

היבטים הנדסיים בתכנון הרחבת מנהרות כביש 60

פרויקט כביש המנהרות (60) הוא אחד מפרויקטי התחבורה הגדולים והמשמעותיים המבוצעים בשנים האחרונות בירושלים והסביבה. הפרויקט כולל, בין היתר, כריית שתי מנהרות כביש חדשות לאורך המנהרות הקיימות, שיפוץ ושדרוג של המנהרות הקיימות, בכלל זאת הרחבתן וכריית מנהרות מקשרות חדשות ומפרצי חירום. האתגרים המרכזיים בפרויקט הנם לאפשר את המשך התנועה השגרתית דרך המנהרות הקיימות, והתאמת מתודולוגיית הכרייה ושיטת התימוך למנהרות החדשות לתנאים הגיאוטכניים הקשים

מנהנדס וגיאולוג דן צוקר *



כביש 60, פורטל צפוני מנהרה דרומית. הדמיות באדיבות חברת מוריה



כביש 60, פורטל דרומי, מנהרה דרומית

ומהווה נדבך מרכזי נוסף במהפכת התשתיות התחבורתיות המואצת העוברת על ירושלים. בכלל זה גם בשלוש הכניסות המרכזיות לעיר, עם שדרוג הכניסה הראשית דרך כביש 1,

(60) הנו אחד מפרויקטי התחבורה הגדולים והמשמעותיים המבוצעים בשנים האחרונות בירושלים והסביבה. הפרויקט הנו בעל חשיבות רבה, הן ברמה האסטרטגית והן ברמה התחבורתית

פרויקט כביש המנהרות עיריית ירושלים ומשרד התחבורה, באמצעות חברת מוריה, החלו בעבודות הביצוע של פרויקט הכפלת כביש המנהרות. פרויקט כביש המנהרות

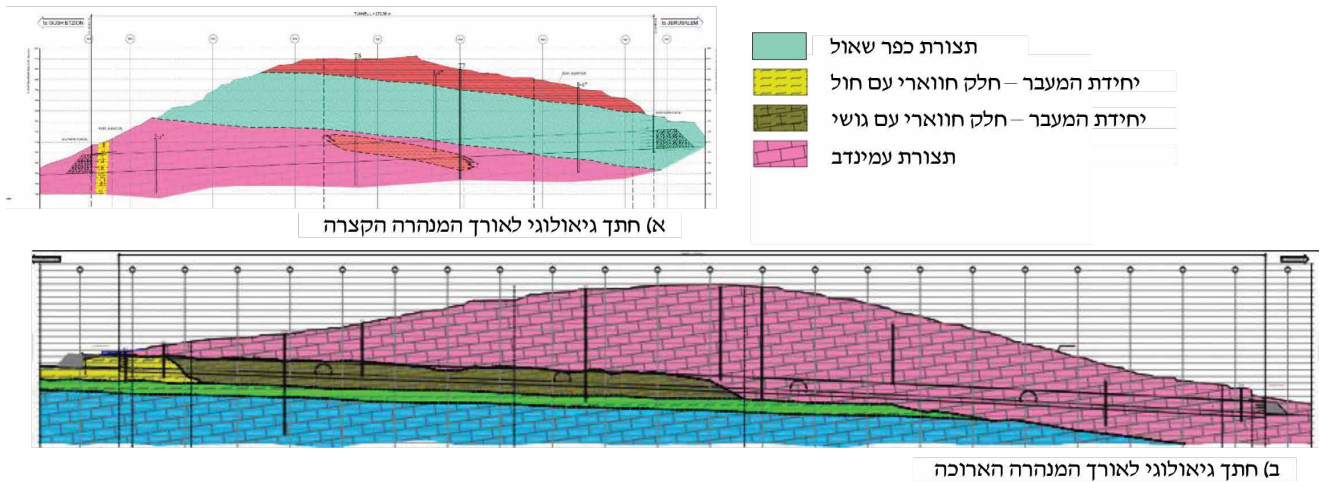


google.com/maps



מנהרה	
קצרה	ארוכה
קיימת	חדשה
■	■
■	■

איור 1 - תיאור כללי של אזור הפרויקט



איור 2 - חתכים גיאולוגיים לאורך המנהרה החדשות. (א) לאורך המנהרה הקצרה (ב) לאורך המנהרה הארוכה

עקב הקרבה הרבה בין המנהרות הקיימות לחדשות (עד 3 מ'), מתוכננים בשלב הביצוע של המנהרות החדשות קידוחי סקר אופקיים מחזית הכרייה לכיוון המנהרות הקיימות

עם הכניסה המזרחית וכעת עם תחילת העבודות בשער הכניסה הדרומי לירושלים. **תכנון המנהור בוצע על ידי חברת Pini Swiss בשיתוף עם חברת גרושקו מהנדסי מבנים.** לאחרונה, הוקמה חברת Pini Israel, אשר בבעלות גרושקו ו-Pini Swiss המהווה את הסניף המקומי של Pini Swiss. **Pini Israel היא האחראית על התכנון והפיקוח של פרויקטי המנהור אשר נמצאים כיום בשלבי תכנון שונים וביצוע.** על ניהול הפרויקט אחראית חב' דן בן עמרם.

תיאור כללי של הפרויקט

הפרויקט כולל כריית שתי מנהרות כביש חדשות לאורך המנהרות הקיימות ובמרחק מינימלי של שלושה מטרים ביניהן, וכמו כן שיפוץ ושדרוג של המנהרות הקיימות, בכלל זאת הרחבתן וכריית מנהרות מקשרות חדשות ומפרכי חירום. כל זאת כמובן, תוך שימוש בשיטות כרייה ותימוך אשר מאפשרות המשך תנועה שגרתית במנהרות הקיימות במהלך כריית המנהרות החדשות, ולאחר מכן שיפוץ ושדרוג המנהרות הקיימות. אורכה של המנהרה בכיוון ירושלים 270 מ' (נקראת 'המנהרה הקצרה') ואורכה של המנהרה בכיוון גילה 890 מ' (נקראת 'המנהרה הארוכה'). ראה איור 1 לתיאור כללי של אזור הפרויקט.

המנהרות הקיימות נכרו בשנת 1993 לפי חתך תנועתי דו-נתיבי במפתח של 11 מ'. התימוך מבוסס על שכבה בודדת (ראשונית וסופית) הכוללת שילוב של קשתות פלדה או בורגי סלע עם בטון מותז בעובי משתנה, בהתאם לתנאים הגיאוטכניים שנצפו ותועדו

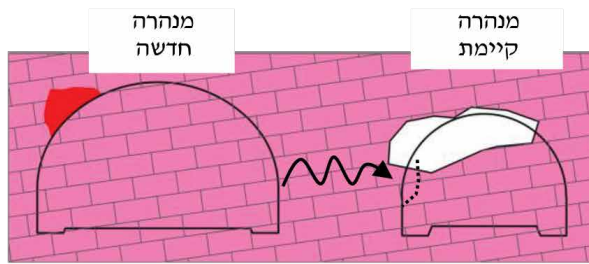
גיאולוגיה באזור הפרויקט

המסלע באזור המנהרות מורכב מ: (1) תצורת כפר שאול אשר צפויה רק במנהרה הקצרה, מאופיינת בשכבות מתחלפות של דולומיט, קרטון, גיר וחוואר, עובי השכבות 0.1-0.3 מ'. החלקים החוואריים רגישים לנוכחות מים ונהיים רכים ובוציים כאשר באים במגע איתם. (2) תצורת עמינדב הגירית-דולומיטית, סלע קשה ומשוכב בשכבות בעובי 0.5-2.0 מ', מאופיין בחללים קארסטיים בנפח עד כמה מטרים מעוקבים. (3) 'יחידת המעבר' הצפויה רק במנהרה הארוכה, בין תצורת עמינדב לבין תצורת מוצא החווארית. יחידת המעבר האופיינית לאזור מכילה גושים של דולומיט בגודל של מטר עד כמה מטרים הנמצאים בתוך חומר חווארי רך ובלוי ביותר עד חול או ואף אבקה דולומיטית. מפלס מי התהום נמוך ממפלס תחתית המנהרות ואינו משפיע עליהן.

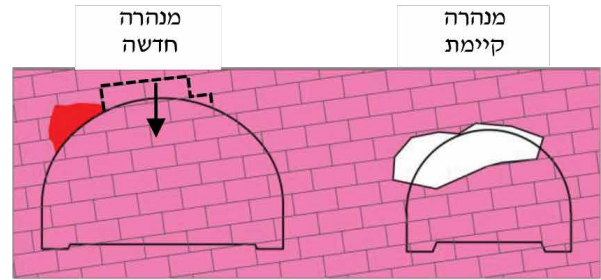
הסקר הגיאוטכני כלל סקירת ספרות קיימת, לצד למידת החומר הגיאוטכני שהוכן בשלב התכנון ונאסף בשלב הביצוע של המנהרות הקיימות. נוסף לכך, בוצעו 20 קידוחי ניסיון חדשים (6 למנהרה הקצרה, 14 למנהרה הארוכה) ובדיקות מעבדה על מדגמים מהקידוחים. עקב הקרבה הרבה בין המנהרות הקיימות לחדשות (עד 3 מ'), מתוכננים בשלב הביצוע של המנהרות החדשות קידוחי סקר אופקיים מחזית הכרייה לכיוון המנהרות הקיימות, על מנת לאפיין מראש לכל אורך התוואי את התנאים הגיאוטכניים של עמוד הסלע המפריד ביניהן. איור 2 מתאר את החתכים הגיאולוגיים לאורך המנהרות החדשות.

במהלך הביצוע, כאשר לא הייתה בזמנו דרישה לאיטום ודיפון סופי. המנהרות החדשות מתוכננות כבר בהתאם לדרישות תנועתיות ומבניות מחמירות יותר, לפי חתך תנועתי תלת-נתיבי במפתח של 18 מ'. התימוך המתוכנן מבוסס על שתי שכבות - תימוך ראשוני (זמני למהלך הביצוע) הכולל שילוב של קשתות פלדה ו/או בורגי סלע עם בטון מותז בעובי משתנה, בהתאם לתנאים הגיאוטכניים הצפויים, ותימוך סופי הכולל יציקת בטון מזוין בעובי 35 ס"מ. מערכת האיטום המתוכננת מבוססת על יריעות גיאוטכניות להגנה וניקוז המים מהסלע, ועל גבן יריעות פלסטיות (P.V.C). שיפוץ ושדרוג המנהרות הקיימות, כולל יישום מערכת איטום ויציקת דיפון סופי. מפאת קוצר היריעה, המאמר ידון בעבודות הקשורות בכרייה ובתימוך המנהרות החדשות בלבד, ללא התייחסות לכריית המנהרות המקשרות, כריית מפרכי החירום ועבודות השיפוץ והשדרוג במנהרות הקיימות. היבטים אלה יסקרו בכתבות נפרדות.

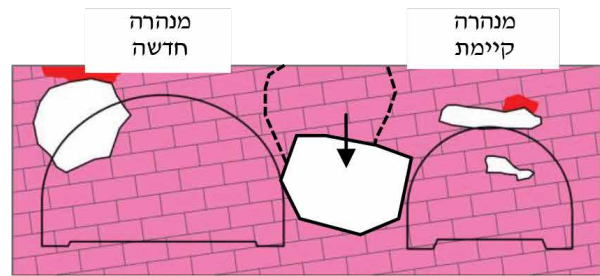




ב) נזק למנהרה הקיימת כתוצאה מעבודות הכרייה במנהרה החדשה



א) גלישת בלוקי סלע



ג) אי-יציבות כללית כתוצאה מהימצאות חללים קארסטיים

איור 3 - סיכונים גיאוטכניים במסת סלע משוכבת עם תופעות קארסטיות

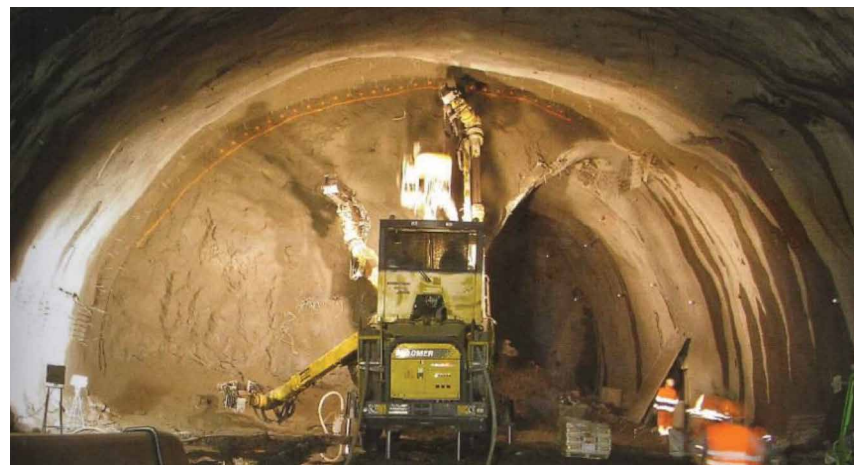
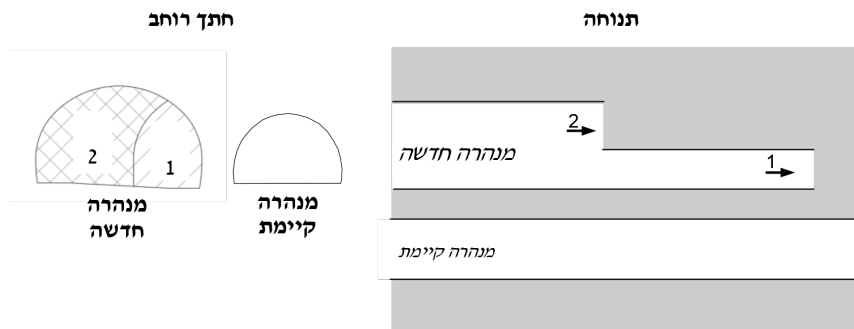
שאול ועמינדב 2) כרייה באזורי בלייה חרסיתיים וחוליים, המתאימה ליחידת המעבר.

נידוש לזהות את הסיכונים הגיאוטכניים האופייניים לסוגי המסלע, ובכך להתאים את מתודולוגיית הכרייה ואמצעי התימוך

כרייה במסת סלע משוכבת עם תופעות קארסטיות: ניסיון העבר מכריית המנהרות הקיימות ב-1993 והסקר הגיאוטכני הנוכחי מלמדים על מסת סלע משוכבת וסדוקה המתאפיינת בהימצאות מקרית של חללים קארסטיים ריקים ו/או מלאים בחומר חרסיתי ושברי אבן. איור 3 מתאר את הסיכונים הגיאוטכניים המתאימים למצב זה.

הדרישות אשר עולות ממצב גיאוטכני זה הן הגנה ומזעור הנזקים לאמצעי התימוך במנהרה הקיימת במהלך הכרייה של המנהרה החדשה, על מנת לאפשר המשך תנועה ללא הפרעה, וכמו כן הערכת מצב עמוד הסלע שבין המנהרות ונקיטת אמצעי תימוך כדוגמת בידוג צולב ו/או מילוי החללים הקארסטיים, כל זאת טרם כריית החזית המלאה. על כן, מתוכננת כריית חלוץ ותימוך בצד הצמוד למנהרה הקיימת, ולאחר מכן הרחבה לקבלת חתך מלא. איור 4 מתאר את שלביות הכרייה. חתך התימוך הנדרש הינו פרסה ואמצעי התימוך הראשוני הנדרשים הינם שילוב של קשתות פלדה או בורגי סלע עם בטון מותז בעובי משתנה בהתאם לתנאים הגיאוטכניים.

כרייה באזורי בלייה חרסיתיים וחוליים: ניסיון העבר מכריית המנהרות הקיימות

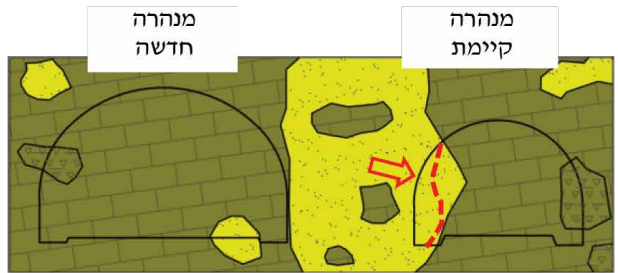


איור 4 - כרייה באמצעות חלוץ צמוד למנהרה הקיימת והרחבה

המנהרות הקיימות לחדשות, עד 3 מטרים. בכך, להתאים את מתודולוגיית הכרייה ואמצעי התימוך הראשוני והסופי. עבור פרויקט זה, ניתן לחלק את הסיכונים הגיאוטכניים לשתי קבוצות עיקריות: 1) כרייה במסת סלע משוכבת עם תופעות קארסטיות, המתאימה לתצורת כפר

התאמת מתודולוגיית הכרייה ושיטת התימוך לסיכונים הגיאוטכניים

במסגרת שלבי התכנון השונים נידרש לזהות את הסיכונים הגיאוטכניים האופייניים לסוגי המסלע שעלו בסקר הגיאוטכני, ושנובעים מהקרבה בין



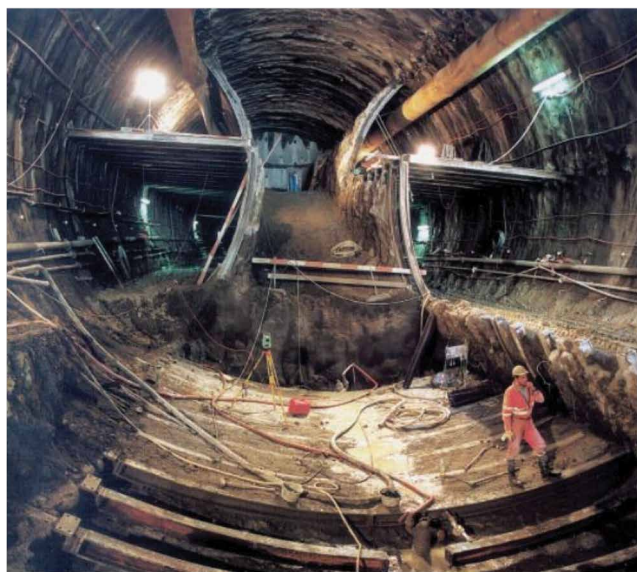
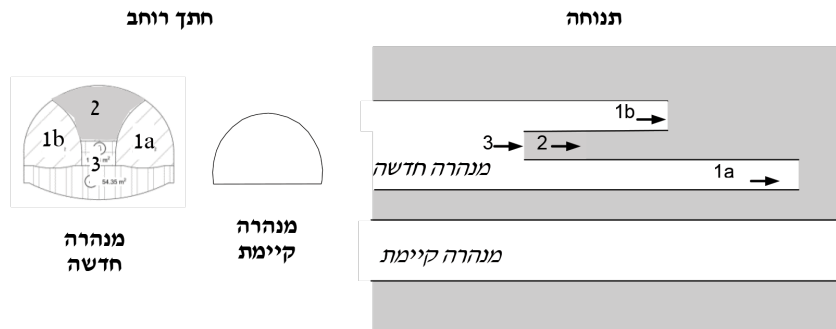
ג) נזק לתימוך המנהרה הקיימת כתוצאה מפירוס מאמצים על עמוד הסלע הרך, הנובע מכריית המנהרה החדשה

איור 5 - סיכונים גיאוטכניים באזורי בלייה חרסיתיים וחוליים

ב-1993 והסקר הנוכחי מלמדים על הימצאות בולדרים גדולים של דולומיט בתוך חומר חרסיתי ואבקתי אשר רגיש למגע מים, מסלע סדוק ביותר וחללים קארסטיים מקריים ריקים או מלאים בחרסית עם שברי אבן. איור 5 מתאר את הסיכונים הגיאוטכניים המתאימים למצב זה.

הדרישות אשר עולות מחצב גיאוטכני זה הגנה ומזעור הנזקים לאמצעי התימוך במנהרה הקיימת במהלך הכרייה של המנהרה החדשה

הדרישות אשר עולות ממצב גיאוטכני זה הן: (1) מזעור הדפורמציות והמאמצים המתפתחים סביב המנהרה הקיימת (2) יציבות היסוד של המנהרה החדשה (3) הגנה ומזעור הנזקים לאמצעי התימוך במנהרה הקיימת במהלך הכרייה של המנהרה החדשה על מנת לאפשר המשך תנועה ללא הפרעה (4) הערכת מצב עמוד הסלע שבין המנהרות ונקיטת אמצעי תימוך כדוגמת בירוג צולב ו/או מילוי החללים הקארסטיים, כל זאת טרם כריית החזית המלאה. על כן, מתוכננת כריית חלוץ ותימוך בצד הצמוד למנהרה הקיימת, לאחריו כריית חלוץ ותימוך בצד הרחוק למנהרה הקיימת, לאחריו כריית החלוץ המרכזי, לאחר מכן העמקה לקבלת חתך מלא. איור 6 מתאר את שלביות הכרייה. חתך הכרייה הנדרש הינו חתך סגור בעל קשת תחתונה ואמצעי התימוך הראשוני הנדרשים הינם שילוב של קשתות פלדה או בורגי סלע עם בטון



איור 6 - תיאור שלביות הכרייה באזורי בלייה חרסיתיים וחוליים: כריית חלוץ צמוד למנהרה הקיימת (1a בחתך הרחוב), לאחריו חלוץ רחוק מהמנהרה הקיימת (1b בחתך הרחוב), לאחריו חלוץ מרכזי (2 בחתך הרחוב), ולאחריו העמקה לקבלת חזית כרייה מלאה (3 בחתך הרחוב)



גשר כביש 60, הדמיה באדיבות חברת מוריה

*** דן צוקר - חבר איגוד, תא מנהור, ומנכ"ל חברת Pini Israel.** צוקר הוא מהנדס וגיאולוג ומתמחה בשבע השנים האחרונות בתכנון מנהרות. **Pini Israel היא חברת תכנון המתמחה בהנדסת מנהרות.** החברה מהווה שותפות בין גרושקו מהנדסי מבנים לבין Pini Swiss. מלבד פרויקט הרחבת מנהרות כביש 60, Pini Israel מעורבת בתכנון וייעוץ בכמה פרויקטי תחבורה ממונהרים מורכבים ביותר בכל שלבי התכנון והביצוע השונים.

כמה אלמנטים אשר מייחדים אותו לעומת פרויקטי מנהור אחרים שבוצעו בארץ בשנים האחרונות: (1) כרייה בצמוד למנהרות קיימות תוך אילוץ של אי-הפרעה להמשך התקין של התנועה בהן (2) תנאים גיאוטכניים קשים ביותר, אשר באו לידי ביטוי כבר בכריית המנהרות הקיימות (ב-1993) הקרבה בין צמד המנהרות. כל האלמנטים הנ"ל נלקחו בחשבון בעת תכנון מהלך הכרייה, שיטות הכרייה וקביעת אמצעי התימוך הראשוני והסופי. **הכתבה הבאה תעסוק בעבודות השדרוג המתוכננות במנהרות הקיימות**

מזתז בעובי משתנה בהתאם לתנאים הגיאוטכניים. קשת תחתונה מתוכננת גם לדיפון הסופי.

סיכום

במאמר זה תואר פרויקט הרחבת מנהרות כביש 60, על מורכבותו הגיאוטכנית וההנדסית. במסגרתו פורטו מתודולוגיית הכרייה ושיטת התימוך למנהרות החדשות, אשר נקבעו על בסיס ניתוח הסיכונים הגיאוטכניים הנובעים מהקרבה בין המנהרות הקיימות לחדשות (עד 3 מ') וממסלע האופייני. פרויקט זה מכיל



חברת פיגמנטופ מייצרת ומשווקת טיח אקרילי גמיש, טיח מינרלי וטיח יחודי לחדרים רטובים. מפעלנו ממוקם באזור התעשייה יד חנה והוא נושא תו תקן של מכון התקנים הישראלי ותו ISO. כל החומרים המיוצרים ע"י פיגמנטופ קיבלו הערכות ושבחים הן ע"י הקבלנים והטייחים והן ע"י בעלי הבתים. משרדי החברה, ההנהלה והעובדים ישמחו לעמוד לשרותכם, לייעץ ולתת מענה הולם לכל לקוח.



ייצור ושיווק טיח צבעוני



מכון התקנים הישראלי
אזור התעשייה יד חנה
טל: 09-8666602
נייד: 053-2235370
pigmentop@gmail.com
www.pigmentop.co.il