Hydrocarbon Processing 1980 August p 69 Copigneaux: „Compare Codes for Relief Valve Calculations“
6. Oil and Gas Journal 1980 No 17 p 98 „Flare Gas System – Recover a Profit for Plant“
7. Hydrocarbon Processing 1978 No 5 p 158
8. Hydrocarbon Processing 1976 No 6 p 175 „Ground Flares Aid Safety“
9. ASME Boiler and Pressure Vessel Code Section I, Section VIII.
10. Proc. API 43 (III) 1963 p 434; Conison: „Factors in Sizing a Safe and Economical Vapor Relief System“
11. Hydrocarbon Processing 1970 No 11 p 209; Irving Heitner: „A Critical Look at API RP 521“
12. Hydrocarbon Processing 1978 No 5 p 160; Sengupta, Staats: „A New Approach to Relief Valve Load Calculations“
13. J. Mikula a kol: „Potrubí a armatury“ (Techn. průvodce sv. 49)
14. Hydrocarbon Processing 1975 No 9, p 227; Seebold: „reduce Noise from Pulsating Combustion in Elevated Flares“
15. Oil and Gas Journal 1972 February 14 p 91; Reed: „What is flare's proper purge rate?“
16. Oil and Gas 1973 January 22, p 82; Wollrich: „Burner Tip Flares Gases Smokelessly“
17. Hydrocarbon Processing 1967 January, p 172; Tan: „Flare System Design Simplified“
18. Hydrocarbon Processing 1977 No 10, p 131; Straitz: „Make the Flare Protect the Environment“
19. Hydrocarbon Processing 1980 May, p 124; Oenbring, Sifferman: „Flare Design ... are Current Methods too Conservative?“
20. Hydrocarbon Processing 1969 August, p 104; Rearick J. S.: „How to Design Pressure Relief Systems“
21. Chemical Engineering 1985 October 28, p 49; R. A. Crozier: „Sizing Relief Valves for Fire Emergencies“
22. Chemical Engineering 1985 March 18, p 196; G. B. Emerson: „Selecting Pressure Relief Valves“
23. Chemical Engineering 1980 June 2, p 79; Asu Mukerji: „How to size Relief Valves“
24. K. Banerjee, N.P. Cheremisinoff, P.N. Cheremisinoff: „Flare Gas Systems Pocket Handbook“. 1985
25. AIChE Journal, May 1977, str. 402; O. Levenspiel: „Discharge of Gases from Reservoir through a Pipe“
26. Ludwig: „Applied Process Design for Chemical and Petrochemical Plants“
27. Ind. Eng. Chem. Fundam. Vol. 18 No 3, 1979 str. 297 „An Explicit Equation for Friction Factor in Pipe“
28. Oil and Gas Journal 1978, Nov. 20, str. 166 „New Method Speeds Pressure-Relief Manifold Design“

*Ing. Milan Šmerda
Chemoprojekt Brno*

*Ing. Jarko Pavlík
Chemoprojekt Brno*