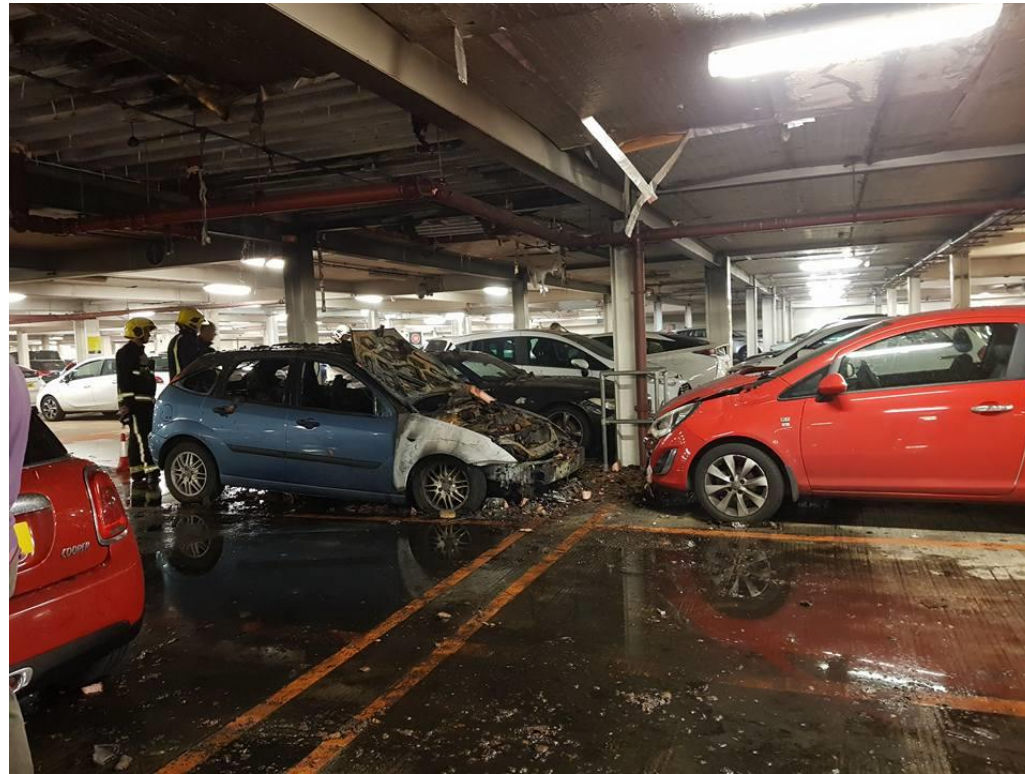


בחינת תכנון מערכות הוצאת עשן בחניונים בעזרת CFD



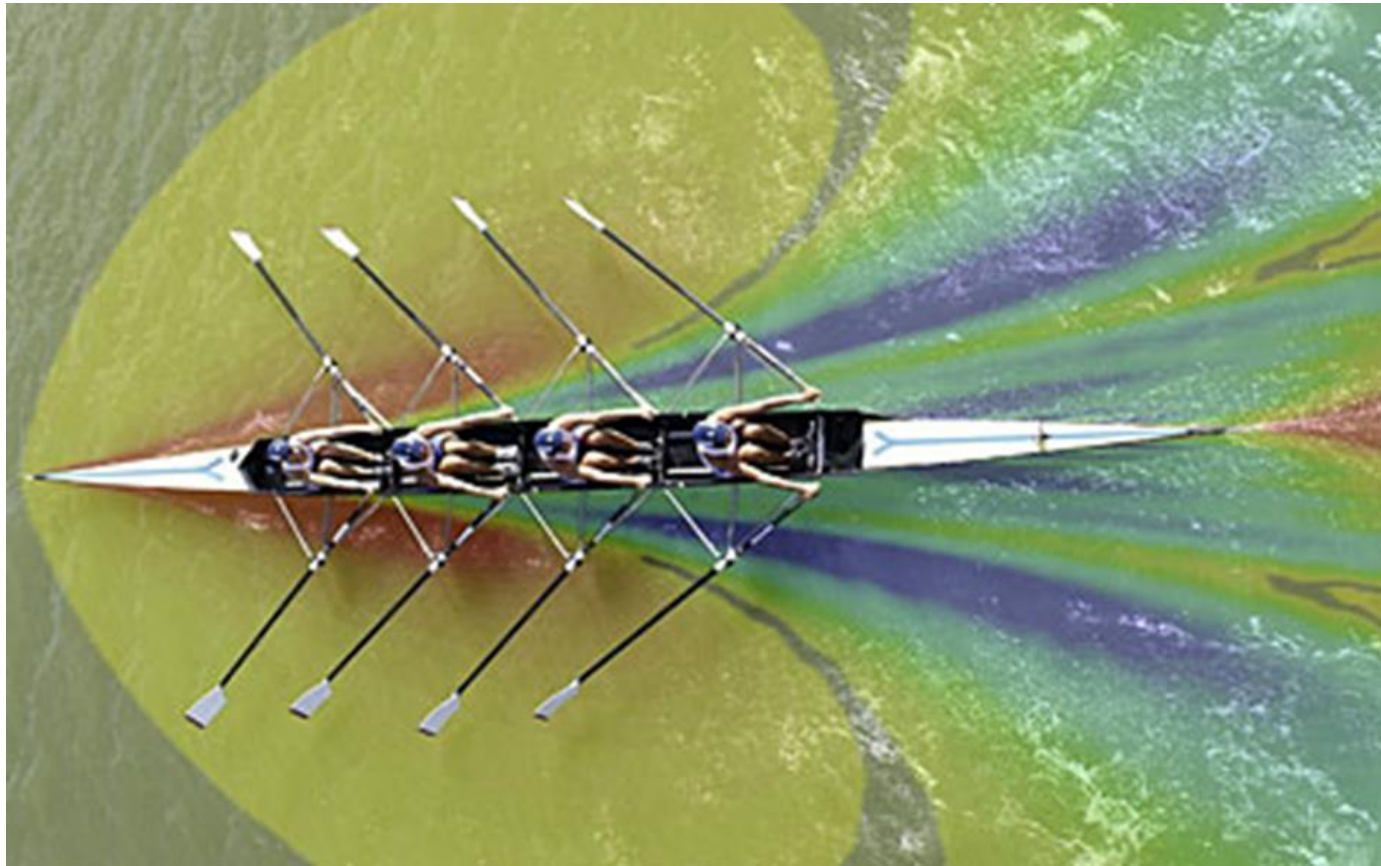
יובל הירש

שרפה בחניון



CFD -Computational fluid dynamics

חישוב זרימה דינאמית



התוכנה משתמשת בשיטות מתמטיות של אלמנטים סופיים.

המודל מחולק להמון תאים קטנים שנוגעים אחד בשני ובעצם מרכיבים את כל המודל הנבדק, ובהתאמה לתנאים.

החישוב מבוצע בעזרת נוסחאות של

Navier Stokes

$$\rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial x} + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) + \rho g_x$$
$$\rho \left(\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial y} + \mu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) + \rho g_y$$
$$\rho \left(\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial z} + \mu \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) + \rho g_z$$

ניתן לחשב את התנהלות העשן בעזרת חישובים מורכבים ואו בעזרת אנליזת CFD ואנליזת מילוט המלווה את כל תהליך התכנון



$$T = \frac{N}{\theta_0(m_0, \sigma)} \left[1 - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{N_{bg} \beta(m_i)}{p(m_i)} \right], \quad (3a)$$

$$m_0 = -\sigma \frac{\theta_1(m_0, \sigma)}{\theta_0(m_0, \sigma)} + \frac{\bar{m} - N^{-1} \sum_{i=1}^N [N_{bg} \beta(m_i)/p(m_i)] m_i}{1 - N^{-1} \sum_{i=1}^N N_{bg} \beta(m_i)/p(m_i)}, \quad (3b)$$

$$\sigma^2 = \frac{\theta_0(m_0, \sigma)}{\theta_2(m_0, \sigma)} \left\{ \frac{\text{Var} + (\bar{m} - m_0)^2}{1 - N^{-1} \sum_{i=1}^N N_{bg} \beta(m_i)/p(m_i)} - \frac{N^{-1} \sum_{i=1}^N [N_{bg} \beta(m_i)/p(m_i)] (m_i - m_0)^2}{1 - N^{-1} \sum_{i=1}^N N_{bg} \beta(m_i)/p(m_i)} \right\}, \quad (3c)$$

מה זה חניון

נפח סגור או פתוח

בעל קומה אחת או יותר

על הקרקע או מתחת לקרקע

משמש לכלי רכב מסוגים שונים (מכוניות , אופניים) , מונעים ע"י דלק, חשמל.

גאומטריה צפופה

קיימות קורות ומערכות נוספות שמפריעות לזרימת האוויר

כאשר מדובר בחניונים תת קרקעיים גובהם בדרך כלל 2.5 – 3 מטר

ובדרך כלל אזור אש אחד.

אתגרים

תפעול שוטף ויום יומי של החניון תוך עמידה בדרישות של איכות הסביבה, יניקה ביחס של 80% בגובה התקרה ו 20% ליד הרצפה (ה CO גז כבד מהאוויר)

ניהול עשן ותוצריו לאפשר מילוט בטוח במקרה של אירוע אש

תכנון ובניית מערכת בעלויות סבירות (מפוחים , תעלות, מתזים)

בחניונים גילוי וזיהוי של אש או עשן מבוצע ע"י המתז שנפתח בדרך כלל ב 68 מעלות צלזיוס.

מיקום פתחי יניקת אוויר בחלל המתוכנן **בהתחשב בדרכי המילוט** . (לא ליד פתחי מילוט)

מיקום פתחי אספקת אוויר בחלל המתוכנן **בהתחשב בדרכי המילוט** .

בחינת המרחק בין פתחי אספקת אוויר ליציאת אוויר . (למניעת קצרי אוויר)

בחינת יכולת הפעלת המערכת כאשר טמפרטורות חוץ נמוכות (אוויר חיצוני לחניון בטמפרטורה נמוכה) והשפעתו על

מערכת כיבוי האש .

נגישות לתחזוקה



אתגרים (המשך)

הכנסת אוויר צח

שמירת אוויר באיכות מספיקה לאפשר לקהל לשרוד עד למילוט בטוח ולכך יש תקנים והגדרות.

הכנסת אוויר מאולץ לתוך החניון יוצר בעיה של איזון , טורבולנציה ואפילו דחיקת העשן ותוצרי השרפה לאזורים נקיים.

ההעדפה צריכה להיות – הכנסת אוויר חופשית שמתבצעת בפועל על פי הצורך.

בדרך כלל הכנסת האוויר המאולץ הוא כ 75% מהיניקה, במצב זה אין גמישות אבל לפעמים אין אלטרנטיבה אחרת.

במהלך המילוט

מחקירת שריפות שהיו בעבר הפגיעות בנפש הן לא מהאש אלא מתוצרי השרפה ואותם צריך לפנות מדרכי המילוט.

צריך לאפשר לקהל לראות את דרכי המילוט.

לשמור נראות של 30 מטר בגובה 1.8 מטר (בעיה קשה בהינתן גובה החניון).

להיות מסוגל לנשום חמצן.

לשמור על רמות טמפרטורה נוחות.

מטרות

עמידה בדרישות של רשויות כיבוי אש

עמידה בדרישות של איכות הסביבה

לתכנן מערכת יעילה ואפקטיבית

לוודא זרימת אוויר למינרית בכל רחבי החניון (למנוע טורבולנציה)

לוודא שזרימת האוויר תהיה סביב 1 מטר לשניה

לאפשר תחזוקה נוחה.

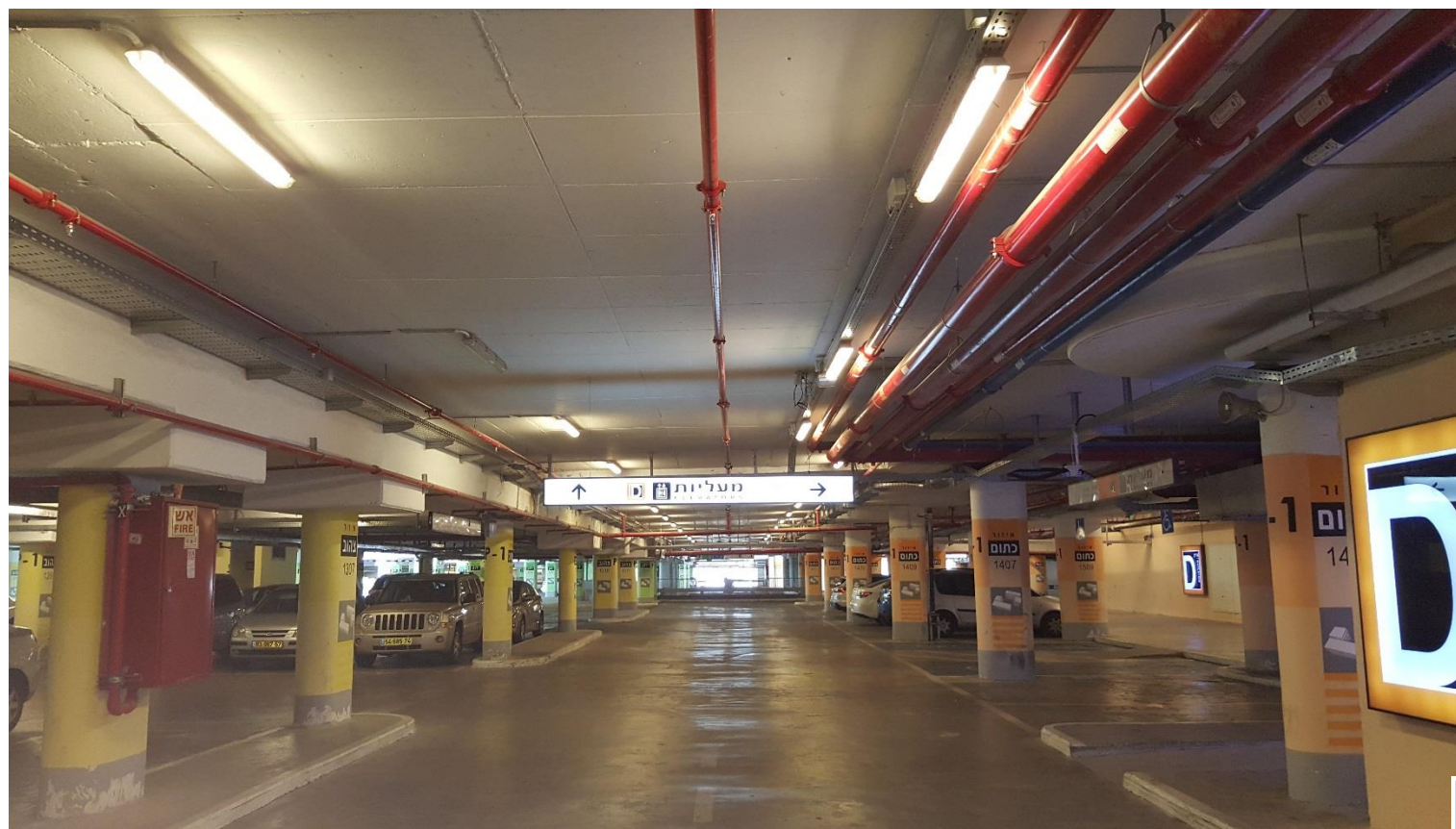
צמצום התפשטות העשן באזור בו מתרחש האירוע ע"י חלוקה לאזורים של הפעלת המפוחים ושינוי כיוון מיניקה

לסניקה.

מניעת זליגת העשן בין הקומות תוך שימוש בולונות עשן.

הבנת החניון

גודל, גובה, קורות, הפרעות לזרימה, מערכות (תעלות מ"א, תעלות חשמל, תשתיות מוגנות אש, שילוט משמעותי).



הבנה של התנהגות העשן בזמן בערה

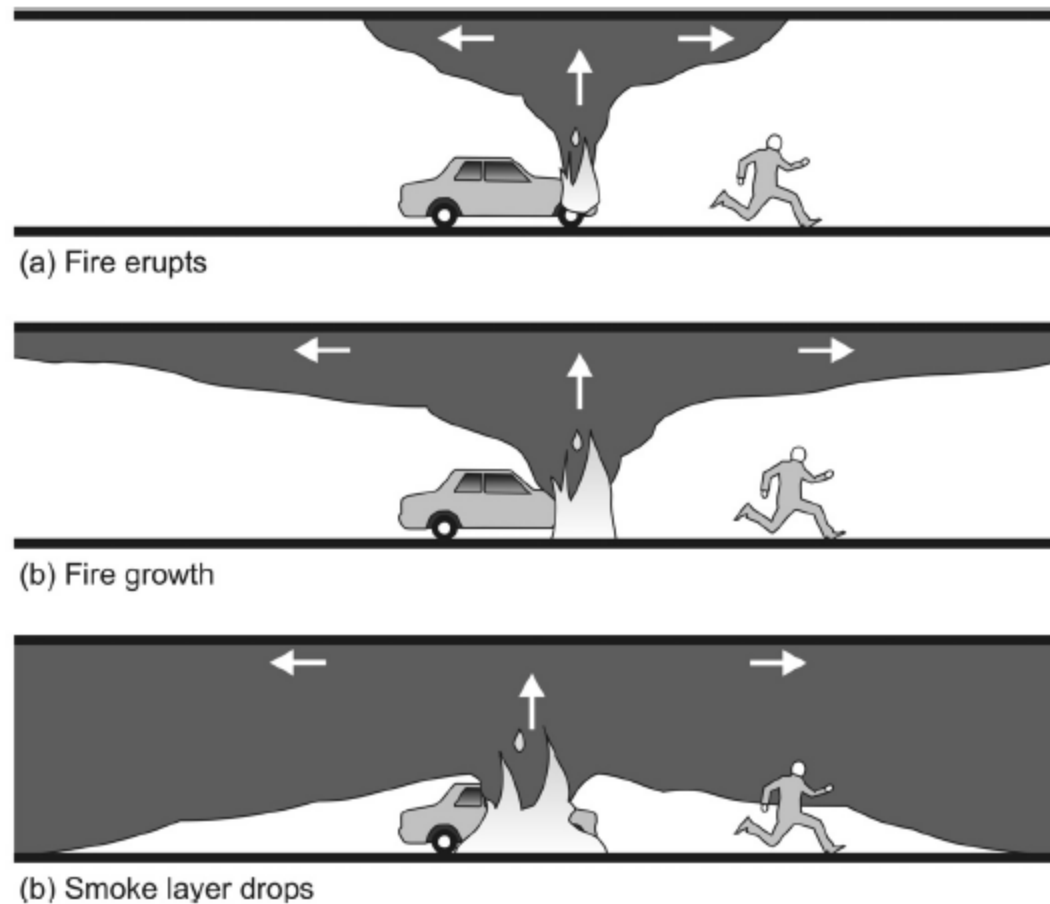


Figure 17.2 Fire development in road tunnels (no ventilation).

CO

9 ppm	CO Max prolonged exposure (ASHRAE standard)
35 ppm	CO Max exposure for 8 hour work day (OSHA)
800 ppm	CO Death within 2 to 3 hours
12,800 ppm	CO Death within 1 to 3 minutes

CO2

250-350ppm	Normal background concentration in outdoor ambient air
350-1,000ppm	Concentrations typical of occupied indoor spaces with good air exchange
1,000-2,000ppm	Complaints of drowsiness and poor air.
2,000-5,000 ppm	Headaches, sleepiness and stagnant, stale, stuffy air. Poor concentration, loss of attention, increased heart rate and slight nausea may also be present.
5,000	Workplace exposure limit (as 8-hour TWA) in most jurisdictions.
>40,000 ppm	Exposure may lead to serious oxygen deprivation resulting in permanent brain damage, coma, even death.



רמות מותרות של פחמן חד חמצני

- שניות ראשונות לאירוע - לא יעלה על 2000 חלקיקים למיליון (0.2%ppm)
- 6 דקות ראשונות לאירוע – לא יעלה על 1150 חלקיקים למיליון (0.115%ppm)
- 15 דקות ראשונות לאירוע – לא יעלה על 450 חלקיקים למיליון (0.045%ppm)
- 30 דקות ראשונות לאירוע – לא יעלה על 225 חלקיקים למיליון (0.0225%ppm)

מתזים

זיהוי תחילת אירוע אש בבדיקת CFD ע"י מתזים



EN

איל ניב

מהנדסים ויועצים בע"מ

BIM 3D SYSTEMS LTD

גורמי שריפות ועוצמות אש



חומר בעירה

חמצן

חומר הצתה

גודל להבה



לכל סוג של חומר מוגדר בתקנים עוצמת האש ב KW (אנרגיה)
המתכנן נידרש להגדיר במערכת את סוגי החומרים בהם קיים סיכון שריפה באיזור האש
ולתכנן על פי זה.



איל ניב

מהנדסים ויועצים בע"מ



נתונים המגדירים את גודלו ואופי הבערה של מטען האש.

HRR – Heat Release Rate

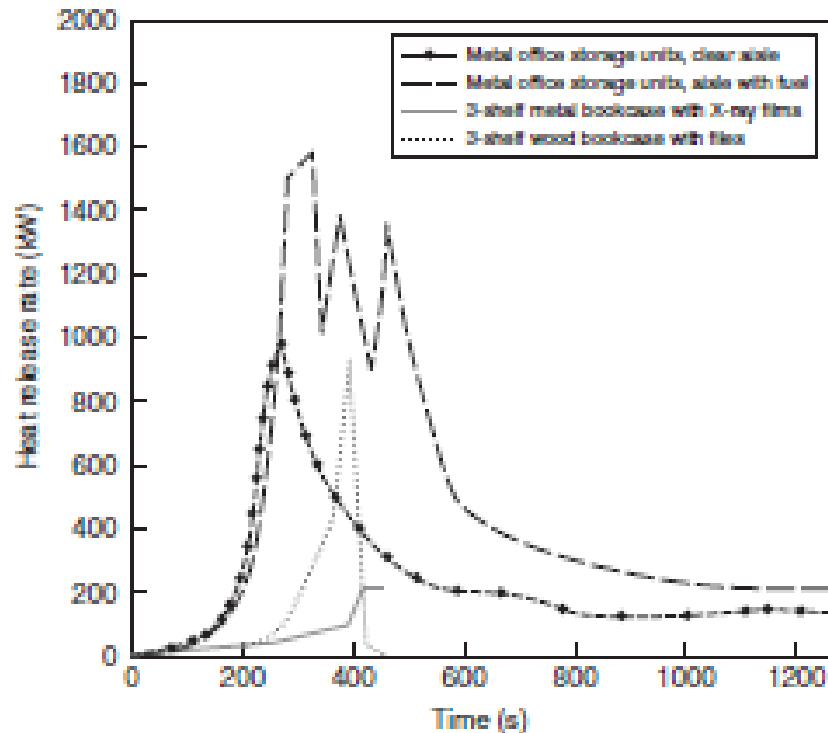


Figure 3-1.13. Storage units.

Table 3-1.3 Heat Release Rate Data for Curtains

Type of Fiber	Weight (g/m ²)	Configuration	Peak HRR (kW)	Number of Wall and Ceiling Panels Ignited*
Cotton	124	Closed	188	1
Cotton	280	Closed	130	7
Cotton	124	Open	157	0
Cotton	280	Open	152	7
Cotton	313	Closed	600	3
Rayon/cotton	126	Closed	214	0
Rayon/cotton	288	Closed	133	6
Rayon/cotton	126	Open	176	0
Rayon/cotton	288	Open	191	2
Rayon/cotton	310	Closed	177	8
Rayon/acetate	296	Closed	105	4
Acetate	116	Closed	155	0
Cotton/polyester	117	Closed	267	1
Cotton/polyester	328	Closed	338	5
Cotton/polyester	117	Open	303	0
Rayon/polyester	367	Closed	658	2
Rayon/polyester	268	Closed	329	7
Rayon/polyester	53	Closed	219	0
Cotton/polyester	328	Open	236	7
Polyester	108	Closed	202	0
Acrylic	99	Closed	231	0
Acrylic	354	Closed	1177	8
Acrylic	99	Open	360	0
Acrylic	354	Open	NA	7
Cotton/polyester/foam	305	Closed	385	1
Rayon/polyester/foam	284	Closed	326	0
Rayon/fiberglass	371	Closed	129	5
Rayon/fiberglass	371	Closed	106	5

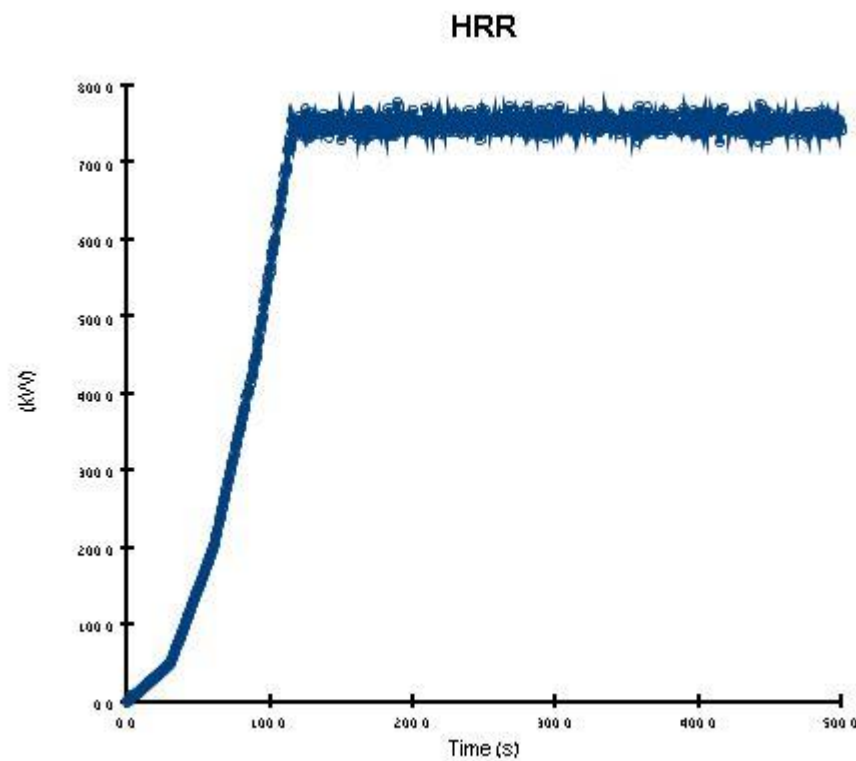
Nominal curtain size: two curtains each, 2.13 m high by 1.25 m wide. Wall area covered: 2.13 m high by 1.0 m wide (in closed position).

*Maximum possible number of panels to ignite = 10.

מטען מקובל בחניון

גודל מטען 5MW

מייצג מכונית בגודל בינוני



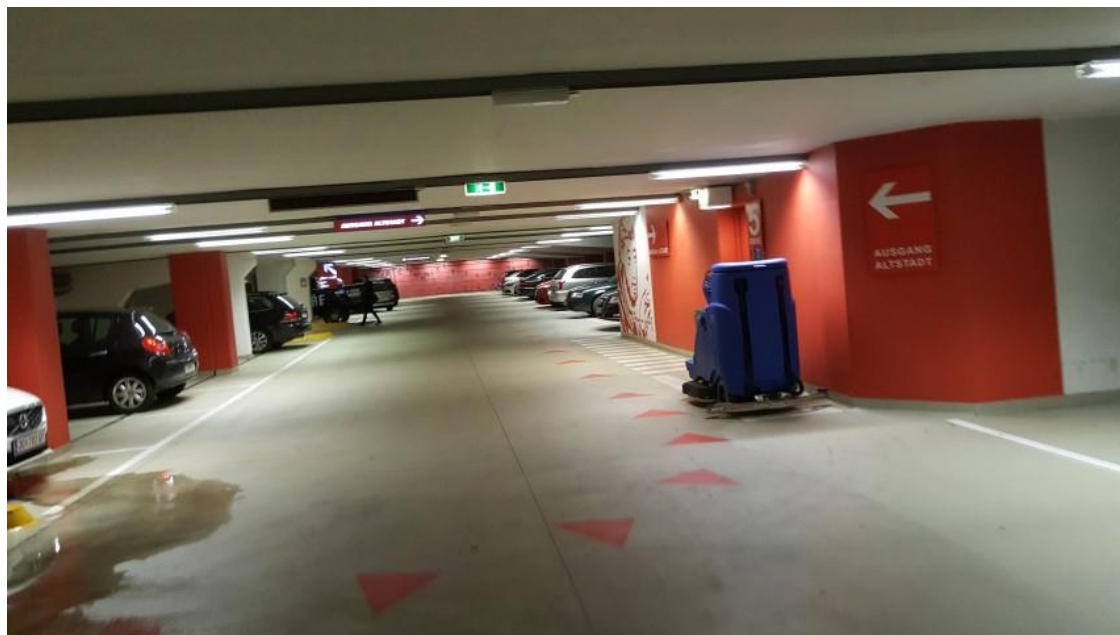
בחינת השפעת דרישות רשויות (איכות סביבה) על תכנון המערכת



ד. איכות אויר

1. הריכוז החצי שעותי הממוצע של גז ה- CO בחניון לא יעלה על 30 חלקים למיליון.
2. בחניון סגור ובמפלסים (סגורים) בחניון מעורב תותקן ותופעל מערכת אוורור מכאנית הכוללת פתחי כניסה ויציאה של אוויר מאולץ ומפוחים, שתופעל באמצעות מערכת בקרה המבוססת על מערכת גלאי CO.
- מערכת האוורור תחובר למע'י גלאי CO, ותופעל אוטומטית על ידה.
3. מערכת האוורור בחניון סגור או מעורב, תהיה בעלת יכולת החלפת אוויר של 8 החלפות אוויר בשעה, עבור כל מפלס סגור בחניון.
4. למערכת האוורור תהיה יכולת ליניקת לפחות עד 20% מנפח האוויר בחניון, מגובה 15 ס"מ מהרצפה, כשהמרחק בין נקודות היניקה בגובה זה לא יעלה על 16 מטר.
5. האוויר היוצא מהחניון לא יגרום למטרדים סביבתיים.
במקרה של מטרדים סביבתיים יבצע בעל העסק, על פי דרישת נותן האישור, ניטור אוויר סביבתי, וואו פעולות למניעת מטרדי זיהום אוויר (כגון התקנת מתקן לטיפול באוויר הפליטה).

בדיקת נראות: יכולת נימלט לזהות את שלטי היציאה ודלתות החירום ואו שילוט נוסף (סימון תוואי מילוט ברצפה)
יכולת הנימלט להבין לאן נמלטים
טמפרטורה באיזור השריפה – יכולת להימלט בטמפרטורה הקיימת בדרך המילוט



תכנון של מערכות להוצאת עשן

תכנון מערך יניקת אוויר / אספקת אוויר בתעלות, פלנום אוויר וכד. יש להקפיד לא לעבור מרחק של 16 מ בין פתחי יניקה על מנת שהמערכת תפעל יעיל יותר.

שימוש ביכולת ניהול עשן ע"י שימוש במדפי אש.

יש להקפיד על התקנת גלאי עשן בכניסת אוויר צח ויכולת סגירת המערכת במקרה של עשן במערכת זו. בחינת שימוש במפוחי גט על פי הגאומטריה של החניון.

מפוח צירי יכול לפעול בכיוון אחד (בשגרה) ולהחליף כיוון (בחירום) – ידרש לתכנן את המערכת על פי התקן בניהול העשן ולא כמערכת עם יעוד אחר.

יש לתת את הדעת לרמת רעש של מפוחים הפועלים בחירום בכדי לאפשר לכוחות ההצלה ליצור קשר במהלך אירוע עם לכודים.

יש לתת את הדעת לחישוב כבלי הזנת חשמל למפוחים (אורך ועמידה בטמפרטורה).

תכנון מערכת להוצאת עשן (המשך)

במערכת טיפול בארוע אש הכוללת מתזים נידרש לבחון את השפעת זרימות האוויר על מערכת זו . מטרת מערכת המתזים לכבות את האש על פי הגדרות הסיכון . יניקת אוויר (עשן) ואספקת אוויר צח לאיזור האש עשוי להגביר את השריפה ולהפריע בפתיחה אוטומטית של מתזים נוספים שעשויים לסייע בכיבוי האש .

מערכת הוצאת העשן נידרשת בעיקר לצורך הצלת חיי אדם (ע"ח נזק לרכוש) , המטרה לפנות עשן ואו לדללו , לספק אוויר צח (שמגביר את האש) כך שיהיה מספיק חמצן למערכות הנשימה וניתן יהיה להמלט את האנשים באיזור המאוכלס בביטחה . מסיבה זו נתכנן את זרימת העשן כלפי מעלה , כניסת אוויר צח מהחלק התחתון על מנת לסייע בהרמת העשן ולאפשר לאנשים נמוכים או גבוהים אוויר טרי ככל שניתן .

בחללים שאינם מאוכלסים יש לשקול לא להפעיל באופן אוטומטי ומהיר את מערכות ליניקת עשן אלא לוודא כי החלל נסגר , האש צורכת את החמצן בנפח הכלוא ולאחר ירידה בכמות החמצן האש אמורה לכבות (בחללים ללא מתזים) .

תכנון מערכת להוצאת עשן (המשך)

בבחינת אפשרות אספקת אוויר צח או אי אספקת אוויר צח באירוע , מיקום פתחי שחרור עשן יחסית לפתחי כניסת אוויר (למניעת קצר אוויר) , יכולת סגירת אוויר צח .

מרחקי הליכה במילוט מתוכננים בסוג המבנה מ 30 מ ל 50 מ מקסימום , יש לוודא כי בתוואי המילוט מוזרם אוויר צח ויניקת עשן מפונה מתוואי המילוט.

איזון אוויר אל מול כמויות היניקה יכולות להתבצע באופן טבעי (כניסת אוויר טבעית) או באופן מאולץ .

יש לבחון את מיקום נקודת התארגנות כבאים על מנת לוודא כי העשן אינו נפלט למקום זה .

תכנון מעשי של מערכות להוצאת עשן

חניון רגיל:

מומלץ לתכנן ככל שניתן אספקת אוויר צח מאיזור דלתות המילוט מה שיאפשר ניראות טובה יותר של שילוט החרום יספק אוויר טרי לנמלטים . לתכנן את יניקות האוויר במקומות מרוחקים ללא הפרעות זרימה . יש לשקול לחלק את החניון לתתי אזורי אש בהפרדה ע"י וילונות אש על מנת להקטין את המערכת. בחניון הבנוי עם קומת אחת יש לשאוף לתכנן שחרור עשן טבעי .

חניון אוטומטי וחצי אוטומטי

בחניון אוטומטי (מחסן מכוניות) יש להקפיד על מיקום המעלית והשפעתה על זרימות האוויר בחלל .

אנליזת מילוט

אנליזת מילוט הינה מרכיב חשוב בבחינת אנליזת CFD.

באנליזה ניתן לבחון את יכולת המילוט מאיזור האש / עשן .

האנליזה מבוצעת על המודל בו בצעה אנליזת CFD.

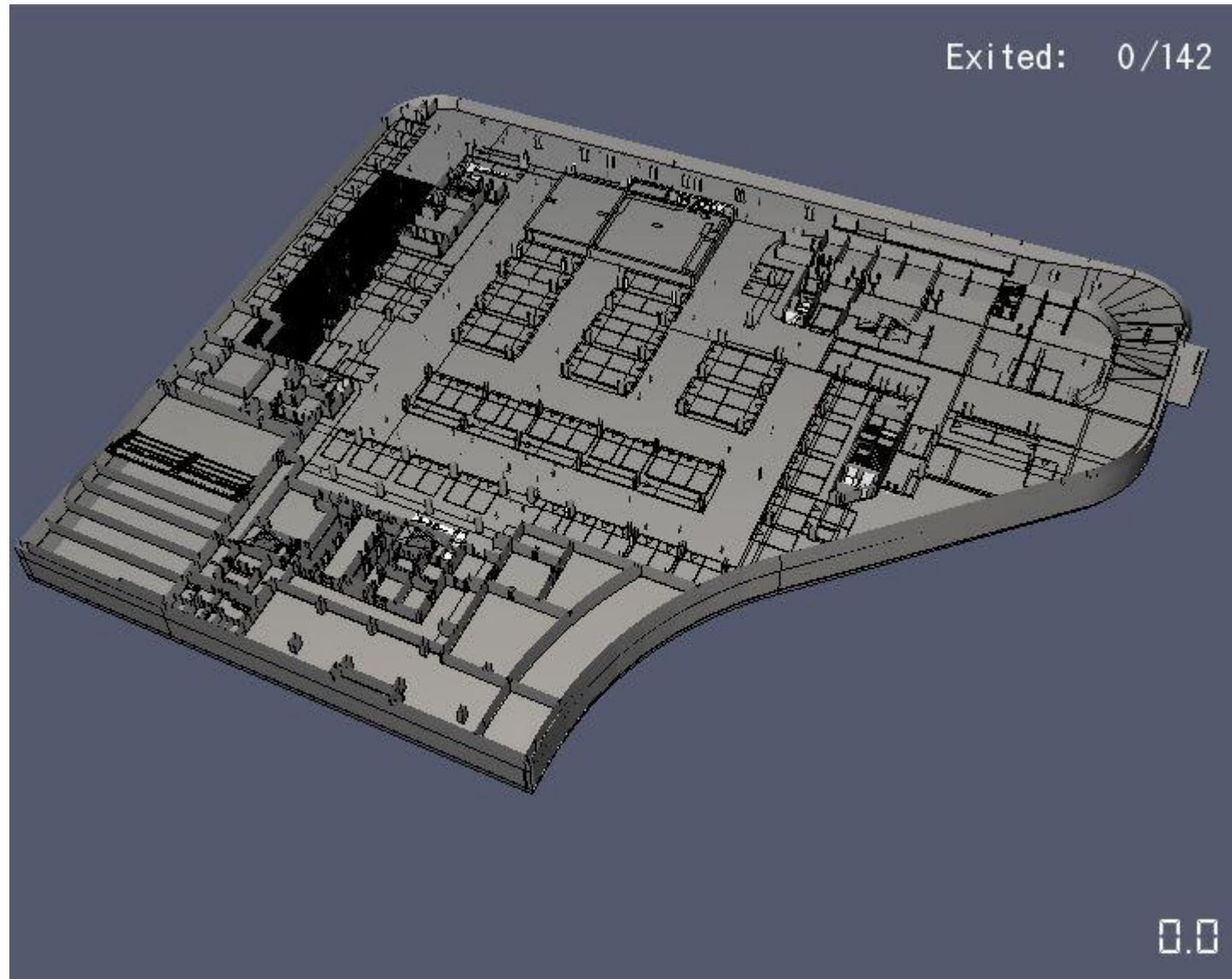
כמות אנשים על פי חתך (נכים , מבוגרים, ילדים וכד)

מוודאים כי פתחי המילוט מוגדרים נכון

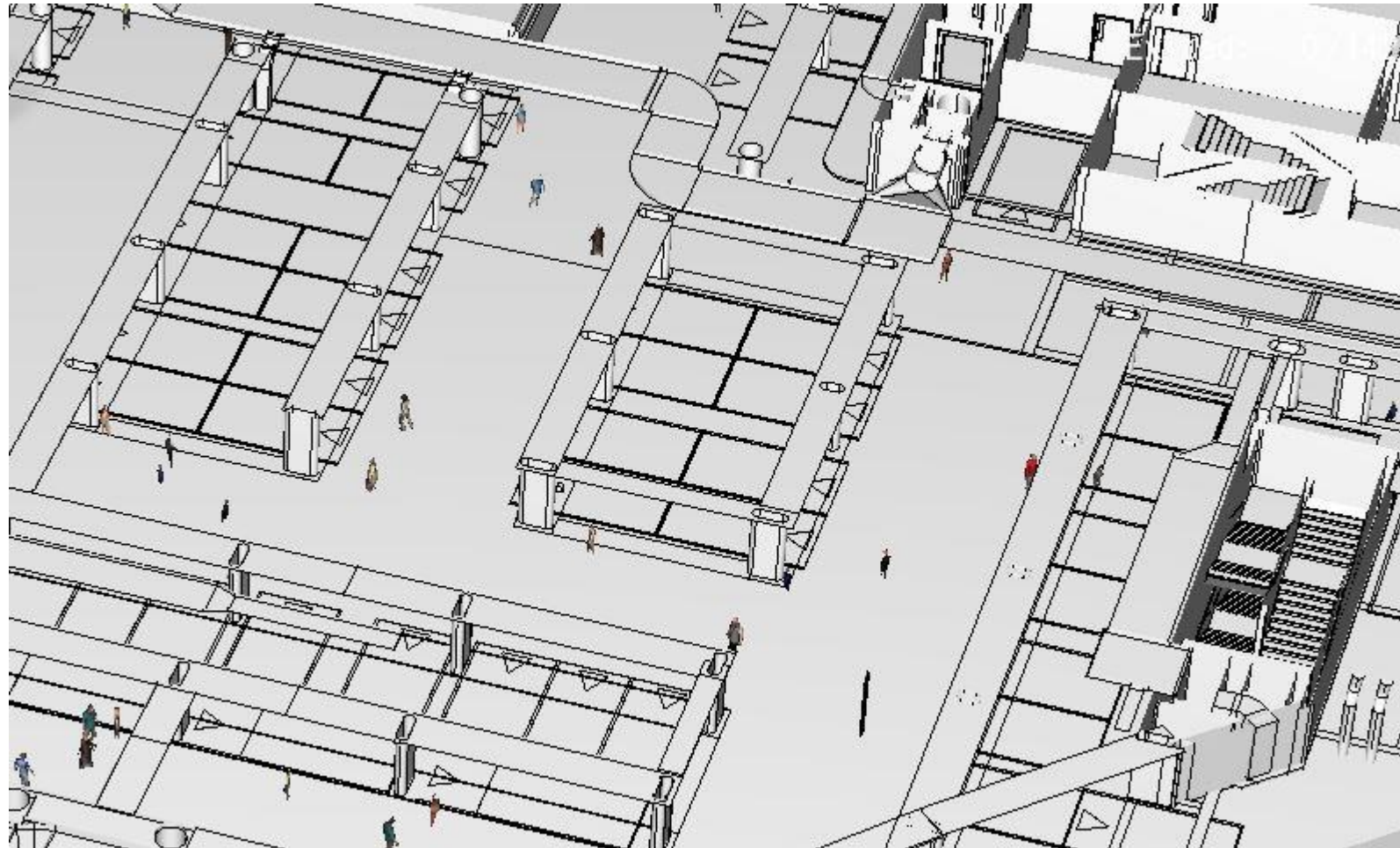
ממקמים הפרעות (מכוניות בחניון, ריהוט וכד)

מבצעים הרצה המגדירה ניראות בכל שלב, קצב פינוי האנשים, כמה והאם יצאו בריאים או ניפגעו .

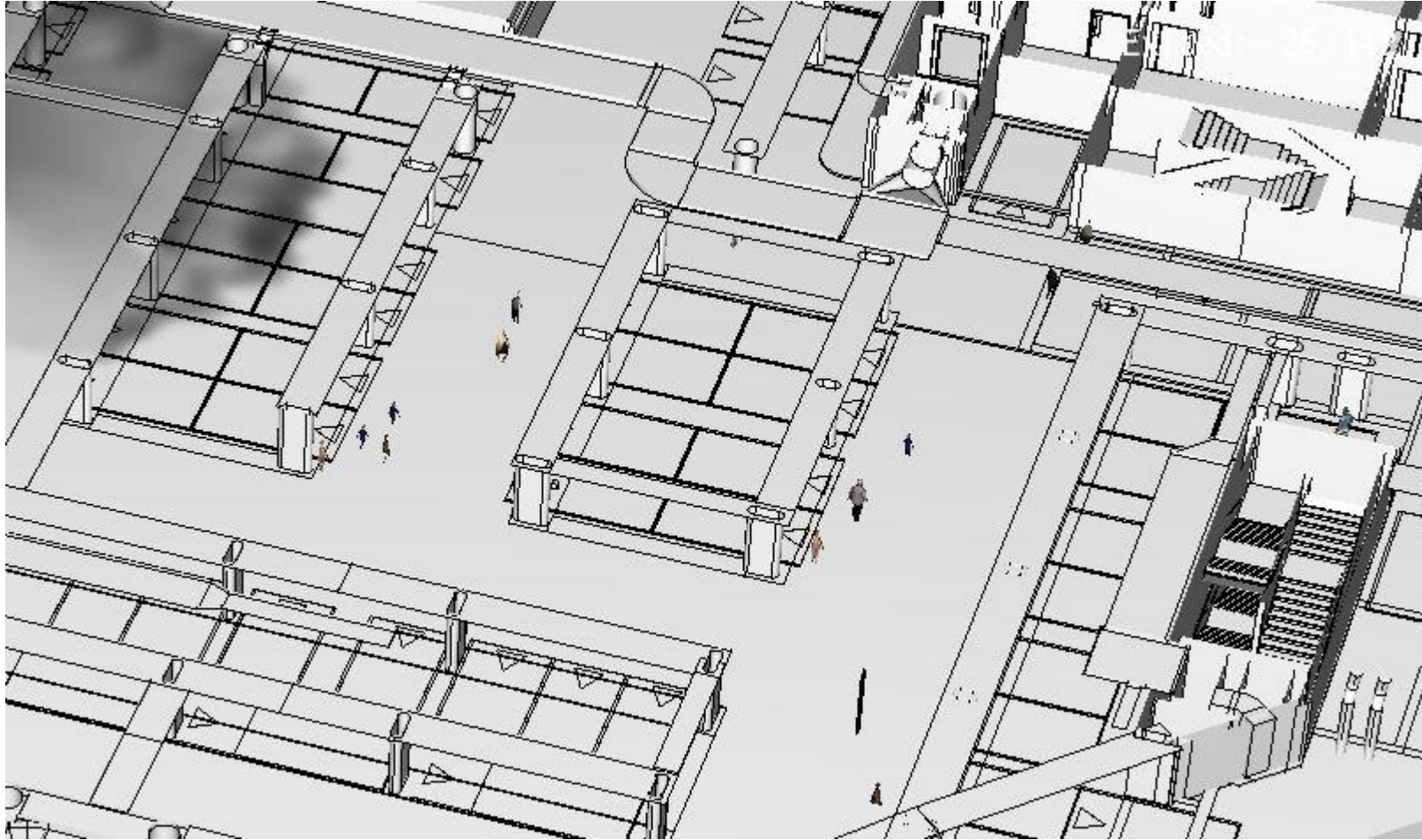
דוגמא מתוך סרטון אנליזת מילוט



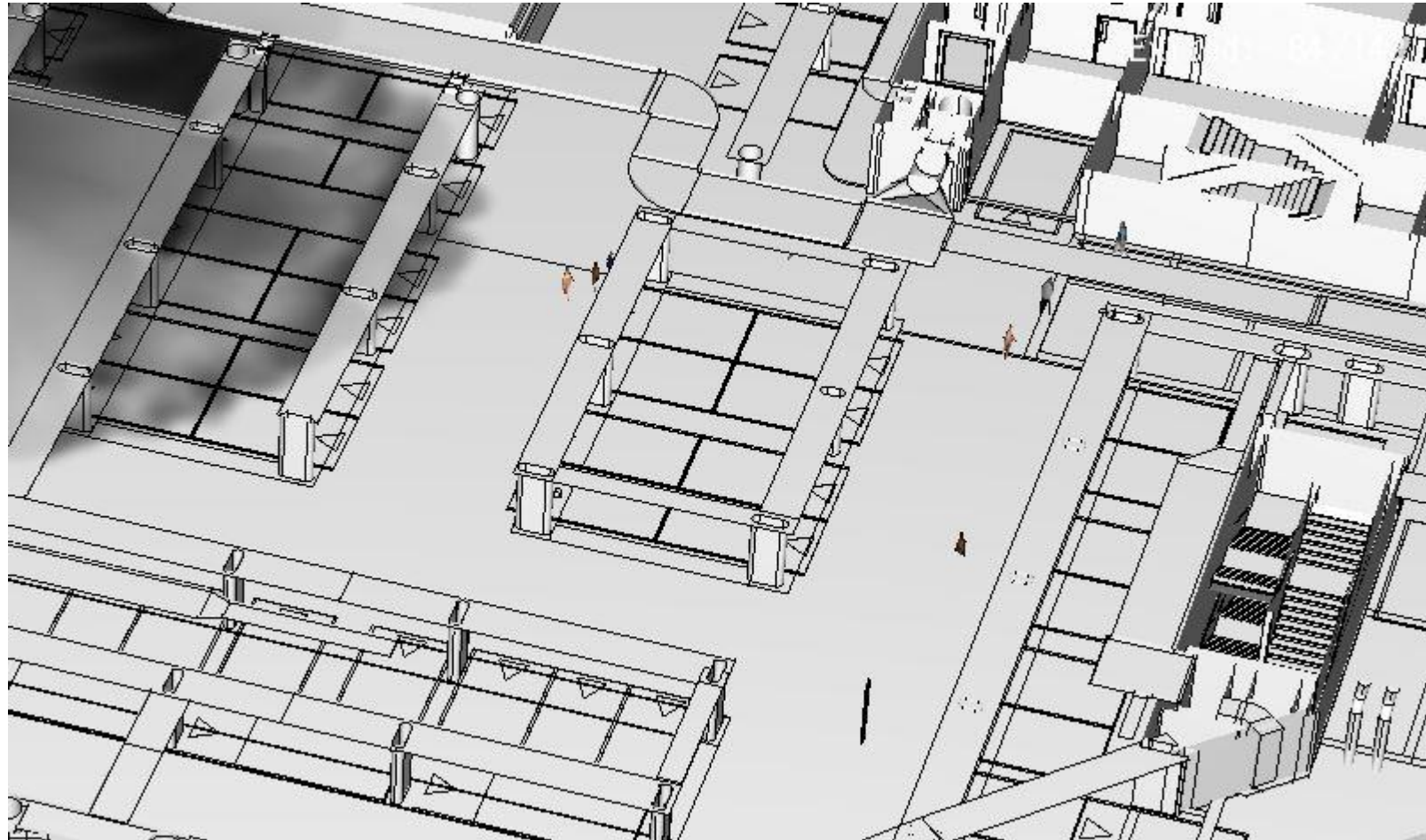
תהליך מתוך סרטון אנליזת מילוט



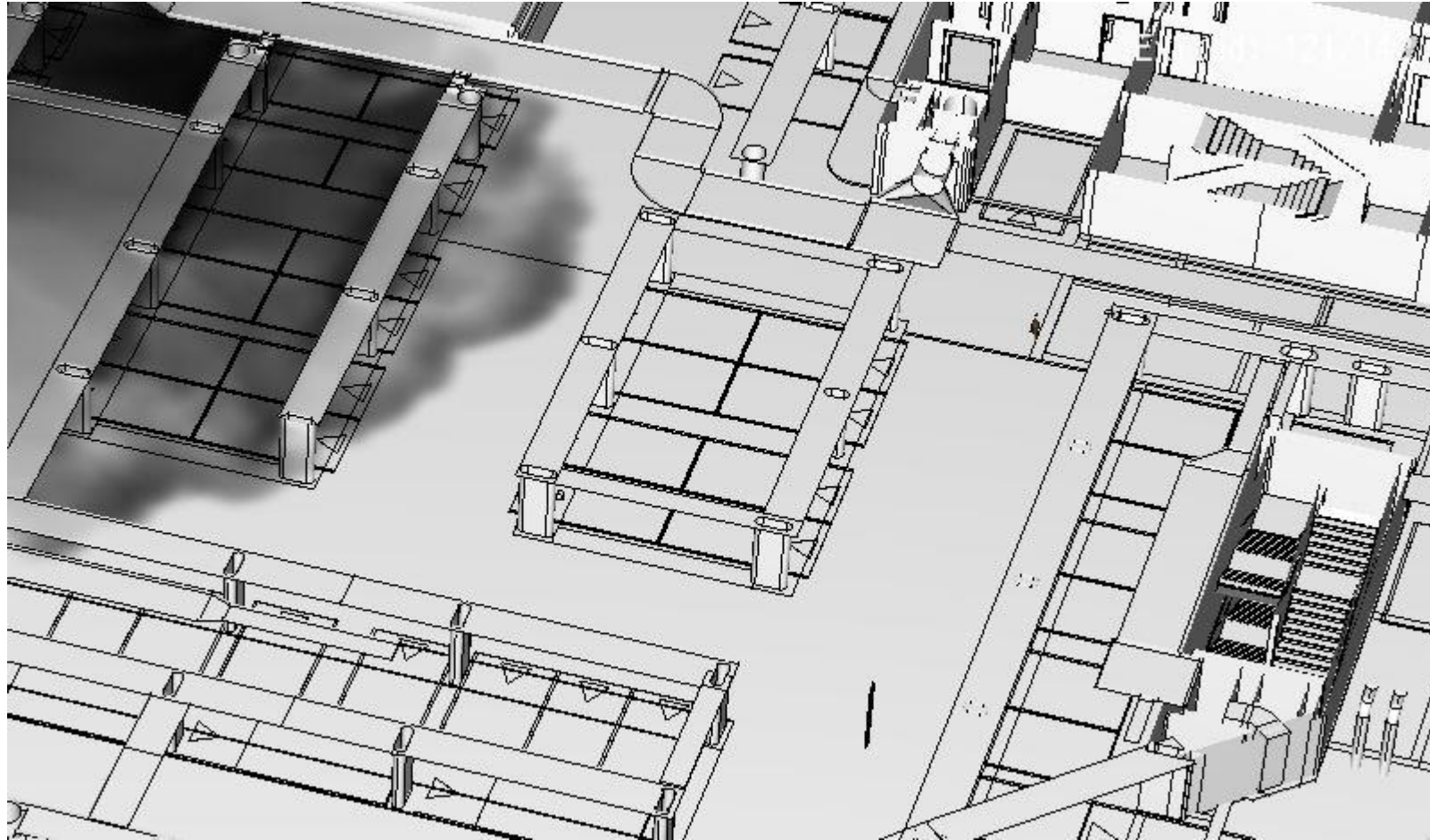
תהליך מתוך סרטון אנליזת מילוט



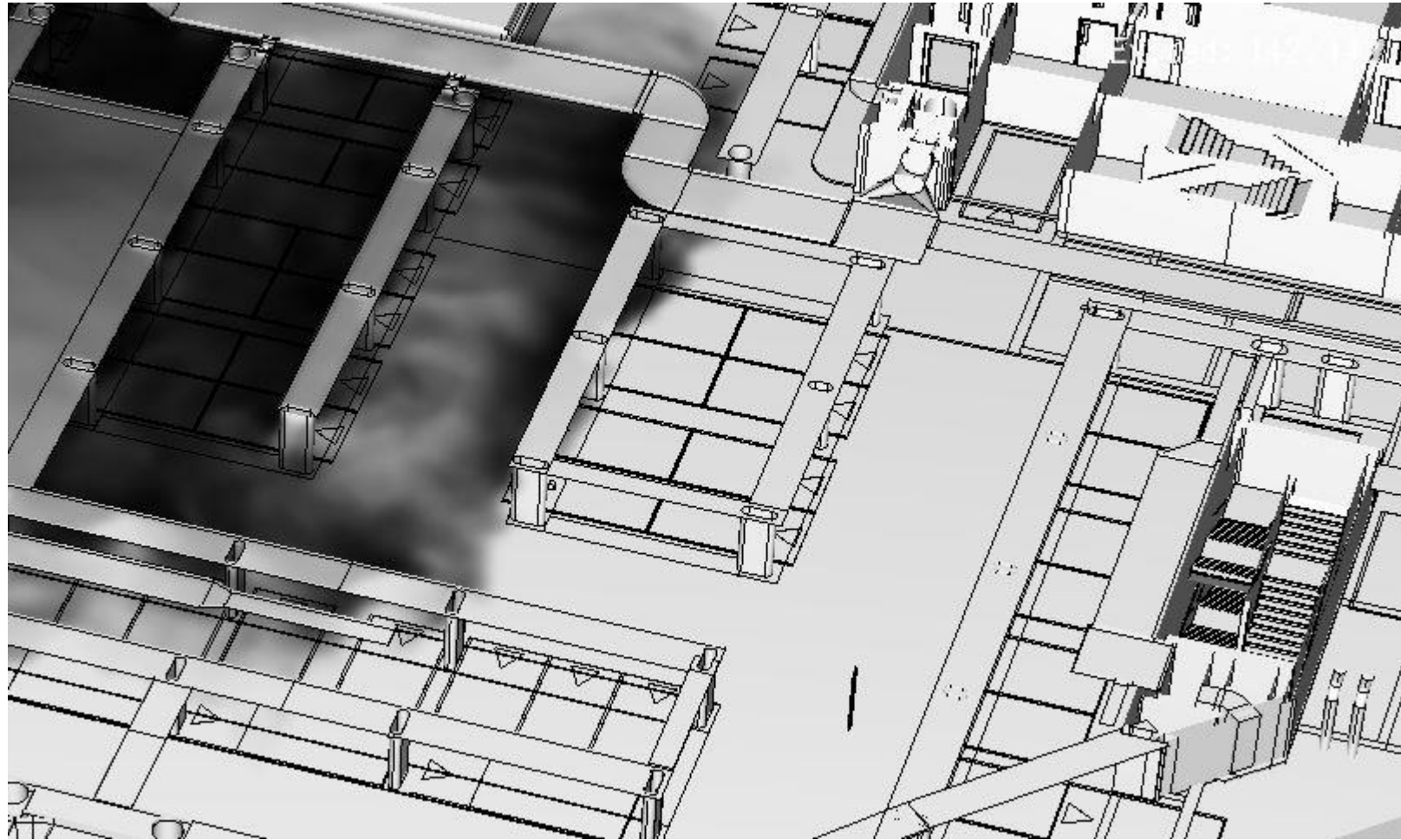
תהליך מתוך סרטון אנליזת מילוט



תהליך מתוך סרטון אנליזת מילוט



תהליך מתוך סרטון אנליזת מילוט



תהליך הבדיקה

בנית מודל תלת ממדי: ארכיטקטורה, קונסטרוקציה, מיזוג אוויר, בטיחות אש. כל זאת על פי התכניות הידועות בשלב זה.

בדיקת זמן מילוט: זה הזמן אליו נתייחס בהמשך הבדיקות כזמן הנדרש למילוט בטוח לפרופיל הקהל במבנה.

בדיקה של זרימות אוויר בלי הפעלת מקור אש: לראות את התנהגות המערכת, לוודא שאין אזורים ללא זרימת אוויר

(כאשר אין זרימת אוויר, לא תהיה תנועת עשן כאשר יגיע)

במידה ולא תקין חוזרים למתכנן מיזוג האוויר ובדרך כלל גם לאדריכל ולקונסטרוקטור,

בודקים פעם נוספת ואם צריך חוזרים לשינויים עד לקבלת תוצאה רצויה.

ביצוע בדיקות עם מקור אש: מבצעים מספר בדיקות עם מקור אש אחד (במספר מיקומים שונים)

זמן הבדיקה הוא: (זמן הגילוי + זמן המילוט) $X 1.5$ לצמצם טעויות.

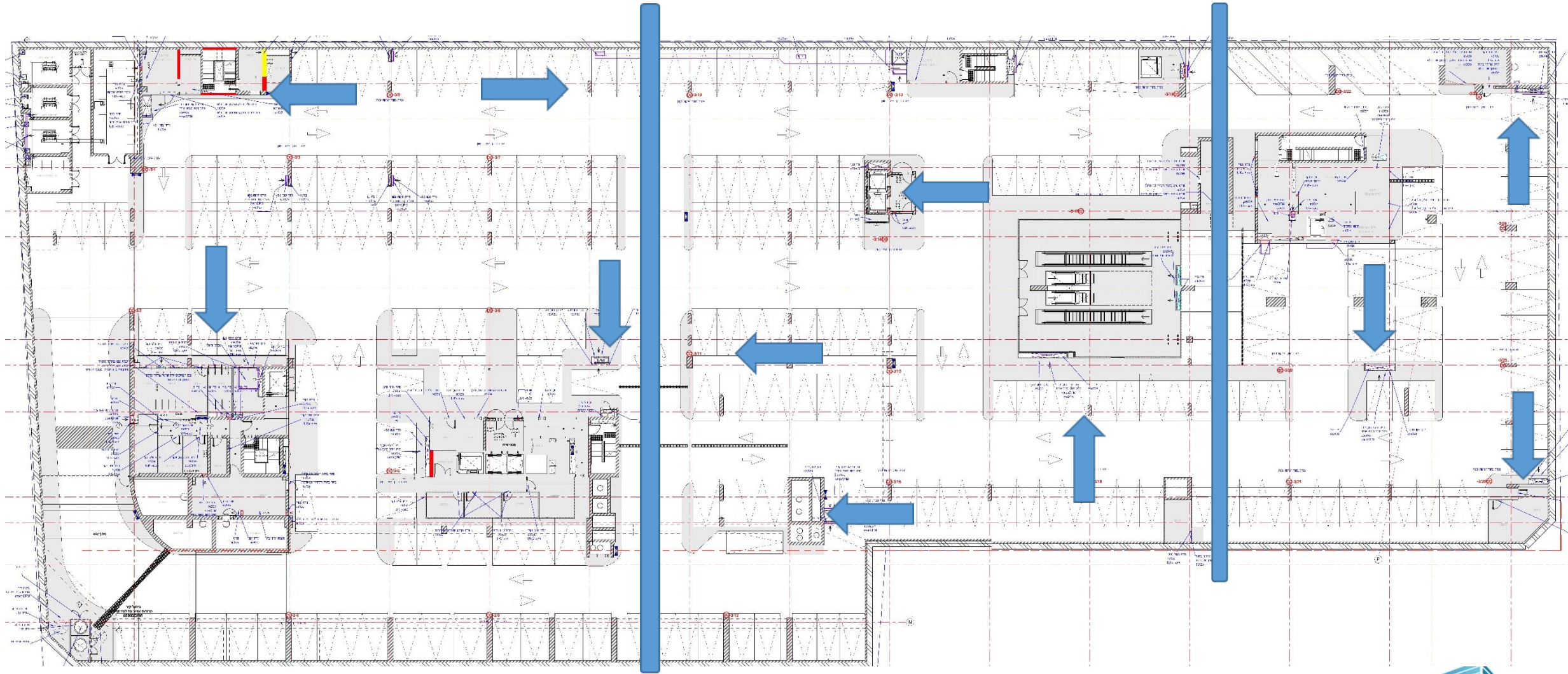
בדיקת תוצרים (נראות, טמפרטורה, CO,) בגובה 1.8 מטר.

במידה והמערכת לא עומדת בנדרש, חוזרים ליועצים הרלוונטיים לתיקונים ושיפורים.

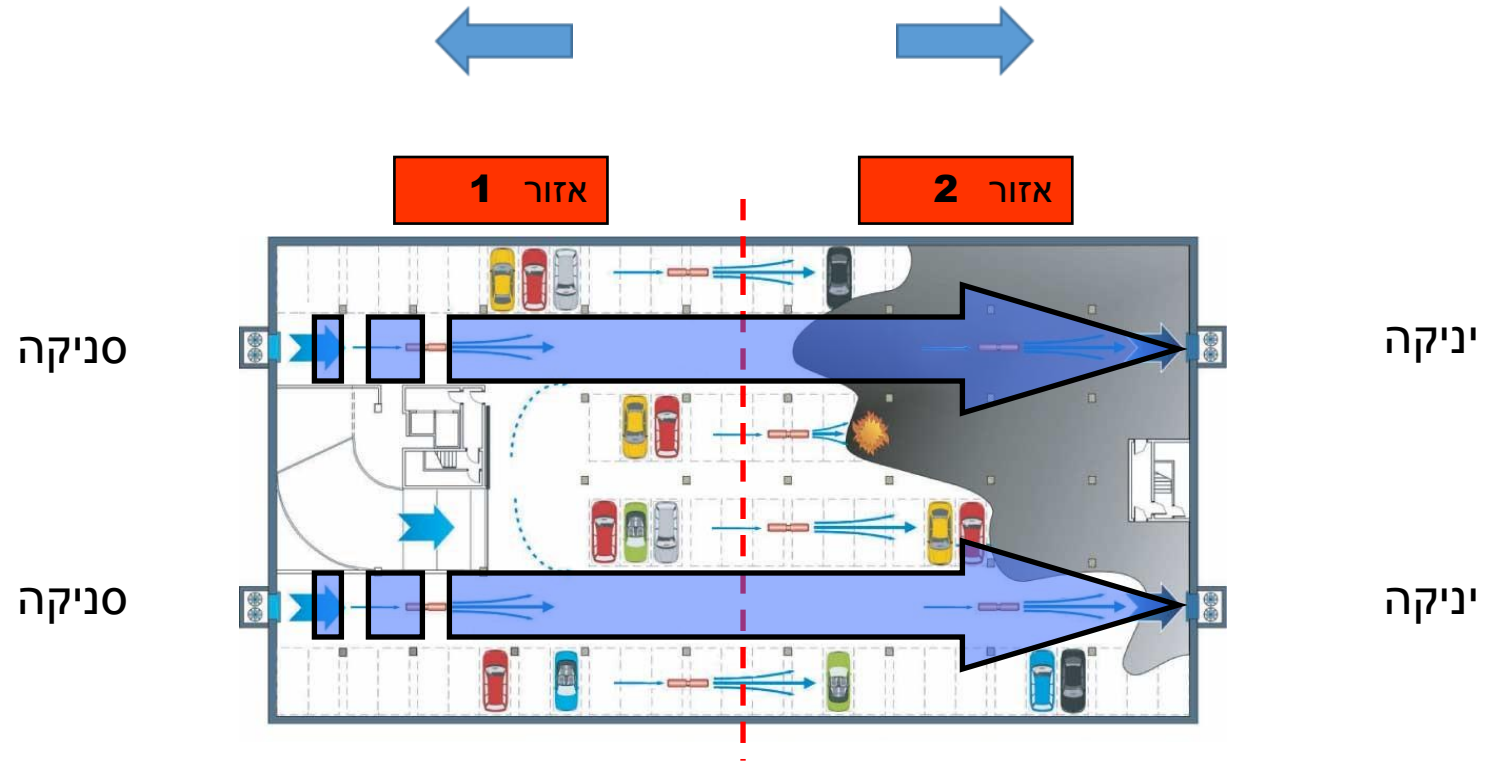
לסיום: בדיקה אחרונה לפי הגיאומטריה האחרונה הידועה של החניון.



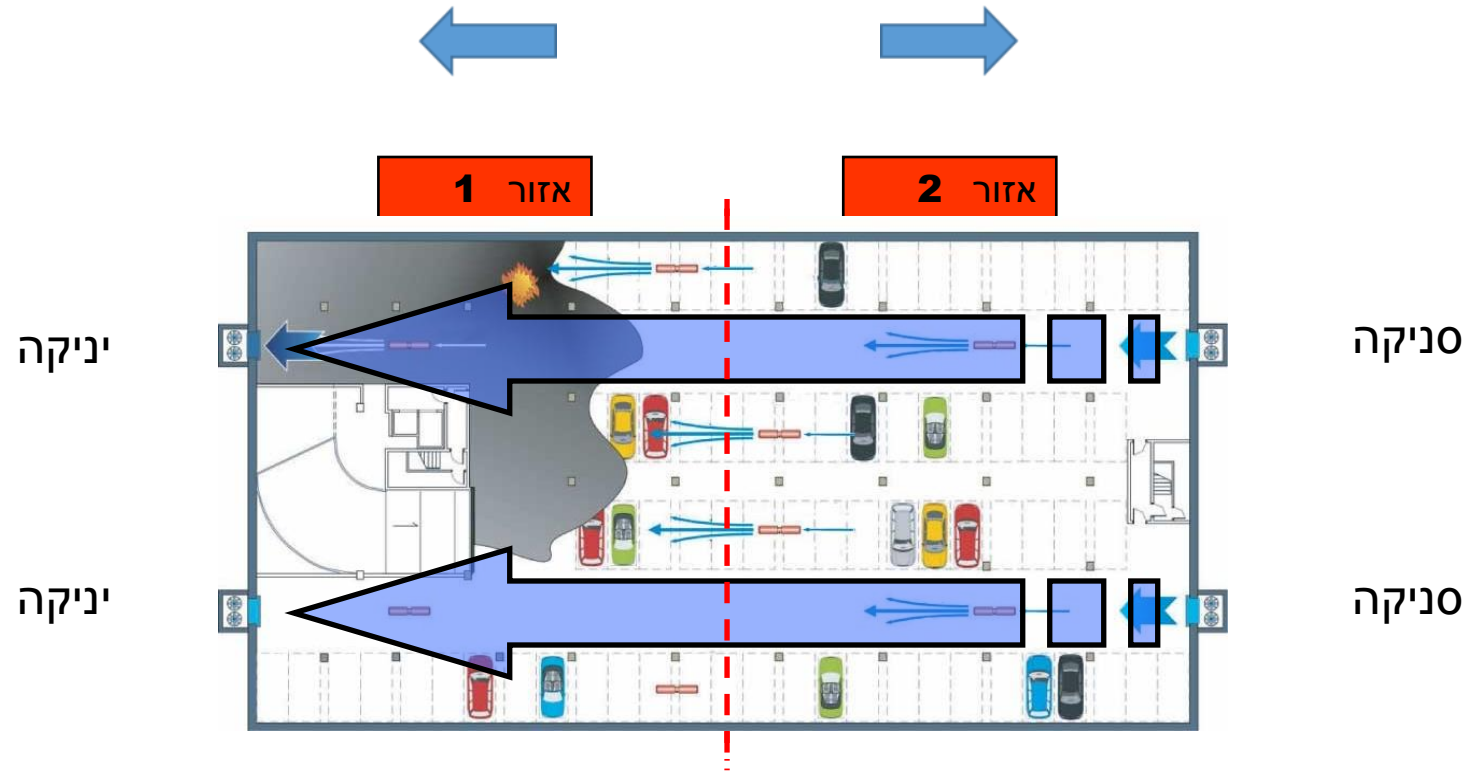
חלוקת חניון לאזורים שונים – איך זה מופעל בשגרה ובחירום ??



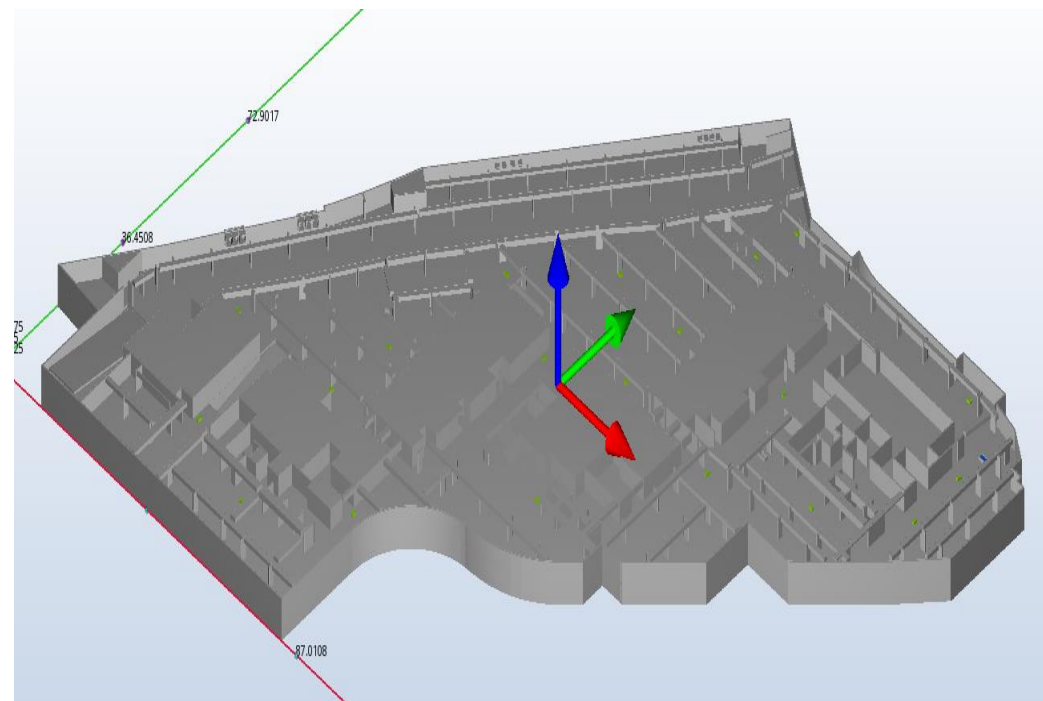
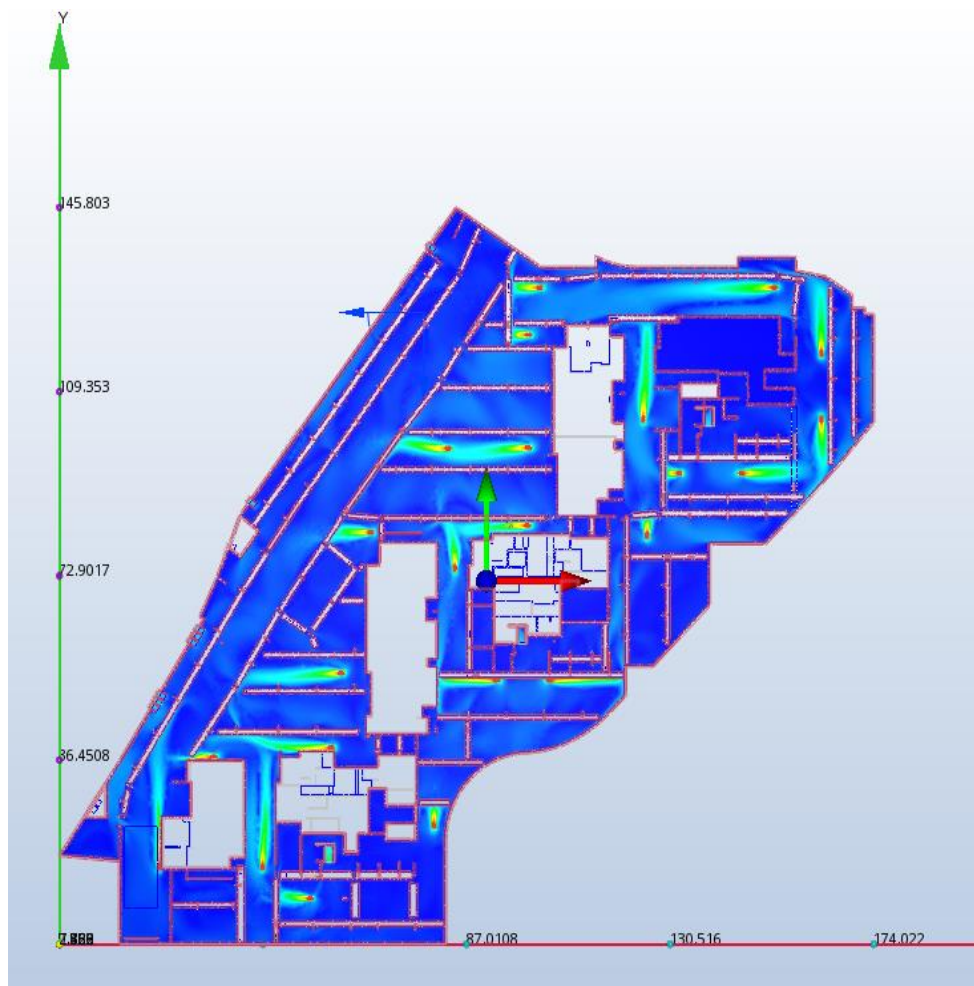
אש באזור 2 אספקה וסניקה מתחלפים



אש באזור 1 אספקה וסניקה מתחלפים



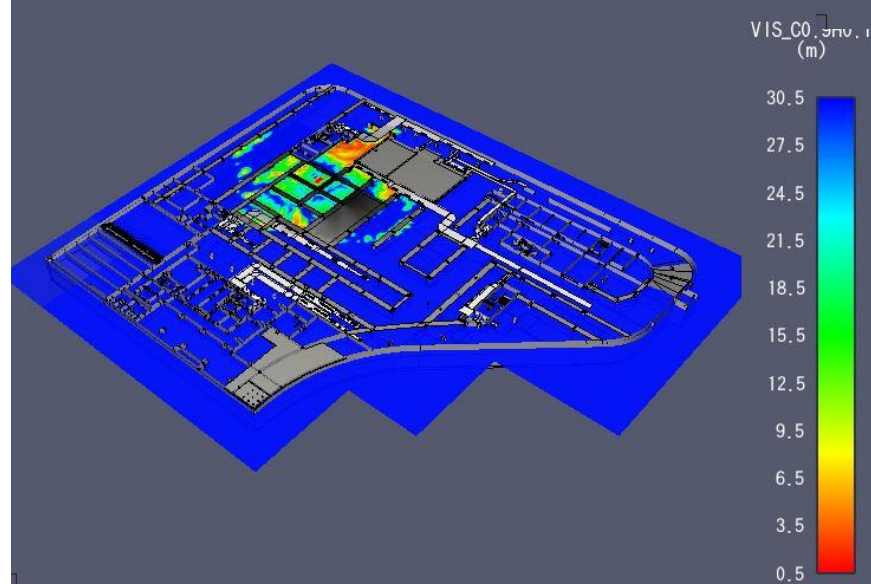
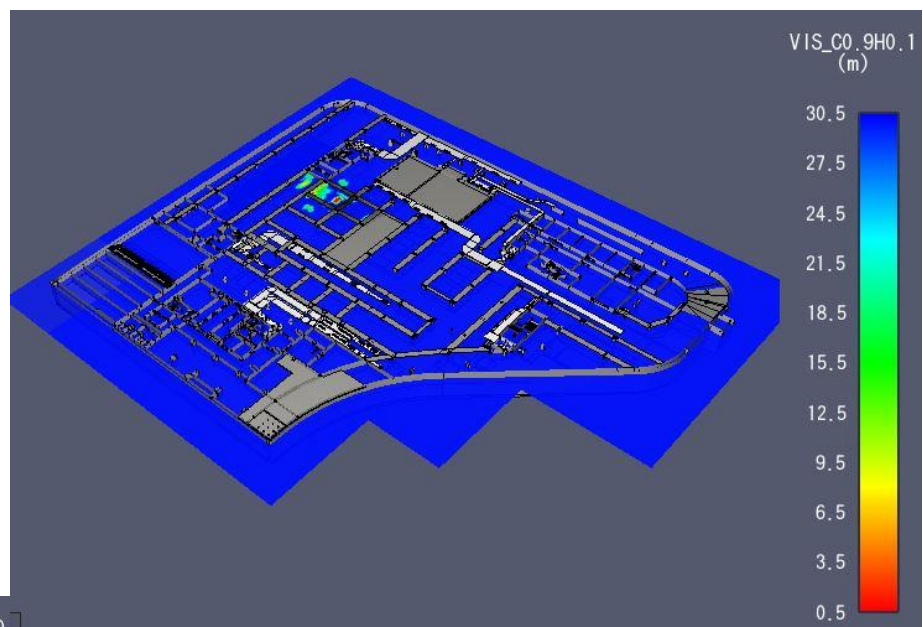
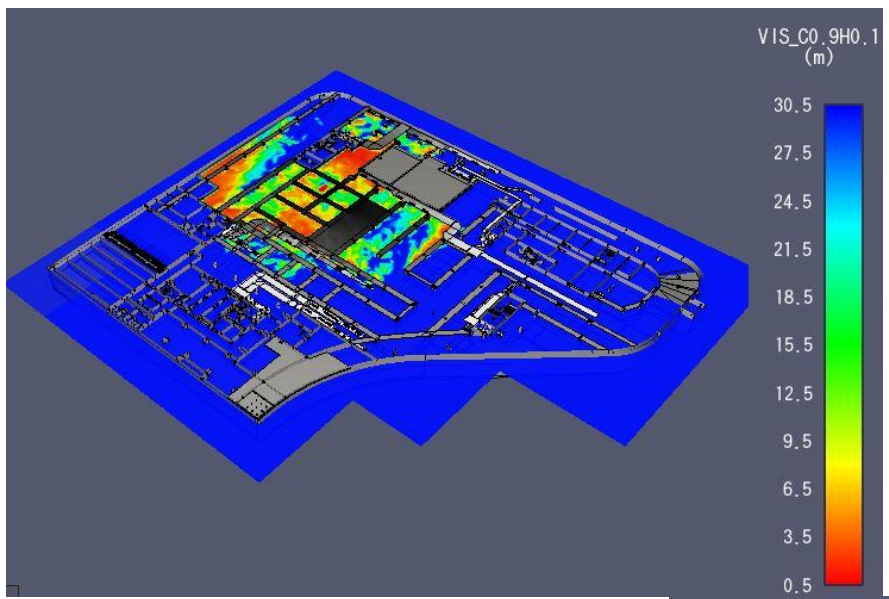
דוגמא לתוצאות אנזלית CFD של מערכת מבוססת מפוחי גט



איל ניב
מהנדסים ויועצים בע"מ



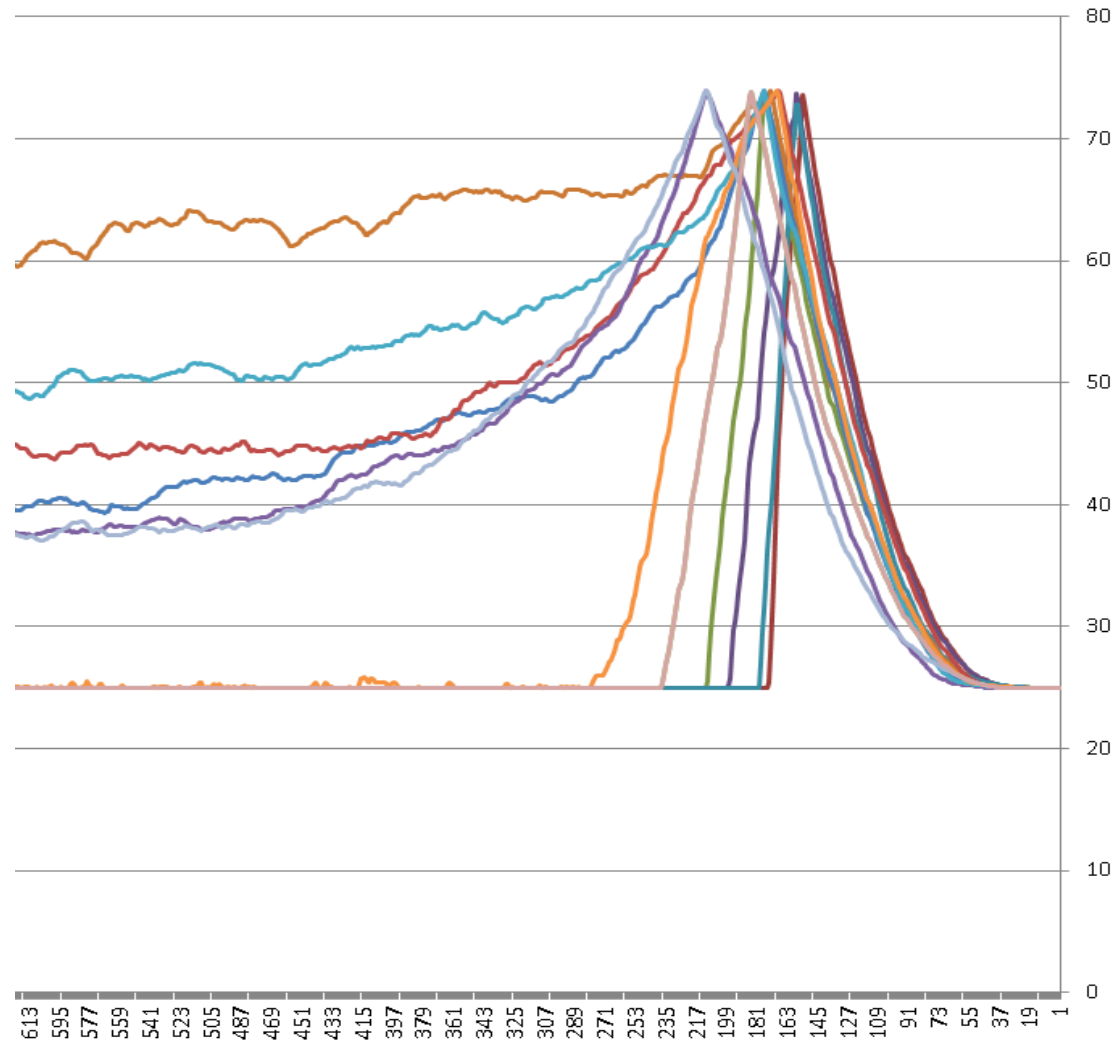
נראות בגובה 1.8 מטר



איל ניב
מהנדסים ויועצים בע"מ



גרף הפעלת המתזים



מה נותנת לנו אנליזת CFD ?

האנליזה הינה חלק משלב תכנון החניון ומערכת הוצאת העשן האמורה להיות משולבת עם שאר המערכות בחניון.

האנליזה יכולה לשמש גם לבחינת מערכות זרימת אוויר אחרות ויכולה לסייע בתכנון מערכת האוורור ומיזוג האוויר .

בארץ מקובל כי יועץ הבטיחות מגדיר בתכנית האש את העקרונות המינימאליים הנדרשים ממערכת הוצאת העשן ואיזון האוויר (8/6) ועל פי עקרונות אילו מתוכנת המערכת .

מתכנן המערכת יכול לוודא כי לא חלה טעות בהנחיות יועץ הבטיחות ואם כן עליו לתקן .

בעולם האמיתי - התהליך אינו מוסדר ויש לבצע אנליזת CFD על פי הנחיית יועץ הבטיחות ואו כיבוי אש.

יש יועצי בטיחות רושמים בבקשות דרישה לביצוע אנליזת CFD .

גובה העשן המאפשר מילוט בטוח, התנהלות זרימת העשן, הרכב האוויר (חמצן, CO₂ ...), זמן זיהוי העשן ע"י גלאי עשן או מתזים, פתיחת מתזים וכמות מתזים פועלת, תזמון פתיחת מערכת פינוי עשן ועוד .

סיכום - בחינת התכנית

יש לבחון משטר לחצים בחלל המתוכנן לוודא כי הקהל המתוכנן לשהות בחלל אכן מסוגל לפתוח דלת מילוט ולהימלט.

יש לבחון את פעולת המערכת בשימושיה השונים – שריפה פורצת במצב בו המערכת פועלת בחניון כתוצאה מהפעלת מערכת CO, טמפרטורת חוץ נמוכה (בגלל תנאי חוץ), האם יפעלו המתזים המתריעים על האירוע ? מה משך הזמן בו תגיע הטמפרטורה ועומס החום לכדי הפעלת המתזים ? חניון בו מותקנים מעבי מזגנים והשפעתם על זרימות האוויר בחניון .

יש לבחון סופית האם בכל המקרים נידרש להפעיל את המערכת באופן אוטומטי, האם נידרש להפעילה ? האם נידרש להפעילה ביניקה בלבד ? האם נידרש להפעיל את המערכת בשלמות כולל יניקה ואספקת אוויר .



איל ניב

מהנדסים ויועצים בע"מ



סיכום CFD ואנליזת מילוט



בטיחות אש

השימוש באנליזה נועד למתכננים העוסקים בתחום זרימות האוויר, זורמים והוצאת עשן.

האנליזה משרתת את תהליך התכנון ומאפשרת למתכנן לבחון את איכות ונכונות התכנון כבר משלביו הראשוניים.

אנליזה המאפשרת למתכנן מערכת, לתכנן ולאושש את תכנון המערכת.

מומלץ לשלב את אנליזת CFD עם אנליזת המילוט על מנת למצות את תהליך הבדיקה.

תפקוד המערכת יהיה מדוייק יותר בהתאם לתנאים המתאפשרים.

מאפשר לבחון התנהגות המערכת בתרחישים שונים בדיוק ובקלות יחסית.



איל ניב

מהנדסים ויועצים בע"מ



מכשולים ומהמורות בעתיד

תקן לתכנון חניונים (תקן 1001/8)
בחינת מערכות להוצאת עשן – CFD ואנליזת מילוט – מי עושה מתי ומדוע



תודה על ההקשבה

yuval@eyalniv-eng.com

054-2111751



איל ניב
מהנדסים ויועצים בע"מ

