

SHIELDING OF FLAME HEAT FLOW AT STORAGE TANK FIRE Tienenie tepelného toku z plameňa pri požiari skladovacej nádrže

Ján Horváth

*Technická univerzita vo Zvolene, Drevárska fakulta, KPO, T.G. Masaryka 24, 960 53
Zvolen, Slovenská republika; e-mail: j.horvath.jan@gmail.com*

Received December 2, 2015, Accepted December 21, 2015

Abstract

Shielding of flame heat flow occurs along the perimeter of bund wall at large storage tank fires. In the paper there are defined, described, calculated, and consequently compared the zones of the shielding for fires of several large two-layer storage tanks. Three existing large petroleum storage tanks were chosen for the calculations. Two above-ground ones are in operation in Slovakia and the third one – the biggest – is in the Czech Republic.

Key words: large storage tank; bund wall; heat flow shielding; shielding zones calculation.

Abstrakt

Po obvode havarijnej nádrže vzniká pri požiari skladovacej nádrže tienenie tepelného toku z plameňa. V článku sú definované, popísané, vypočítané a následne porovnané pásma tohto tienenia pri požiari vybraných veľkokapacitných dvojplášťových skladovacích nádrží. Pre výpočty sme si vybrali tri existujúce veľkokapacitné nádrže na skladovanie ropy. Dve nadzemné nádrže sú v súčasnosti v prevádzke na Slovensku, tretia – najväčšia v Českej republike.

Kľúčové slová: veľkokapacitná skladovacia nádrž; havarijná nádrž; tienenie tepelného toku; výpočet pásiem tienenia.

1. Úvod

Vo svete je v súčasnosti v prevádzke niekoľko variantov vyhotovení veľkokapacitných skladovacích nádrží na ropu. Podľa vyhotovenia a ich umiestnenia môžeme nadzemné veľkokapacitné nádrže rozdeliť na:

- jednoplášťové ocelové nádrže chránené po obvode zemným valom,
- dve a viac jednoplášťových ocelových nádrží chránených zemným valom,
- jednoplášťové ocelové nádrže chránené po obvode železobetónovým valom,
- železobetónové nádrže,
- dvojplášťové skladovacie nádrže,
- dvojplášťové skladovacie nádrže chránené zemným valom,
- dve a viac dvojplášťových skladovacích nádrží chránených zemným valom [4]

Dvojplášťová nádrž je nádrž, ktorá má dva samostatné plášte s voľným priestorom medzi nimi, vonkajší plášť nádrže musí byť vyhotovený z nehorľavých materiálov. Havarijnou nádržou sa rozumie nádrž určená na zachytenie horľavej kvapaliny, ktorá vytečie pri havárii z prepravného obalu, nádoby mobilného zásobníka, nádrže, technologického zariadenia, alebo zo záchytnej nádrže [5].

2. Metodika práce

Pri požiari nádrže chránenej havarijnou nádržou dochádza k tieneniu sálavého toku z plameňa plášťom havarijnej nádrže. Týmto tienením vzniká priestor v blízkosti plášte havarijnej nádrže bez vplyvu tepelného toku z plameňa a následne za ním priestor s čiastočným vplyvom tepelného toku. Toto tienenie je graficky načrtnuté na obr. 1.

Tieto zóny môžeme preto označiť ako:

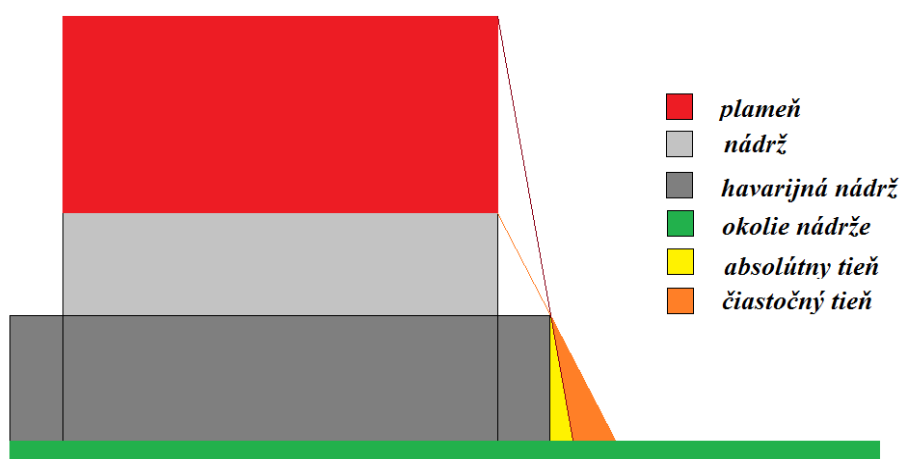
Absolútny tieň – časť priestoru vymedzená uhlom α'' zobrazená na obr. 2. Je to pásmo po celom obvode havarijnej nádrže, so šírkou rovnajúcou sa dĺžke protifaľnej odvesny pravouhlého trojuholníka, ktorého prepona vychádza z bodu horného okraja havarijnej nádrže a zvierá uhol α'' s príľahlou odvesnou vychádzajúcou z toho istého bodu z horného okraja havarijnej nádrže s dĺžkou tejto príľahlej odvesny rovnajúcou sa výške pláštá havarijnej nádrže. Uhol α'' je zhodný s uhlom α , ktorý zvierá prepona pravouhlého trojuholníka (s dĺžkou rovnou vzdialenosti medzi bodom na okraji steny havarijnej nádrže a krajným bodom strednej výšky plameňa pri požiari – nachádzajúcim sa na kolmici prechádzajúcej stenou skladovacej nádrže) s príľahlou odvesnou, ktorej dĺžka je rovná súčtu sálajúcej časti plameňa nad stenou skladovacej nádrže a rozdielu medzi výškou skladovacej nádrže a výškou havarijnej nádrže.

Celkový tieň – časť priestoru vymedzená uhlom β'' znázorneným na obrázku 2. Je to pásmo po celom obvode havarijnej nádrže, so šírkou rovnajúcou sa dĺžke protifaľnej odvesny pravouhlého trojuholníka, ktorého prepona zvierá uhol β'' s príľahlou odvesnou rovnajúcou sa výške pláštá havarijnej nádrže. Uhol β'' je zhodný s uhlom β , ktorý zvierá prepona pravouhlého trojuholníka (s dĺžkou rovnou vzdialenosti medzi bodom na vrchole okraja skladovacej nádrže a bodom vrcholu steny okraja havarijnej nádrže) s príľahlou odvesnou, ktorej dĺžka je rovná rozdielu výšky steny skladovacej nádrže a výšky steny havarijnej nádrže.

Čiastočný tieň – v šírke pásma celkového tieňa vymedzenej uhlom β'' , je zahrnutá šírka pásma absolútneho tieňa a šírka pásma čiastočného tieňa. K presnej šírke pásma čiastočného tieňa označeného na obr. 1 oranžovou farbou a na obr. 2 písmenom c sa dopracujeme odčítaním vypočítanej šírky pásma absolútneho tieňa a od šírky pásma celkového tieňa označeného na obr. 2 ako b .

Zóna absolútneho tieňa s klesajúcou výškou plameňa, či výškou hladiny skladovanej horľavej kvapaliny v skladovacej nádrži sa rozširuje a naopak s rastúcou výškou hladiny horľavej kvapaliny, alebo výškou plameňa sa zóna absolútneho tieňa zužuje. Šírka pásma čiastočného tieňa naopak: pri náraste plameňa, alebo hladiny horľavej kvapaliny v nádrži rastie na úkor pásma absolútneho tieňa. Pri poklese hladiny, plameňa, alebo aj súčasne oboch sa zužuje pásmo čiastočného tieňa pri náraste absolútneho tieňa. Toto všetko sa však deje len do vymedzenej určitej šírky celkového tieňa. Šírka pásma celkového tieňa je určená celkovým vyhotovením každej skladovacej nádrže s ochrannou havarijnou nádržou. Je úmerná vzájomnému pomeru ich výšok a priemerov.

Výpočet širok oboch pásiem tienenia budeme počítať za predpokladu absolútneho bezvetria a ustálenej výšky plameňa pri požiari pre maximálne výšky hladiny ropy vo vybraných nádržiach. Dosadené hodnoty strednej výšky plameňa boli vypočítané. Tieto výpočty vychádzajúce z rýchlosti uvoľňovania energie pri požiari nie sú zahrnuté v tomto článku [3].



Obrázok 1 Tienenie tepelného toku havarijnou nádržou [3]

r – polomer skladovacej nádrže

r_h – polomer havarijnej nádrže

n – výška steny (pláštá) skladovacej nádrže

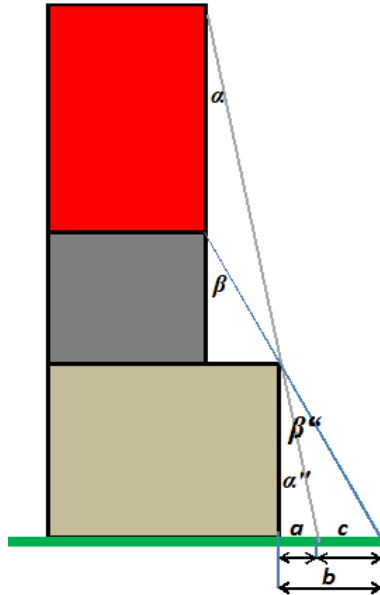
n_h – výška steny (plášťa) havarijnej nádrže

p_s – výška sálajúceho plameňa (výška plameňa znížená o rozdiel medzi výškou steny nádrže a výškou hladiny v nádrži), $p_s = p - (n - h) = (p - n + h)$

a – dĺžka protiláhlej odvesny pravouhlého trojuholníka rovnajúca sa šírke pásma absolútneho tieňa od okraja havarijnej nádrže

b – dĺžka protiláhlej odvesny pravouhlého trojuholníka rovnajúca sa súčtu šírky čiastočného tieňa a šírky pásma absolútneho tieňa (celkový tieň)

c – šírka pásma čiastočného tieňa ($c = b - a$)



Obrázok 2 Znázornenie uhlov pri tienení tepelného toku havarijnou nádržou [3]

Z parametrov nádrže a strednej výšky plameňa pri požiari si vieme vypočítať tangens uhla a vo vzťahu (1). Veľkosť uhla a je zhodná s uhlom a'' .

$$\operatorname{tga} = \frac{r_h - r}{p_s + (n - n_h)} \quad (1)$$

$$\operatorname{tga} = \operatorname{tga}''$$

Z vzťahu (2) si odvodíme vzťah (3), pomocou ktorého si vypočítame dĺžku odvesny a , ktorá je vlastne šírkou pásma absolútneho tieňa pri požiari veľkokapacitnej nádrže.

$$\operatorname{tga}'' = \frac{a}{n_h} \quad (2)$$

$$a = \operatorname{tga}'' \times n_h \text{ [m]} \quad (3)$$

K šírke pásma celkového tieňa sa dostaneme pomocou výpočtu uhla β z uvedeného vzťahu (4). Uhol β je zhodný s uhlom β'' .

$$\operatorname{tg}\beta = \frac{r_h - r}{n - n_h} \quad (4)$$

$$\operatorname{tg}\beta = \operatorname{tg}\beta''$$

Zo vzťahu (5) si odvodíme vzťah (6), z ktorého si vypočítame súčet šírky čiastočného tieňa a šírky pásma absolútneho tieňa označeného na obr. 39 písmenom b .

$$\operatorname{tg}\beta'' = \frac{b}{n_h} \quad (5)$$

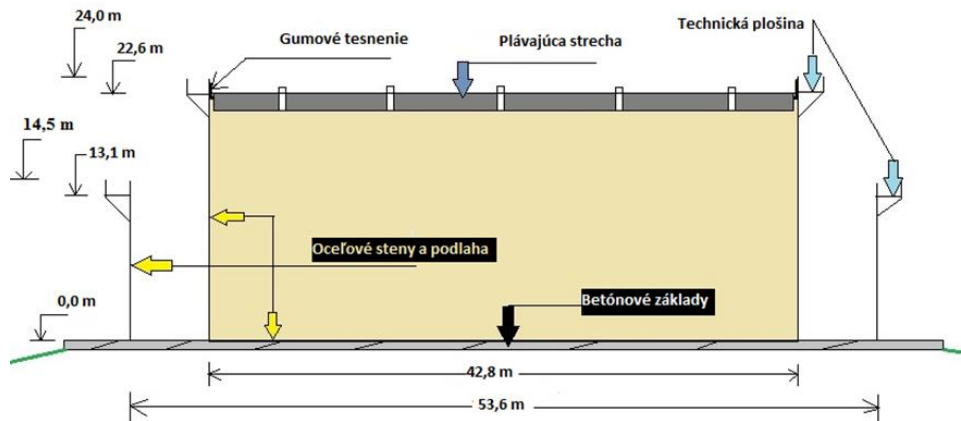
$$b = \operatorname{tg}\beta'' \times n_h \text{ [m]} \quad (6)$$

Ku konečnej hodnote šírky čiastočného tieňa c sa dopracujeme odčítaním šírky absolútneho tieňa a od súčtu oboch pásiem (celkového tieňa) označených písmenom b vo vzťahu (7).

$$c = b - a \text{ [m]} \quad (7)$$

3. Výpočty

3.1 Výpočet tienenia pri požiari veľkokapacitnej nádrže s objemom 30 000 m³



Obrázok 3 Rez nádržou s objemom 30 000 m³ [1]

r – polomer skladovacej nádrže	(21,4 m)
r_h – polomer havarijnej nádrže	(26,8 m)
n – výška steny (plášťa) skladovacej nádrže	(22,6 m)
n_h – výška steny (plášťa) havarijnej nádrže	(14,5 m)
p (L_f) – stredná výška plameňa pri požiari	(20,1 m)
h – výška hladiny skladovanej kvapaliny v nádrži	(20,2 m) (počítame s maximálnou hladinou)

p_s – výška sálajúceho plameňa $p_s = p - (n - h) = (p - n + h) = (17,7 \text{ m})$

$$\text{tga} = \frac{r_h - r}{p_s + (n - n_h)} = \frac{26,8 - 21,4}{17,7 + (22,6 - 14,5)} = \frac{5,4}{25,8} = 0,20930$$

$$a = 11,82^\circ = a''$$

$$\text{tga}'' = \frac{a}{n_h} \quad \text{pa} = \text{tga}'' \times n_h = 0,20930 \times 14,5 = 3,03 \text{ m}$$

$$\text{tg}\beta = \frac{r_h - r}{n - n_h} = \frac{26,8 - 21,4}{22,6 - 14,5} = \frac{5,4}{8,1} = 0,66666$$

$$\beta = 33,69^\circ = \beta''$$

$$\text{tg}\beta'' = \frac{b}{n_h} \quad \text{pb} = \text{tg}\beta'' \times n_h = 0,66666 \times 14,5 = 9,66 \text{ m}$$

$$c = b - a = 9,66 - 3,03 = 6,63 \text{ m}$$

3.2 Výpočet tienenia pri požiari veľkokapacitnej nádrže s objemom 70 000 m³



Obrázok 4 Skladovacia nádrž s objemom 70 000 m³ [2]

r – polomer skladovacej nádrže	(33 m)
r_h – polomer havarijnej nádrže	(40 m)
n – výška steny (plášťa) skladovacej nádrže	(23,6 m)
n_h – výška steny (plášťa) havarijnej nádrže	(15,3 m)
p (L_f) – stredná výška plameňa pri požiari	(22,84 m)
h – výška hladiny skladovanej kvapaliny v nádrži	(21,28 m)
p_s – výška sálajúceho plameňa	$p_s = p - (n - h) = (p - n + h) = (20,52 \text{ m})$

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{r_h - r}{p_s + (n - n_h)} = \frac{40 - 33}{20,52 + (23,6 - 15,3)} = \frac{7}{28,82} = 0,24288$$

$$a = 13,65^\circ = \alpha''$$

$$\operatorname{tg}\alpha'' = \frac{a}{n_h} \quad \rho a = \operatorname{tg}\alpha'' \times n_h = 0,24288 \times 15,3 = 3,72 \text{ m}$$

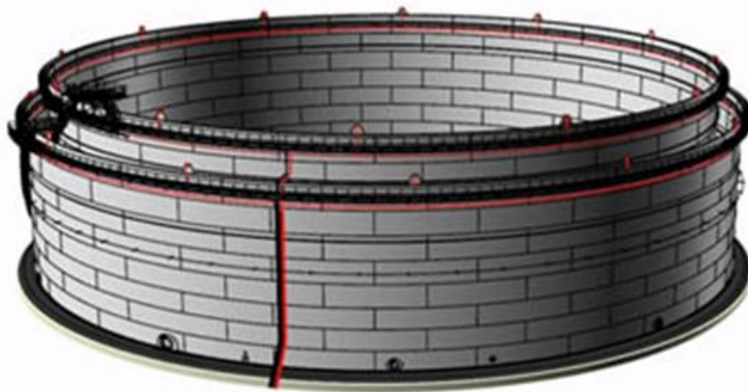
$$\operatorname{tg}\beta = \frac{r_h - r}{n - n_h} = \frac{40 - 33}{23,6 - 15,3} = \frac{7}{8,3} = 0,84337$$

$$\beta = 40,14^\circ = \beta''$$

$$\operatorname{tg}\beta'' = \frac{b}{n_h} \quad \rho b = \operatorname{tg}\beta'' \times n_h = 0,84337 \times 15,3 = 12,90 \text{ m}$$

$$c = b - a = 12,90 - 3,72 = 9,18 \text{ m}$$

3.3 Výpočet tienenia pri požiari veľkokapacitnej nádrže s objemom 125 000 m³



Obrázok 5 Zobrazenie vyhotovenia skladovacích zásobníkov – Mero, ČR [6]

r – polomer skladovacej nádrže	(42,235 m)
r_h – polomer havarijnej nádrže	(45,235 m)
n – výška steny (plášťa) skladovacej nádrže	(24,1 m)
n_h – výška steny (plášťa) havarijnej nádrže	(19,75 m)
p (L_f) – stredná výška plameňa pri požiari	(23,68 m)
h – výška hladiny skladovanej kvapaliny v nádrži	(22,3 m)
p_s – výška sálajúceho plameňa	$p_s = p - (n - h) = (p - n + h) = (21,88 \text{ m})$

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{r_h - r}{p_s + (n - n_h)} = \frac{45,235 - 42,235}{21,88 + (24,1 - 19,75)} = \frac{3}{26,23} = 0,11437$$

$$a = 6,52^\circ = \alpha''$$

$$\operatorname{tg}\alpha'' = \frac{a}{n_h} \quad \rho a = \operatorname{tg}\alpha'' \times n_h = 0,11437 \times 19,75 = 2,26 \text{ m}$$

$$\operatorname{tg}\beta = \frac{r_h - r}{n - n_h} = \frac{45,235 - 42,235}{24,1 - 19,75} = \frac{3}{4,35} = 0,68965$$

$$\beta = 34,59^\circ = \beta''$$

$$\operatorname{tg}\beta'' = \frac{b}{n_h} \quad \rho b = \operatorname{tg}\beta'' \times n_h = 0,68965 \times 19,75 = 13,62 \text{ m}$$

$$c = b - a = 13,62 - 2,26 = 11,36 \text{ m}$$

4. Výsledky a porovnanie

V tab. 1 sú porovnané šírky pásma tienenia tepelného toku z plameňa pri požiari veľkokapacitnej nádrže. Porovnané hodnoty z výpočtov pre vybrané veľkokapacitné nádrže sú v metroch. Druhý stĺpec v tabuľke je šírka pásma absolútneho tienenia s označením AT, v treťom stĺpci je šírka pásma čiastočného tienenia ČT a posledný stĺpec je súčet oboch pásiem spolu – celkový tieň.

Veľkokapacitná skladovacia nádrž s objemom 30 000 m³ má v porovnaní s nádržou o objeme 70 000 m³ šírku pásma AT o 0,69 m a šírku pásma ČT 2,55 m užšiu. Najväčšia skladovacia nádrž s objemom 125 000 m³ má šírku pásma AT najužšiu z porovnávaných pásiem vybraných zásobníkov. Pásmo ČT má nádrž s objemom 125 000 m³ najširšie.

Rozdiely vo výsledkoch sú zapríčinené predovšetkým vo vyhotovení veľkokapacitných nádrží:

- pomerom výšky steny skladovacej nádrže k výške steny havarijnej nádrže,
- pomerom priemeru skladovacej nádrže k priemeru havarijnej nádrže.

Tabuľka 1 Šírka pásma tienenia pri požiari skladovacej nádrže – porovnanie [3]

Nádrž	Šírka AT (m)	Šírka ČT (m)	Šírka CT (m)
30 000 m ³	3,03	6,63	9,66
70 000 m ³	3,72	9,18	12,90
125 000 m ³	2,26	11,36	13,62

Záver

Definovali sme špecifickú problematiku tienenia pri požiari skladovacej nádrže vlastnou havarijnou nádržou. Predstavený postup výpočtu pásiem tienenia je všeobecne použiteľný na akúkoľvek dvojplášťovú skladovaciu nádrž s horľavou kvapalinou, tiež je možné ho aplikovať aj na iné špecifické objekty, či stavby.

Literatúra

- [1] HORVÁTH, J. 2010. Horenie a požiare ropy: bakalárska práca. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2010. 58 s.
- [2] HORVÁTH, J. 2012. Požiar ropy vo veľkokapacitnej nádrži: diplomová práca. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene. Drevárska fakulta. 2012. 85 s.
- [3] HORVÁTH, J. 2015. Výpočet rozloženia teplôt pri požiaroch veľkokapacitných nádrží ropy: dizertačná práca. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene. Drevárska fakulta. 2015. 120 s.
- [4] Voevoda SS, Molčanov VP, Šarovarnikov A F, Šarovarnikov SA. Тушение пожаров нефти и нефтепродуктов (Hasenie požiarov ropy a ropných produktov). Kalan 2002, Moskva.
- [5] VYHLÁŠKA č. 96. 2004. Ministerstva vnútra Slovenskej republiky, ktorou sa ustanovujú zásady protipožiarnej bezpečnosti pri manipulácii a skladovaní horľavých kvapalín, ťažkých vykurovacích olejov a rastlinných a živočíšnych tukov a olejov, 2004.
- [6] <http://www.petroleum.cz/doprava/centralni-tankoviste-nelahozeves.aspx> [16.1.2015].