

55(569.4)WA

משרד האנרגיה והתשתית



26 JUN 1990

ARVARD 514
 GEORGE F. JOHNSON
 LIBRARY
 210 LING
 ST. BOSTON, MA 02116

הערכת גיאומורפולוגיה
 של יציבות נקבת ארסן הנציב

דניאל וקס עזרא זילברמן ארנון ארד

GSI/29/90

ירושלים, יוני 1990

הערכה גיאוהנדסית

של יציבות

ניקבת ארמון הנציב

דניאל וקס עזרא זיכברמן ארנון ארד

האגף לגיאולוגיה סביבתית והידרוגיאולוגיה

המכון הגיאולוגי, ירושלים

מסקנות והמלצות

1. פרט לאזור שהתמוטט (300-360 מטר) הניקבה יציבה במשך מאות שנים ויש להניח שיציבות זו תימשך גם בעתיד.
2. חפירה מחדש של האזור שהתמוטט תחייב תמיכה של התיקויה והקירות לכל אורך הקטע. חוזק סלע החוואר בקטע זה נמוך מאוד והוא שבור על ידי מישורי גזירה שלאורכם עשויה להתרחש תזוזה גם בעתיד, לאחר גשמים חזקים ו/או בזמן רעידת אדמה.
3. תיקרת הביניים שהשתמרה לאורך חלקים ניכרים מהניקבה אינה יציבה. יש לשקול את האפשרות להרסה ברוב המקומות, להוציא את הקטע שבין 163-172 מטר. בקטע זה חסרה תיקרת הסלע (לפי החתך שנעשה על ידי מלח"ם) וניראה שהתיקרה המלאכותית תומכת במפולת של התיקרה המקורית.
4. מיספר קטעים לאורך הניקבה שבהם הקירות בנויים מחומר מיכוי מלאכותי, אינם יציבים ויש לתמוך בהם ו/או להרסם.
5. באזורים בהם ניתקים גושי סלע מהקירות, יש לחזק את הקיר ע"י רשת או התזת בטון. התקנת עוגנים לרשת חייבת להעשות בזהירות על מנת שלא כפגוע ביציבות התיקרה או הקיר. יש להמנע מלהפיכ גושי סלע לא יציבים מאחר שהדבר יגרום לתגובת שרשרת.
6. כל פעולת ההריסה ו/או בנייה בניקבה חייבת להעשות במישנה זהירות על מנת שלא תיפגע יציבות התיקרה והקירות.
7. באזורים בהם יש סדקים (בתיקרה ו/או בקירות) יש לעקוב אחר תזוזות לאורך הסדקים. הוא הדין גם בתקרה המלאכותית (בגמלונים) באזור החווארי הדרומי. תזוזה של הלוחות עשויה להעיד על חוסר יציבות. מיכוי גבס בסדקים והדבקת זכוכית, הן שיטות מקובלות למעקב אחר תזוזה לאורך סדקים. מומלץ לעשות זאת בסדקים הפתוחים עוד בטרם מתחילים בעבודות השיפוץ.

8. המים העומדים על הקרקעית לא פוגעים ביציבות הניקבה עצמה אך עולים לערער את יציבות הקירות הבנויים חומר מילוי.

9. הניקבה חצובה בתצורת מנוחה המורכבת מקירטונים וחוארים לסרוגין. אנו מניחים שקיימת שונות רבה בהרכב המסלע ובעוצמת הסידוק לאורך הניקבה גם בקטעים בהם מוסתרים הקירות והתיקרה ע"י טיח או נדבכי אבן.

במצב דברים זה לא ניתן לקבוע בנודאות את יציבות הקטעים בהם המיסלע אינו חשוף. בהיטל האנכי הפרוש (שרטוט מס' 1), מצוינים ומקומות לאורך הניקבה שלגביהם יש התייחסות ספציפית בדו"ח.

כפי שצויין במסקנה מס' 1 אין סיבה להניח שהמצב שהיה קיים בניקבה לאורך זמן ישתנה בעתיד הקרוב באם יקפידו על ההמלצה בסעיף מס' 6. ההמלצה הניתנת בסעיף מס' 7 באה להבטיח שכל שינוי במצב הקיים יתגלה מיד.

ה ק ד מ ה

המכון הגיאולוגי התבקש ע"י הקרן לירושלים להגיש "חוות דעת גיאולוגית לניקבת ארמון הנציב". השאלות שהוצגו שלגביהן התבקשו תשובות הן:

- 1) מידת היציבות של הסלע לאורך הניקבה (תיקרות וקירות).
- 2) הנחיות באלו פעולות מומלץ לנקוט במקומות בהם הסלע אינו יציב
- 3) הערכת מקור המים בניקבה והשפעתו על יציבותה.
- 4) הערכת סיכונים כללית לניקבה והנחיות לפעולות "עשה" ו"אל תעשה".

בביצוע העבודה השתמשנו בהיטל אנכי פרוש של הניקבה שנעשה ע"י מלח"מ ב-1988 (שרטוט מס' 1). מצאנו שההיטל הנו מדוייק ואמין והוא הקל מאוד על עבודתנו. כמו כן נעזרנו בדו"ח ארכיאולוגי שהוכן ע"י דוד עמית ב-1989.

תאור הניקבה

הניקבה נמשכת לאורך של כ-400 מטר מתחת לרכס ארמון הנציב (הר העצה הרעה), החל מהמידרון הדרומי של כביש הכניסה לשכונת ארמון הנציב (ראה מפה, שרטוט מס' 2) ועד לאמצע המדרון הצפוני של הרכס עליו בנויה הטיילת. בתוואי הניקבה קטעים ישרים וקטעים מפותלים.

בשרטוט מס' 3 בו מוצג חתך דרך רכס ארמון הנציב ותוואי הניקבה, ניתן לראות שעומקה המירבי מתחת לפני השטח הוא כ-37 מ' והשיפוע הכללי שכרקעיתה הוא פחות ממעלה אחת.

גובה הניקבה (ריצפה עד תיקרה) כ-3 מ', אך במקומות אחדים גובהה קטן יותר כתוצאה מהצטברות מפולות או פסולת (מתחת לפירים) על הקרקעית. בחלק מהקטעים הניקבה מקורה ע"י תיקרה שנבנתה מאוחר יותר מתחת לתיקרת הסלע המקורית (תצלום מס' 1).

רוחב הניקבה בחלקה התחתון כחצי מטר ובחלקה העליון כמטר.

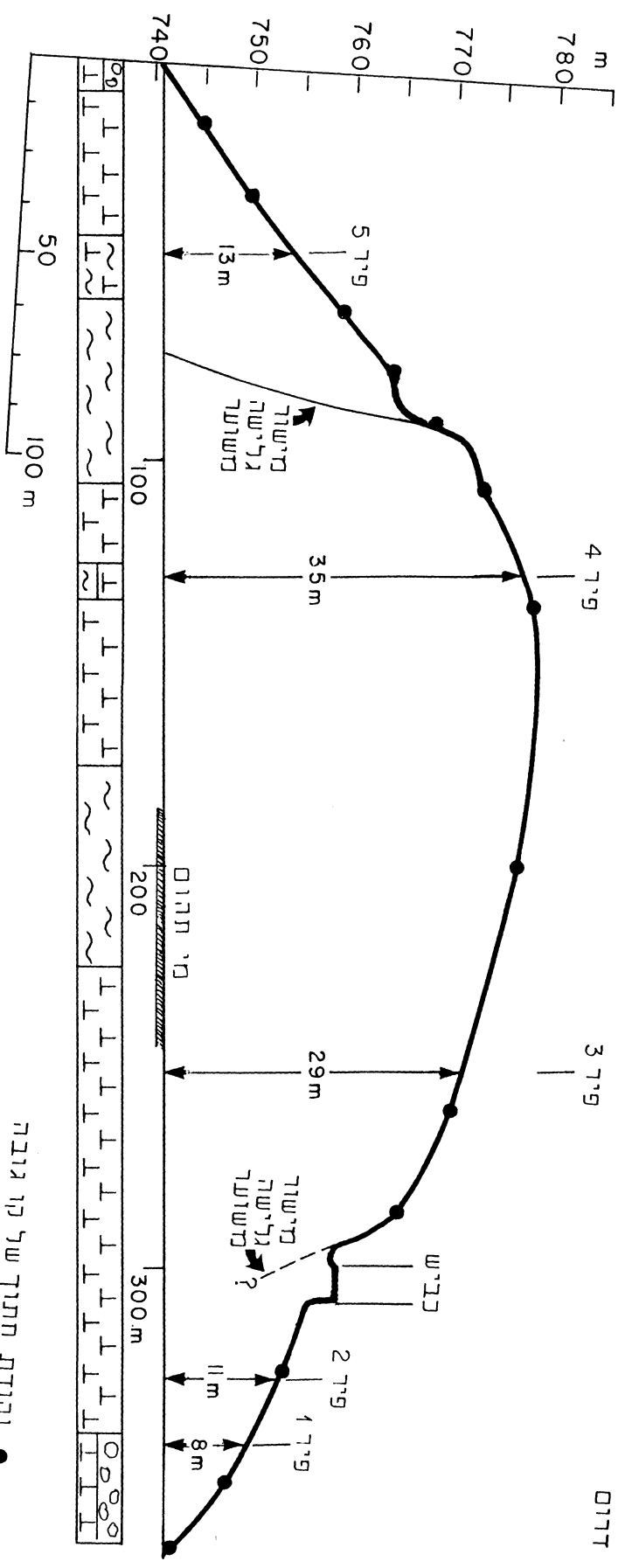
חתך אופיני בניקבה ניתן בדו"ח הארכיאולוגי של דוד עמית ומוצג כאן כשרטוט מס' 4.

כפי שניתן לראות בשרטוט מס' 1, מצויים לאורך הניקבה חמישה פירים. הפירים הם בעלי חתך קוני, רחבים למטה וצרים למעלה ודפנותיהם מצופות ע"י שיברי אבנים. רק שלושה מהפירים פתוחים אל פני השטח.

בקטע שאורכו כ-60 מטר מכוסה קרקעית הניקבה במים שעומקם המירבי כחצי מטר (שרטוט מס' 1).

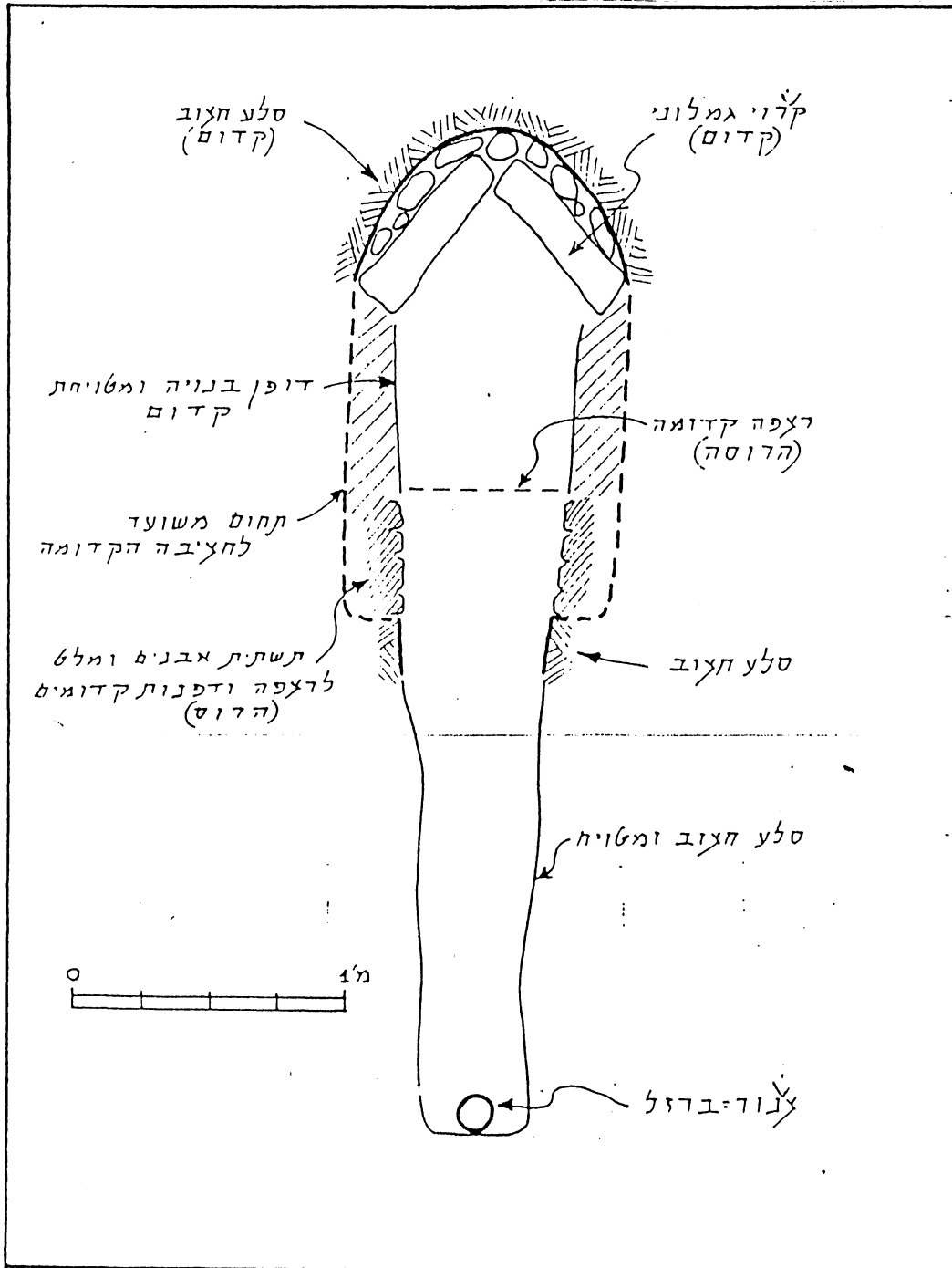
החלק התחתון של הניקבה משויח. הטיח מכסה סלע או תומך בחומר מיכוי בלתי מלוכד המצוי בינו לבין הסלע (תצלום מס' 2). בקטעים שונים לאורך הניקבה, הטיח לא עומד במאמץ וכתוצאה מכך הקיר, לרבות חומר המילוי,

שרטוט מס' 3



נקודת חתוך של קו גובה ●
 חוראק ~
 קרטון □





נוע י"ך

חתך במנהרת ארמון הנציב

שרטוט מס' 4

שוקע כלפי החלל הפנימי של הניקבה (תצלום מס' 3). תהליך זה גורם להקטנת רוחב הניקבה באזורים אלה עד לפחות מחצי מטר, ובחלק מהמקומות אף נפגע ציפוי הטיח כתוצאה מעוות הקירות.

תאור הסלע בו חצובה הניקבה

הניקבה חצובה בתצורת מנוחה, שהיא יחידה קירטונית המכילה שכבות חואריות בכמות משתנה. החשיפה של תצורת מנוחה באזור רכס ארמון הנציב הנה מעטה מאחר ומחשופיה מכוסים במעטה עבה (2-1 מ') של קלקריט (קרום גירי המתפתח בתהליכים פדוגניים על פני שטח המכוסים בקרקע). גג החתך של תצורת מנוחה חשוף כמה מאות מטרים מזרחית לניקבה שם הוא מורכב מקירטון ומעליו שיכבת פוספט. צור מאסיבי של תצורת מישש מונח על הפוספט ובונה את פסגת הגבעה עליה מוצבת האנטנה של האו"ם. באזור הניקבה שכבות הסלע אופקיות אם כי נראה שקיימים כמה קמטים מקומיים קטנים. החלק התחתון של תצורת מנוחה בו חצובה הניקבה, המורכב מחלופין של קירטון וחואר, אינו חשוף באזור ארמון הנציב. ניתן לראות מחשופים שלו לאורך הכביש החדש המקשר בין ירושלים למעלה אדומים. באזור זה החתך מכיל בנוסף לקירטונים גם שכבות חואר שעובין מטרים ספורים. במקומות רבים מסיטים שברים את שכבות הקירטון אל מול שכבות החואר. המופע החוארי של תצורת מנוחה אינו מוכר באזורים הנמצאים ממזרח לרכס הרי יהודה, בהם החתך של התצורה הנו קרטוני עם שתי שכבות צור דק (הצור הכפול) (כוז, 1970, שטייניץ, 1974). בעבודות בהן תוארה תצורת מנוחה באזור ירושלים (ישראלי, 1977; כוז, 1970) לא נמצא המופע החוארי של תצורת מנוחה באגף המזרחי של רכס הרי יהודה, כנראה עקב מיעוט המחשופים וכיסוי הקלקריט.

תכונות הנדסיות של סלעי תצורת מנוחה

הנתונים ההנדסיים שאימץ דו"ח זה נלקחו מהספרות. לא נדגמו סלעי הניקבה לצורך בדיקת תכונותיהן המכניות, מאחר והרכב והטקסטורה של הסלע משתנים מאוד ממקום למקום ולא ניתן להשתמש בדוגמאות מייצגות. כמו כן במקומות רבים הסלע מכוסה ע"י שיכבת טיח. מסיבות אלה הוחלט להסתפק בנתונים המופיעים בספרות בשתי עבודות: ישראלי (1977), בעבודתו על תצורת מנוחה באזור ירושלים, מצא שחוזק סלע הקירטון כלחיצה הוא 260-60 ק"ג/סמ"ר והחוזק למתיחה הוא פחות מ- 30 ק"ג/סמ"ר.

פלכסר (1989) מצא שהחוזק כלחיצה של סלע הקירטון הוא 203-41 ק"ג/סמ"ר ולמתיחה 26-4 ק"ג/סמ"ר.

בשני המיקרים טווח הערכים רחב מאוד כתוצאה מהרכב ההטרוגני של סלעי התצורה. הערכים נמדדו בסלעי קירטון בכבד והם עשויים להיות אף נמוכים מ-60 ק"ג/סמ"ר לגבי החווארים.

גורם נוסף המשפיע על חוזק הסלע הוא אופי הסידוק וצפיפותו. לפי פלכסר (1989), המרחק הממוצע בין הסדקים בתצורת מנוחה הוא 50-100 סמ'. מהירות גלי הדחיסה בגלישות שארעו במדרונות הר הזיתים הבנויים מתצורת מנוחה, היא כ-1800 מטר/שניה. מהירות זאת הנה אופיינית לקירטון ומצביעה על כך שתהליך הגלישה לא היה מלווה בפתיחת הסידוק הקיים בסלע.

עם זאת, במקומות אחדים בניקבה קיימים בסלעי תצורת מנוחה אזורים בהם הסלע מרוסק ושבריו מעורבים עם קרקע אדמדמה. תופעה זו קיימת בעיקר לאורך סדקים שנפתחו וכן ברצועות גזירה שנוצרו לאורך מישורי גלישה קדומים. באזורי ריסוק אלה נמוך החוזק המכני של הסלע מזה של שאר המקומות, כולל האזורים הסדוקים בצפיפות.

ישראלי (1972), מתאר חללים קארסטיים בתוך תצורת מנוחה, אך בדיקות בשדה העלו שחללים קיימים רק מתחת לשיכבת הקלקריט הקשה המצפה את המדרונות ולא בקירטון עצמו. חללים אלה נוצרו כתוצאה מהבדלי הקושי בין סלע הקירטון הרך הניסחף בקלות, ובין ציפוי הקלקריט הקשה.

יציבות מדרונות ברכס ארמון הנציב

ניתן לאתר תופעות המעידות על חוסר יציבות של מדרון בעזרת ניתוח שינויים מורפולוגיים המלווים את פרופיל המדרון.

תופעות של גלישה ניוון לזהות בעזרת שני מאפיינים מרפולוגיים: 1. צלקת הגלישה, המייצגת את חלקו העליון של מישור הניתוק של הגוש הגלש והמופיעה כמצוק על פני המדרון. 2. מדרגת הגלישה שנוצרה על ידי הרוטציה של הגוש שגלש סביב ציר אופקי ומאפיין אותה שיפוע המתון משיפועו של המדרון. בדרך כלל מנוצלות מדרגות הגלישה לזקלאות או לבניה.

ריבוי תופעות גלישה לאורך מדרונות מסויימים מעיד על כך שהמסלע ממנו בנוי הרכס מכיל שיכבה או שכבות של סלעים בעלי חוזק מכני נמוך, היכולים לשמש לובריקנט עליו מתרחש תהליך הגלישה. בדרך כלל אלה שכבות עשירות בחרסית הנוטות לדפורמציה פלסטית כאשר הן רוויות במים או נתונות למאמץ.

תופעות נוספות המעידות על חוסר יציבות של המדרון הן זחילות הקרקע. זהו תהליך בו משתף בדרך כלל כסוי הבליית שעל המדרון המורכב מקרקע או קולוביום. ניתן לאתר תהליך זה בעזרת הצלקות והמדרגות הקטנות שהוא יוצר על פני המדרון (שממדיהן אינו עולה בדרך כלל על 0.2-0.5 מ'), ובעזרת זווית הנטייה של עצים הגדלים באזור בו מתרוש התהליך. למרות שתהליך זה מוגבל למעטה הבליית של המדרון, הוא יכול להצביע על

חוסר יציבות של המדרון עצמו ועל תהליך איטי של תזוזה המשפיע על כסוי הבליט.

במידרון הצפוני של רכס ארמון הנציב מרובות צלקות של גלישות סלע וקרקע קדומות, חלקן בממדים גדולים. מפוי מפורט של הגלישות נעשה באזור על ידי וקס ולוויטה (1983), אשר מציינים שהמידרון הצפוני של רכס ארמון הנציב אינו יציב ועלולות להתרחש בו גלישות סלע וקרקע, בעיקר בזמן רעידת אדמה.

עדויות לחוסר יציבותו של המדרון ולקיומם של תהליכי זחילה איטיים לאורכו נתן כראות בטיילת החדשה, בה ניבעו סדקים זמן קצר לאחר הקמתה. קיימות עדויות לזחילה של פני המדרון ממזרח לטיילת, שם ניצפו הטיות של עצים ותופעונו של זחילת קרקע.

גלישות קרקע וסלע קדומות מובחנות גם במדרון הדרומי של הרכס לאורך כביש הכניסה לשכונת ארמון הנציב, העובר לרגלי צלקת גדולה של גלישה קדומה.

לא ניתן לקבוע את מיקומם המדויק של מישורי הגלישה בתת-הקרקע מאחר והם בעלי תוואי קשתי. לכן, למרות שצלקות גלישה מצויות במדרונות רכס ארמון הנציב, אין ודאות שמישורי הגלישות חוצים את תוואי הניקבה.

סקר יציבות לאורך הניקבה

הניתוח הגיאולוגי הנדסי של הניקבה מתייחס בעיקר לסלע במקומו הטבעי, כלומר לסלע החצוב. בניתוח האספקטיים ההנדסיים של הניקבה יש להתיחס גם להיבטים הקשורים לאלמנטים הבנויים והם: תיקרת ביניים, לוחות ציפוי בתיקרה, קירות המילוי המלאכותיים והמכוסים בטיח וקירות האבן בפירים.

יציבות המסלע

כפי שצויין מקודם, מורכב חלקה העליון של תצורת מנוחה באגף המזרחי של רכס הרי יהודה באזור ירושלים, מחלופים של קירטון וחואר. הרכב זה מאפיין גם את רכס ארמון הנציב בו חצובה הניקבה, אשר לאורכה מופיעים לסרוגין סלעי קירטון וסלעי חואר.

מאחר וחלק ניכר מקירות הניקבה מכוסה ע"י טיח, נעשה זהוי הסלע בעיקר על פי הסלע המופיע בתיקרה. קיים קושי בכך מאחר שורכב הסלע הבונה את התיקרה אינו זהה תמיד לזה ממנו בנויים הקירות. במספר מקומות בניקבה נעשתה החציבה בשיכבה חוארית כאשר הקירטון הקשה יותר מהווה את הגג.

בשני קטעים חצובה הניקבה בחואר (ראה שרטוט מס' 1): הקטע הזרומי נמצא בין 160 מ' ל-220 מ' ובו התיקרה נתמכת ע"י גמלונים. במטר ה-198 ישנה התמוטטות של התיקרה. על פי ההיטל האנכי שבוצע ע"י מכח"מ נראה שגם בקטע שבין 162 ל-172 מ' התמוטטה התיקרה.

הקטע הצפוני נמצא בין 295 מ' ל-355 מ' (בקירבת הקצה הצפוני של הניקבה), ולאורכו התמוטטה הניקבה במספר מקומות ועד לאחריונה הייתה חסומה למעבר. פרט לסלע החוארי מופיע בקטע זה גם סלע קירטוני-חוארי שבור ומרוסק שמופיעים בו מישורי גזירה רבים. בשני מקומות בקטע זה, נמצאה קרקע שמקורה כנראה בפני השטח העליונים של המידרון. נראה שאזורי ריסוק אלה מייצגים מישורי שבירה והחלקה של גלישה קדומה.

בשרטוט מס' 3 נעשה נסיון לקבוע את מקומו של מישור ההחלקה בהסתמך על מיקומו בניקבה ועל מיקום צלקת גלישה גדולה בחלקו העליון של המידרון. נראה לנו שהתמוטטות הניקבה בקטע זה נגרמה לא רק עקב חוזקו המכני הנמוך של הסלע החוארי, אלא בעיקר עקב קיומה של רצועת סלע מרוסק שנוצר לאורך מישור ההחלקה של גלישה קדומה. יתכן ותזוזות קטנות לאורך מישור זה ערערו את יציבות התיקרה וזאיצו את תהליך ההתמוטטות.

בשני קטעים אלה בהם בנויה גם התיקרה מסלע חווארי, היא נתמכת ע"י לוחות סלע (גמלונים). תמיכה כזאת מאפיינת גם את הכניסה והיציאה לניקבה שבהם התיקרה מנאכותית (כיטוי תעלה פתוחה בגג). במקומות בהם חשופה התיקרה המקורית של הניקבה, היא בנויה מקירטון. מכאן ניתן להסיק שיתכן שהקטעים הנוספים בהם מקורה הניקבה על ידי גמלונים חצובים בסלע חווארי. יש להניח שתיקרה זאת נבנתה במקומות בהם הסלע היה בעל חוזק מכני נמוך והיה צורך להגן על הניקבה מהתמוטטות.

נתוני החוזק לכחיצה של הקירטונים בתצורת מנוחה, מצביעים על כך שגם במקום העמוק ביותר בו עוברת הניקבה, העומס על התיקרה והקירות קטן בסדר גודל מהעומס המכסימלי שהם יכולים לשאת. חישובים אלה נתמכים על ידי תקופת הזמן הארוכה בה יציבים קטעי הניקבה החצובים בקירטון.

בקטעי הניקבה בהם הסלע הוא חווארי המצב שונה מאחר והחוואר הוא בעל חוזק לכחיצה נמוך מזה של סלעי הקירטון. יכולתו לשאת את התיקרה מוטלת בספק ועובדה זאת הייתה ידועה למתכנני הניקבה שתמכו את התיקרה בקטעים החוואריים בגמלונים. למרות שציפוי הגמלונים אינו מאפשר את בדיקת התיקרה באזורים המחופים, נראה שהם ממלאים את תפקידם ביעילות. רק בקטע החווארי הצפוני התמוטטה התיקרה בעוד ששאר הקטעים בהם נבנוה התמיכה נשאו ברובם יציבים.

הקירות המטוייחים

קירות הניקבה מכוסים ע"י טיח המסתיר מאחוריו את הסלע המקורי וכן מילוי גולאכותי (תצלום מס' 2). ברוב המקומות בהם הטיח מכסה את הסלע המקורי, הקיר יציב. מצפון לפיר מס' 2 בצד המזרחי של הניקבה, הקיר אינו יציב וגושי סלע עלולים ליפול ממנו, אך אין בכך בכדי לסכן את יציבות הניקבה. מצב דומה קיים גם מדרום לפיר מס' 4 וכן בעוד מספר מקומות המסומנים בשיטוט מס' 1.

בעוד שבמקומות שבהם הטיח מכסה סלע הקירות בדרך כלל יציבים, באזורים בהם הטיח מכסה ותומך בחומר המילוי המלאכותי (תצלום מס' 2) ישנה נטייה לחוסר יציבות.

מספר אזורים בהם קירות המילוי בלתי יציבים אובחנו לאורך הניקבה. הקיר המערבי בקטע שמזרזם לפיר מס' 3, במקום בו נשמר הצינור ותורכי העשוי חרס, אינו יציב (תצלום מס' 4). מצפון לפיר מס' 5, הקיר המערבי בלתי יציב (מקומות אלה מטומנים בשרטוט מס' 1). מקומות בהם ישנה נטייה הפוכה של הקירות (הקיד בחלקו העליון פונה פנימה לתוך הניקבה) גם הם אינם יציבים. מקומות בהם המעבר בין שני הקירות הוא צר במיוחד עשויים גם כן להעיד על תזוזה של המילוי לעבר חלל הניקבה.

יש להדגיש שחוסר היציבות המאפיין את קירות המילוי אינו מעיד בהכרח על העדר יציבות בקיר הסלע שמאחוריהם. גורם אפשרי לסידוק ותזוזה של הטיח באזורים אלה הוא ניתוק בין המילוי לקיר הסלע עליו הוא נשען, או התמוטטות חלקים רופפים מהקיר אליהם מחובר הטיח, כפי שניצפה באזור בו עובר צינור החיס וזתורכי.

תיקרת הביניים

שרידי תיקרת הביניים נותרו שלמים רק לאורך קטעים בודדים. במקומות רבים בסיס התיקרה גלוי (תצלום מס' 5). התיקרה בלתי יציבה ומסוכנת. במקומות בהם בסיס תיקרת הביניים נשמר שלם, לא ניתן לקבוע על סמך הסתכלות בלבד באם היא יציבה ומומלץ לבצע בדיקות הענסה על מנת לקבוע את יציבותה.

סידוק

סידוק מופיע בתיקרת הניקבה לכל אורכה. בקטע אחד מצפון לפיר מס' 4 (בין 280 ל-290 מטר) הסדקים פתוחים. אמנם אין עדויות להתמוטטות גושי סלע מהתיקרה באזור זה, אך יתכן ופתיחת הסדקים נמשכת גם עתה. אם כי

ידוע שבעבר נוצלו סדקים פתוחים לצרכי חפירת מנהרות, אין בידינו עדויות לכך שתוואי הניקבה עוקב אחרי מערכות סידוק.

המים בניקבה

בקטע שבין 144 ל-205 מ', מוצפת ריצפת הניקבה במים שעומקם המירבי כ-חצי מ'. באזור בו נקווים המים, נמצאו משקעי טרוורטין הנצפים את התיקרה והקירות של הניקבה, המעידים שמקור המים נמצא מעל הניקבה. באנליזה כימית שנעשתה לדוגמת מים שנלקחה מקרקעית הניקבה נמצא שריכוז הכלור במים הוא 60-700 PPM וריכוז הפלואור 3 PPM. ריכוז הכלור מאפיין את מי התהום בירושלים בעוד שריכוז הפלואור עולה בהרבה על זה של מי התהום באזור שהוא 20-300 PPB. המקור לכמות הפלואור הגדולה היא ככל הנראה שיכבת הפוספט המצויה כאן בגג ונצורת מנווה. ההיכל והכימי של המים והופעת הטרורטין בגג הניקבה, מעידים שמקור המים הוא טבעי (מי תהום) והוא פעיל במשך תקופה ארוכה. ייתכן שהמים מצטברים בקטע זה כתוצאה מהתמוטטות תיקות הביניים וקודם לכך הם התנקזו צפונה.

למים כמעט ואין השפעה על הקיר החצוב ולכן אין הם פוגעים ביציבות הניקבה. עם זאת, כאשר הקיר עשוי ממילוי מלאכותי, המים בבסיס עולים לערער את יציבותו. באזור בו עומזים מים על קרקעית הניקבה ישנם מספר מקומות בהם השיח סדוק ושביר.

דין

לא ניתן לקבוע בנודאות את מידת היציבות של הניקבה עקב ההטרוגניות הרבה של הסלע, תופעות הסידוק והריסוק וכיסוי הטלע על ידי הטיח והתיקרה המלאכותית.

המעברים בין חוואר לקירטון שניצפו לאורך תוואי הניקבה מעוררים בעייה. בכביש מעלה אדומים, בו חשוף חלק זה של החתך, קיימת רציפות של השכבות הקירטוניות וזחוואריות, פרט לאותם מקומות בהם קיימת הטטה לאורך שברים. למרות שבניקבה לא נמצאו עדויות ברורות לקיומם של שברים באזורי המעבר בין החוואר לקירטון, יש לקחת בחשבון אפשרות לקיומם. יתכן ועקב התכונות הפלסטיות של הטלעים, נקשה לאתר את מישור השבר ויש לראות את העדות לקיומו בסידוק הצפוף ובמישורי הגזירה הקטנים שנמצאו באזורי המעבר בין הקירטון לחוואר.

מאחר ומערכות הסידוק בסלע הקירטוני סגורות, כפי שניתן ללמוד הן ממחשופים בתוך הניקבה והן מתוך מדידת הנחירות של גלי הדחיסה בנזכר, ניתן לקבל את תוצאות החישובים המראים שסלע הקירטון עמיד למערכת הלוצים בזמן נתונה הניקבה. זאת, למרות שהנתונים עליהם מבוססים חישובים אלה נתקבלו במעבדה או במדידת שדה של שטחים מצומצמים.

למרות שהחישובים מראים שבסלע חווארי אין הניקבה יציבה, נראה לנו שהיא תישמר במצבה הנוכחי כל עוד הסלע החווארי נתמך ע"י לוחות הטלע (גמלונים). העובדה שזתיקרה בקטע זה מחזיקה מעמד מאות רבות של שנים מעידה שהסלע נתון למאמצים הקטנים מיכולת הנשיאה של הגמלונים וטביר להניח שהמצב הנוכחי ימשך גם בעתיד בוננאי שלא יופר ע"י עבודות הכשרת הניקבה. לכן יש לתקן קטעים בהם נפגעו לוחות הטלע התומכים את התיקרה על מנת להבטיח את יציבותה.

קירות המילוי שבצידי הניקבה ושרידי תיקרת הביניים, אינם יציבים. אלה נבנו מאוחר יותר ובמקומות רבים הם התמוטטו ו/או מראים סימני חולשה.

ההתמוטטות בקטע הצפוני נגרמה עקב מישורי גלישה הוורציות את תוואי התעלה. בנוסף לבעייה שמעורר חוזקו הנמכני הנמוך של הסלע הנרוסק בו חצובה הניקבה בקטע זה, קיימת כאן סכנה של חידוש תזוזת המזרון לאורך מישור הגלישה הקדום. הקטע החווארי הדרומי בו אין מישורי גלישה נשאר ברובו יציב.

ס ו כ ם

1) הניקבה חצובה בסלעי תצרות מנוחה. הרכב הסלעים באתר הוא קירטוני-חווארי עם מעברים ליתולוגיים ביניהם. המדרונות משני צידי הרכס אינם יציבים ומבחינים בהם בגלישות קדומות וזחילות צעירות. כמו כן, באזור בו חוצה הניקבה את ההר ישנן צלקות גדולות של גלישות.

2) הרכב הסלעים בניקבה (תיקרה וקירות) אינו אחיד. רוחב הניקבה משתנה לאורכה ולא בכל מקום סלעי התיקרה והקירות גלויים. בנסיבות אלו לא ניתן לקבוע בודאות את מידת יציבות הניקבה בכל קטע וקטע ואנו נדרשים להסתמך על עדויות נסיבתיות בקביעת מידת היציבות של הניקבה.

3) בהסתמך על פרק הזמן הארוך (מאות רבות של שנים) שבו קיימת הניקבה, סביר להניח שהאזורים שנותרו שכמים עד עתה ימשיכו להיות יציבים גם בעתיד הנראה לעין. זאת בתנאי שישמר המצב הנוכחי ושבזמן עבודות השיפוץ לא יפגעו במצב הקיים.

4) למרות האמור בסעיף (1), חצובה הניקבה בקטעים רבים בתוך סלעי חוואר ו/או חוואר קירטוני. בקטעים בהם התיקרה בנויה מסלע חוואר ו/או חוואר-קירטוני, היא אינה יציבה. קטעים אלה כרוב אינם חשופים מאחר והם מחופים ע"י לוחות אבן (גמלונים).

5) במספר אזורים הקירטון שבתיקרת הניקבה סדוק. חלק מהסדקים פתוחים. התיקרה הישתמורה למרות היותה סדוקה ומכאן ניתן להניח שהיא יציבה גם היום. במקומות בהם ישנם סדקים פתוחים יש לעקוב אחר תזוזות לאורך הסדקים. תזוזות עשויות להעיד על עיוור יציבות תיקרת הניקבה. תזוזות של לוחות האבן (הגמלונים) גם כן עשויות להעיד על העדר יציבות התיקרה ולכן יש לעקוב גם אחריהן.

6) בכמה מקומות, הסלע הקירטוני-חווארי בקירות הניקבה סדוק ולא יציב. באזורים אלה תיתכן נפילת גושי סלע לונוך חלל הניקבה אך לא קיימת סכנה להתמוטטות תיקרת הניקבה עקב כך.

7) הקטע החווארי הצפוני של הניקבה חוצה רצועה של סלע מרוסק שהיא כנראה המשכה של מישור גלישה המופיע על פני השטח. בקטע זה התמוטטה הניקבה כתוצאה מהחוזק המכני הנמוך של הסלע החווארי המרוסק. באזור זה עשויות להתרחש תזוזות גם בעתיד ובביצוע החפירה והתמיכה יהיה צורך להתחשב באפשרות זו.

8) המים על קרקעית הניקבה הם מי תהום. באזור בו מופיעים מי התהום נמצאו משקעי טרוורטין על תיקרת וניקבה וקירותיה. מי התהום לא פוגעים ביציבות קירות הסלע או הניקבה, אך עשויים לפגוע ביציבות המילוי המלאכותי, המכוסה ונתמך ע"י שיכבת טיח דקה יחסית.

9) תיקרת וזניניים) ברובה אינה שלמה ואינה יציבה. היא לא עמדה במבחן הזמן, רובה חסר והנותל ברובו אינו יציב. באותם הקטעים בהם היא נשמרה שלמה אין בכך להעיד על יציבותה. בעתיד יהיה צורך לקבוע אם ישנם מקומות בהם התיקרה יציבה ומה יש לעשות במקומות בהם היא מהווה סכנה.

10) הפירים לא נבדקו מקרוב. הם נותרו שלמים וניתן להניח שיציבותם תמשך גם בעתיד. למרות שנראה שכיסוי האבן בקירות הפירים השתמר היטב, לא ניתן לקבוע בביטחון מלא שבעתיד לא תיפולנה אבנים מפניו ויש לעקוב אחר שינויים ביציבות ציפוי האבנים.

11) לאורך הניקבה הקירות מכוסים בטיח. הטיח מכסה גם על סלע וגם על מיילוי מלאכותי. המיילוי המלאכותי אינו יציב ובמקומות אחרים הוא התמוטט או מצוי בשלבי התמוטטות ראשוניים. באותם המקומות בהם הקיר מכוסה בטיח והוא בעל נטיה הפוכה (חלל הניקבה באזור המטויח נעשה צר כלפי מטה), סדוק ו/או גולש פנימה (הניקבה צרה מאוד) קיים סיכון להתמוטטות חומר המיילוי.

12) תזוזות בעתיד לאורך סדקים או של לוחות סלע (הגמלונים) עשויות להעיד על שינוי במצב סטטי קיים ולהוות התרעה בפני התמוטטות. מסיבה זו מומלץ לקיים מעקב תמידי בניקבה ע"י יציקת גבס אם/ובלי זכוכית בסדקים הפתוחים. מצפון לציר מט' 4 ישנם סדקים פגועים והנאמר לעיל מתייחס לאזור זה במיוחד אך גם לאזורים אחרים.

13) בהיטל האנכי הפרוש (שרטוט מט' 1) מצויינים כל המקומות בהם יש התייחסות בדו"ח לבעיות הקשורות ביציבות הניקבה, התיקרה והקירות.

מקורות

וקס ד., לויטה ד., 1983: יציבות מידרונות וטיכונני רעידות אדמה
בירושלים. דו"ח המכון הגיאולוגי גס/2/83.

ישראלי ע., 1977: גפה גיאוטכנית של ירושלים וסביבותיה. דו"ח
המכון הגיאולוגי ממ/12/77.

לוז ב., 1970: ביוסטרטיגרפיה וחשיבות מטפרית של מאספי
מיקרופאונה בקירטון העליון של מידבר יהודה. עבודת גמר לתואר מוסמך,
האוניברסיטה העברית, ירושלים

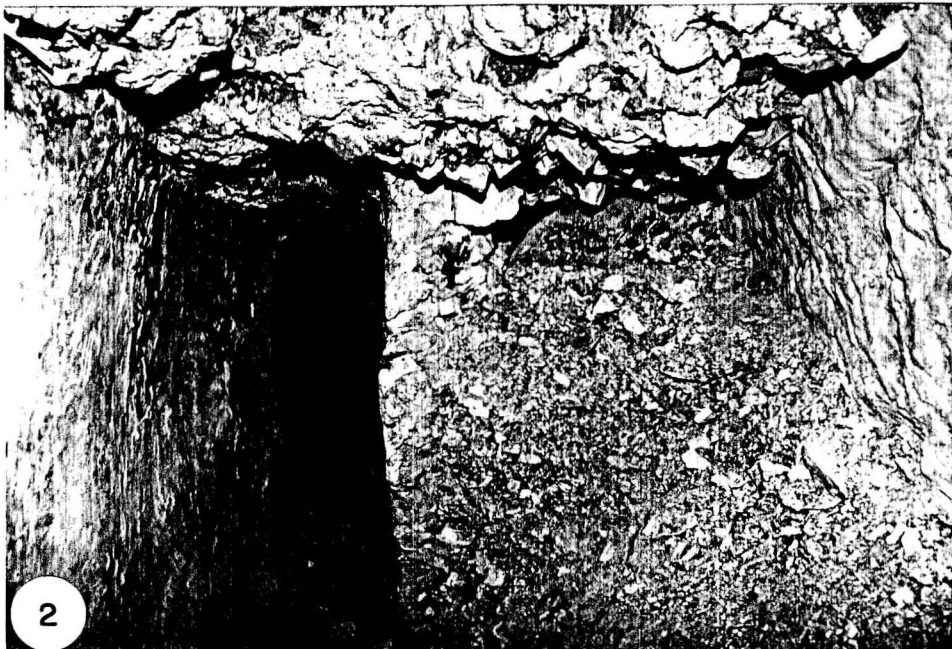
שטייניץ ג., 1974: הסטרקטורות הדפורמטיביות בשכבות הצור
הסנוני של ארץ ישראל. עבודת דוקטור, האוניברסיטה העברית, ירושלים.

Flexer, A. et al., 1989: Geology, geotechnical properties
and exploitation of chalk in Israel - an overview.
International Chalk Symposium. Thomas Telford, London



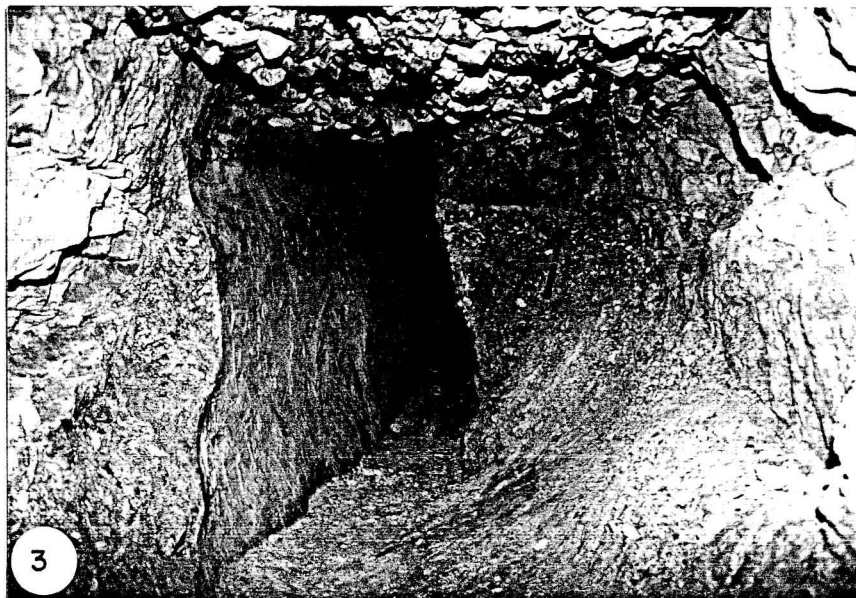
שרידי תיקרת הביניים המפרידה בין שתי קומות המנהרה.

בצד הימני של המנהרה, מתחת לתיקרה, ניתן להבחין בחומר המילוי הנתמך ע"י הטיח המכסה את הקיר. גם הקיר השמאלי מכוסה ע"י טיח.



מבט מקרוב על התיקרה וחומר המילוי המלאכותי שבקירות הנתמך ע"י טיח

התיקרה היתה מכוסה בטיח שהתמוטט והיא אינה יציבה במקום זה



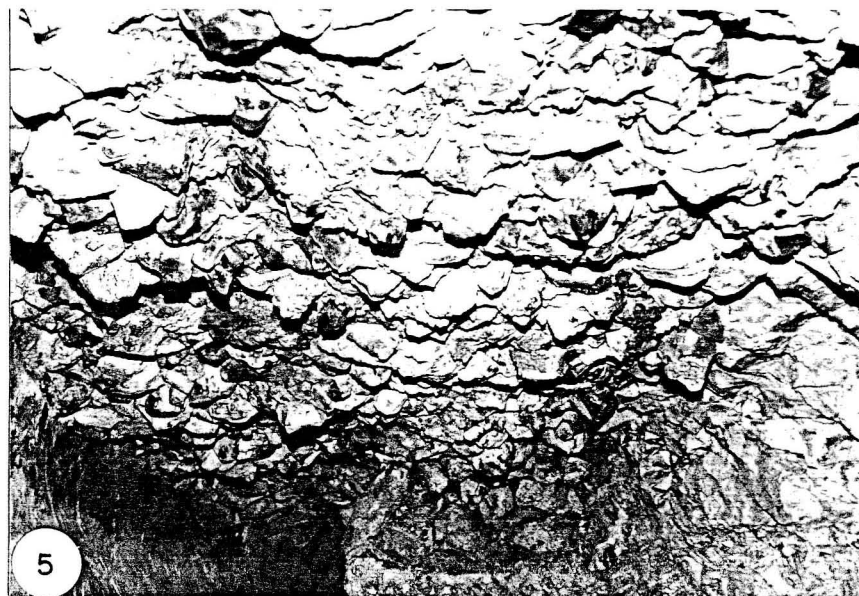
חומר המילכוי באזור בלתי יציב של המנהרה.

בחזית התמונה התמוטט חומר המילכוי והתגלו קירות הסלע. ניתן לראות דפורמציה בטיח הנגרמת ע"י כחץ של חומר המילכוי הניתק מקיר הסלע. הטיח שציפה את תיקרת הביניים התמוטט גם כן והתיקרה אינה יציבה.



מבט מהקומה העליונה של המנהרה

במקום זה חסרה תיקרת הביניים (עקב התמוטטות). מערכת האמה עם צינור החרס (בצד ימין), מתמוטטים כלפי מרכז המנהרה יחד עם חומר המילכוי שניתק מהקירות.



מבט אל תחתית תיקרת הביניים

הטיח שציפה את התיקרה התמוטט ונחשפה תשתית האבן. במקום זה התיקרה אינה יציבה.

