



-בלמ"ס-

י"ב אדר א תשע"ו
21 פברואר 2016

לכבוד
משתתפי הוועדה

הנדון: הנחיות לנושא ניתוח הנדסי למערכות שליטה בעשן-ניהול עשן על בסיס CFD- טיוטה להתייחסות.

א. כללי:

במסגרת הוועדה לניהול עשן נבחן הנושא של ניתוח הנדסי למערכות שליטה בעשן על בסיס CFD בתקנות התכנון והבניה סעיף 3.5.1.9 נדרש במקרים מסוימים להציג ניתוח הנדסי: "על אף האמור בסימן זה, תותר התקנת מערכת לשליטה בעשן ופינויו אל מחוץ לבניין שבעבורה הוצג ניתוח הנדסי שאישרה רשות הכבאות".

מסמך זה בא לקבוע הנחיות בדבר הפרמטרים אשר יש לבחון במסגרת בחינת והצגת ניתוח הנדסי למערכות שליטה בעשן (Computational Fluid Dynamics) CFD

הוועדה קבעה שלושה מדדים שיידרשו לשם יצירת תפיסה כוללת לניתוח הנדסי.

1. תנאי סף לתכנון הנדסי (הגורמים המשפיעים על יצירת ה-CFD)

2. המקרים בהם יידרש ביצוע של CFD

3. הגורמים הבודקים.

ב. תנאי סף לתכנון הנדסי

מי מוסמך לתכנן?

- מהנדס בטיחות אש רשום ברשם המהנדסים במסלול בטיחות אש ומניעתם.

באיזו תוכנה ניתן להשתמש

- תוכנה המאושרת לביצוע CFD של שריפה הינה Fire dynamics simulator-FDS של הגוף NIST.

פרמטרים ומטרות של התכנון

- מטען האש המקסימלי
- נתוני מחיה: גובה שכבת העשן, מרחקי ראות, כמות CO וטמפרטורה.
- גובה שכבת העשן: לפי תקנה ותקן

• מרחק ראות: מינימום 10 מ', מקסימום 30 מ'.

• כמות CO וטמפרטורה: רצ"ב הניספח מה-NFPA 130 האחרון (מהדורת 2014)

B.2.1.1 Heat Effects. (See also H.1.2.11.) Exposure to heat can lead to life threat in three basic ways:

- (1) Hyperthermia
- (2) Body surface burns
- (3) Respiratory tract burns

For use in the modeling of life threat due to heat exposure in fires, it is necessary to consider only two criteria: the threshold of burning of the skin and the exposure at which hyperthermia is sufficient to cause mental deterioration and thereby threaten survival.

Note that thermal burns to the respiratory tract from inhalation of air containing less than 10 percent by volume of water vapor do not occur in the absence of burns to the skin or the face; thus, tenability limits with regard to skin burns normally are lower than for burns to the respiratory tract. However, thermal burns to the respiratory tract can occur upon inhalation of air above 60°C (140°F) that is saturated with water vapor.

The tenability limit for exposure of skin to radiant heat is approximately 2.5 kW·m⁻². Below this incident heat flux level, exposure can be tolerated for 30 minutes or longer without significantly affecting the time available for escape. Above this threshold value, the time to burning of skin due to radiant heat decreases rapidly according to Equation B.2.1.1a.

$$t_{\text{burn}} = 106q^{-1.35} \quad (\text{B.2.1.1a})$$

where:

- t* = time in minutes
- q* = radiant heat flux (kW/m²)

As with toxic gases, an exposed occupant can be considered to accumulate a dose of radiant heat over a period of time. The fraction equivalent dose (FED) of radiant heat accumulated per minute is the reciprocal of *t_{burn}*.

Radiant heat tends to be directional, producing localized heating of particular areas of skin even though the air temperature in contact with other parts of the body might be relatively low. Skin temperature depends on the balance between the rate of heat applied to the skin surface and the removal of heat subcutaneously by the blood. Thus, there is a threshold radiant flux below which significant heating of the skin is prevented but above which rapid heating occurs.

Based on the preceding information, it is estimated that the uncertainty associated with the use of Equation B.2.1.1a is ±25 percent. Moreover, an irradiance of 2.5 kW·m⁻² would correspond to a source surface temperature of approximately 200°C, which is most likely to be exceeded near the fire, where conditions are changing rapidly.

Calculation of the time to incapacitation under conditions of exposure to convected heat from air containing less than 10 percent by volume of water vapor can be made using either Equation B.2.1.1b or Equation B.2.1.1c.

As with toxic gases, an exposed occupant can be considered to accumulate a dose of convected heat over a period of time. The fraction equivalent dose (FED) of convected heat accumulated per minute is the reciprocal of *t_{hyper}*.

Convected heat accumulated per minute depends on the extent to which an exposed occupant is clothed and the nature of

the clothing. For fully clothed subjects, Equation B.2.1.1b is suggested:

$$t_{\text{hyper}} = (4.1 \times 10^5) T^{-3.61} \quad (\text{B.2.1.1b})$$

where:

- t_{hyper}* = time in minutes
- T* = temperature (°C)

For unclothed or lightly clothed subjects, it might be more appropriate to use Equation B.2.1.1c:

$$t_{\text{hyper}} = (5 \times 10^7) T^{-5.44} \quad (\text{B.2.1.1c})$$

where:

- t_{hyper}* = time in minutes
- T* = temperature (°C)

Equations B.2.1.1b and B.2.1.1c are empirical fits to human data. It is estimated that the uncertainty is ±25 percent.

Thermal tolerance data for unprotected human skin suggest a limit of about 120°C (248°F) for convected heat, above which there is, within minutes, onset of considerable pain along with the production of burns. Depending on the length of exposure, convective heat below this temperature can also cause hyperthermia.

The body of an exposed occupant can be regarded as acquiring a "dose" of heat over a period of time. A short exposure to a high radiant heat flux or temperature generally is less tolerable than a longer exposure to a lower temperature or heat flux. A methodology based on additive FEDs similar to that used with toxic gases can be applied. Provided that the temperature in the fire is stable or increasing, the total fractional effective dose of heat acquired during an exposure can be calculated using Equation B.2.1.1d:

$$FED = \sum_i \left(\frac{1}{t_{\text{burn}}} + \frac{1}{t_{\text{hyper}}} \right) \Delta t \quad (\text{B.2.1.1d})$$

Note 1: In areas within an occupancy where the radiant flux to the skin is under 2.5 kW · m⁻², the first term in Equation B.2.1.1d is to be set at zero.

Note 2: The uncertainty associated with the use of this last equation would be dependent on the uncertainties with the use of the three earlier equations.

The time at which the FED accumulated sum exceeds an incapacitating threshold value of 0.3 represents the time available for escape for the chosen radiant and convective heat exposures.

As an example, consider the following:

- (1) Evacuees lightly clothed
- (2) Zero radiant heat flux
- (3) Time to FED reduced by 25 percent to allow for uncertainty in Equations B.2.1.1b and B.2.1.1c.
- (4) Exposure temperature constant
- (5) FED not to exceed 0.3

Equations B.2.1.1c and B.2.1.1d can be manipulated to provide:

$$t_{\text{exp}} = (1.125 \times 10^7) T^{-5.44}$$

where:

- t_{exp}* = time of exposure (min.) to reach a FED of 0.3

This gives the values in Table B.2.1.1.

Table B.2.1.1 Maximum Exposure Time

Exposure Temperature		Without Incapacitation (min.)
°C	°F	
80	176	3.8
75	167	4.7
70	158	6.0
65	149	7.7
60	140	10.1
55	131	13.6
50	122	18.8
45	113	26.9
40	104	40.2

B.2.1.2 Air Carbon Monoxide Content. An exposed occupant can be considered to accumulate a dose of carbon monoxide over a period of time. This exposure to carbon monoxide can be expressed as a fractional effective dose, according to Equation B.2.1.2a; see B.2.1.2.1, reference [1] [page 6, equation (2)]:

$$FED_{CO} = \sum_i \frac{[CO] \Delta t}{35000}$$

where:

Δt = time increment in minutes
 $[CO]$ = average concentration of CO (ppm) over the time increment Δt

It has been estimated that the uncertainty associated with the use of Equation B.2.1.2a is ± 35 percent. The time at which the FED accumulated sum exceeds a chosen incapacitating threshold value represents the time available for escape for the chosen carbon monoxide exposure. As an example, consider the following:

- (1) Time to FED reduced by 35 percent to allow for the uncertainty in Equation B.2.1.2a
- (2) Exposure concentration constant

This gives the values in Table B.2.1.2 for a range of threshold values.

Table B.2.1.2 Maximum Carbon Monoxide Exposure

Time (min)	Tenability Limit		
	AEGL 2	0.3	0.5
4	—	1706	2844
6	—	1138	1896
10	420	683	1138
15	—	455	758
30	150	228	379
60	83	114	190
240	33	28	47

A value for the FED threshold limit of 0.5 is typical of healthy adult populations [1], 0.3 is typical in order to provide for escape by the more sensitive populations [1], and the AEGL 2 limits are intended to protect the general population, including susceptible individuals, from irreversible or other serious long-lasting health effects [2].

The selection of the FED threshold limit value should be chosen appropriate for the fire safety design objectives. A value of 0.3 is typical. More conservative criteria may be employed for use by especially susceptible populations. Additional information is available in references [1] and [3].

B.2.1.2.1 The following references are cited in B.2.1.2:

- (1) "Life threat from fires — Guidance on the estimation of time available for escape using fire data." ISO/DIS 13571, International Standards Organization, 2006.
- (2) "Acute Exposure Guideline Levels for Selected Airborne Chemicals, Volume 8," Committee on Acute Exposure Guideline Levels, Committee on Toxicology, National Research Council. National Academies Press, Washington DC, 2010.
- (3) Kuligowski, E. D., "Compilation of Data on the Sublethal Effects of Fire Effluent," Technical Note 1644, National Institute of Standards and Technology, 2009.

B.2.1.3 Smoke Obscuration Levels. Smoke obscuration levels should be maintained below the point at which a sign internally illuminated at 80 lx (7.5 ft-candles) is discernible at 30 m (100 ft) and doors and walls are discernible at 10 m (33 ft).

B.2.1.4 Air Velocities.

B.2.1.4.1 Air velocities in enclosed stations and trainways should be greater than or equal to 0.75 m/sec (150 fpm).

B.2.1.4.2 Air velocities in enclosed stations and trainways that are being used for emergency evacuation or by emergency personnel should not be greater than 11.0 m/sec (2200 fpm).

B.2.1.5 Noise Levels. Noise levels should be a maximum of 115 dBA for a few seconds and a maximum of 92 dBA for the remainder of the exposure.

B.2.2 Geometric Considerations. Some factors that should be considered in establishing a tenable environment in stations are as follows:

- (1) The evacuation path requires a height clear of smoke of at least 2 m (6.6 ft). For low-ceiling areas, selection of the modeling method and the criteria to be achieved should address the limitations imposed by ceiling heights below 3 m (9.84 ft). At low-ceiling areas in an evacuation path, beyond the immediate vicinity of a fire, smoke should be excluded to the greatest extent practicable.
- (2) The application of tenability criteria at the perimeter of a fire is impractical. The zone of tenability should be defined to apply outside a boundary away from the perimeter of the fire. This distance will be dependent on the fire heat release rate, the fire smoke release rate, local geometry, and ventilation and could be as much as 30 m (100 ft). A critical consideration in determining this distance will be how the resultant radiation exposures and smoke layer temperatures affect egress. This consideration should include the specific geometries of each application, such as vehicle length, fire location, platform width and configuration, and ventilation system effectiveness, among others, and how those factors interact to support or interfere with access to the means of egress.
- (3) The beneficial effects of an emergency ventilation system during a fire incident will not become completely available until the system is operated and reaches full capacity. During the time between initiation of a fire incident and the desired ventilation response achieving its full capacity, the smoke can spread into the intended zone of tenability. The ventilation system should have sufficient capacity to counter this

* כל תנאי המחיה נדרשים למשך זמן המילוט המחושב, או למשך 20 דקות לפחות, הקטן מביניהם.

- סימולציית מילוט תבוצע בתוכנת סימולציה וימצאו זמני המילוט של האנשים כאשר יילקח בחשבון גם

המקדמים הבאים :

✓ זמן גילוי השריפה

✓ זמן תגובה

✓ פקטור של 1.5 לזמן שנמצע בתוכנה

*ניתן להשתמש לתוצאות בתוכנה להוכחת מילוט אנשים מתחת לשיכבת העשן.

*במידה שמשתמשים בתוכנה למילוט אנשים דרך שכבת העשן התוכנה חייבת להיות ייעודית לכך וחייבת

לקחת בחשבון את תוצאות ה-CFD בהתאם. (להמליץ על תוכנת EVAC, או תוכנה מוכחת אחרת)

2. המקרים בהם ידרש ביצוע של ניתוח הנדסי באמצעות CFD

א. מבנה המתוכנן למהתמ"ע.

ב. כאשר חל תקן ישראלי ת"י 1001 חלק 2.2 "בטיחות אש בבניינים : מערכות בקרת עשן בבניינים

בטיחות אש בבניינים : מערכות בקרת עשן בבניינים, למעט בנייני מגורים שגובהם עד 13 מטר),

קניונים) בטיחות אש בבניינים : מערכות בקרת עשן בבניינים בטיחות אש בבניינים : מערכות בקרת עשן

בבניינים, למעט בנייני מגורים שגובהם עד 13 מטר), קניונים) אטריומים וחללים גדולים דומים"

ג. בקניונים, אטריומים וחללים גדולים כמוגדר בת"י 1001 חלק 2.2.

חלל גדול הגדרה : חלל לא מחולק בעל גובה של 2 קומות או יותר, כך שעשן כתוצאה משריפה יכול לנוע ולהצטבר ללא הגבלה בחלל או בחלל מקשר

ד. במקומות קיימים חללים גדולים העומדים בת"י 1001 חלק 2.2 וחלק 2.4, אזי חלק 2.2 גובר.

ה. מנהרות ותחנות רכבת לפי תקן ישראלי ת"י 5435 "מערכות תחבורה ציבורית מסילתית בנתיב קבוע

:מערכות תחבורה ציבורית מסילתית בנתיב קבוע דרישות בטיחות אש"

ו. מחסנים ובנייני תעשייה לפי ת"י 1001 חלק 2.4 "בטיחות אש בבניינים : מערכות פינוי עשן בבניינים

חד-קומתיים למעט בנייני מגורים."

- בניתוח במחסנים על המבקש להוכיח שהואעת העשן לא תפגע בפעולת המתזים.

- כל מחסן שנדרש למערכת ספרינקלרים ונדרש גם לאמצעים לשחרור עשן, יש לטפל בו כדי שמערכת

הספרינקלרים תעבוד.

מחסן חד-קומתי – מעל 2000 מ"ר שטח קומה במבנה בעל קומה אחת ומעל 3.7 מ' גובה אחסנה ו- commodity 3 ומעלה לפי ת"י 101 חלק 2.2 עם דגש על הגנת רכוש ופתיחת מתזים מעל אזור השריפה.

מחסן במבנה בעל יותר מקומה אחת – מעל 2000 מ"ר שטח קומה ומעל 3.7 מ' גובה אחסנה ו- commodity 3 ומעלה לכל קומה בנפרד ובמצטבר סך הקומות בחלל משותף.

מחסן במרתף - מעל 2000 מ"ר שטח קומה ומעל 3.7 מ' גובה אחסנה ו-3 commodity ומעלה לכל קומה בנפרד ובמצטבר סך הקומות בחלל משותף.

ח. מנהרות כלי תחבורה לפי פרק 5 בהנחיות למנהרות של משרד התחבורה/נתיבי ישראל (מבוסס על

NFPA 504 /תקן אוסטרי/תקן גרמני)

ט. חניונים –

מ-2 קומות ומעלה : מעל 2000 מ"ר לקומה, או מצטבר בקומות 5000 מ"ר ומעלה. כאשר השטח הנלקח בחשבון הוא כל השטח המחובר לחניון(מה שפחות מזה אינו מצריך CFD)

נדרש להוכיח : -בחניון מעל קומה אחת העשן ינוטרל לקומת השריפה.

-בחניון בעל קומה אחת ששחרור העשן בו מתוכנן להיות טיבעי יש להוכיח מילוט של

אנשים בתנאי הישרדות שילוב של מילוט ו-CFD.

י. בניינים מתחת למפלס פני הקרקע וללא חלונות – לאמת NFPA101 הפרק הרלוונטי.

יא. **תעשייה** – מעל 2000 מ"ר לקומה ודרגת סיכון Ex. Haz. Gr.1 ומעלה. מטרה, הוכחת מילוט (CFD+ שילוב

מילוט)

3. הגורמים הבודקים

א. מעבדה תוסמך בשני מצבים :

- שלב התכנון ייבדק ע"י מהנדס שנקבע בקריטריונים שנקבעו בתנאי סף.
- בדיקת ההתקנה תתבצע עפ"י ת"י 1001 חלק 2.2.

ב. בתקופת המעבר ככול שתידרש ועד ההתכנות של המעבדות לבצע בדיקת תכנון, יינתן למהנדס העומד באותם תנאי סף שידרשו מהמעבדות לבדוק תכנון של מהנדס אחר. הערה : לצורך כך יוקם ע"י הוועדה טופס הצהרת מהנדס אשר עליו יצטרך לחתום המהנדס במתכנן והבודק (2 הצהרות) (לאחר שניצור את הצהרת המהנדס יש לתקף אותה מול היועץ המשפטי)

הערה : ריכרדו מציע להתייחס לחניונים לפי ת"י 1001 חלק 2.4 לנושא ה-CFD