2 יוני 2016

<u>אופן חישוב מרחק הפרדה לנפט גולמי ולתזקיקיו</u>

במרץ 2014 הופץ עדכון למדיניות מרחקי הפרדה ממקורות סיכון נייחים של המשרד להגנת הסביבה (להלן – המדיניות). בעדכון זה הוכנסו מספר חומרים חדשים לנספח ב׳ המגדיר את החומרים הנדרשים במרחקי הפרדה. בין חומרים אלו, נפט גולמי ותזקיקיו כגון נפטא, בנזין, דס״ל ועוד. חומרים פחמימניים אלו מאוחסנים במקרים רבים במכלי ענק. תכנת ALOHA איננה מתאימה לחישוב טווחי הסיכון מהם. להלן מובא הסבר כיצד יש לחשב את מרחק ההפרדה עבור חומרים אלו.

<u>תרחיש ייחוס</u>

התרחיש הנבחן הוא מאצרה מלאה בוערת של התזקיק הנבחן. הלהבה של הנפט הגולמי ושל תזקיקיו מאופיינת בחלוקה לשלושה חלקים (ראה איור סכימטי בנספח א׳ למסמך זה): הלהבה הנראית/המאירה, אזור הלהבה אפופת העשן (בעלת קרינה תרמית מופחתת עקב מיסוך העשן) ואזור העשן עצמו (ללא להבה).

הסיכון (לרצפטורים ציבוריים) הנבחן להלן הוא הקרינה התרמית הנפלטת מן המאצרה הבוערת: מן הלהבה הנראית ומאזור הלהבה אפופת העשן.

עוצמת הקרינה מהשלולית הבוערת המורגשת בתחומי הרצפטור הציבורי מושפעת, בין היתר, מממדי הבעירה, מן המרחק של הרצפטור הציבורי משפת המאצרה הבוערת ומזווית הראייה בין הרצפטור הציבורי ללהבות. ומסוג החומר הבוער (דהיינו מתכונות כימיות – פיסיקליות שלו). המתודולוגיה המובאת להלן מביאה מאפיינים אלו בחשבון לצורך קביעת מרחק ההפרדה.

<u>מתודולוגיה</u>

1. המתודולוגיה מאפשרת לקבוע את מרחק ההפרדה לרצפטור ציבורי ממאצרה של תזקיקי נפט או נפט גולמי על פי תרחיש של מאצרה בוערת.
2. יובהר, כי בכל מקרה, כמפורט במדיניות יש לשמור מרחק ההפרדה מינימלי לחומרים דליקים שלא יקטן מ-50 מטרים (למעט מקרים חריגים כמפורט במדיניות). זאת ועוד - יש לוודא כי יישמר מרחק מינימאלי של 30 מטר בין מקור הצתה כלשהו למאצרת מיכל הנפט הגולמי או התזקיק (לעניין זה, המונח ״מקור הצתה״ אינו מצטמצם למקור אש או ניצוץ וכדו׳ אלא כולל גם מקור חומר דליק, לרבות שדה קוצים וכד׳).

3. השיטה המפורטת במסמך זה, מאפשרת לקבוע את עוצמת שטף החום המתקבל ברצפטור במרחק מוגדר ממקור הסיכון. על מנת להעריך את מרחק ההפרדה לרצפטור ציבורי מסוים, יש לבחון את שטף החום המתקבל במרחקים שונים עד למציאת המרחק בו מתקבלות נקודות הקצה (כלומר יש לבחון את שטף הקרינה המתקבל במרחקים שונים עד לקבלת שטפי החום המוגדרים עבור מצב קיים ועבור מצב תכנון. בהתאם ייקבעו מרחקי ההפרדה). נקודות הקצה שהוגדרו הן:

- נקודת הקצה למצב קיים: $5kW/m^2$
- נקודת הקצה למצב תכנון: $1.6kw/m^2$

4. שטף החום הכולל המתקבל בתחומי הרצפטור הציבורי (q_{tot}) יחושב כסכום של שטף החום המתקבל מהלהבה הנראית (q_{vis}) ושטף החום המתקבל מהלהבה אפופת העשן ($q_{obscured}$) באופן הבא:

$$q_{vis} = 0.6 * F_{1,2\ vis} * 100\frac{kW}{m^2}$$

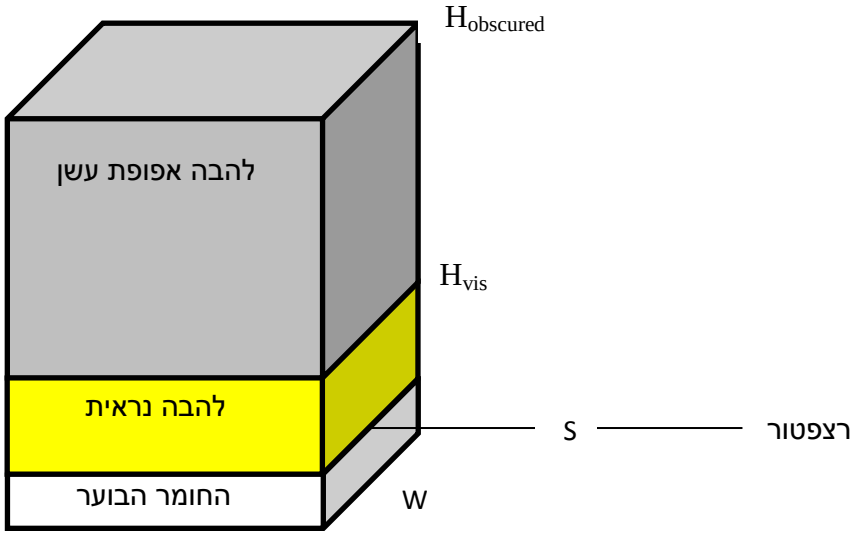
$$+$$

$$q_{obscured} = 0.6 * F_{1,2\ obscured} * 25\frac{kW}{m^2}$$

$$q_{tot} = q_{vis} + q_{obscured}$$

5. $F_{1,2\ vis}$ ו-$F_{1,2obscured}$, הם מקדמי הראייה בין הרצפטור הציבורי ללהבה הנראית וללהבה אפופת העשן, בהתאמה.
6. כאשר המאצרה היא ריבועית (או מלבנית), מקדמי הראייה יחושבו מתוך הטבלה המובאת בנספח ב', כאשר כמודגם באיור מס' 1:
   - S – המרחק האנכי של הרצפטור לחזית הלהבה (דהיינו, במקרים רבים, לנקודה הקרובה ביותר על שפת המאצרה)
   - W - רוחב חזית הלהבה
   - H- "גובה הלהבה".ערך זה ייקבע בנפרד כ-H_{vis} וכ-$H_{obscured}$ וישמש לקביעת $F_{1,2\ vis}$ ו-$F_{1,2obscured}$ בהתאמה, כמפורט בהמשך.

<u>איור מס' 1</u>



חישוב זוויות הראייה לרצפטורים שאינם נמצאים מול חזית האש, או על סמך קוטר הלהבה, ייעשה לפי דו"ח NIST[ii].

כאשר הרצפטור הציבורי הקרוב ביותר מצוי במרחק של פחות מכפלים קוטר המאצרה (או, במקרה של מרובע – כפלים הצלע הגדולה), יש להכפיל ב – 1.5 את ערך מקדם הראייה עבור הלהבה המאירה בלבד, על מנת להתחשב בהטיית הלהבה ע"י רוח. בכל מקרה אחר, המקדם יהיה 1.1.

קביעת גובה הלהבה כ-H_{vis} וכ-$H_{obscured}$ בהתאמה, ייעשה באופן הבא:

- H_{vis}

גובה הלהבה המאירה עבור התזקיקים המופיעים בטבלה מספר 1, יילקח מתוך הטבלה הבאה.

טבלה מס' 1

החומר	קצב בעירה (ק"ג\מ"ר\שנייה)	גובה הלהבה המאירה (מ')		
		במאצרה שקוטרה עד 10 מ'	במאצרה שקוטרה עד 20- מ'	במאצרה שקוטרה מעל 20 מ'
נפט גולמי	0.045	7.3	9.8	12.2
קרוסין	0.039	9.2	12.3	15.4
בנזין	0.05	9.2	12.3	15.4
דס"ל	0.052	8.5	11.2	14.1
דיזל (סולר)	0.035	5.4	7.2	9.0
מזוט	0.040	7.3	9.7	12.1
נפטא	0.055	9.2	12.3	15.4

עבור תזקיקים שאינם מופיעים בטבלה לעיל גובה הלהבה יחושב באופן הבא:

$$H_{vis} = 6.4 \times 10^{-3}\, \dot{q}''_f$$

כאשר $\dot{q}''_f$ הוא ההספק הכללי הנפלט מן הדליקה (ביח' kW/m^2, לכל מ"ר של פני המאצרה בה מתרחש ה–pool fire. ערך זה יש לקחת מטבלה מס' 1 בדוח ה-NIST. עבור מאצרה שקוטרה 10-20 מטר, יילקח ערך H_{VIS} בשיעור של 80% מהגובה המחושב לעיל ועבור מאצרה שקוטרה קטן מ-10 מטרים - 60%.

- $H_{obscured}$

לצורך חישוב זווית הראייה לחלק הלהבה אפוף העשן ($F_{1,2obscured}$), יילקח גובה קצה גובה הלהבה אפופת העשן, על פי המשוואה הבאה (H_f):[1]

$$H_f = 42\, D \left(\frac{\dot{m}''}{\rho_a \sqrt{gD}} \right)^{0.61}$$

Where:

H_f = flame height (m)
D = diameter of the fire (m)
$\dot{m}''$ = burning or mass loss rate per unit area per unit time (kg/m^2-sec)
ρ_a = ambient air density ($1.2\ kg/m^3$ at 20°C and 1 atm.)
g = gravitational acceleration (9.81 m/sec^2)

קצב הבעירה לתזקיקים השונים יילקח מתוך טבלה מספר 1. לתזקיק עבורו קצב הבעירה לא ידוע, הקצב יחושב על ידי הנוסחה:

$$m'' = 0.001 * H_c / H_v \quad \text{(ק"ג/מ"ר/שניה)}$$

כאשר H_c ו- H_v הם חומי הבעירה והאידוי של הפחמימן (קילוג'אול/ק"ג), בהתאמה.

(הערה: קוטרן האקוויוולנטי (D) של מאצרות לא מעוגלות יחושב על סמך שטח המאצרה (A) ידי הנוסחה: $D = \sqrt{4A/\pi}$ זאת, בהינתן שאורכה של המאצרה לא עולה על 2.5 פעמים רוחבה)

יש לציין, שלצורך חישוב תרומת חלק הלהבה אפופת העשן $q_{obscured}$ יילקח בחשבון הגובה "נטו" של להבה ספציפית זו, דהיינו הגובה H ע"פ החישוב לעיל בניכוי גובה הלהבה המאירה, כפי שחושב לעיל

<u>חריגים מחישוב מרחק הפרדה</u>

7. בהינתן התנאים המפורטים להלן, ייקבע מרחק הפרדה של 50 מטרים מן הנקודה הקרובה ביותר לצלע/מעגל המאצרה, בלא צורך בחישוב המרחק על פי המתודולוגיה שהובאה לעיל.
   א. החומר הינו אחד מהתזקיקים הבאים:
      - סולר לכלי רכב (Oil fuel No. 2)
      - מזוט לתעשייה (Oil fuel No. 5,6)
      - קרוסין בעל נקודת הבזק גבוהה מ-50°C
      - דס"ל (מסוגים A, A-1 וסוגים נוספים) בעל נקודת הבזק גבוהה מ-50°C [1]
      - כל תזקיק נפט אחר שנקודת ההבזק שלו גבוהה מ-50°C
   ב. החזקת אישור כיבוי אש
   ג. קיום מערכת כיבוי בעלת אמינות מספקת לכיסוי מהיר של שפך למאצרה בקצף בטרם יוצת.
8. מרחק הפרדה קטן מ-50 מטרים יתאפשר רק במצב "קיים", באישור ראש אגף חומרים מסוכנים ועל פי "בחינה טכנית מעמיקה" כמפורט במסמך מדיניות מרחקי הפרדה. כחלק מבחינה זו ייעשה שימוש בפרמטרים מחמירים יותר, למשל עבור הספק הקרינה הנפלט מן הלהבה, או בהתחשבות בתופעות כגון הטיית הלהבה בעקבות הרוח.

[1] דס"ל מסוגים jet B ו-JP-4, הינו בעל נקודת הבזק נמוכה ויידרש בכל מקרה בחישוב מרחק ההפרדה לתרחיש מאצרה בוערת, על פי המתודולוגיה המובאת במסמך זה.

מקורות עיקריים:

1. שטרן א', תזקיקי נפט גולמי, מוגש למשרד להגנת הסביבה (2015).
2. NISTIR 6546, McGrattan K.B., Baum H.R., Hamins A. Thermal Radiation from Large Pool Fire (2000).

נספח א'

תיאור סכמטי של pool fire (ע"פ NIST ואחרים), עם חלוקה ל-3 אזורים (א) אזור הלהבה הנראית/המאירה; (ב) אזור הלהבה אפופת העשן עם קרינה תרמית מופחתת במידה ניכרת; (ג) אזור העשן (אינו נכלל בחישובי "גובה גליל האש")

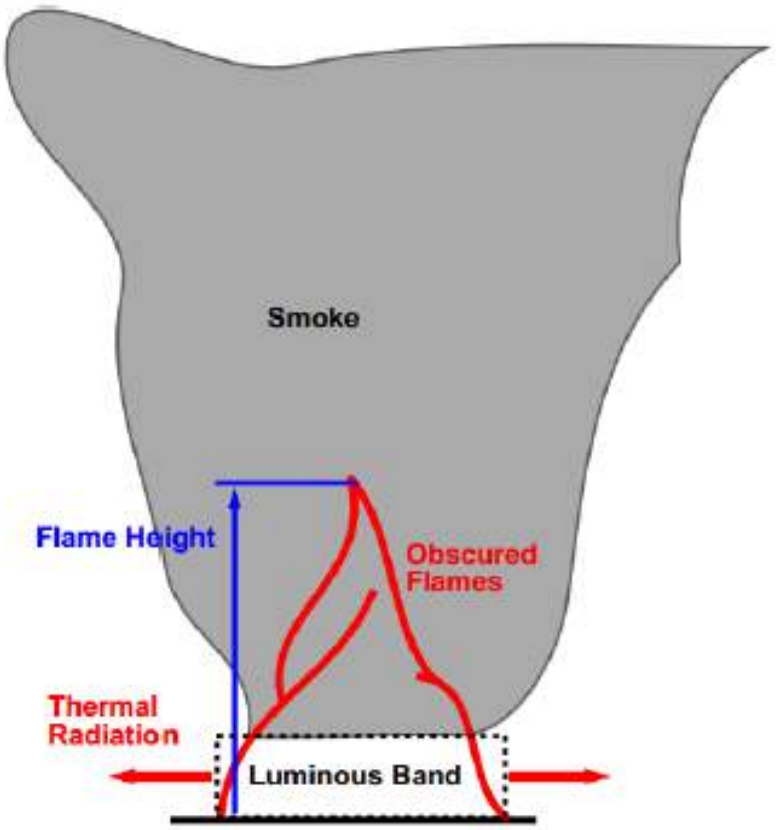


Figure 1: Schematic diagram of a large liquid fuel fire.

נספח ב' – טבלה למציאת מקדם הראייה (view factor) עבור מאצרה ריבועית/מלבנית

Table 4: View Factors from a Flat Vertical Plate to an Element Receiving Maximum Radiation [11]. Note that *H* is the height of the plate, *W* is the width of the plate, and *S* is the distance from the center of the base of the plate to the element. The element is assumed to be at the same elevation as the base of the plate. See Fig. 12 for a schematic diagram.

S/*W*	*H*/*W*																			
	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
0.1	0.050	0.098	0.143	0.185	0.223	0.256	0.286	0.311	0.333	0.352	0.444	0.470	0.480	0.484	0.486	0.488	0.489	0.489	0.489
0.2	0.024	0.049	0.072	0.096	0.118	0.140	0.161	0.181	0.200	0.218	0.343	0.401	0.428	0.442	0.450	0.455	0.457	0.459	0.461
0.3	0.016	0.031	0.047	0.062	0.077	0.092	0.106	0.120	0.134	0.148	0.257	0.325	0.364	0.387	0.401	0.409	0.415	0.418	0.421
0.4	0.011	0.022	0.033	0.044	0.055	0.065	0.076	0.086	0.096	0.107	0.195	0.259	0.302	0.330	0.348	0.360	0.368	0.373	0.377
0.5	0.008	0.016	0.024	0.033	0.041	0.049	0.057	0.065	0.072	0.080	0.151	0.206	0.248	0.277	0.298	0.312	0.322	0.329	0.335
0.6	0.006	0.013	0.019	0.025	0.031	0.038	0.044	0.050	0.056	0.062	0.118	0.166	0.203	0.232	0.253	0.269	0.281	0.289	0.296
0.7	0.005	0.010	0.015	0.020	0.025	0.030	0.035	0.039	0.044	0.049	0.095	0.135	0.168	0.195	0.216	0.232	0.244	0.253	0.261
0.8	0.004	0.008	0.012	0.016	0.020	0.024	0.028	0.032	0.036	0.040	0.077	0.111	0.140	0.164	0.184	0.200	0.212	0.222	0.230
0.9	0.003	0.007	0.010	0.013	0.016	0.020	0.023	0.026	0.029	0.033	0.064	0.093	0.118	0.140	0.158	0.173	0.185	0.195	0.203
1.0	0.003	0.005	0.008	0.011	0.014	0.016	0.019	0.022	0.025	0.027	0.054	0.078	0.100	0.120	0.136	0.151	0.162	0.172	0.180
2.0	0.001	0.002	0.002	0.003	0.004	0.005	0.005	0.006	0.007	0.008	0.015	0.023	0.030	0.037	0.043	0.050	0.056	0.061	0.066
3.0	0.000	0.001	0.001	0.001	0.002	0.002	0.002	0.003	0.003	0.003	0.007	0.010	0.014	0.017	0.020	0.023	0.027	0.030	0.032
4.0	0.000	0.000	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002	0.002	0.002	0.004	0.006	0.008	0.010	0.012	0.014	0.015	0.017	0.019
5.0	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.003	0.004	0.005	0.006	0.008	0.009	0.010	0.011	0.012
6.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002	0.003	0.004	0.004	0.005	0.006	0.007	0.008	0.009
7.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002	0.003	0.003	0.004	0.005	0.005	0.006	0.006
8.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.002	0.002	0.003	0.003	0.004	0.004	0.005
9.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.002	0.002	0.002	0.003	0.003	0.004	0.004
10.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.001	0.002	0.002	0.002	0.003	0.003	0.003

נספח ג' – דוגמה לחישוב

להלן מובאת דוגמת חישוב ליישום המתודולוגיה המובאת בנספח זה, עבור מאצרה בגודל 100x100 מטרים, המכילה מיכל בנזין.

על מנת לחשב את שטף הקרינה במרחק מסוים מקצה המאצרה (למשל במרחק 100 מטרים, מול המאצרה), יש למצוא תחילה את גובה הלהבה הנראית H_{vis}. בנזין מופיע בטבלה מס' 1 ועבור מאצרות שקוטרן מעל 20 מטר, גובה הלהבה: Hvis=15.4

את $F_{1,2\ vis}$, יש למצוא בטבלה שבנספח ב', כאשר: S=100 (המרחק הנבחן מהמאצרה), H=15.4 (גובה הלהבה המאירה/הנראית) ו-W=100 (רוחב חזית האש), כמובא באיור שבסעיף 6. לצורך השימוש בטבלה יחושבו היחסים הבאים: H/w=15.4/100=0.154 ; S/W=100/100=1.

בטבלה אין ערך מדויק ליחס H/W=0.154. מהטבלה מתקבל ערך זוויות ראייה של $F_{1,2\ vis}$=0.054 עבור S/W=1 ו-H/W=0.2 וערך של $F_{1,2\ vis}$=0.027 כאשר H/W=0.1. ניתן במקרים אלו להשתמש בערך השמרני שבין הערכים (במידת הצורך ובאופן פשטני, ניתן לבצע אינטרפולציה בהנחה שבטווח שבין שני היחסים הנבחנים, מקדם הראייה משתנה לינארית). במקרה הדוגמה יתקבל $F_{1,2\ vis}$=0.042

מכאן ש: $q_{vis}=0.6x0.042x100kW/m^2=2.52\ kW/m^2$

לחישוב גובה הלהבה אפופת העשן, $H_{obscured}$, יש לעשות שימוש בנוסחה המובאת בסעיף 7:

$$H_f = 42\,D\left(\frac{\dot{m}''}{\rho_a\sqrt{gD}}\right)^{0.61}$$

D – הקוטר האקוויולנטי ימצא מתוך שטח המאצרה $D = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4*10{,}000}{\pi}} = 112m$ (ע"פ NIST)

m'' – קצב הבעירה, יילקח מטבלה מס' 1. עבור בנזין m''=0.05kg/m^2/sec

$$H_{obscured} = 42x112\left(\frac{0.05}{1.2\sqrt{9.81x112}}\right)^{0.61} = 80\text{m}$$

מכאן לצורך זווית מציאת זוויות הראייה ללהבה אפופת העשן, $F_{1,2obscured}$, יש להשתמש בטבלה ביחס הבא: H/W=(80-15.4)/100=0.646 (בקירוב, בהזנחת אפקטים גיאומטריים שוליים)

בטבלה ניתן למצוא כי $F_{1,2obscured}$=0.143

מכאן ש: $q_{obscured}=0.6x0.143x25kW/m^2=2.145\ kW/m^2$

$q_{tot}= q_{vis} + q_{obscured}=2.52+2.145=4.665\ kW/m^2$

ביצוע חישוב זה באופן חוזר למרחקים שונים, מאפשר למצוא את המרחקים עבורם מתקבלים שטפי קרינה של 1.6 kW/m^2 ו-5 kW/m^2 למצב תכנון ולמצב קיים בהתאמה.