

עושים בטיחות במנהרת הרכבת לירושלים

איך עושים
בטיחות בפרויקט
גדול ומורכב מאוד,
בהיקף כספי כולל
של 7 מיליארד ש"ח,
שהוא גם לא שגרתי
בהיבט ההנדסי

מובילים ברכבת בתוך המנהרה. שינוע חומרי העזר כגון חלקי בטון טרומי יצוקים, תערובות דייס לאיטום ודיפון מחוץ לצינור המנהרה ועוד מתבצע באמצעות קטר אשר גורר אחריו קרונות

מערכת בקרת הכניסה מזהה את הנכנסים והיוצאים. הוא נמצא במשרדי האתר ופעילותו מגובה במערכות אל-פסק. המערכת מאפשרת בכל רגע נתון מידע זמין לגבי הנמצאים במנהרה והחברה מקפידה על השימוש במערכת.

חופרים את ההר

קצת קשה לקרוא למכונה שחופרת בתוך ההר מכונה. מדויק יותר להתייחס אליה כאל יצור ענק, בגובה של 3 קומות. המכונה ('TBM') מתוצרת חברת 'HERRENKNECHT' (גרמניה). המיתקן כולל מערכות חשמל אשר יכולות לייצר הספק של 2800 kW לסיבוב גלגל הכרייה (בקוטר 10.2 מ') במהירות של עד 5 סיבובים לדקה; 630 kW להפעלת מסוע חלזוני בקוטר של 1.2 מ', אשר מעלה את החפורת על מסוע סרט ברוחב 1 מ' אשר מפנה את החפורת אל עירום מחוץ למנהרה.

מערכות המכונה מופעלות באמצעות מערכת חשמל הכוללת מספר גדול של ארונות חשמל כולם מוגנים באמצעות מערכות כיבוי אוטומטיות בגז הלון. מערכת החשמל מגובה באמצעות שני גנרטורים – אחד מחוץ למכונה והשני בתוכה. בתוך המנהרה קיים חדר ביטחון, אליו אפשר להימלט בעת שריפה ולשהות בו עד שעתיים והוא משמש כחדר

של הפרויקט, ליווי את חברי ועדת הבטיחות לאורך כל הביקור וסקר בצורה מקצועית ומפורטת את הפרויקט המורכב, שיטות העבודה הייחודיות והאתגרים הבטיחותיים הכוללים הערכות לטיפול בשריפות, ליווי של קבוצות מבקרים באתר, ניטור אוויר ומערכת האיוורור ועוד. מנהל העבודה הראשי של האתר הוא **אלכס גולצמן**.

בסיוור ביקרנו גם במפעל הבטון של חברת מנרב הנדסה ובנין – החטיבה הטרומית – אשר עוסקת ביציקות של אלמנטים מבטון למנהרה. המפעל נמצא במרחק כמה מאות מטרים מאתר החפירות של המנהרה ועובדים בו גם תושבים מיהודה ושומרון ומהגרי עבודה ברישיון.

הדרכה ובקרת כניסה

לפני הכניסה למנהרה צפינו בסרטון הדרכת בטיחות. הסרטון (<http://www.youtube.com/watch?v=N8Iz3hNPstc>) נערך לצורך הדרכת בטיחות למבקרים במנהרה. הוא מפרט את הסיכונים, אמצעי המיגון הנדרשים, דרישת ליווי של מלווה מוסמך והארה לגבי תנאי הבריאות הנדרשים. בתום הצפייה אישרנו בחתימה שאכן קבלנו הדרכה, הצטיידנו בצידוד מגן אישי והפקדנו תעודה מזהה לצורך קבלת כרטיס כניסה מגנטי. המחשב של

מאת מיכאל לרר

ועדת הבטיחות בבנייה של המוסד לבטיחות ולגיהות ביקרה בחודש יוני (14.6) באתר העבודה של פרויקט מנהרת הרכבת לירושלים – "קו מהיר לירושלים" קטע ב'. הפרויקט היקר מחולק ל-4 מיקטעים כשכל מיקטע מנוהל על ידי חברת הנדסה אחרת. הפרויקט כולל חפירת מנהרות בטכנולוגיה מתקדמת שאין בה ניסיון בארץ. הפרויקט הוא מורכב גם בהיבט התעסוקתי שכן נדרש להעסיק בו עשרות עובדים שאינם דוברי עברית – תנאי המכרז דרשו שיתוף פעולה משמעותי עם חברה זרה שמתמחה בסוג כזה של חפירת מנהרות. במקרה זה השותפות היא בין חברת 'מנרב' מישראל לבין חברת 'MMS' ממוסקבה אשר מתמחה בכריית מנהרות ומעסיקה בארץ עשרות מעובדיה שהם דוברי רוסית ולא תמיד מדברים שפה נוספת מלבדה.

את חברי ועדת הבטיחות בבנייה אירחו **אלי בן עזרא** הממונה על הבטיחות מטעם הפיקוח על הפרויקט. הפיקוח נעשה על ידי חברת 'דנה הנדסה'. **אריאל שטרן** – מנהל פרויקטים מחברת 'דנה הנדסה' – הסביר לאורחים אודות לוחות הזמנים של הפרויקט ומורכבות התהליך.

מנהל הפרויקט מטעם 'מנרב' והאחראי להפיכת המורכב והמסובך לאפשרי הוא **אסף בכר**. מהנדס איתן חנני, הממונה על הבטיחות

התקן בקרת כניסה למנהרה. כנדרש בת"י 5567 לבטיחות בעבודות מינהור "בכניסה למנהרה תהיה מערכת בקרת כניסה ויציאה, אשר תוכל לספק מידע לגבי השהייה בתוך המנהרה". הכניסה למנהרה נעשית רק באמצעות כרטיס מגנטי, אורח/מבקר/עובד זמני משאיר אצל מזכירת האתר את תעודת הזהות ומקבל בתמורה כרטיס זיהוי מגנטי. קבלת הכרטיס מותנית בהדרכת בטיחות במהלכה בין היתר מוצג סרטון אשר תוכנו הוראות בטיחות כלליות ומנהור



אוכל לעת מצוא. עוד במנהרה, מערכות יניקת אויר ומערכות איורור, חדר בקרה של כל המכונה, ארונות תקשורת, תאורת חירום, ציוד להגנה על השמיעה, מערכות ניטור ובקרה לגילוי גזים – התראה קולית ותאורה מהבהבת למצב של ירידה בכמות החמצן או עלייה בכמויות פחמן דו-חמצני ופחמן דו-חמצני וגזים נפוצים. מערכת ניטור הגזים פועלת ללא הפסקה. ראש הכרייה של המכונה מרסק את הסלע ומפורר את האדמה והיא מפונה באמצעות "חלואן בורגי" אל מסועים אשר מפנים את תוצרי הכרייה אל מחוץ למנהרה. ככל שהמכונה מתקדמת בעומק ההר מתווספים אליה קטעים נוספים של המסוע עד שתגיע למלוא אורכה – 3.5 ק"מ. המנהרה נכרית בקוטר של 10.2 מטר ולאחר הדיפון קוטר הפנימי הוא 9 מטר. זהו תהליך ייצור דינמי המשתנה ומתארך ככל שהפריקט מתקדם.

המהנדס חנני מספר כי "בית החרושת" הזה לכריית המנהרה הגיע ארז בתוך קונטיינרים בחודש דצמבר 2011. לארץ הגיע משלוח של 130 קונטיינרים ובהם חלקי מכונת הכרייה. הרכבת המכונה הסתיימה כחודש וחצי לאחר הגעת המשלוח, ב-1 לפברואר השנה, ואז החלו ההכנות הראשונות לכרייה. המכונה בונה את המנהרה כולל עבודת כרייה, פינוי חפורת ועבודות הרכבה והתקנה של חיפוי מבטון העשוי מאלמנטים טרומיים המיוצרים במפעל היציקה הסמוך לאתר. את המירווח בין החיפוי לדופן המנהרה ממלאים בתערובת בטון מיוחדת ("דייס").

הכרייה מתבצעת בקצב יומי ממוצע של 15-20 מ' מנהרה, כולל התקנת חיפוי הבטון הפנימי.

אחד האתגרים בעבודה היא העובדה שהפריקט הוא מודולרי: עם התקדמות החפירה יש להאריך את קווי הזנת החשמל, צינורות האיורור, המסועים המפנים את החפורת, את קווי המסילה ועבודות נוספות אשר מתבצעות ע"י צוותי עבודה ייעודיים תוך כדי עבודה שוטפת של המכונה.



טלפון חירום בכניסה למכונה. כנדרש בת"י 5567 לבטיחות בעבודות מינהור "יהיו לפחות 2 אמצעי קשר ותקשורת אשר יוכלו לפעול גם בחירום", בכניסה למכונת ה-TBM נמצאת שלווחה של טלפון קווי (בזק). פעולת החיגוי קווית ואלחוטית



▲ אזור מגודר במפעל הייצור. גידור והגנה של לוח חשמל ראשי במפעל לייצור חלקי בטון טרומי

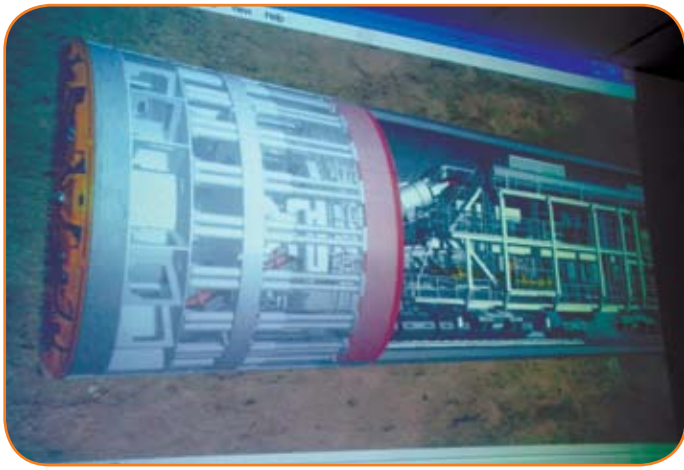


▲ אחסון גלילי גז. אחסון במקום מוגן ומגודר עם השיט הנדרש של חומ"ס.

הפעלה בטוחה

לפני הפעלת המכונה הוזמן לארץ צוות טכני מטעם חברת HERRENKNECHT (יצרני המכונה). הצוות בדק ואישר את איכות עבודת ההרכבה, מערכות הפיקוד והבקרה של המכונה. יחד עם הצוות הגיע גם מהנדס הבטיחות של החברה. המהנדס העביר קורס לבטיחות בתפעול של המכונה לצוות של 60 העובדים מרוסיה אשר מתפעלים את המכונה ולעובדים הישראליים. העובדים מרוסיה, 30 במספר

בכל קבוצה, עובדים במשמרות של 24 שעות 7 ימים בשבוע וגרים במגורונים באזור נפרד באתר. כדי למנוע שחיקה של העובדים, אשר עלולה להוביל לעייפות ולתאונות, נקבע שהעובדים בשטח אשר מגיעים מרוסיה, למעט המנהלים, שגרים בדירות שכורות בעיר מודיעין, יוצאים לאחר 30 ימי עבודה ל-30 ימי חופש במולדת, כך שבכל עת נמצאים בארץ מחצית מהעובדים ומחציתם בביתם ברוסיה.



▲ **יחידת הכרייה של מכונת ה-TBM. היחידה מורכבת מצלחת כרייה, בוכנות אשר לוחצות אותה כנגד הסלע ומנוע הידראולי בהספק גבוה**

▲ **מרכז שליטה ובקרה של המכונה. בזמן פעולת מערכת המכונה על צגי המחשב מופיעים נתונים המעידים על פעולה תקינה של מערכות אלה. לדוגמה נתונים של לחצים הידראוליים, טמפרטורה, וצילום קבע של אזורים רגישים/מועדים לתקלה אשר לא ניתן להימצא בסביבתם**



▶ **פתח המנהרה. בצד שמאל רואים את המסוע המפנה את החפצות שנוצרות בתהליך הכרייה אל מעורם הפנימי. בפניה השמאלית חזית המנהרה המקבילה למנהרה המבוצעת כעת. במרכז התמונה מערכת מפוחים לאספקת אוויר נקי אל חזית הכרייה. פסי הרכבת בתחתית התמונה משמשים לנסיעת קטר הגורר אחרי קרונויות שירות לתפעול של מכונת הכרייה**

הגבוה מצופים בחומרי בידוד לא דליקים. במכתב שסיפקה יצרנית המכונה מפורט כי מכונת ה-TBM נבנתה על פי התקנים האירופאיים העדכניים המחמירים מאוד בנושא בטיחות אש. עם זאת, משום שהפוטנציאל קיים והסיכון לאנשים ולציוד במקרה שאכן תתרחש שריפה הוא גבוה - כי הרי הם נמצאים בתוך מנהרה שאורכה הולך וגדל (כ-1 קילומטר בעת הכנת הכתבה), ואין בה פתחי מילוט, למעט פתח הכניסה, ההתייחסות לפוטנציאל של בעירה היא רציני "ומעמיק" - מפני שאין בארץ ידע וניסיון בהתמודדות עם שריפות במנהרות.

בשל העובדה שמערך כיבוי האש באתר הבנייה צריך לתת מענה מידי בשעת שריפה, והואיל ובשעת חירום מדובר על הצורך להתמודד עם אירוע לא שגרתי של שריפה במנהרה, שאין לגביו בארץ ידע וניסיון, הוזמן לארץ מומחה לכיבוי אש במנהרות אשר בעברו היה מפקד מערך כיבוי האש של תשתית מנהרות הרכבת התחתית במוסקבה, וכיום הוא עובד חברת 'MMS' (השותפה של חב' מנרב בפרויקט). המומחה אישר את מערך הכיבוי המתוכנן להיבנות במנהרה והעביר לעובדים ולמנהלים העוסקים בהקמת המנהרה, הדרכות ייעודיות כיצד להתמודד עם שריפה במנהרה.

פעילות הביקורת של מומחה הכיבוי במנהרות ופעולות ההדרכה של העובדים סוכמו בתרגולת של מצבי החירום הפוטנציאליים. במסגרת זו הוצתה חבית עם חומרי בעירה שהפיצה עשן בתוך המנהרה סמוך למכונה. חלק מהעובדים -



▲ **נוסעים בבטן האדמה. הגעה אל מכונת הכרייה נעשית רק בנסיעה בתוך קרונוית נגרות ע"י קטר. הנחיות הבטיחות אינן מאפשרות למבקרים הליכה רגלית אל מכונת הכרייה**

חשמל עם מערכות כיבוי עצמי בגז הלון. כל השמנים ההידראוליים, חומרי הסיכה והגירוז הם חומרים סינטטיים שאינם דליקים, מתוצרת חברת 'SHELL'. כבלי המתח

כיבוי אש

הפוטנציאל להתרחשות שריפה במנהרה נמוך היות ש"מיטען האש" היחיד העובר במנהרה הוא קטר אשר גורר אחריו קרונויות ועליהן רכיבי הבטון המשמשים להרכבת החיפוי ממנו בנויה המנהרה. במנוע הקטר מותקנת מערכת כיבוי אש עצמית. בתא הנהג נמצאים 2 מטפי כיבוי אבקה 12 ק"ג. בתוך מכונת הכרייה (TBM) ישנם ארונות

נוהל מיוחד בתיאום ובאישור של מנהל המשמרת.

פעילות מחוץ למנהרה

תנועת כלי רכב כבדים: מחוץ למנהרה יש תנועה ערה של כלי רכב כבדים העוסקים בפינוי של החפצות.

כלי רכב אחרים עוסקים בהעברת ציוד אל מחוץ למנהרה לנקודות האיסוף של לוחות הבטון, משקלו של כל אלמנט בטון המשמש לחיפוי דפנות המנהרה הוא 8 טון. לוחות הבטון הללו נערכים מחוץ למנהרה ומועברים פנימה באמצעות משאית עם עגלה נגררת. ■



▲ עגורן גשר באזור פורטל המנהרה. מהמפעל מוסעים אלמנטי הבטון הטרומי אל מערום הנמצא בפורטל המנהרה, משם אלה מועמסים באמצעות עגורן גשר על קרונות הרכבת המובילות אותם להתקנה

אודות הפרויקט

פרויקט הקו המהיר לירושלים הוא פרויקט לאומי גדול ומורכב שנועד לחבר את ירושלים לגוש דן באמצעות קו רכבת מהיר. הפרויקט כולל סלילת מסילה כפולה באורך של כ-38 ק"מ בין מסילת נתב"ג-מודיעין לבין ירושלים, והקמת תחנה בין בנייני האומה והתחנה המרכזית בירושלים, בעומק של כ-80 מטר מתחת למפלס הרחוב.

בקו מתוכננות 5 מנהרות, חלקן כפולות. כמו כן ייבנו 10 גשרים באורך כולל של למעלה מ-6 ק"מ חלקם בגובה של 100 מטר.

בשיא התנועה יופעלו 3 רכבות לכל כיוון ומשך זמן הנסיעה בין בנייני האומה בירושלים לבין תחנת השלום בתל אביב צפוי להיות כחצי שעה. הרכבות יופעלו באמצעות מערכת חשמל.

הפרויקט מחולק ל-4 קטעים. קטע ב, בו נערך הסיור, נמצא בין לטרון על כביש 3 לבין שער הגיא. אורכו של הקטע כ-4 ק"מ והוא כולל מנהרה כפולה באורך של 3.6 ק"מ וגשר באורך של 150 מטר.



▲ מיתקן הכנת תערובת הבטון. בתהליך ייצור מיוחד הבטון מתמזק והחלק מוצא מתוך תבנית היציקה בתוך 6 שעות



▲ העמסת חפצות לפינוי ליד מסוע. ה"חפצות" נוצרת כתוצאה מסיבוב ולחיצה של צלחת הכרייה אל הסלע, החפצות נשפכות לתא סגור הנמצא סמוך לצלחת הכרייה, ממנו היא מובלת באמצעות חלזון ומסוע גומי אל עירום זמני. מהעירום הזמני החפצות מוסעות אל אזור שפיכה מוכרז הנמצא מחוץ לאתר

במאוררים/מפוחים אשר דוחפים כל הזמן (24/7) אוויר טרי אל בטן האדמה. מהירות זרימת האוויר מתאימה לדרישות התקן ועומדת על יותר מ-0.5 מ' בשנייה בכל חתך של המנהרה.

בזמן שהמכונה עובדת (ביום הביקור העובדים עסקו בהארכת כבל הזנת החשמל ועל כן המכונה לא עבדה) מתקיימת תנועה ערה של הרכבת המסיעה ציוד, חומרים, תערובת דייס ולוחות בטון אל המכונה. כדי להבטיח תנועה בטוחה - מתקיימת הפרדה מיפלסית בין תנועת הולכי הרגל לבין מסילת הברזל. נוהלי הבטיחות מגדירים בצורה ברורה כי ביזמנים שבהם המכונה פועלת אסור לאיש מעובדי החברה או אורחיה לשהות סמוך למסילת הברזל. שהות כזו, לצורך פעילות עבודה כלשהי, מאושרת רק על פי

צוות הכיבוי - תרגלו מילוט אל התא מוגן האש, ואחרים שהיו קרובים לפתח המנהרה יצאו ממנה כשהם מודיעים באמצעות הטלפון למרכז החירום כי הם הגיעו אל מחוץ למנהרה. צוות הכיבוי יצא מהתא המוגן כשהוא מצויד במערכות נשימה ובמטפי כיבוי אש לכבות את השריפה.

באותו הזמן צוות נוסף - מצויד במערכות נשימה ובאלונקה - פנה לחלץ "עובד שנפגע" בקדמת המכונה. התרגיל התקיים כאשר המכונה היתה כ-500 מ' בעומק המנהרה. לאחר כיבוי השריפה התכנסו כל העובדים, כולל הצוות שתירגל פינוי עובד פצוע על אלונקה, מחוץ למנהרה.

משך הביצוע של התרגיל עמד בדרישות שירותי כבאות והצלה במנהרות של מוסקבה (פחות מ-15 דקות מההתראה על מצב חירום).



▲ תא מילוט עמיד באש. חלק ממערך המוכנות למצבי חירום במכונת ה-TBM הוא קרון / תא עמיד אש למשך 120 דקות אשר יכול לאכלס 15-20 איש. בתוך הקרון מערכות אספקת אוויר לנשימה, גלאי אשר בודק באופן רציף קיום של מזהמים באוויר, וטלפון לתקשורת עם מוקד הנמצא מחוץ למנהרה

סיכונים נוספים בעבודת הכרייה

חום: למרות שהמקום נמצא בבטן האדמה, הטמפרטורה של הסביבה איננה נוחה. מה גם שהקרון אשר מעביר ציוד ואספקה לאורך המסילה הזמנית שנבנתה לצורך הפרויקט גורם לנוסעים בו בתוך מספר דקות לגלות סימני עקת חום מדאיגים. ולכן כאשר יצאנו מהקרון הסגור וטפסנו על המכונה רווח לנו מאוד, כי הצלחנו לקרר מעט את גופינו באמצעות מערכות האיוורור והקיור.

רעש: הרעש במקום אינו חוויה מרנינה כאשר מכונת החפירה עובדת. הרעש הנמדד מגיע עד ל-100 דציבלים. במהלך הביקור שלנו המכונה לא עבדה וכך יכולנו להסתובב ללא אטמים ואוזניות.

איוורור: כדי להבטיח אספקת אוויר טרייה אל בטן האדמה, יש צורך להיעזר

קאדמן, נציג ארגון הממונים על הבטיחות; איגור פרלמן, מנכ"ל ארצי לבטיחות בבנייה; שמחה עפר, מנכ"ל בטיחות בבנייה במחוז תל-אביב והמרכז; שלמה איציקובסקי, מנהל תחום הנדסה ותורת הבטיחות; אלי בן עזרא מחברת א.ב. בטיחות; ומיכאל לרר, עורך מקצועי המוסד לבטיחות ולגיהות.

השתתפו בסיור: יונה שמר, יו"ר ועדת הבנייה וממונה על הבטיחות; ישראל שרייבמן, מנהל בפועל של המוסד לבטיחות ולגיהות; דב דביר, מנהל מחוז תל אביב והמרכז של המוסד לבטיחות ולגיהות; יעקב פקליס, נציג מינהל הבטיחות והבריאות התעסוקתית; מירון ענבר, ממונה על הבטיחות; קאסם