



TEPLOTA PRI POŽIARI VEĽKOKAPACITNEJ NÁDRŽE S ROPOU V PRIESTORE ODSTUPOVEJ VZDIALENOSTI

TEMPERATURE IN SAFE DISTANCE AREA IN CASE OF OIL HIGH-CAPACITY TANK FIRE

Ján HORVÁTH¹

SUMMARY:

Fire in a high capacity storage tanks is potential threat, which is more important with global terrorism appearance. Due to radiating heat during fire is legitimate to provide tactical practicing on high capacity storage tanks. This article is written to point out to temperature in save distance area to the possibility to shift of fire on near storage tanks due to enormous radiating heat transfer. It is important to show picture of high capacity storage tank fire for the firemen. During the training is distance of mobile monitoring system devices from the location of fire lower then is calculate distance.

KEYWORDS: storage tank, heat radiation, fire, oil

ÚVOD

Transpetrol, a. s. je spoločnosť vlastniaca a prevádzkujúca ropovodný systém na území SR. Na trase ropovodu je umiestnených 5 prečerpávacích staníc - PS1 Budkovce, PS2 Moldava nad Bodvou, PS3 Rimavská Sobota, PS4 Šahy - Tupá, PS5 Bučany a jedna odovzdávacia stanica ropy v areáli Slovnaft, a. s. [10].

Štvrtou prečerpávacou stanicou na našom území je stanica v Tupej, v blízkosti mesta Šahy. V areáli závodu sa nachádzajú nadzemné veľkokapacitné skladovacie nádrže. Nádrží s menším skladovacím objemom (30.000 m³) je šesť (obrázok 1.), s väčším skladovacím objemom (70.000 m³) sú nádrže dve. Nádrže boli postavené na miestach, kde v minulosti stáli nádrže s menším skladovacím objemom, t.j. 10.000 m³ a 20.000 m³.

Dvojplošťová veľkokapacitná nádrž je v nadzemnom prevedení. Je stojatá, tvaru valca pozváraná z ocelových dielov – celokovová. Má komorovú, plávajúcu strechu, ktorá pláva na hladine skladovanej kvapaliny. Strecha

taktiež pozostáva zo zvaraných ocelových dielov. Vytvorené vzduchové komory umožňujú plávanie strechy na hladine skladovanej kvapaliny. Skladovacia nádrž je postavená do vnútra havarijnej nádrže, ktorá je taktiež celokovová a je schopná zachytiť celkový objem skladovacej nádrže v prípade úniku ropy.

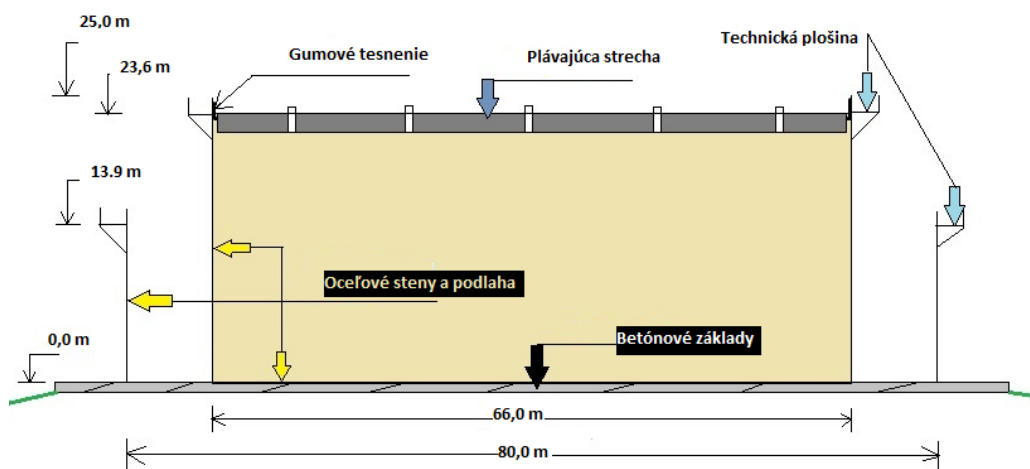
Najväčšia možná výška skladovanej ropy v menšej nádrži je 20,20 m (obrázok 3.). Nádrž má priemer 42,80 metrov. Skladovací objem nádrže je 29.062 m³ a plocha plávajúcej strechy nádrže je 1.439 m².

Podstatným rozdielom nádrže veľkej v porovnaní s nádržou menšou je vyše dvojnásobný skladovací objem a väčšie rozmery, predovšetkým jej priemer. Využitelná skladovacia výška hladiny v nádrži je 21,28 m (obrázok 2.). Jej priemer je 66 m. Skladovací objem môže byť až 72.803 m³. Plávajúca strecha má plochu 3.421 m² [8].

¹ Ján Horváth, Ing., Technická univerzita vo Zvolene, Drevárska fakulta, Katedra protipožiarnej ochrany, ul. T. G. Masaryka 24, 960 53 Zvolen, 0905 983 060, j.horvath.jan@gmail.com.



Obrázok 1. Veľkokapacitné skladovacie nádrže v Tupej



Obrázok 2. Veľká skladovacia nádrž – rez

1. POŽIARNE SCENÁRE

Vzhľadom k tomu, že ide o dvojplášťové nadzemné skladovacie nádrže, kde je medzi havarijnou a skladovacou nádržou priestor na zachytenie celkového skladovacieho množstva ropy, je nevyhnutné brať do úvahy niekoľko možných scenárov požiaru. Rozdiel polomeru menšej skladovacej nádrže a jej havarijnej nádrže je 5,4 m. Pri poškodení skladovacej

nádrže je potrebné brať do úvahy aj scenár, že je požiarom zasiahnutý celkový súčet plochy medzikružia a plochy skladovacej nádrže. Pre zjednodušenie sa počíta s priemerom havarijnej nádrže, čo je vlastne súčet plochy skladovacej nádrže a medzikružia. Pri skladovacej nádrži s väčším objemom (70.000 m³) je tento polomer havarijnej nádrže väčší o 7 m ako polomer nádrže.

Možné požiarne scenáre sú:

1. Požiar v priestore medzi strechou nádrže a plášťom nádrže – **scenár S1**.
2. Požiar záchytnej nádrže a priestoru medzi strechou a plášťom nádrže – **scenár S2**.
3. Požiar skladovacej nádrže – celoplošný (pri ponorení plávajúcej strechy nádrže) – **scenár S3**.
4. Požiar nádrže aj havarijnej nádrže (ponorená plávajúca strecha skladovacej nádrže a poškodený plášť skladovacej nádrže) **scenár S4**.
5. Požiar v havarijnej nádrži (požiar medzikružia) **scenár S5**.

Najzložitejšími variantmi požiaru jednej skladovacej nádrže sa javia scenáre S3 a S4. Vypočítané parametre pri požiari vo vybraných scenároch oboch nádrží poslúžia pre ich porovnanie. Pre určenie odstupovej vzdialenosti sú však východiskové vypočítané parametre scenára S4 [8].

2. DEFINÍCIE

Požiarne nebezpečný priestor vzniká okolo horiaceho požiarneho úseku, alebo stavby, v ktorej hrozí v dôsledku plošnej hustoty tepelného toku vyššej ako $18,5 \text{ kW.m}^{-2}$, nebezpečenstvo prenosu požiaru sálaním tepla, prípadne padajúcimi horiacimi konštrukciami na inú stavbu [4].

Intenzita sálania tepla v požiarne nebezpečnom priestore požiarneho úseku klesá so vzdialenosťou od požiarne otvorenej plochy. V určitej vzdialenosti – v odstupovej vzdialenosti – dôjde k útlmu sálania na hodnotu $< 18,5 \text{ kW.m}^{-2}$, ktorá už nie je pre horľavé materiály typu drevo nebezpečná [6].

Požiarne nebezpečný priestor dvojplášťovej nádrže s nehorľavým plášťom sa neurčuje. Dvojplášťová nádrž nesmie byť umiestnená v požiarne nebezpečnom priestore inej stavby [9].

Odstupová vzdialenosť sa určuje podľa STN 92 01 02 – 4. Pre určenie odstupovej vzdialenosti je nevyhnutné poznať parametre skladovacích nádrží a výšku plameňa pri požiari. Z rýchlosti uvoľňovania tepla (tepelnej energie) pri požiari je možné vypočítať strednú výšku plameňov.

Odstupová vzdialenosť otvorených skladov horľavých látok sa určuje ako pre celok v závislosti od jeho pôdorysných rozmerov, výšky skládky a plošnej hustoty tepelného toku podľa tabuľky 4 z STN 92 01 02 – 4.

Odstupová vzdialenosť od otvorených skladov sa môže určiť aj presnejším výpočtom, ktorý vychádza z poklesu intenzity sálania tepla v horiacom priestore na $1,85 \cdot 10^4 \text{ W.m}^{-2}$, z veľkosti, alebo z geometrického tvaru otvoreného skladu a predpokladanej výšky plameňa.

Pri určení odstupovej vzdialenosti sa považuje:

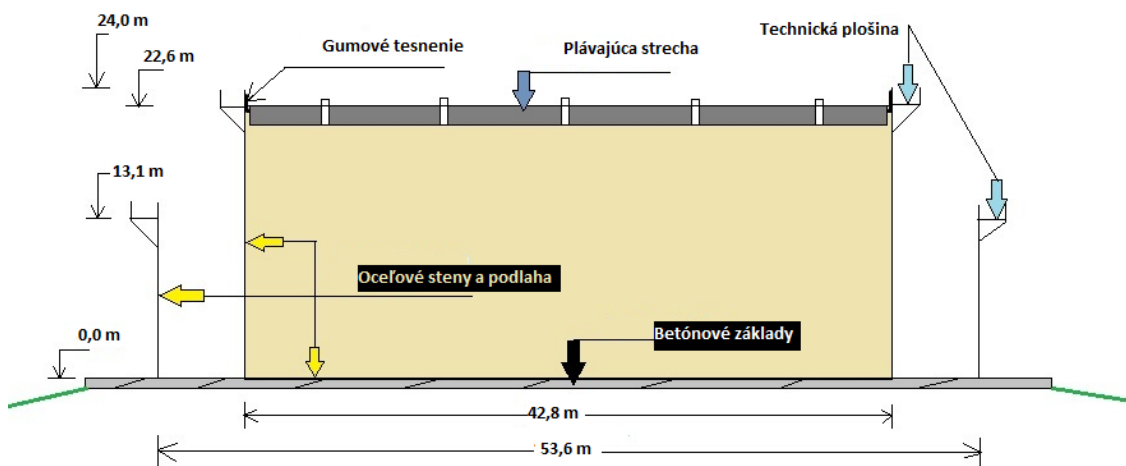
- a) za dĺžku požiarneho úseku posudzovaná strana otvoreného skladu,
- b) za výšku požiarneho úseku h_u priemerná výška skladovanej horľavej látky zväčšená o predpokladanú výšku plameňa, najmenej však o 6 m pre vysokú intenzitu sálania,
- c) podiel otvorených plôch.

Odstupová vzdialenosť od otvorených technologických zariadení okrem potrubných a dopravných mostov, v ktorých sa trvale vyskytujú horľavé látky, sa určuje pre každý požiarne úsek v závislosti od rozmerov pôdorysných plôch, na ktorých môže dôjsť k odhorievaniu látok spracúvaných, alebo skladovaných v týchto zariadeniach, vypočítanej výške teplotného poľa a plošnej hustote tepelného toku.

Pri určovaní odstupovej vzdialenosti je:

- a) dĺžkou [m] je strana plochy, na ktorej môže nastať odhorievanie, alebo 0,75 priemeru kružnice opísanej okolo plochy, na ktorej môže nastať rozsypanie, alebo rozliatie horľavých látok,
- b) výškou h_u [m] zrovnateľná výška horľavej látky zvýšená o predpokladanú výšku plameňa,
- c) podiel otvorených plôch.

Plošná hustota tepelného toku z požiarne otvorenej plochy sa určí podľa charakteru spracúvaných, alebo skladovaných látok, pričom pre horľavé kvapaliny a horľavé plyny sa predpokladá vysoká intenzita sálania tepla [7].



Obrázok 3. Rez menšou nádržou

3. VZORCE PRE VÝPOČET

Nakoľko ide o skladovacie nádrže s havarijnou nádržou, je potrebné počítať s rozliatím ropy do havarijnej nádrže. Zo vzťahu (1) pre výpočet objemu valca je odvodený vzťah (2).

$$V = \pi \cdot r_h^2 \cdot v_h \quad (1)$$

kde: r_h - polomer nádrže
 v_h - výška hladiny v nádrži

Odvozený vzťah pre výpočet výšky hladiny ropy v nádrži:

$$v_h = \frac{V}{\pi \cdot r_h^2} \quad (2)$$

Rýchlosť uvoľňovania tepelnej energie pri požiari (Q^\bullet) je teplo uvoľnené za jednotku času ($\text{kJ} \cdot \text{s}^{-1}$); mení sa s časom:

- pri prirodzenom požiari nádrží sa rýchlosť stáva konštantnou,
- závisí od priemeru nádrže D ,
- pri priemere nad 0,2 m sa plošná rýchlosť odhorievania zvyšuje s priemerom do určitej hodnoty, potom je konštantná,
- závisí od konštanty $k \cdot \beta$ súčinu radiačného toku charakterizujúci palivo, tabelovaný pre kvapaliny aj termoplasty.

Pri horení ropy vo veľkokapacitnej nádrži sa predpokladá, že bude požiar riadený palivom, nakoľko by nemal byť prístup vzduchu do pásma horenia nijako obmedzený.

Rýchlosť uvoľňovania tepelnej energie vypočítame:

$$Q^\bullet = A_f \times m_\infty'' \times (1 - e^{-k \cdot \beta \times D}) \times \chi \times \Delta H_c \quad (3)$$

kde:

- A_f - horizontálna horiaca plocha (m^2),
- m_∞'' - plošná rýchlosť odhorievania pre ropu = ($0,02833 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$),
- $k \cdot \beta$ - súčin konštant radiačného toku z plameňa na povrch horľavej kvapaliny ($2,8 \text{ m}^{-1}$),
- D - priemer nádrže (m),
- χ - účinnosť horenia (%), pri rope = (70 % t.j. 0,7)
- ΔH_c - celkové spaľovacie teplo ($\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$), pre ropu = ($42,5 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$).

Stredná výška plameňa (L_f) - spriemerovanie výšky svietivého plameňa v čase, y (objavenie plameňa) 1,0 stály plameň, 0,5 v polovici z času, vo vodorovnej vzdialenosti L (m) od plameňa. Stanovuje sa experimentálne z videozáznamov – zhoda so subjektívnym optickým vnemom. Korelácia výšky plameňov – dôvodom je turbulentná povaha, súvislosť s plochou horenia D a rýchlosťou uvoľňovania tepelnej energie Q^\bullet .

Strednú výšku plameňa vypočítame:

$$L_f = 0,235 \times Q^{\bullet \frac{2}{5}} - 1,02 \times D \quad (4)$$

Sálavé teplo vysokej intenzity vzniká pri požiaroch horľavých látok s vysokou výhrevnosťou, najmä horľavých kvapalín I. triedy nebezpečnosti a II. triedy nebezpečnosti, alebo v III. fáze požiaru pri intenzívnom horení, teplom uvoľnenom výbuchu, alebo horením ľahkých kovov a ich zliatin [5].

Plošná hustota tepelného toku q sa určí z ekvivalentného času trvania požiaru (je to pomyselný čas trvania požiaru, počas ktorého by požiar v posudzovanom PÚ prebiehal podľa normovej teplotnej krivky a vyvolal by v konštrukcii rovnaké – ekvivalentné účinky ako skutočný - plne rozvinutý požiar) T_e , T_{em} , prípadne z výpočtového požiarneho zaťaženia p_v , alebo p_{vm} a z teploty plynov, ktorá je pre ekvivalentný čas trvania požiaru vyjadrená normovou teplotnou krivkou T_N [7].

$$q = (T_N + 273)^4 \times 5,67 \times 10^{-11} \quad (5)$$

$$T_N = 20 + 345 \log(8t + 1) \quad (6)$$

kde:

- q – plošná hustota tepelného toku v kW.m^{-2} ,
 T_N – normová teplota plynov v horiacom priestore v $^{\circ}\text{C}$,
 t – ekvivalentný čas trvania požiaru T_e , alebo T_{em} v minútach, prípadne

výpočtové požiarne zaťaženie p_v , alebo p_{vm} (kg.m^{-2})
(z tabuľky 2, STN 92 0201-4, 180).

Vzťah pre výpočet teploty v priestore – odvodený zo vzťahu (5) je:

$$T_N = \left(\frac{q}{5,67 \times 10^{-11}} \right)^{1/4} - 273 \quad (7)$$

4. VYPOČÍTANÉ VÝSLEDKY

Vypočítané hodnoty rýchlosti uvoľňovania energie pri požiaru a strednej výšky plameňa boli porovnané na dvoch nádržiach existujúcich rozmerov.

Pre dva scenáre (S3 a S4), ktoré sú najzložitejšie bola vypočítaná rýchlosť uvoľňovania tepelnej energie Q° a stredná výška plameňa L_f . Výsledné hodnoty týchto vybraných parametrov sú uvedené v tabuľke 1.

Tabuľka 1

Parametre požiaru pri vybraných scenároch

objem nádrže	29.062 m ³		72.803 m ³	
scenár	S3	S4	S3	S4
Q° (MW)	1 213	1 901	2 883	4 237
L_f (m)	20,10	21,65	22,84	23,57

Z výsledkov zapísaných v tabuľke 1 je možné konštatovať, že pri požiaru ropy vo veľkokapacitných nádržiach bude stredná výška plameňov cez 20 metrov. Samozrejme treba podotknúť, že za bezvetria. Vplyvom silného vetra môže byť výška plameňov aj 1,5 až dvojnásobne väčšia.

Po určení odstupovej vzdialenosti podľa STN bolo možné vypočítať teoretickú teplotu na tejto hranici. Pri výpočte sa vychádzalo

z predpokladu, že bezpečný priestor je pri plošnej hustote sálavého toku pod úrovňou $18,5 \text{ kW.m}^{-2}$.

Hodnota plošnej hustoty sálavého toku v odstupovej vzdialenosti bola dosadená do vzťahu (7) a z neho bola vypočítaná teplota v priestore odstupovej vzdialenosti. Hodnoty vybraných parametrov uvádza tabuľka 2.

**Odstupové vzdialenosti z uvedených parametrov podľa
STN 92-0201-4**

Objem skladovacej nádrže (m ³)	29.062	72.803
Priemer havarijnej nádrže D_h (m)	53,6	80
Dĺžka $l=0,75.D_h$ (m)	40,2	60
Výška ropy v havarijnej nádrži v_h (m)	12,9	14,5
Stredná výška plameňov pri požiarí L_f (m)	21,7	23,6
Výška $h_u=v_h+L_f$ (m)	34,6	38,1
Podiel otvorených plôch (%)	100	100
Odstupová vzdialenosť od požiarneho úseku tab.3 (m)	48	50
Odstupová vzdialenosť otvorené sklady tab.4 (m)	39	46

Poznámka:

- v spodných dvoch riadkoch tabuľky sú hodnoty určené z STN 92-0201-4 z tabuliek č. 3 a č. 4 interpoláciou medzi susednými hodnotami,
- vzhľadom k tomu, že v tabuľkách STN 90-0201-4 sú hodnoty h_u približne polovicou z tab.2, odčítaná dĺžka odstupovej vzdialenosti je podhodnotená.

Po dosadení do vzťahu (7) za plošnú hustotu sálavého toku v úrovni odstupovej vzdialenosti hodnoty $q = 18,5 \text{ kW.m}^{-2}$ bude výsledná teplota v priestore odstupovej vzdialenosti $T_N = 482 \text{ °C}$ (teplota vznietenia ropy je 230 °C).

ZÁVER

Boli vypočítané parametre pri požiarí dvoch rozmerovo rozdielnych nádrží vo vybraných najzložitejších scenároch, následne z toho bola určená ich odstupová vzdialenosť. Teplota v priestore odstupovej vzdialenosti bola vypočítaná z odvodeného vzťahu pre výpočet plošnej hustoty tepelného toku. Teoretické výpočty by bolo možné overiť len v praxi, ale to už by bol skutočný požiar.

Na základe vypočítaných parametrov je možné konštatovať, že veľkokapacitné nádrže v Tupej sú postavené v nebezpečnom priestore susediacich nádrží. Vzájomná vzdialenosť susediacich nádrží je menšia ako vypočítaná

odstupová vzdialenosť. Aj keď sa požiarne nebezpečný priestor dvojplášťovej nádrže neurčuje, v prípade požiaru ktorejkoľvek zo skladovacích nádrží je aj za bezvetria vysoká pravdepodobnosť prenesenia požiaru na susediace nádrže vplyvom obrovského sálavého tepla.

Novopostavené nádrže sú zabezpečené potrubím na ich ochladzovanie, stabilným hasiacim zariadením a EPS. V prípade ich zlyhania je nevyhnutné, aby bolo ochladzovanie zabezpečované do príchodu jednotiek HaZZ závodným hasičským útvarom. Podcenenie takéhoto možného požiaru môže spôsobiť značné materiálne, ekologické škody, ale aj ohroziť životy a zdravie zasahujúcich hasičov.

Z výsledkov výpočtu vyplýva, že pri taktických cvičeniach zameraných na veľkokapacitné skladovacie nádrže by bolo potrebné postaviť techniku zodpovedajúcej vzdialenosti pri reálnom požiarí. Ťažké obleky proti sálavému teplu by mali byť neodmysliteľnou súčasťou týchto taktických cvičení.

Zúčastnil som sa niekoľkých taktických cvičení, pri ktorých takmer všetci zasahujúci hasiči boli v priestore, kde vypočítaná teplota pri požiarí ropy vo veľkokapacitnej nádrži presahovala 400 °C .

LITERATÚRA

- [1] DZURENDA, L.- DELIISKI, N. 2010. *Tepelné procesy v technológiách spracovania dreva*. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2010. 274 s. ISBN 978-80-228-2169-8.
- [2] HORVÁTH, J. 2010. *Horenie a požiare ropy*: bakalárska práca. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2010. 59 s.
- [3] KAČÍKOVÁ, D. 2006. *Vybrané kapitoly z dynamiky rozvoja požiaru* : Študijné texty pre voľný ročník inžinierskeho študijného programu Hasičské a záchranné služby. Zvolen : Technická univerzita vo Zvolene, 2006. 51 s.
- [4] KUCBEL, J. 1993. *Požiarňa ochrana budov*. Bratislava: Vydavateľstvo a distribúcia technickej literatúry, 1993. ISBN 80-901398-0-9.
- [5] MINISTERSTVO VNÚTRA SR – Prezídium hasičského a záchranného zboru. Metodický list č. 131. Nebezpečenstvo popálenia. 2 s.
- [6] OSVALD, A. 2005. *Ochrana pred požiarimi*. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2005. 287 s. ISBN 80-228-1493-8.
- [7] STN 92 0102-4:2000: Požiarňa bezpečnosť stavieb – odstupové vzdialenosti.
- [8] TRANSPETROL. 2008. Operatívny plán hasenia, vydanie 2. Tupá : 2008. 20 s.
- [9] Vyhláška MV SR č. 96/2004 Z. z., ktorou sa ustanovujú zásady protipožiarnej bezpečnosti pri manipulácii a skladovaní horľavých kvapalín, ťažkých vykurovacích olejov a rastlinných a živočíšnych tukov a olejov, 2004.
- [10] <http://www.transpetrol.sk/ropny-priemysel> [cit.2012-10-25].