

בקרה ושליטה בעשן במנהרות – מהלכה למעשה



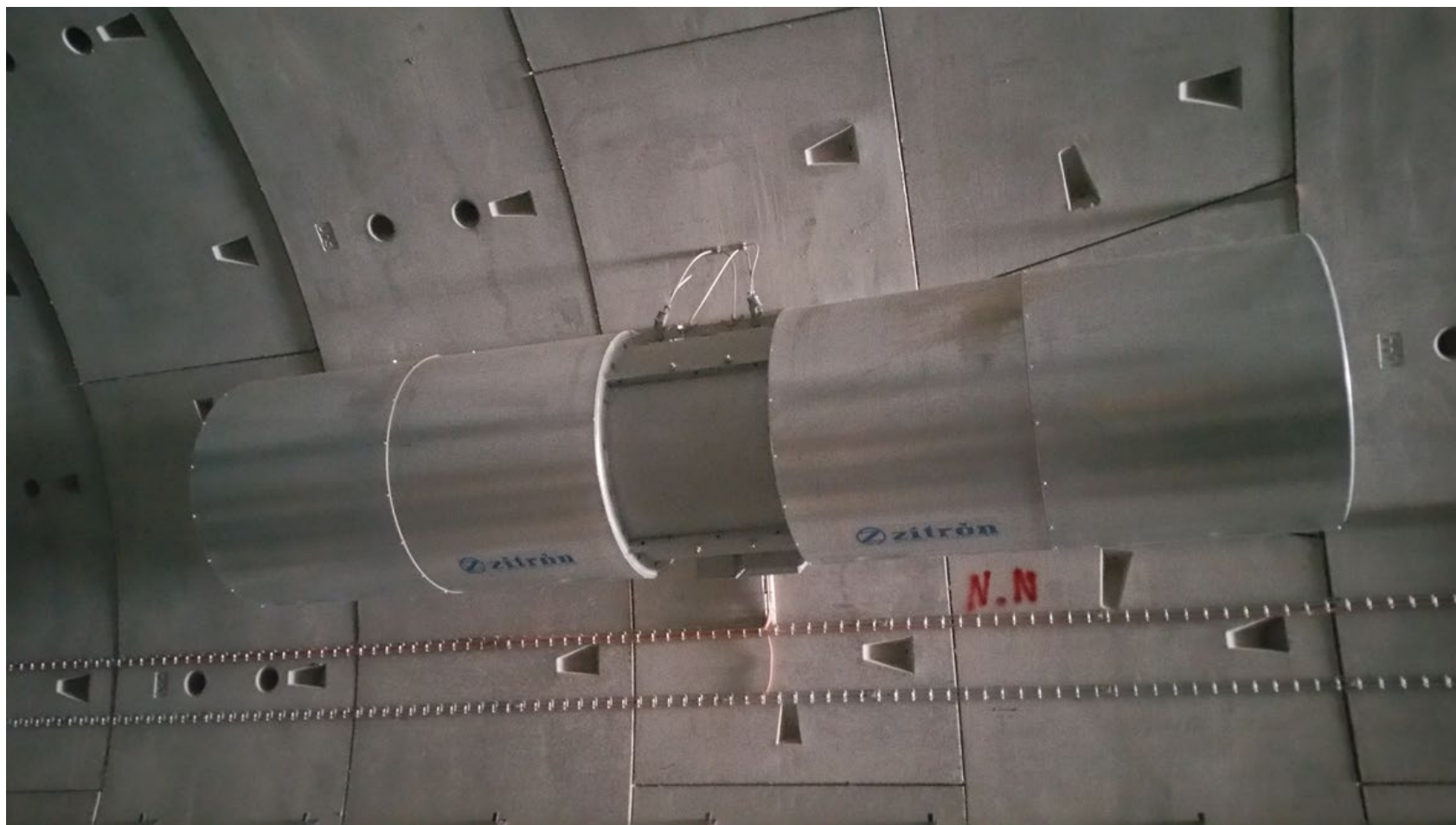
רקע – הצורך באוורור מנהרות רכב/רכבת

- בעשורים האחרונים נוצר הצורך להרחיב את רשתות התחבורה, רכב, ורכבות, ולאור ארצנו הקטנטונת והמבנה הגאוגרפי שלה לא היה מנוס משילוב מנהרות במערכת התחבורה
- אוורור מנהרות נדרש על מנת ליצור תנאי קיום במנהרה בפעילות שוטפת ובזמן חירום:
- בפעילות שוטפת: פינוי מזהמים וחום מפליטות הרכבים/הרכבת.
- בחירום: פינוי עשן בעת שריפה על מנת לאפשר מילוט בטוח לנוסעים המתפנים מהרכבים או מהרכבת.

התקנת מפוחים במנהרות



התקנת מפוחים במנהרות



רקע – דרישות התקן

NFPA 130 במנהרות רכבת

- במדינת ישראל חל תקן ישראלי 5435 המבוסס על התקן האמריקאי NFPA130-2000.
 - בתקן זה מופיעות ההגדרות הבאות:
 - מנהרה עד 60 מטר: נחשבת כמעבר מקורה **ולא דורשת התייחסות.**
 - מנהרה בין 60 ל- 300 מטר: נדרש **להוכיח הנדסית** שאין צורך במערכות אוורור מכאניות.
 - מנהרה מעל 300 מטר: **נדרש אוורור.**
- תקן זה נכתב בעיקרו עבור רכבות תחתיות בערים (subway)
- * מספר מנהרות הרכבת הארוכות בארה"ב הינו קטן יחסית.

רקע – דרישות התקן NFPA 502 במנהרות רכב

- במדינת ישראל חל התקן האמריקאי NFPA502-17.
 - בתקן זה מופיעות ההגדרות הבאות:
 - מנהרה עד 240 מטר : נדרש להוכיח הנדסית שאין צורך במערכות אוורור מכאניות.
 - מנהרה מעל 240 מטר : נדרש אוורור מכאני.
- תקן זה נכתב בעיקרו עבור מנהרות רכב, גשרים וכבישים בעלי גישה מוגבלת.

תנאי הישרדות – INS-5435

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.2.2 Air Carbon Monoxide Content. Air carbon monoxide (CO) content is as follows:

- (1) Maximum of 2000 ppm for a few seconds
- (2) Averaging 1150 ppm or less for the first 6 minutes of the exposure
- (3) Averaging 450 ppm or less for the first 15 minutes of the exposure
- (4) Averaging 225 ppm or less for the first 30 minutes of the exposure
- (5) Averaging 50 ppm or less for the remainder of the exposure

These values should be adjusted for altitudes above 984 m (3000 ft).

תנאי הישרדות – INS-5435

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.2.2 Air Carbon Monoxide Content. Air carbon monoxide (CO) content is as follows:

- (1) Maximum of 2000 ppm for a few seconds
- (2) Averaging 1150 ppm or less for the first 6 minutes of the exposure
- (3) Averaging 450 ppm or less for the first 15 minutes of the exposure
- (4) Averaging 225 ppm or less for the first 30 minutes of the exposure
- (5) Averaging 50 ppm or less for the remainder of the exposure

These values should be adjusted for altitudes above 984 m (3000 ft).

תנאי הישרדות – INS-5435

B.2.3 Smoke Obscuration Levels. Smoke obscuration levels should be continuously maintained below the point at which a sign internally illuminated with a luminance of 8.6 cd/m^2 (2.5 fl) is discernible at 30 m (100 ft) and doors and walls are discernible at 10 m (33 ft).

B.2.4 Air Velocities. Air velocities in the enclosed tunnel should be greater than or equal to 0.76 m/sec (150 fpm) and less than or equal to 11.0 m/sec (2200 fpm).

B.2.5 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.

מה קורה באירופה?

כיום, באירופה, מתקיים התקן האירופאי TSI.
תקן זה חל על מנהרות באורך 1 ק"מ ומעלה.
התקן מגדיר כי עבור במנהרות מעל 20 ק"מ יידרשו
אמצעים נוספים להבטחת בטיחות הנוסעים.

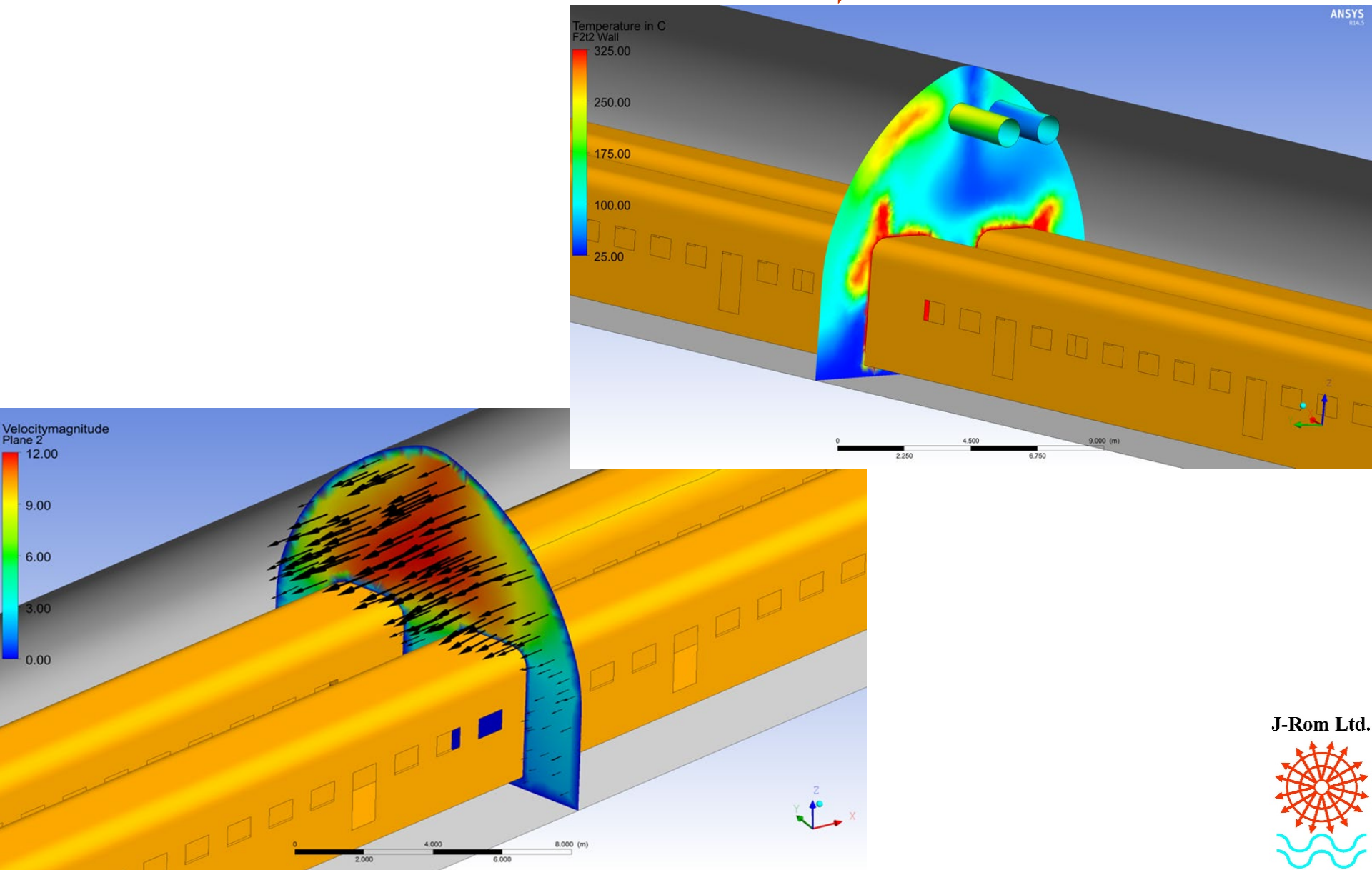
פרויקטים באזור מנהרות שהסתיימו

בשנת 2018 על ידי AES

- מנהרות רכב הראל כביש 1 - כ- 750 מ'. תכנון ביצוע AES, תכנון מדינה הרואק
- מנהרות רכבת עכו –כרמיאל -4625 מטר אורך. תכנון מפורט ותכנון לביצוע AES
- רעננה מרכז תחנת רכבת ומנהרות 1800 מ' תכנון ביצוע AES, תכנון מדינה הרואק
- מנהרות רכבת בקו המהיר לירושלים A1 - 5 מנהרות באורכים שונים
- הארוכה מבניהן 11,500 מ'. תכנון ביצוע AES, תכנון מדינה הרואק
- מנהרות כביש 6 יוקנעם 1700 מ' תכנון ביצוע AES, תכנון מדינה הרואק

[illegible]

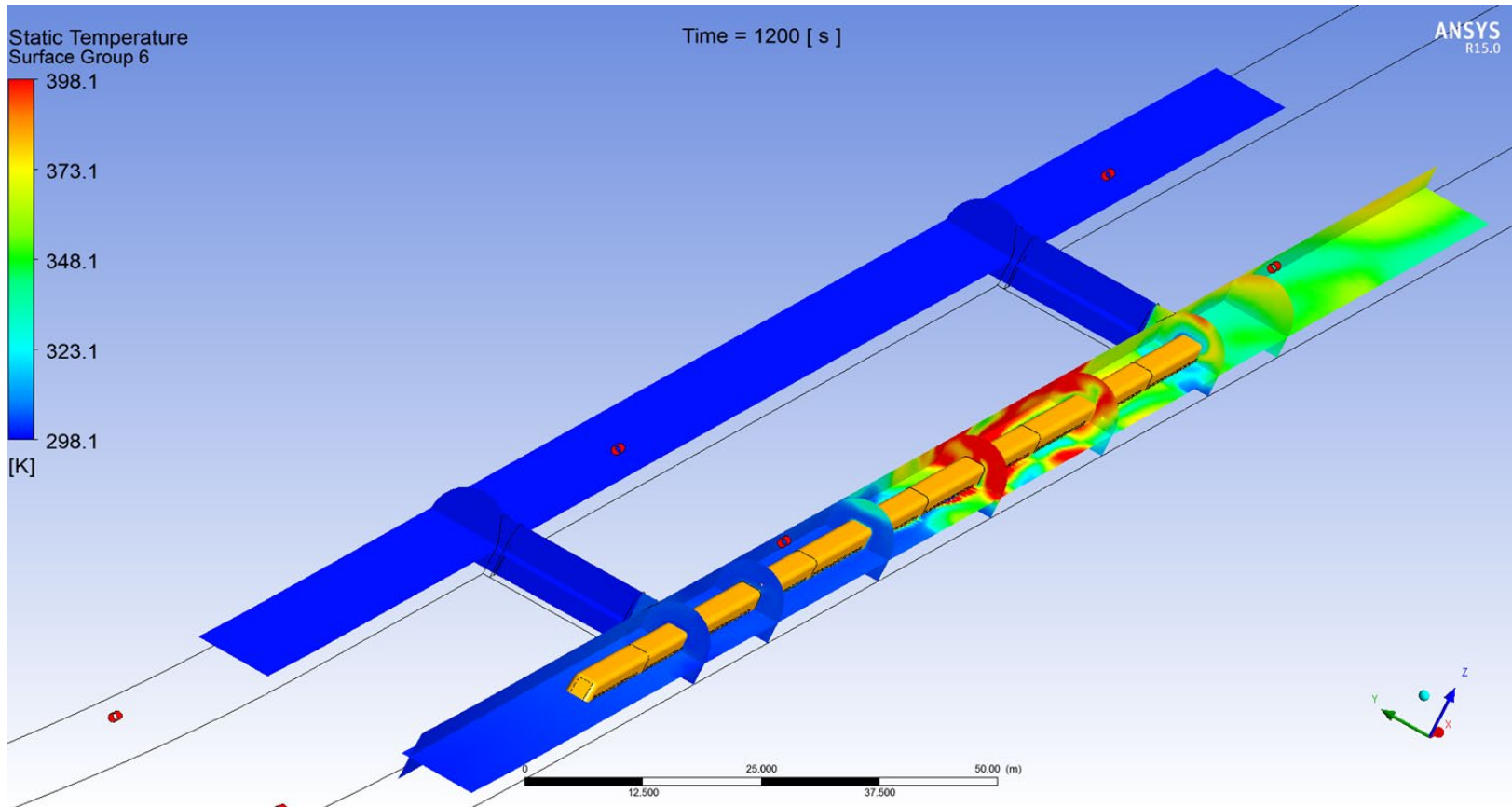
Jet Fans – אופין זרימת אוויר וטמפרטורה



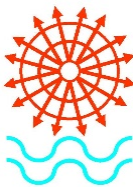
J-Rom Ltd.



CFD

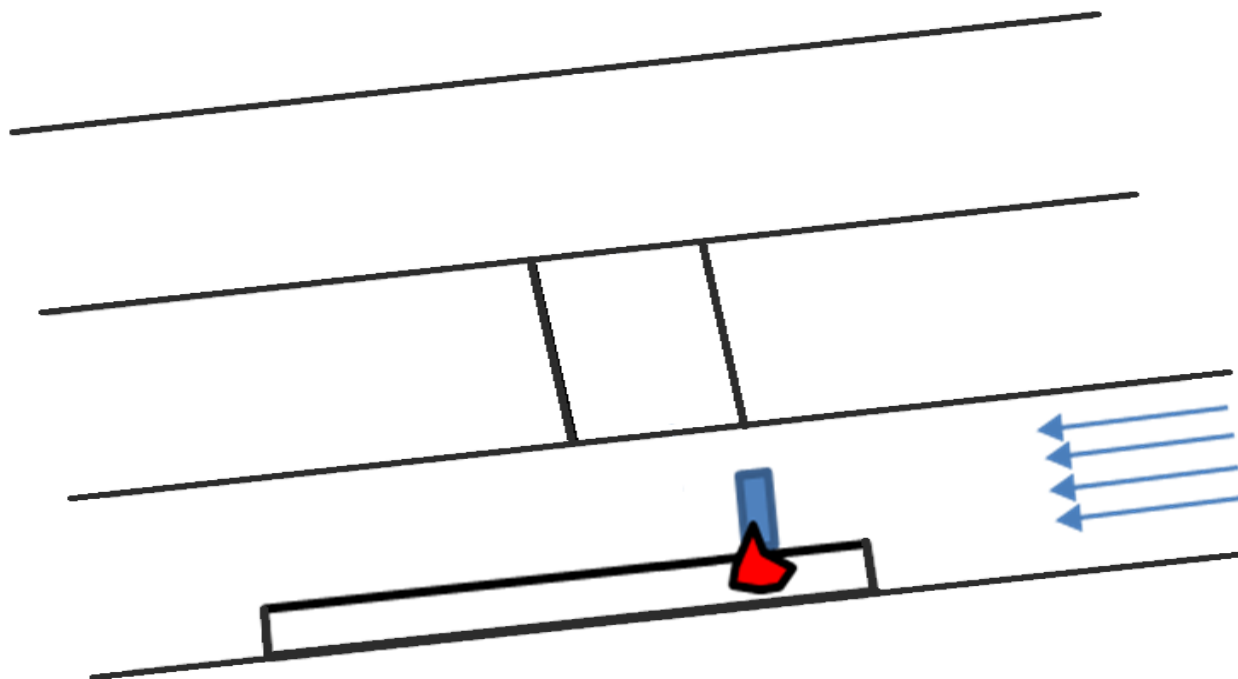


J-Rom Ltd.

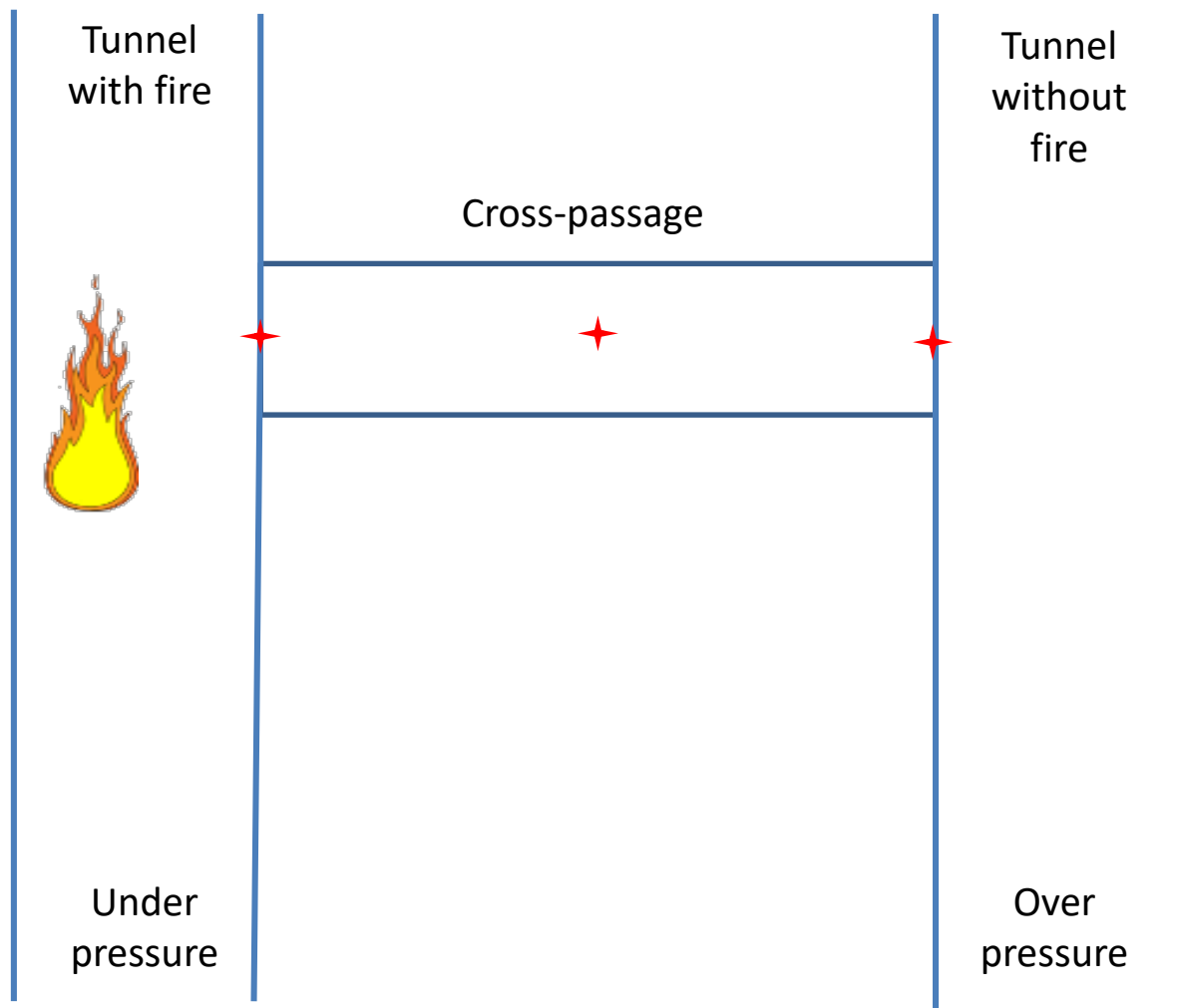


הפעלת מפוחים כיצד ???

- רכבת יורדת במנהרה – שריפה בסוף הרכבת. כיצד נפעיל את המפוחים ואיזה מפוחים נפעיל שיתנו את התשובה האופטימלית לפני העשן, ויצירת תנאי מילוט לאורך מסלול המילוט??

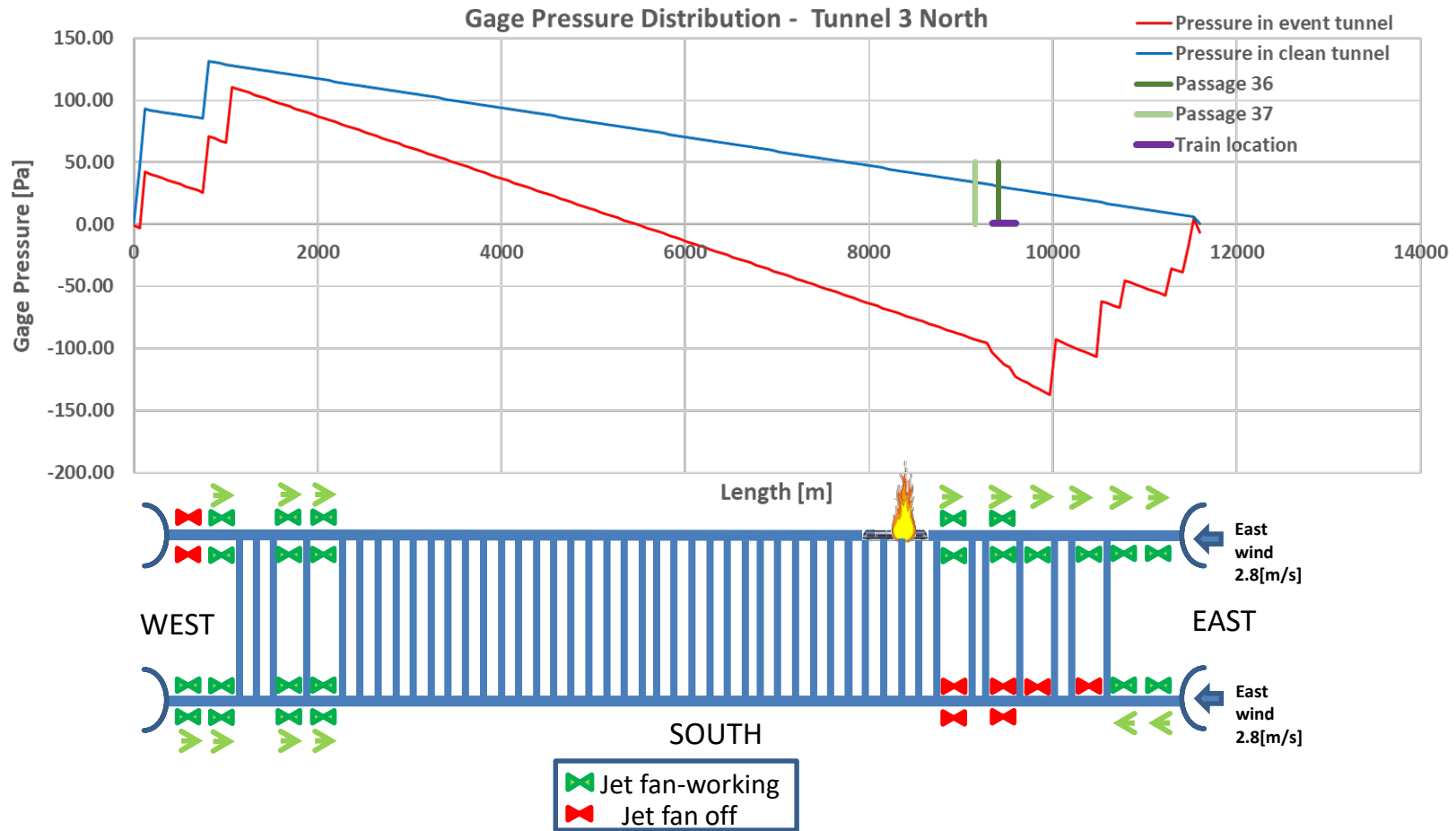


אופן הפעלת המערכות והוכחת תנאי הישרדות

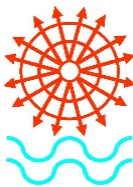


מנהרה 3 - A1 – רכבת בסוף המנהרה

אופן הפעלת המערכות והוכחת תנאי הישרדות

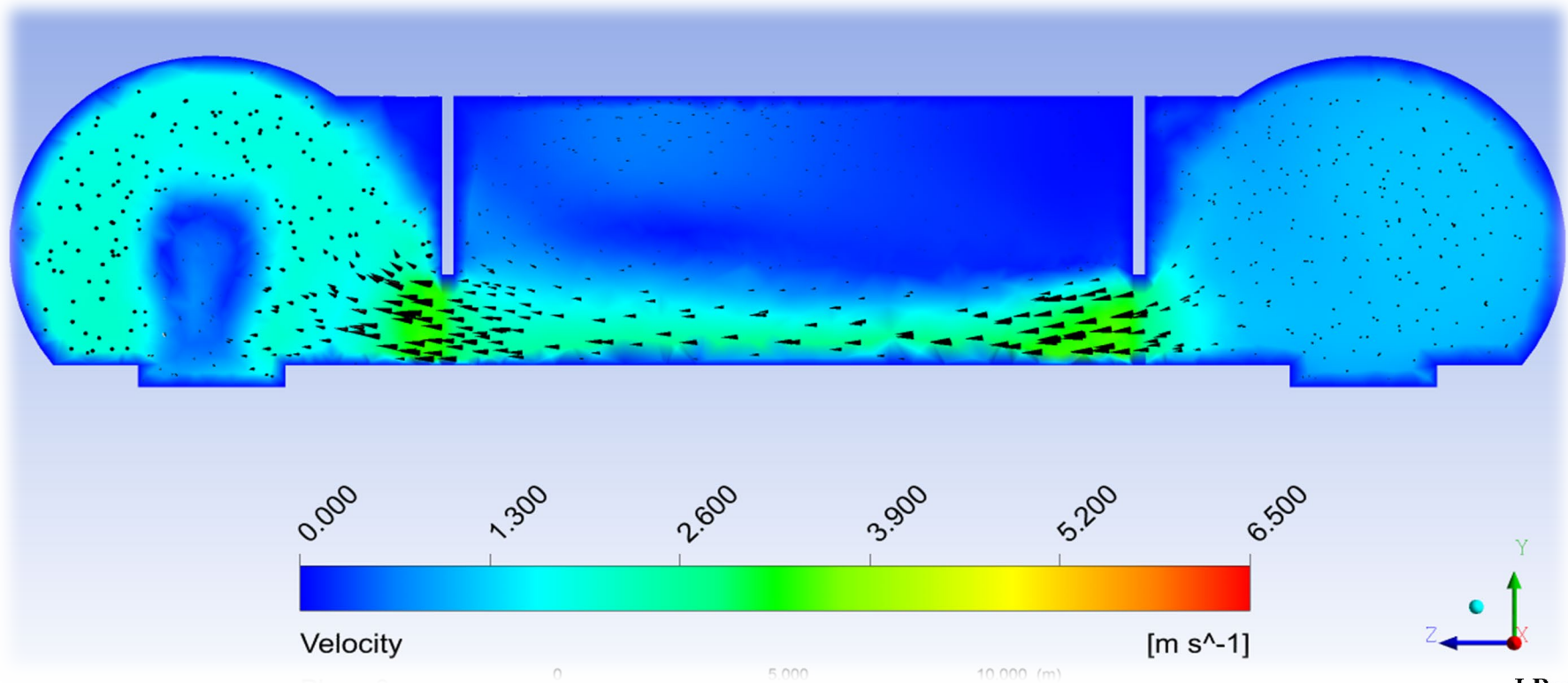


J-Rom Ltd.

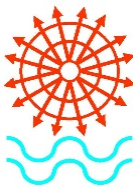


אופן הפעלת המערכות והוכחת תנאי הישרדות

- יצירת הפרש לחצים בין שני המנהרות - CFD

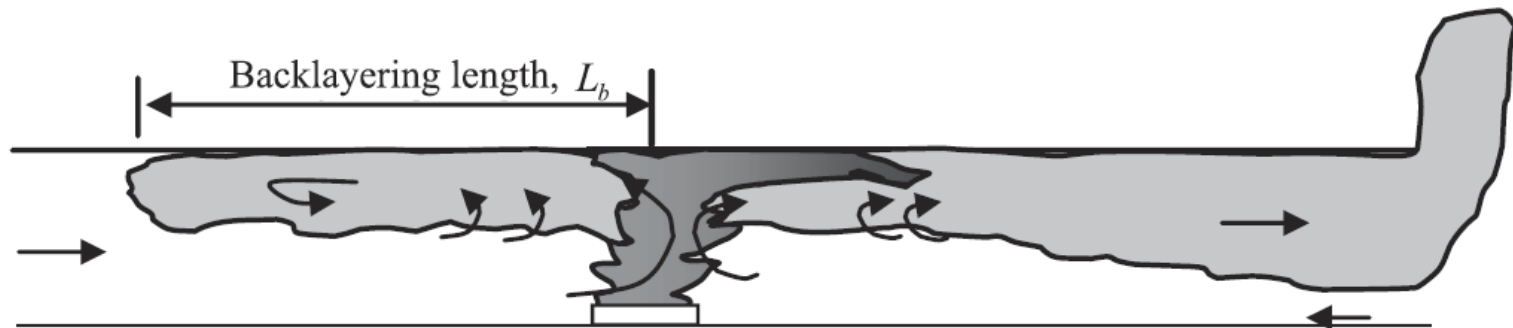
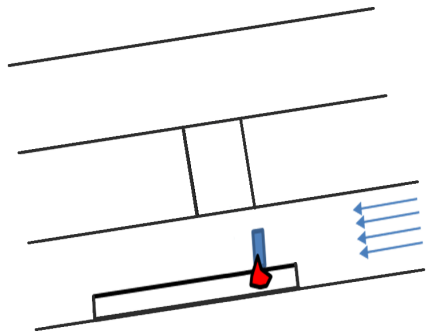


J-Rom Ltd.

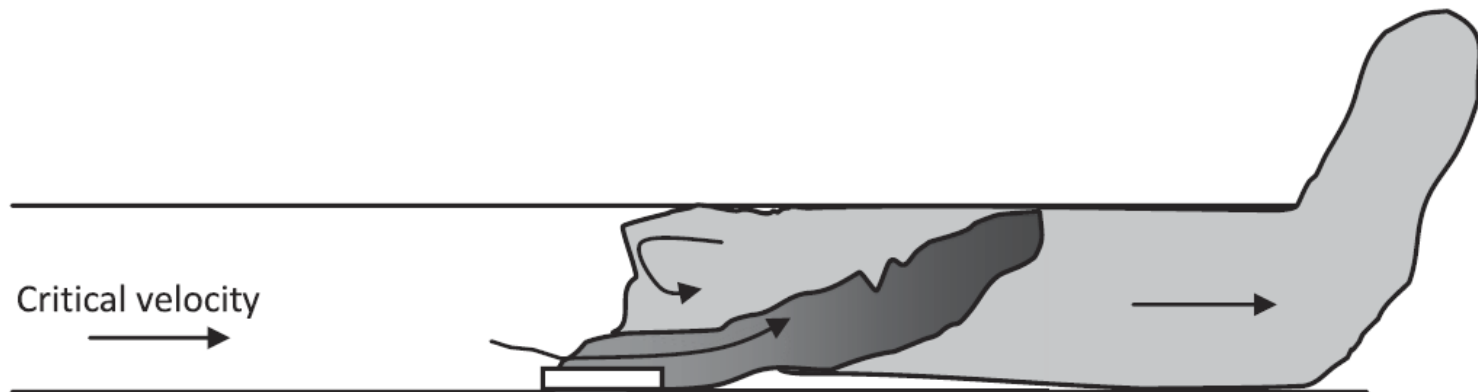


קריטריונים לאוורור מנהרות

- מהירות זרימת אוויר קריטית:



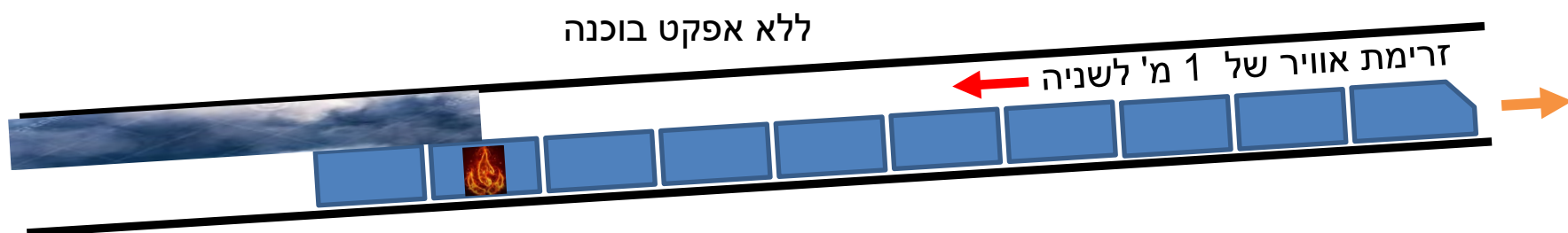
A sketch showing the smoke stratification with a flow velocity of 1 m/s



A sketch showing a typical smoke stratification for group 3, i.e. a flow velocity larger than the critical flow velocity, u_c

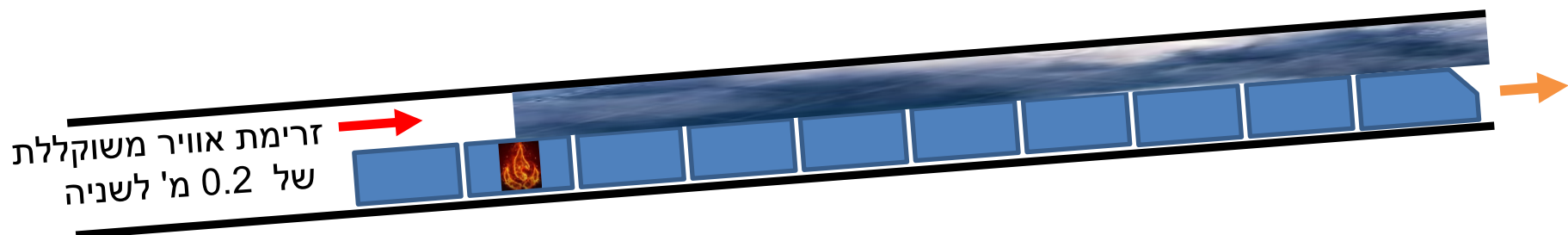
אפקט הבוכנה

רכבת עולה במהירות 80 קמ"ש



זרימת אוויר התחלתית של 1 מ' לשניה

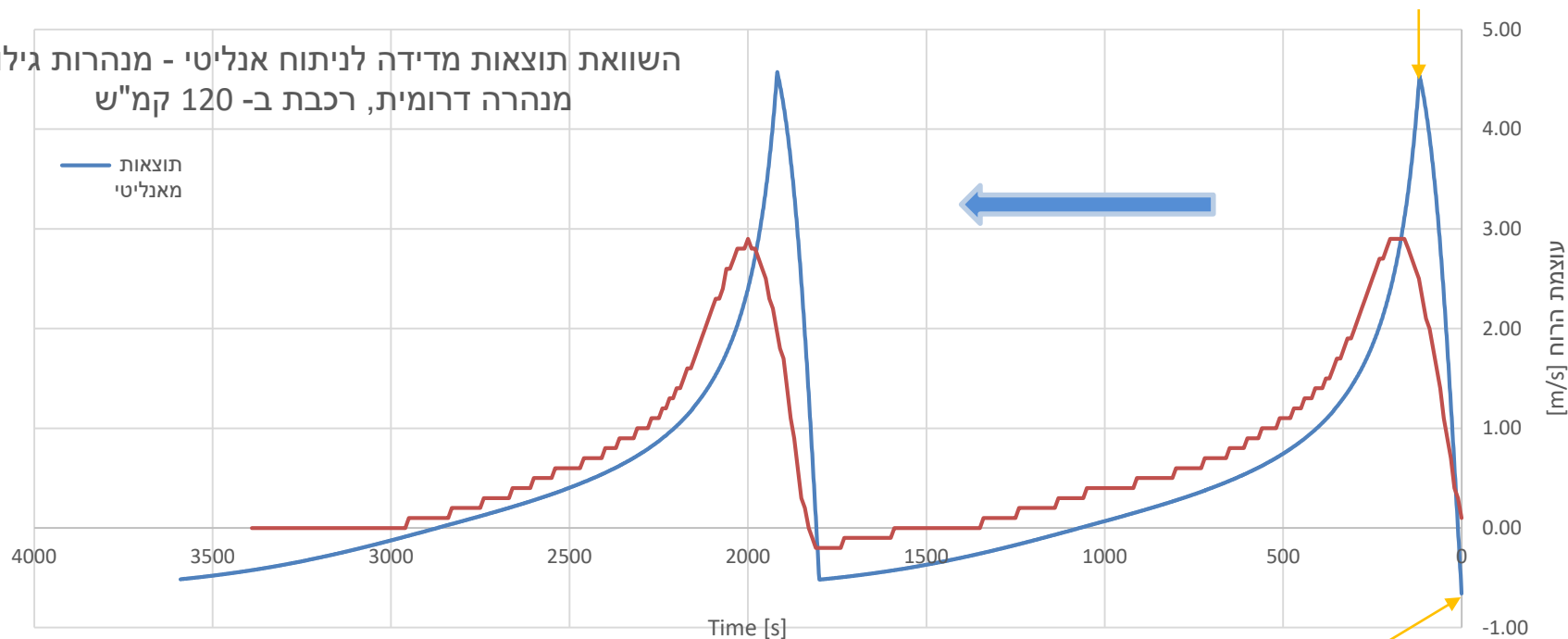
מהירות אוויר כתוצאה מאפקט הבוכנה של 1.2 מ' לשניה



השוואה בין מדידה בפועל וניתוח אנליטי (תנועת רכבת – 120 קמ"ש)

עזיבת רכבת את המנהרה

השוואת תוצאות מדידה לניתוח אנליטי - מנהרות גילון
מנהרה דרומית, רכבת ב- 120 קמ"ש



כניסת רכבת למנהרה

מדידות במנהרות הכרמל

מנהרה TU-1

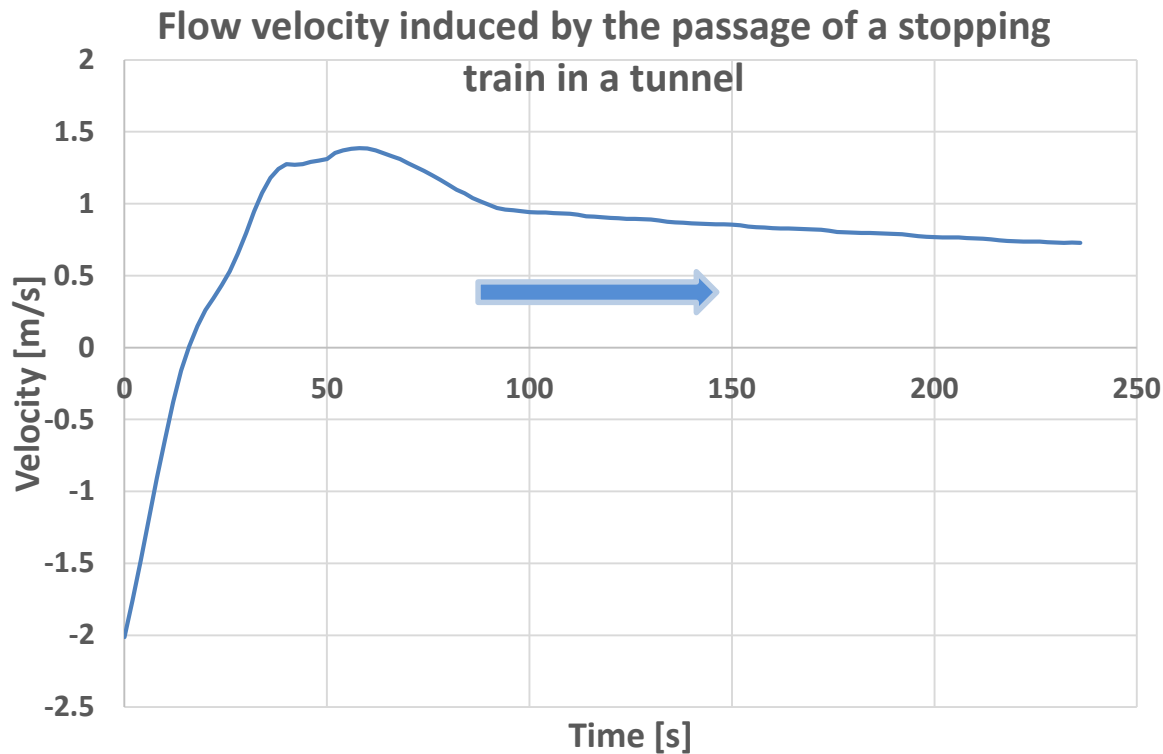
מנהרות הכרמל - מנהרה 1 - יום שלם 27.12.2017



J-Rom Ltd.

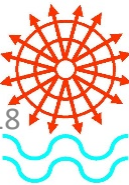


ניתוח CFD לתנועת אוויר בעת עצירת רכבת במנהרה (מ-120 קמ"ש)



אפקט הבוכנה רכבת עולה במהירות 80 קמ"ש

ניתוח CFD וניתוח אנליטי לתנועת אוויר בעת עצירת רכבת במנהרה
(מ-80 קמ"ש)



השפעת אפקט הבוכנה piston effect

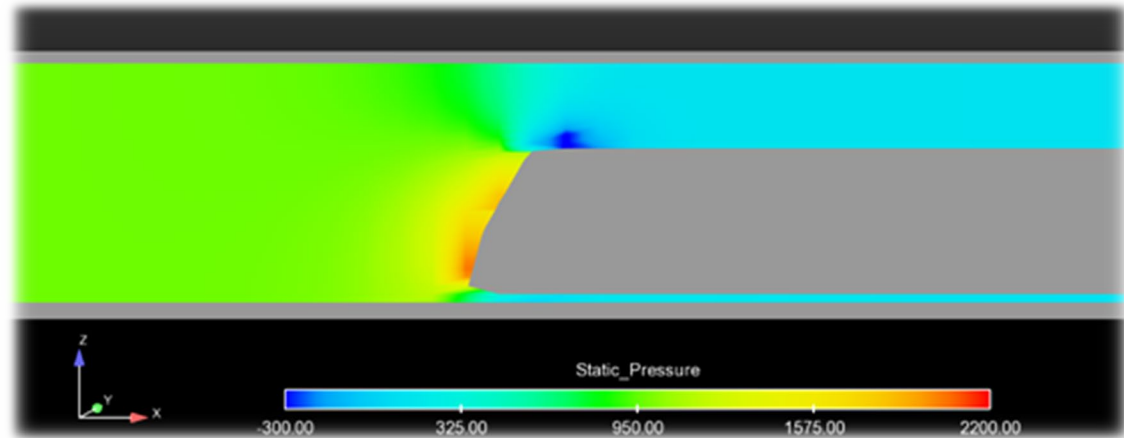
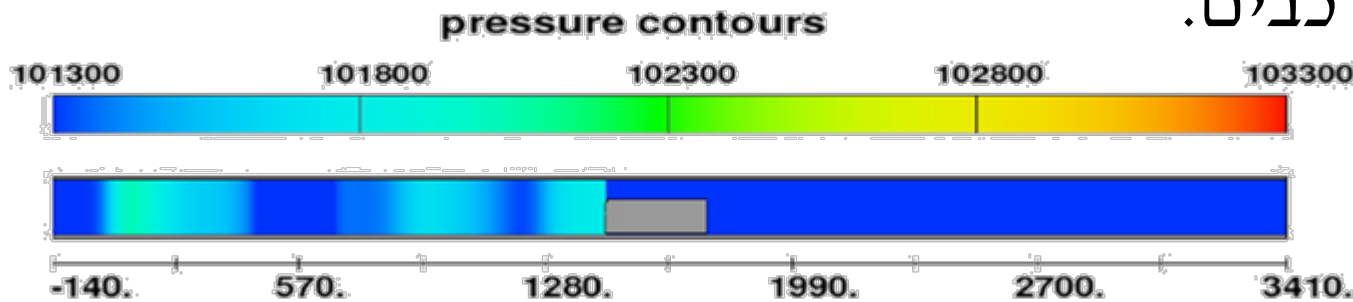
- אפקט הבוכנה מבטל את השפעת הרוח הנגדית במנהרה בעת תחילת האירוע, ומאפשר יצירת זרימת אוויר סדורה בכוון התנועה מהר יותר עם הפעלת המפוחים (מסגרת זמן של 2 דקות)
- אין להתעלם מתופעה זו במהלך תכנון אופן הפעלת המפוחים במנהרות רכבת ורכב.
- החלטה זו מפשטת את אופן ההפעלה בשגרה לשני תרחישים בלבד. דבר המונע טעויות אנוש.

אופן הפעלת המערכות והוכחת תנאי הישרדות

- אפקט הבוכנה:

– בעת תנועת הרכבת/ הרכבים במנהרה נוצרים גלי לחץ כתוצאה מ"דחיפת האוויר" ע"י הרכבים/הרכבת.

– גלי הלחץ יוצרים זרימת אוויר עם כיוון הנסיעה של הרכבת/הרכבים.



מנהרה 1 בפרויקט קו מהיר לירושלים

• ניסוי שריפה מנהרת רכבת A1

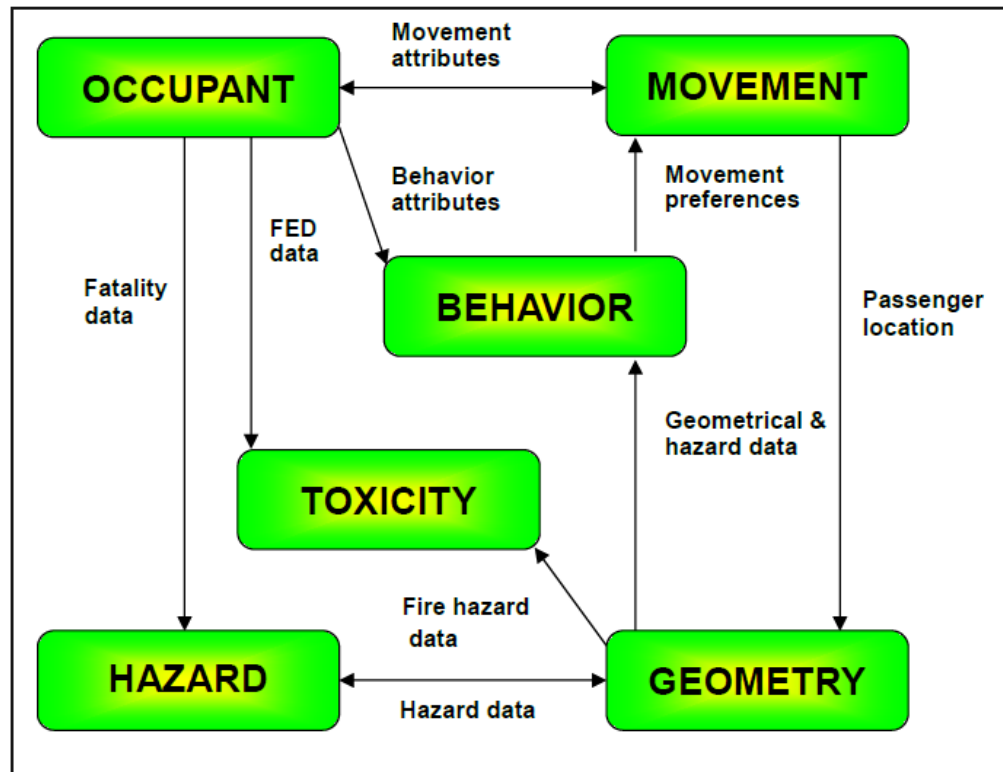
ניסוי שריפה במנהרות גילון

- ניסוי שריפה מנהרת גילון
(עכו – כרמיאל)

ניסוי :
מנהרה 4600 מ'
שיפוע של
מטען אש –מגווט
רוח נגדית

חישובי מילוט

תוכנת buildingEXODUS



מנהרת גילון מקרי המילוט

שנבחנו

1. דלתות הרכבת פתוחות משני צדדים

- מילוט קר (ללא סיכונים)

- מילוט חם (עם סיכונים)

2. דלתות רכבת פתוחות מצד אחד - הפונה למנהרות
הקשר

- מילוט קר (ללא סיכונים)

- מילוט חם (עם סיכונים)

כל כך בטוח שאפשר גם לרקוד במנהרות



תודה על ההקשבה!