

**אוניברסיטת בן-גוריון בנגב**

**הפקולטה למדעי הטבע**

**המחלקה לגיאולוגיה ומינרלוגיה**

**התאמת שיטות סיווג אמפיריות של מאסות**

**סלע (Q, RMR) למנהור במסלע משוכב.**

**לקחים ממנהרת גילה, ירושלים.**

**חיבור לצורך קבלת תואר "מגיסטר" בפקולטה למדעי הטבע**

**מאת: אהוד גביש**

**01.01.1997**

**כ"ב בטבת תשנ"ז**

# התאמת שיטות סיווג אמפיריות של מאסות

סלע (Q, RMR) למנהור במסלע משוכב.

לקחים ממנהרת גילה, ירושלים.

חיבור לצורך קבלת תואר "מגיסטר" בפקולטה למדעי הטבע

מאת: אהוד גביש

מנחים: ד"ר יוסף חודרה חצור, אוניברסיטת בן-גוריון בנגב

ד"ר יעקב ארקין, המכון הגיאולוגי, ירושלים

המחלקה לגיאולוגיה ומינרלוגיה

הפקולטה למדעי הטבע

אוניברסיטת בן-גוריון בנגב

תאריך: 05/01/1997

תאריך: 5/1/97

תאריך: 26/1/97

תאריך: 5.1.98

חתימת המחבר:

אישור המנחים:

אישור יו"ר הועדה המחלקתית:

## לרעייתני טל

## תקציר

מנהרת גילה הארוכה שימשה לבדיקת התאמת שיטות הסיווג למאסת סלע Q (Barton 1974)

1 - RMR (Bieniawski 1974) למאסת סלע קרבונית משוכבת ולא אחידה. אתר המנהר נמצא בדרום ירושלים והכרייה בוצעה בתצורת עמינדב וביחידת המעבר אשר נמצאת בין חוואר מוצא ודולומיט עמינדב בחתך של הקרטיקון העליון. תוצאות הסקר הראשוני שנערך באזור בהסתמך על חמישה קידוחים ומיפוי מחשופים קרובים נתן טווח ערכים מצומצם אשר לא תאם את המציאות שהתגלתה בפועל תוך כדי הכרייה. יחידת המעבר בין תצורת עמינדב לחוואר מוצא מכילה חומר קומפטנטי המוקף בחומר רך דולומיט "אבקתי", גודל גרגר של סילט עד חול דק. הנתונים הגיאומכניים של הדולומיט האבקתי והדולומיט המאסיבי מצביעים על הבדל של עד שלושה סדרי גודל בקוהזיה (27 kPa ו-32 MPa) והבדלים ניכרים בחוזק הלחיצה החד צירי. שילוב זה של דולומיט מאסיבי ודולומיט אבקתי בנוסף לתופעות של בליה, קארסט וחופעת חרסיות גרם בעיה בסיווג יחידת המעבר באמצעות שיטות הסיווג Q ו- RMR. הקידוחים שנעשו לא הצליחו להבחין בהטרוגניות הרבה של יחידת המעבר. הערכים אשר התקבלו לאזור הדרומי של המנהרה (יחידת המעבר) היו גבוהים בהרבה ממה שהתגלה במציאות בעוד שבאזור הצפוני שבו מאסת הסלע הנה דולומיט מאסיבי ערכי איכות מאסת הסלע שהתקבלו היו אף שמרנים מאלו שהתגלו בפועל.

סיווג מאסת הסלע שנעשה תוך כדי כרייה המנהרה הצביע על קשיים בסיווג יחידת המעבר, גם כשהייתה חשופה, והקשה על הגדרת הפרמטרים התיאוריים בשיטות הסיווג. הבעייתיות בהגדרת יחידת המעבר באה לביטוי גם במשוואת המעבר בין ערכי שיטת ה-Q לערכי RMR אשר לא מתאימה ליחידות הגיאולוגיות שהופיעו ביחידת המעבר אך מתאימה בהחלט לדולומיט המאסיבי של תצורת עמינדב.

הצורך להגדיר את מערכות אי הרציפות, חומר המילוי שלהן, דרגת הבליה של מישורי הסידוק ולבדוק את מצב המאמצים בשטח העבודה מחייב עריכת סקר מקיף שלא יכול להתבסס רק על קידוחים אלא חייב להתבסס על היכרות עם תת-הקרקע. חיזוק לדברים אלו ניתן לראות בטווח הערכים אשר התקבל בפועל והשתרע על תחום נרחב שכלל מאסת סלע טובה מאוד ומאסת סלע גרועה ביותר. טווח ערכים זה לא יכול היה להתקבל במספר קידוחים כה מעט ולכן יש לשלב מספר קידוחים גודל הרבה יותר בסקר הראשוני.

מישורי אי הרציפות נמדדו והוגדרו מתוך למנהרה ובתוך המנהרה ונבדקה האפשרות להיווצרות בלוקים ברי תזוזה משילוב מערכות אי הרציפות. מיפוי שנעשה לכל אורך מנהרת גילה הארוכה העלה כי

## II

הבלוקים שנוצרו הנם קטנים (20 עד 30 סנטימטרים) וחם אינם מהווים סכנה הנדסית. אנליזת ההזזה שנעשתה בעזרת תיאוריית הבלוקים מצביעה על אפשרות ליצירת בלוקים גדולים הרבה יותר אך המבנה האנדולטורי וחוסר האחידות של מאסת הסלע מנעו היווצרות של בלוקים מסדר גדול יותר. כמו כן, הסידוק אשר השתתף ביצירת הבלוקים הקטנים שהופיעו היה ברובו סידוק אקראי ולא שייך למערכות הסידוק הראשיות.

## תודות

העבודה מומנה על ידי המחלקה לגיאולוגיה ומינרלוגיה באוניברסיטת בן - גוריון בנגב ועל ידי המנהל למחקרי האדמה במשרד האנרגיה ונעשתה במסגרת המכון הגיאולוגי.

תודה למר לוסיאן מיכאלי מן המעבדה הגיאוטכנית במכון הגיאולוגי אשר שימש כמנחה גיאוטכני לכל הבדיקות ועזר רבות בהפניה לספרות, בידע תיאורטי ובעזרי מחקר.

תודה לדוקטור אינג' יפס סרברניק ממשרד מ.ע.צ. ירושלים אשר אפשר ודאג לנגישות חופשית לאתר ולתוכניות ההנדסיות ולתיווך עם חקבלן המבצע. תודה למר B. Rudowski הגיאולוג מטעם החברה המבצעת (PeBeKa) אשר ביצע את העקיבה הגיאולוגית והעביר את הנתונים למכון הגיאולוגי. בזכותו מופתה מנחרת גילה הארוכה בשלמותה. תודה לד"ר יורם עשת עבור העזרה לפני תחילת העבודה, במהלכה ובחכרות עם תוכנת Corel Draw. תודה לד"ר יעקב מימרן על הייעוץ, למר יועץ דויטש על אנליזות ה - XRD ולד"ר מירה מתיס ומיכאל דבורצ'ק על העזרה בעבודת ה - SEM. תודה לד"ר אנטולי ליברמן אשר ליווה את העבודה במשך שנה במעבדה וביציאות לשדה.

לבסוף, תודה לד"ר יעקב ארקין אשר הדריך ויעץ בכל שלבי העבודה, ידע להתחשב בגורמים האנושיים ותרם הן מבחינה אקדמית והן מבחינה אישית.

## תוכן עניינים

### עמוד

|                                                   |    |
|---------------------------------------------------|----|
| 1. מבוא.....                                      | 1  |
| 1.1 רקע כללי.....                                 | 1  |
| 1.2 שיטות סיווג אמפיריות.....                     | 1  |
| 1.3 שיטות ניתוח אנליטיות.....                     | 2  |
| 1.4 מטרות המחקר הנוכחי.....                       | 3  |
| 2. גיאולוגיה הנדסית.....                          | 5  |
| 2.1 ליתולוגיה.....                                | 5  |
| 2.1.1 תצורת מוצא.....                             | 5  |
| 2.1.2 יחידת המעבר.....                            | 7  |
| 2.1.4 תצורת עמינדב.....                           | 15 |
| 2.2 תופעות קארסט.....                             | 19 |
| 2.3 דולומיט אבקתי.....                            | 23 |
| 3. שיטות סיווג אמפיריות.....                      | 27 |
| 3.1 רקע היסטורי.....                              | 27 |
| 3.2 שיטת הסיווג 'RMR', דירוג איכות מאסת הסלע      |    |
| Rock Mass Rating.....                             | 30 |
| 3.2.1 תיאור הפרמטרים.....                         | 34 |
| 3.3 שיטת הסיווג 'Q' (Barton et al. 1974).....     | 41 |
| 3.4 קורלציה בין שיטת הסיווג Q ו-RMR.....          | 49 |
| 4. שיטות המחקר.....                               | 50 |
| 4.1 עבודת שדה.....                                | 50 |
| 4.1.1 מטרות עבודת השדה.....                       | 50 |
| 4.1.2 מיפוי ליתולוגי של תוואי המנתרה.....         | 50 |
| 4.1.3 מיפוי מערכות הסידוק ומישורי אי הרציפות..... | 52 |
| 4.1.4 קביעת ערכי 'Q' ו-'RMR'.....                 | 53 |

|       |                                                   |     |
|-------|---------------------------------------------------|-----|
| 4.2   | שיטות עבודה - מעבדה.....                          | 60  |
| 4.2.1 | חוזק ללחיצה נקודתית (Point load).....             | 60  |
| 4.2.2 | תכולת רטיבות (w).....                             | 62  |
| 4.2.3 | גזירה ישירה.....                                  | 63  |
| 4.2.4 | אנליזה גרנולומטרית.....                           | 64  |
| 4.3   | ניתוח אנליטי.....                                 | 65  |
| 4.3.1 | Block theory רקע כללי.....                        | 65  |
| 4.3.2 | סוגי בלוקים.....                                  | 65  |
| 4.3.3 | אנליזת חוזק.....                                  | 67  |
| 4.3.4 | הגדרת בלוקים קריטיים בעזרת השלכה סטריאוגרפית..... | 67  |
| 5.    | תוצאות המחקר.....                                 | 71  |
| 5.1   | הגדרת ערכי 'Q' ו- 'RMR'.....                      | 71  |
| 5.1.1 | חוזק ללחיצה נקודתית.....                          | 71  |
| 5.1.2 | סידוק.....                                        | 71  |
| 5.1.3 | פרופיל חספוס.....                                 | 75  |
| 5.1.4 | דרגת הבליה של הסדקים.....                         | 79  |
| 5.1.5 | מרווח בין הסדקים (Spacing).....                   | 79  |
| 5.1.6 | מי - תחום.....                                    | 79  |
| 5.1.7 | SRF (Stress Reduction Factor).....                | 80  |
| 5.1.8 | RQD.....                                          | 80  |
| 5.1.9 | סיכום ערכי Q ו- RMR.....                          | 80  |
| 5.2   | מיפוי גיאוטכני.....                               | 82  |
| 5.3   | בלוקים קריטיים באנליזת Block theory.....          | 130 |
| 6.    | דיון.....                                         | 134 |
| 6.1   | תיאוריית הבלוקים - התאמה בין בלוקים קריטיים ורפאי |     |
|       | בלוקים.....                                       | 134 |
| 6.1.1 | - אנליזת שיווי משקל גבולי.....                    | 138 |

## 6.2 השוואה בין ערכי ה-Q וה-RMR שהתקבלו בסקרים המוקדמים

140 ..... לבין אלו שהתגלו תוך כדי כרייה.

## 6.3 השוואה בין תימוך מומלץ (על ידי שיטות הסיווג) לבין

145 ..... התימוך בפועל.

145 ..... 6.3.1 שיטת ה-Q

146 ..... 6.3.2 שיטת ה-RMR

147 ..... 6.4 ישום שיטת ה-Q וה-RMR

152 ..... 7. מסקנות.

## 8. נספחים

154 ..... 8.1 נספח מספר 1 - תוצאות בדיקות החוזק ללחיצה נקודתית.

163 ..... 8.2 נספח מספר 2 - תוצאות בדיקות תכולת הרטיבות והגזירה הישירה.

180 ..... 8.3 נספח מספר 3 - תיאוריית חבלוקים - אנליזת חזזה ואנליזת שיווי משקל גבולי.

207 ..... 9. רשימת ספרות.

## רשימת הציורים

- ציור 1.1 - מפה טופוגרפית סכמטית של אזור העבודה. (עמוד 4)
- ציור 2.1 - מפה גיאולוגית של אזור פרויקט מנחת גילה. (עמוד 6)
- ציור 2.2 - חתך גיאולוגי עמודי של יחידות הקרטיקון העליון הנחשפות באזור העבודה. (עמוד 6)
- ציור 2.3 - חתך גיאולוגי סכמטי של מנחת גילה הארוכה והיחידות הגיאולוגיות. (עמוד 5)
- ציור 2.4 - חתך גיאולוגי עמודי של תצורת מוצא. (עמוד 7)
- ציור 2.5 - מחשופים של יחידת המעבר בתוך המנהרה ומחוצה לה. (עמוד 9)
- ציור 2.6 - ניסוי גזירה ישירה שבוצע בדלומיט האבקתי עם תכולת רטיבות טבעית של 2.74%. (עמוד 10)
- ציור 2.7 - ניסוי גזירה ישירה שני שבוצע בדלומיט האבקתי עם תכולת רטיבות טבעית של 2.19%. (עמוד 11)
- ציור 2.8 - ניסוי גזירה ישירה נוסף שבוצע בדלומיט האבקתי עם תכולת רטיבות מלאכותית של 25%. (עמוד 11)
- ציור 2.9 - אנליזת קרני X (XRD) שבוצעה על הדלומיט האבקתי. (עמוד 12)
- ציור 2.10 - אנליזה גרלנומטרית של הדלומיט האבקתי. (עמוד 14)
- ציור 2.11 - שילוב של דלומיט מאסיבי, דלומיט ברקציוזי, דלומיט אבקתי וחרסית ביחידת המעבר. (עמוד 15)
- ציור 2.12 - חתך גיאולוגי עמודי של תצורת עמינדב. (עמוד 17)
- ציור 2.13 - פרופילי חספוס של סדקים מתצורת עמינדב. (עמוד 15)
- ציור 2.14 - חלל קארסטי בחתך מספר 439 ביחידת המעבר. (עמוד 19)
- ציור 2.15 - ניסוי גזירה ישירה שבוצע בחומר מילוי חרסיתי שנדגס מתוך חלל קארסטי וסידוק פתוח. (עמוד 23)
- ציור 3.1 - דירוג פרמטר החוזק בשיטת RMR. (עמוד 33)
- ציור 3.2 - דירוג פרמטר ה-RQD בשיטת RMR. (עמוד 33)
- ציור 3.3 - דירוג פרמטר המרווח בין הסדקים בשיטת RMR. (עמוד 33)
- ציור 3.4 - יחס בין זמן היציבות של מנהרה ללא תימוך לאיכות מאסת הסלע כפי שהוגדרה בשיטת RMR. (עמוד 39)
- ציור 3.5 - תרשים זרימה המתאר את דירוג מאסת הסלע בשיטת RMR. (עמוד 40)
- ציור 3.6 - 38 קטגוריות תימוך בהתאם ל-Q, ESR וגודל מפתח המנהרה. (עמוד 48)
- ציור 3.7 - יחס בין ערך ה-Q, Jr ולחץ התימוך הנדרש. (עמוד 48)
- ציור 4.1 - טופס מיפוי ומעקב גיאוטכני. (עמוד 51)

- ציור 4.2 - מדידת דיפוסטרייק של מישורי אי הרציפות. (עמוד 52)
- ציור 4.3 - דוגמא לחישוב RQD. (עמוד 54)
- ציור 4.4 - תיקון Terzaghi 1965. (עמוד 56)
- ציור 4.5 - הזווית הנוצרת על מישור אי הרציפות על ידי החספוס של המישור. (עמוד 57)
- ציור 4.6 - מידות הגלעינים המשמשים בבדיקת חוזק נקודתי. (עמוד 60)
- ציור 4.7 - מידות הקונוס המשמש לחיצה בבדיקת החוזק הנקודתי. (עמוד 61)
- ציור 4.8 - סוגי בלוקים הנוצרים מסביב לחלל ות - קרקעי. (עמוד 66)
- ציור 4.9 - בלוק בר - תאווה הנוצר משתי מערכות סידוק ושני מישורים חופשיים. (עמוד 66)
- ציור 4.10 - JP ו- EP הנוצרים לאחר העברת ארבעת המישורים דרך נקודה י'. (עמוד 66)
- ציור 4.11 - השלכה סטריאוגרפית של שלושה מישורי אי רציפות. (עמוד 68)
- ציור 4.12 - ה - JP היחיד הבר תאווה מגג המנהרה. (עמוד 68)
- ציור 4.13 - ה - JP היחיד הבר תאווה מהקיר הדרומי של המנהרה. (עמוד 70)
- ציור 4.14 - ה - JP היחיד הבר תאווה מהקיר הצפוני של המנהרה. (עמוד 70)
- ציור 5.1 - תוצאות בדיקת הלחיצה הנקודתית. (עמוד 72)
- ציור 5.2 - תיקון לתוצאות בדיקת החוזק הנקודתי לפי מידות הדוגמא. (עמוד 73)
- ציור 5.3 - מדידת הסדקים מתוך למנהרת גילה. (עמוד 76)
- ציור 5.4 - מדידת הסדקים בתוך מנהרת גילה. (עמוד 77)
- ציור 5.5 - מדידת הסדקים בתוך מנהרת גילה, כפי שבוצעה על ידי מר B. Rudowski. (עמוד 78)
- ציור 5.6 - הדגמה של טכניקת המיפוי במנהרה. (עמוד 83)
- ציור 5.7 - שלושה מישורי סידוק ומישור חופשי בהשלכה סטריאוגרפית. (עמוד 131)
- ציור 5.8 - בלוק מפתח מקסימלי היכול להיווצר. (עמוד 132)
- ציור 6.1 - אנדולציות מישורי אי הרציפות. (עמוד 138)
- ציור 6.2 - יחס בין זווית החיכוך המתקבלת מאנליזת שיווי משקל גבולי והמוערכת בשיטת ה - Q. (עמוד 139)
- ציור 6.3 - שני נתיבי קידוח במאסת סלע הטרונגית. (עמוד 142)
- ציור 6.4 - סווח ערכי RMR כפי שהתקבלו בסקר הראשוני. (עמוד 143)
- ציור 6.5 - סווח ערכי RMR כפי שהתקבלו בזמן הכרייה. (עמוד 143)
- ציור 6.6 - סווח ערכי Q כפי שהתקבלו בסקר הראשוני. (עמוד 144)

ציור 6.7 - סווח ערכי Q כפי שהתקבלו בזמן הכרייה. (עמוד 144)

ציור 6.8 קורלציה בין ערכי Q וערכי RMR. (עמוד 151)

## רשימת טבלאות

טבלה 3.1 - דירוג איכות מאסת הסלע על פי ערכי RQD. (עמוד 28)

טבלה 3.2 - פירוט הפרמטרים לסיווג מאסת הסלע בשיטת ה-RMR. (עמוד 31)

טבלה 3.3 - דירוג הפרמטר המתייחס למצב הסדקים בשיטת ה-RMR. (עמוד 32)

טבלה 3.4 - סיווג הסידוק בהסתמך על המרווח בין הסדקים. (עמוד 35)

טבלה 3.5 - השפעת כיוון מישורי אי הרציפות על מנהור. (עמוד 37)

טבלה 3.6 - תימוך מומלץ בהתאם לאיכות מאסת הסלע בשיטת RMR. (עמוד 38)

טבלה 3.7 - תיאור הפרמטרים המרכיבים את שיטת ה-Q. (עמוד 42)

טבלה 3.8 - דירוג פרמטר ה-ESR. (עמוד 46)

טבלה 4.1 - סיווג פרופילי תספוס של מישורי אי רציפות. (עמוד 59)

טבלה 4.2 - גודל חנפות באנליזה גרעולומטרית. (עמוד 64)

טבלה 5.1 - הגדרת מערכות הסידוק. (עמוד 75)

טבלה 6.1 - סיכום תוצאות אנליזות ההזזה והשיווי משקל הגבולי. (עמוד 135)

טבלה 6.2 - חשוואה בין ערכי Q ו-RMR שהתקבלו בסקר הראשוני ואלו שהתגלו תוך כדי כרייה. (עמוד 142)

## רשימת התמונות

תמונה 2.1 - עדשת חרסית בתצורת מוצא. (אחרי עמוד 7)

תמונה 2.2 - בולדרים דולומיטיים מאסיביים וחומר רך ביחידת המעבר. (אחרי עמוד 7)

תמונה 2.3 - דולומיט מאסיבי ודולומיט אבקתי צהבהב. (אחרי עמוד 12)

תמונה 2.4 - מילוי חלקי של דולומיט אבקתי בחלל לאורך סידוק. (אחרי עמוד 12)

תמונה 2.5 - רצועה של דולומיט אבקתי בתוך מנהרת גילה הארוכה. (אחרי עמוד 15)

תמונה 2.6 - מחשוף של כיס חרסית עם שברי סלע בתוך תצורת עמינדב. (אחרי עמוד 15)

תמונה 2.7 - דולומיט מאסיבי בכניסה הצפונית למנהרת גילה הארוכה. (אחרי עמוד 17)

תמונה 2.8 - סידוק פתוח עם מילוי של חרסית וקרקע בתצורת עמינדב. (אחרי עמוד 17)

- תמונה 2.9 - דולומיט היוצר דרגשים ורטיקליים בתצורת עמינדב. (אחרי עמוד 19)
- תמונה 2.10 - דולומיט סדוק בצפיפות ביחידות המעבר. (אחרי עמוד 19)
- תמונה 2.11 - דולומיט סדוק בצפיפות עם תכולה של חרסית בסדקים. (אחרי עמוד 19)
- תמונה 2.12 - חלל קארסטי גדול עם תכולת חרסית. (אחרי עמוד 19)
- תמונה 2.13 - חרסית משוכבת ליד דולומיט מאסיבי. (אחרי עמוד 19)
- תמונה 2.14 - רומבים של הדולומיט האבקתי (תמונת SEM). (עמוד 25)
- תמונה 2.15 - בליה של פני הגביש הדולומיטי (תמונת SEM). (עמוד 25)
- תמונה 2.16 - מבט כללי על הדולומיט האבקתי (תמונת SEM). (עמוד 26)
- תמונה 2.17 - השקעה של רומבים דולומיטיים אוהדרליים על גבי גביש דולומיטי בלוי (תמונת SEM). (עמוד 26)
- תמונה 3.1 - מילוי חרסיתי של סדקים בתצורת עמינדב. (אחרי עמוד 35)
- תמונה 5.1 - בלוק קטן כפי שנמדד בקיר המנהרה. (אחרי עמוד 130)

## מבוא

### 1.1 רקע כללי

מאמרו של Barton מ-1974, בנושא סיווג הנדסי של מאסות סלע, נפתח בציטוט מדבריו של

הלורד Kelvin:

"... When you can measure what you are speaking about, and express it in numbers, you know something about it, but when you can not express it in numbers, your knowledge is of a meagre and unsatisfactory kind..."

סיווג מאסת סלע נועד לאפשר למדוד ולבטא במספרים את איכות מאסת סלע לצורך ביצוע פרויקטים הנדסיים. בניגוד לחומרים רבים אחרים המשמשים בתחומי ההנדסה השונים מאסת סלע הנה "חומר" הטרוגני המכיל יחידות סלע שונות אשר נחצות על ידי מישורי אי רציפות כשכוב, סידוק ושבירה. בנוסף, מאסת הסלע יכולה להתאפיין בדרגות בליה וחוזק מכני משתנים, חללים קארסטיים, אנאיזוטרופיה ותכולת מים משתנה. מלבד התכונות החומריות של מאסת הסלע נודעת חשיבות הנדסית לנוכחות מי תהום ולמאפיינים המבניים באזור העבודה. גורמים אלו חוברים יחד ומקשים על אפיון מדויק וכמותי של מאסת הסלע לצרכים הנדסיים. מדידת התכונות המאפיינות את מאסת הסלע, מאפשרת למתכנן המנהרה לעבוד עם טבלת נתונים כמותיים. ללא נתונים מסוג זה, נאלצים מתכננים הנדסיים לעבוד עם תיאורים איכותיים ומילוליים, או עם מגוון של בדיקות גיאוטכניות אשר אינן מסתכמות לתמונה ברורה באשר לאיכות מאסת הסלע. בנוסף, יוצרות שיטות הסיווג מכנה משותף בין הגורמים השונים הקשורים לפרויקט ההנדסי, הגיאולוג, המהנדס, האדריכל המתכנן והיזם.

### 1.2 שיטות סיווג אמפיריות

שיטות הסיווג האמפיריות מבוססות על גורמים גיאולוגיים-פיזיים של מאסת הסלע. כך נוצר שילוב בין נתונים כגון: סידוק, שכוב, פאצייס, בליה, חוזק ללחיצה (RMR) ותכולת מים. בניגוד לשיטות הסיווג האמפיריות כגון: 'Q' (Barton et al. 1974) ו-'RMR' (Bieniawski 1974), המתבססות על ניסויים ותצפיות בשטח והתאמתם לשיטת סיווג, קיימות שיטות ניתוח כ-Block theory, הבנויות על מודלים מתמטיים ומאפשרות התמודדות מוזוית שונה עם חלק מהבעיות ההנדסיות של הפרויקט.

ההגדרה הכמותית של מאסת הסלע מהווה בסיס לתכנון תוואי המנהרה, שיטות חכרייה, תימוד זמני, תימוד קבוע ומתן פתרונות לבעיות הנדסיות גיאולוגיות המתעוררות במהלך הפרוייקט.

המטרות העיקריות של סיווג מאסת סלע (Bieniawski 1974):

1. חלוקת אזור העבודה לקבוצות סלע בעלות התנהגות מכנית דומה.
  2. לספק בסיס להבנת המאפיינים של כל קבוצה וקבוצה.
  3. לתת נתונים כמותיים לתכנון המנהרה, בעיקר לצרכי תימוד.
  4. להוות מכנה משותף כבסיס לתקשורת בין העוסקים בפרוייקט.
- שיטת סיווג חייבת לכלול בתוכה מספר מאפיינים על מנת להגשים את המטרות אשר לשמן פותחה

(Bieniawski 1974):

1. השיטה צריכה להיות פשוטה וקלה לזיכרון.
2. כל מונח ברור והמינוח מקובל בצורה נרחבת.
3. רק תכונות האופי המשפיעות על התנהגות מאסת הסלע נלקחות בחשבון.
4. השיטה מבוססת על פרמטרים מדידים המוגדרים על ידי בדיקות מהירות בשדה או במעבדה.
5. השיטה מבוססת על מערכת מדורגת שיכולה לשקול ולדרג את החשיבות היחסית של הפרמטרים המרכיבים אותה.
6. שיטת הסיווג תהיה מספיק כללית כך שאותו סלע יקבל את אותו סיווג ללא תלות בשימוש שנעשה בו בפרוייקטים הנדסיים.

ברוב שיטות הסיווג המודרניות מתעלמים מסעיף מספר 6 ומשתמשים בפרמטרים המגבילים את הכלליות לפי אפיון הפרוייקט ההנדסי.

שיטת הסיווג הראשונה פותחה על ידי Terzaghi (Terzaghi 1946), מאז הלכו שיטות הסיווג והתפתחו בעקבות התוספות נתונים מאתרי מחקר נוספים, התפתחות טכנולוגית אשר מאפשרת מדידה של תגובות הסלע תוך כדי כרייה והתבססות על שיטות תימוד נוספות ומגוונות יותר.

### 1.3 שיטות ניתוח אנליטיות

תיאוריית הבלוקים (Block theory) היא שיטת ניתוח אנליטית ליציבות מאסת סלע אשר פותחה באומברסיטת ברקלי - קליפורניה בארה"ב (Goodman & Shi 1985). בעזרת השיטה ניתן לבדוק ולחשב את האפשרות לחיווצרות בלוקים ברי תזוזה במאסת הסלע אל תוך חלל הכרייה של המנהרה או התלקה

של בלוקים ממדרון פתוח, כתלות במישורי אי הרציפות הקיימים במאסת הסלע ומיקומו של המישור החופשי (מישור העבודה - קירות ותקרות המנהרה וקיר המדרון).

אנליזות היציבות התלת מימדית קשורה באופן, בכיוון הנטייה וכמות הנטייה של מישורי אי - הרציפות ומאפשרת מתן פתרונות הנדסיים מקומיים לבעיות יציבות העלולות להיווצר עקב החלקה של בלוקים מקירות המנהרה. השיטה מתאימה ליישום במאסות סלע בהן קיימים מישורי אי רציפות בעלי השתרעות גדולה בהרבה מגודל המבנה ההנדסי.

#### 1.4 מטרות המחקר הנוכחי

ניצול החלל התת - קרקעי בישראל נמצא בפיתוח נרחב ומאפשר גישור על בעיות של חוסר בקרקעות, אשר חולך ומחריף עם השנים. ניתן לאמר כי במדינת ישראל ניצול החלל התת - קרקעי לצרכי תשתיות הנו במקרים רבים הדרך היחידה בה ניתן לבצע פיתוח, פתרון זה מקובל גם על רשויות איכות הסביבה כיעיל וחוסך כרסום בנופי המדינה. הניסיון בארץ בפרוייקטים של מנהור אינו גדול ולכן מייבאים את הטכנולוגיה מארצות בהן ניסיון הכרייה רב.

שיטות הסיווג 'Q' ו-'RMR' פותחו בטורביניה ובדרום אפריקה בהתאמה, תוך התבססות על תצפיות ממקומות שונים על פני כדור הארץ בעלי אקלים לת. היות והאקלים בארצנו שונה ויבש יותר יש מקום לבדיקת התאמת שיטות אלו למסלע בארץ. השיטות לסיווג הנדסי של 'Q' ו-'RMR' מבוססות על תצפיות מעבודות מנהור בסוגי סלע רבים, אך עדיין קיימת בעייתיות במסלע משוכב במחוזות בעלי עובי משתנה המציג השתנות אופקית ואנכית מהירה ונקודתיות כפי שנמצא לדוגמא בחלק התחתון של תצורת עמינדב באזור הר - גילה.

שיטת הניתוח Block theory טרם נוסחה בארץ במסגרת פרויקט מנהור. מאסת הסלע היחודית לאזור העבודה אינה מאפשרת היווצרות בלוקים גדולים והתאמת השיטה למאסת סלע מסוג זה נבדקת כמו שיטות הסיווג האמפיריות.

#### מטרות העבודה הן:

1. בדיקת תקפותן של שיטות סיווג אמפיריות של מאסת סלע, RMR ו-Q בסלעים סדימנטריים (קרבונטים משוכבים), הנמצאים באזורים של אקלים שונה מן האזורים בהן פותחו ומעל מפלס מי-התהום. כמו כן נבדקות שיטות הסיווג הנ"ל בהתייחס למאסת סלע המכילה שינויים ליתולוגיים מהירים ולא צפויים.
2. השוואה בין הנתונים המתקבלים מסקרים ראשוניים בפני השטח החיצוניים ומקידוחים

והנתונים על איכות מאסת הסלע שמתגלים בזמן הכרייה ולאחריה.

3. בדיקת יכולת היישום של שיטת ה- Block theory במאסת סלע בעלת תכונות המתוארות

בסעיף מספר 1.

עבודת המחקר נעשתה במנהרת גילה הארוכה. מנהרה זו הנה חלק מפרוייקט יצירת תשתית תחבורה בין גוש עציון לירושלים הכולל בתוכו את סלילת כביש מספר 60, גשר עילי באורך של 350 מטרים ושתי מנהרות (ציור מספר 1.1). המנהרות נמצאות משני צידי הגשר, תחתית באורך 265 מטרים חצובה בתוך תצורות כפר שאול ועמינדב והשניה באורך של 896 מטרים חצובה בתצורת עמינדב וביחידת המעבר בין תצורת עמינדב לחוואר מוצא (מנהרת גילה הארוכה).

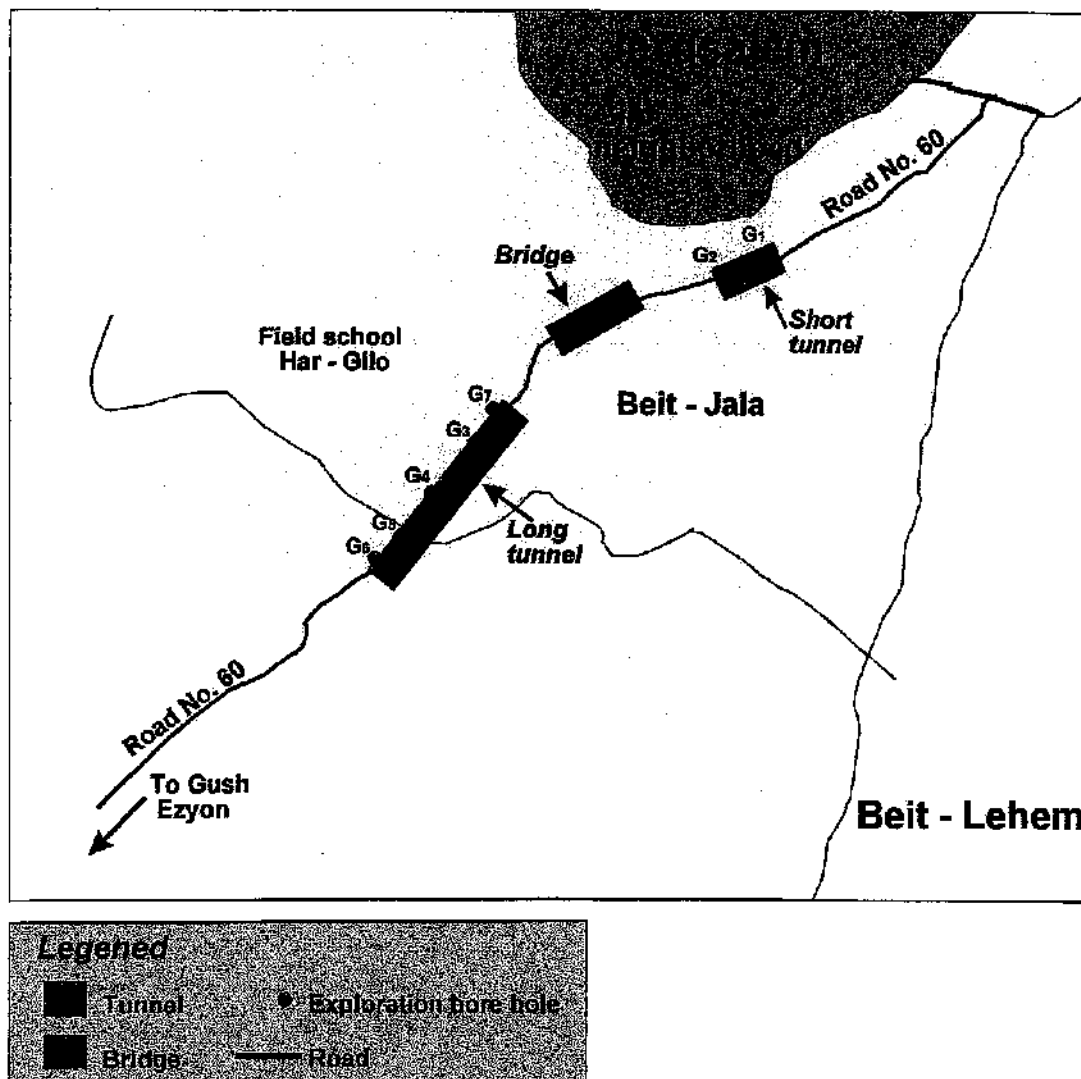


Fig. 1.1 - Schematic map of the work area, road No. 60

(Based on Y. Arkin and L. Michaeli, 1988)

## 2. גיאולוגיה הנדסית

אזור העבודה חנו חלק מהרי יהודה המתנשאים באזור לגובה של 1000 מטרים מעל פני הים. האתר נמצא בשוליים המזרחיים של האנטיקלינה האסימטרית של הרי יהודה. התצורות הנחשפות הן קרבונטיות וחואריות, מתקופת הקנומן (ציורים 2.1, 2.2), בחלקן משכבות ובעלות דיפס מונונים (Arkin et al. 1987) לכיוון צפון מזרח. התצורות החשובות לעבודה זו הן חואר מוצא ועמנדב. בין תצורת מוצא לתצורת עמנדב נוצר אזור ביניים המכיל חומר קומפטנטי וחומר רך, יוצר יחידה משולבת ונקרא יחידת המעבר. מנהרת גילה הארוכה (באזור הצפון מערב) עוברת בתצורת עמנדב (400 מטר). בהמשך, עם ההתקדמות דרום מערבה יורדת המנהרה בחתך הסטרטיגרפי, חושפת את יחידת המעבר ומסתיימת בחלק העליון של תצורת מוצא (ציור 2.3). חואר מוצא נמצא אך ורק באזור הכניסה הדרומית של המנהרה ועדשות חרסית המאפיינות אותו נמצאות נמוך יותר בחתך ולא מופיעות בתוואי המנהרה.

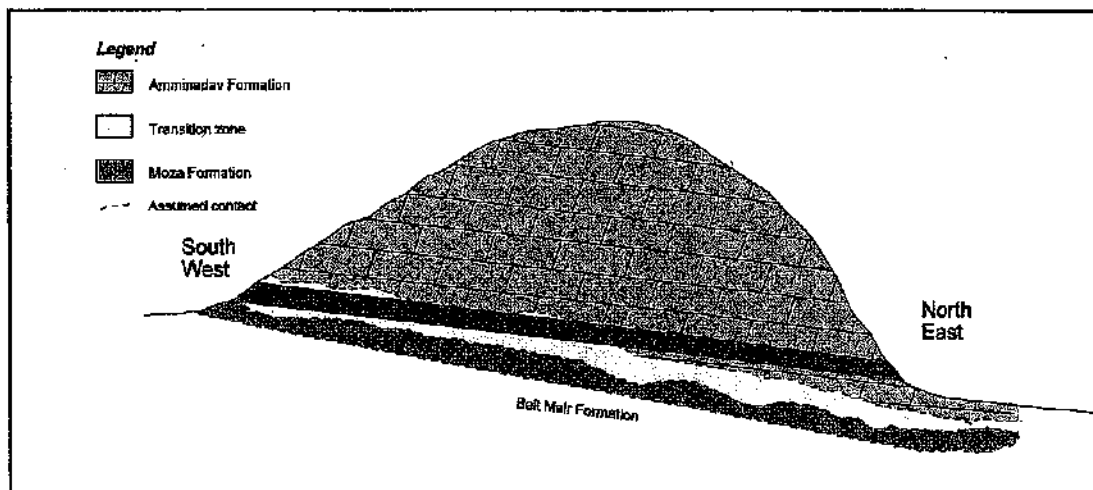


Fig 2.3 - Schematic section of Gilo long tunnel and the stratigraphic penetrated units.

(Based on Y. Arkin & L. Michaeli 1993)

### 2.1 ליחולוגיה

#### 2.1.1 תצורת מוצא

תצורת מוצא (ציור 2.4) עשויה מחואר ומכילה מספר שכבות של גיר קשה עשיר במאובנים. החואר הינו צחוב ובמדרונות בונה טרסות ומכסה בקרקע. בתוך החואר ניתן למצוא עדשות חרסית בצבעים ירוק

Fig. 2.1 - Geological location map for the Gilo tunnels.  
(From Arkin et al. 1987)

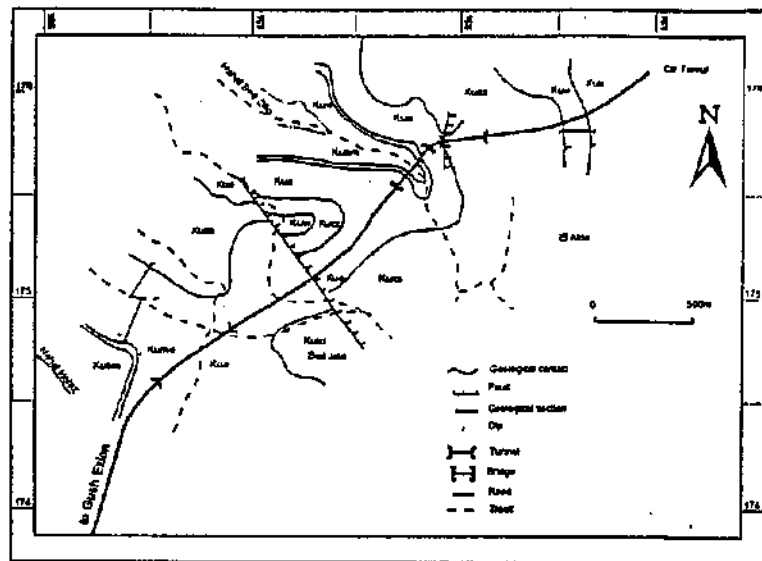
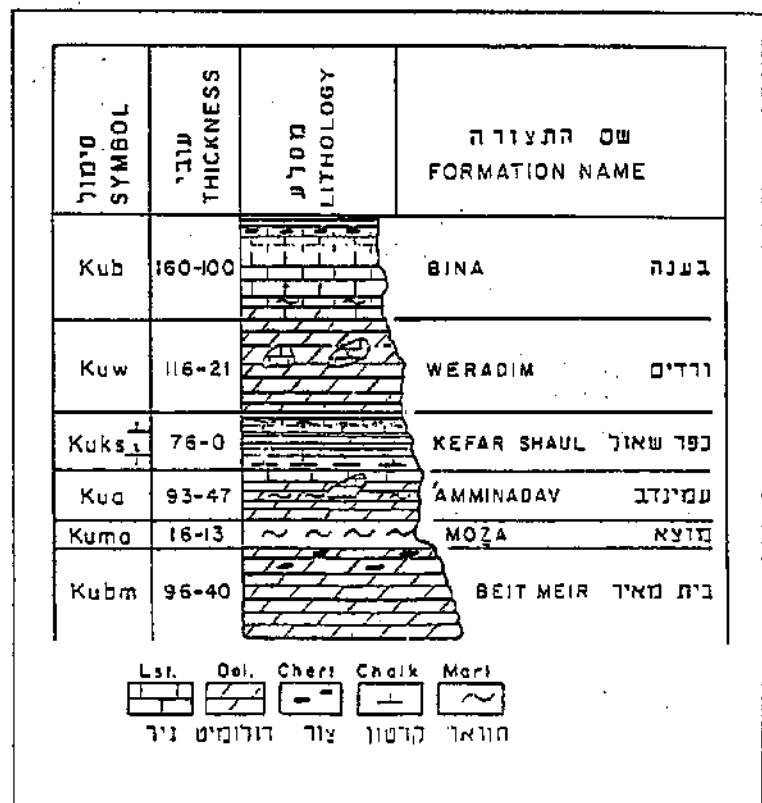
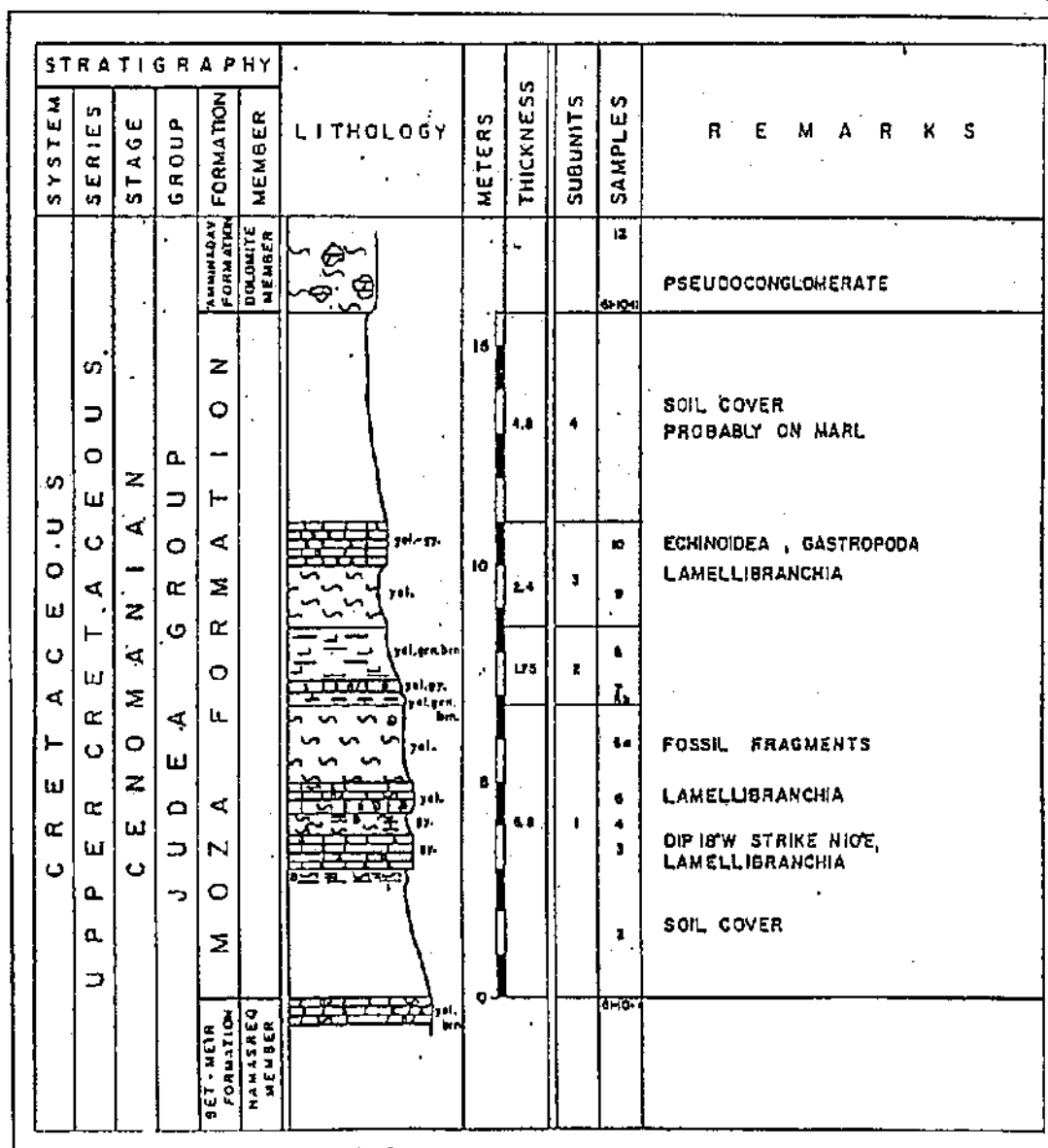


Fig. 2.2 - Columnar section, Upper cretaceous formations exposed in the area of Gilo long tunnel project.  
(From Arkin & Michaeli 1993)



כחול (תמונת 2.1). עובי היחידה באזור תוואי המנהרה הינו 10 עד 14 מטרים והיא נמצאת מעל דולומיט בית מאיר. למרות שכריית המנהרה אינה נעשית בצורה ישירה בתוך תצורת מוצא מהווה יחידה זו גורם חשוב בהתנהגות מאסת הסלע הנמצאת מעליה ומארכת את המנהרה. השילוב של סלע קומפטנטי כדולומיט עמידב אשר מונח מעל סלע רך כתוואר מוצא והעובדה שדולומיט עמידב היה אקופר, יצר יחידת ביניים בין תצורת עמידב ותצורת מוצא.

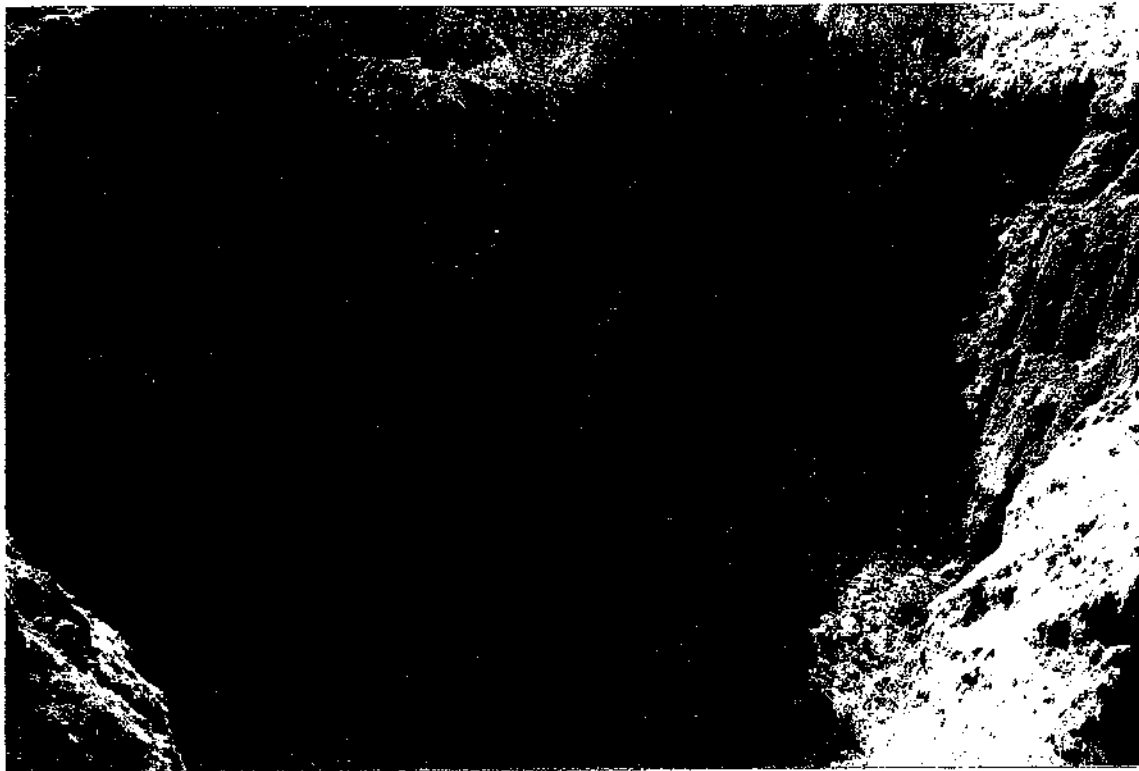


**Fig. 2.4 - Columnar geological section, Moza Formation (From Arkin et al. 1965)**

### 2.1.2 יחידת המעבר

יחידת המעבר (ציור 2.5, תמונה 2.2) האופיינית לאזור מכילה גושים של דלומיט בגודל של מטר עד

מספר מטרים הנמצאים בתוך חומר רך (Arkin et al., 1965). הבליה בשכבה זו הנת גבוהה וככל



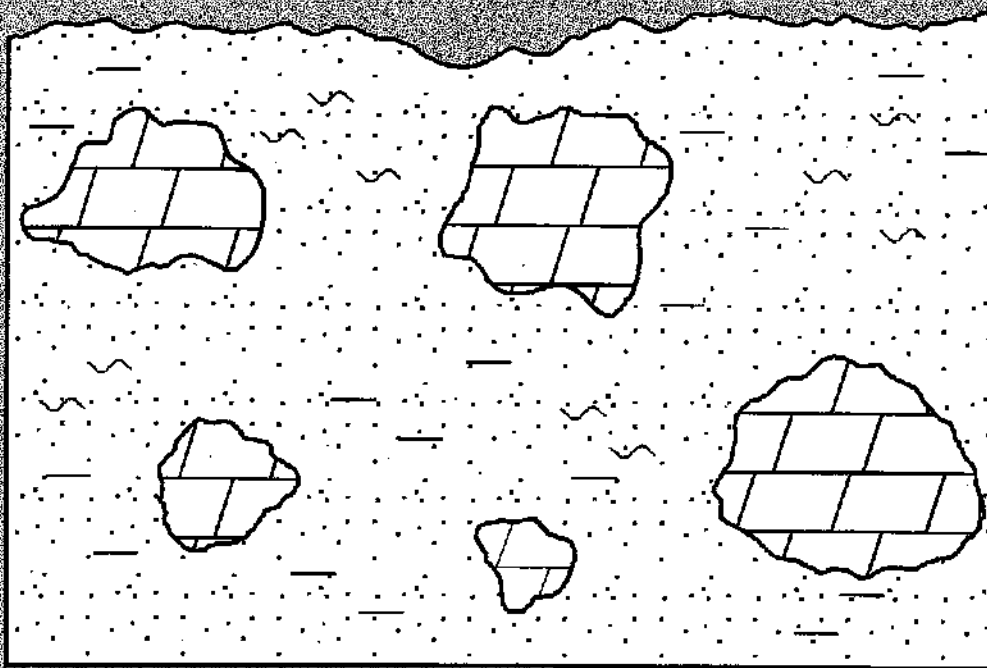
*Photo: 2.1 - Clay pocket in Moza Formation, Gilo Bridge foundation.*

1 m



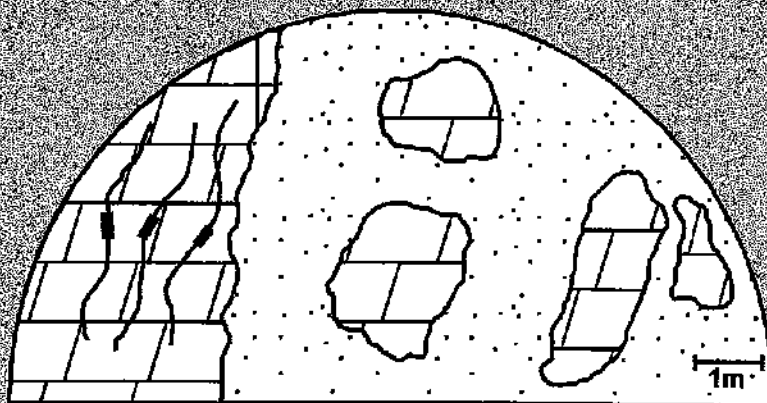
*Photo: 2.2 - Massive dolomite boulders and soft weathered dolomite in marl of the Transition Zone.*

1 m



*Section of the transition zone as seen in picture 2.2*

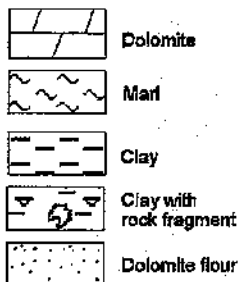
1m



*Section of the transition zone in the southern area of the tunnel (steel arch No. 102s)*

1m

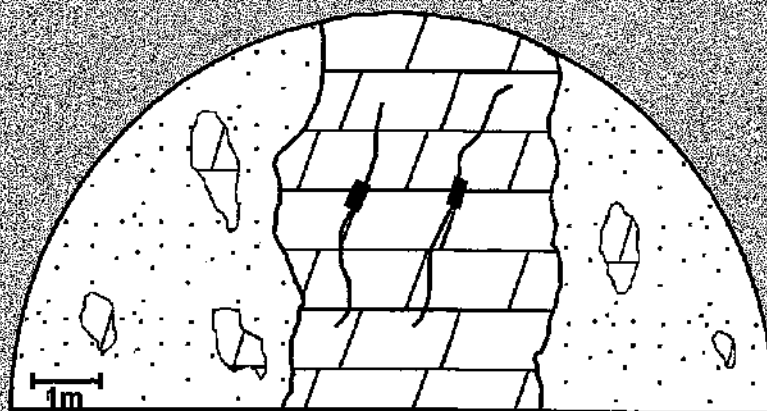
### LEGEND



Joint

K

Solution cavities (karst)



*Section of the transition zone in the southern area of the tunnel (steel arch No. 137s)*

1m

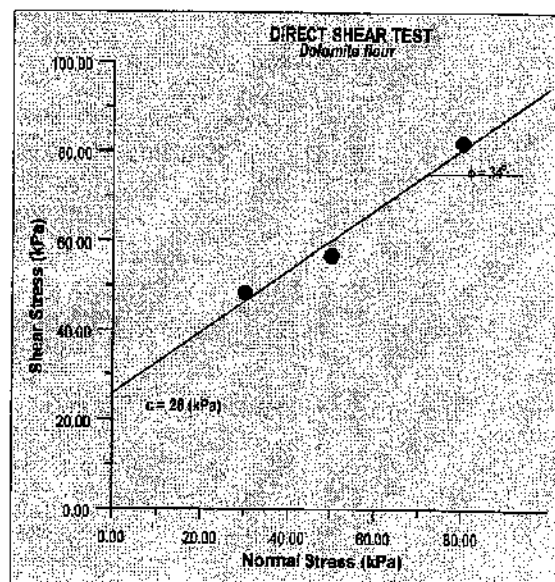
**Fig. 2.5**

שהתקדמה הכרייה מן הכניסה הדרומית של המנהרה לכיוון הכניסה הצפונית, עליה בחתך, קיבל החומר חרך הופעה "חולית" של דולומיט אבקתי המקושר לתופעת הקארסט הנפוצה בתצורת עמינדב. הדולומיט האבקתי מאופיין בצבע לבן עד צהוב (תמונה 2.3) ומוגדר כאבקת סלע. בניסויי גזירה ישירה שבוצעו על דולומיט זה, בהפרש של כחצי שנה בין הניסוי הראשון (ציור 2.6) לניסוי השני (ציור 2.7) נתקבלו תוצאות זרות המראות על זווית חיכוך של  $\phi = 33^\circ$  וקוהזיה של 27 kPa. תכולת הרטיבות הטבעית של החומר הנה 2.5% - 2. ניסוי נוסף של גזירה ישירה נעשה על אבקת הדולומיט כאשר תכולת הרטיבות הועלתה באופן מלאכותי ל- 25%, התוצאה הראתה עליה בקוהזיה ועליה קטנה בזווית החיכוך אשר ניתן ליחסה לגבול הדיק של הניסוי, אך ניתן לאמר כי התוצאות נשארו באותו סדר גודל (ציור 2.8). זווית החיכוך הפנימית של הדולומיט המאסיבי הנה  $\phi = 45^\circ$  והקוהזיה מגיע עד 32 MPa (חצור וחבריו 1995), ערך זה גזול עד כדי שלושה סדרי גודל מערך הקוהזיה של הדולומיט האבקתי.

בדיקת XRD אשר בוצעה (ציור 2.9) על אבקת חסלע אישרה את ההשערה כי אכן מדובר באבקת דולומיט. האנליזה הגרלנומטרית של החומר מראה על גודל גביש סילטי עד חול דק. (ציור 2.10). ההופעה של הדולומיט האבקתי משתנה בעביה במהלך המנחור וניתן לומר כי היא מאופיינת נקודתית. העובי משתנה החל מכיסים קטנים בקוטר של פחות ממטר (תמונה 2.4) ועד רצועות עבות המכסות את כל המפתח של המנהרה (תמונה 2.5). התמוטטויות של החומר המפורר שהתרחשו מיד לאחר הכרייה או בפרקי זמן קצרים מראים על זמן יציבות ללא תימוך השואף לאפס, אך במקרים רבים הדולומיט האבקתי לא התמוטט גם לאחר מספר ימים.

יחידת המעבר מתאפינת גם בכיסי חרסית ובצורות של דולומיט מרוסק וחרסית (תמונה 2.6)

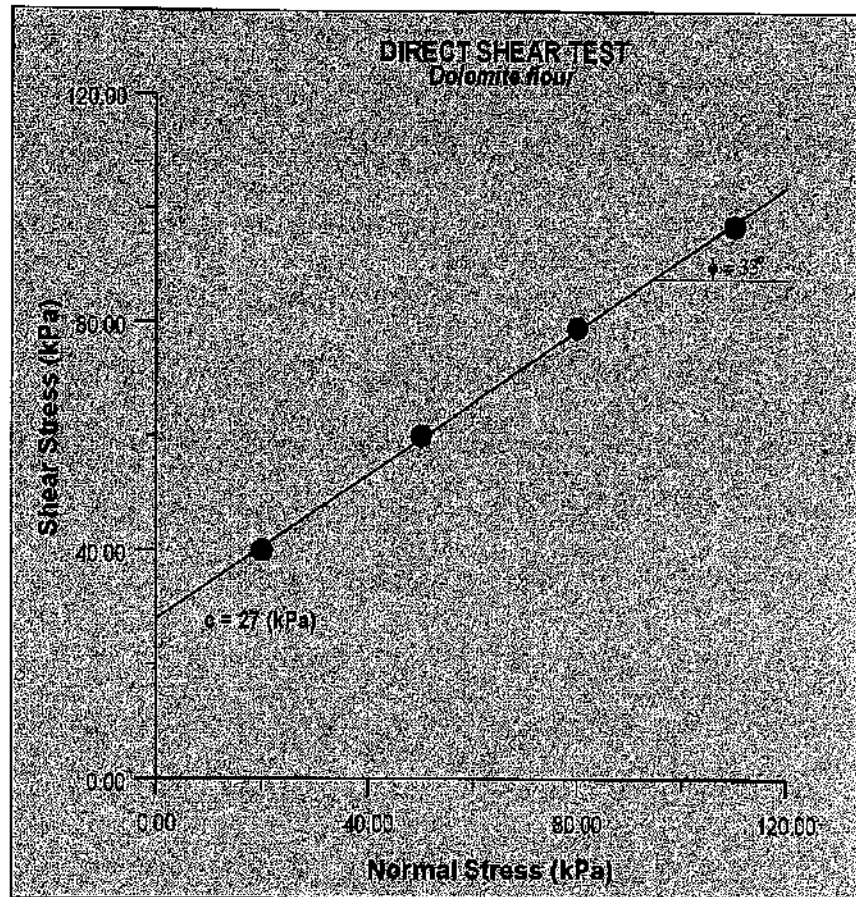
ובשילוב כל סוגי המסלע שחוזכרו עד כה (ציור 2.11)



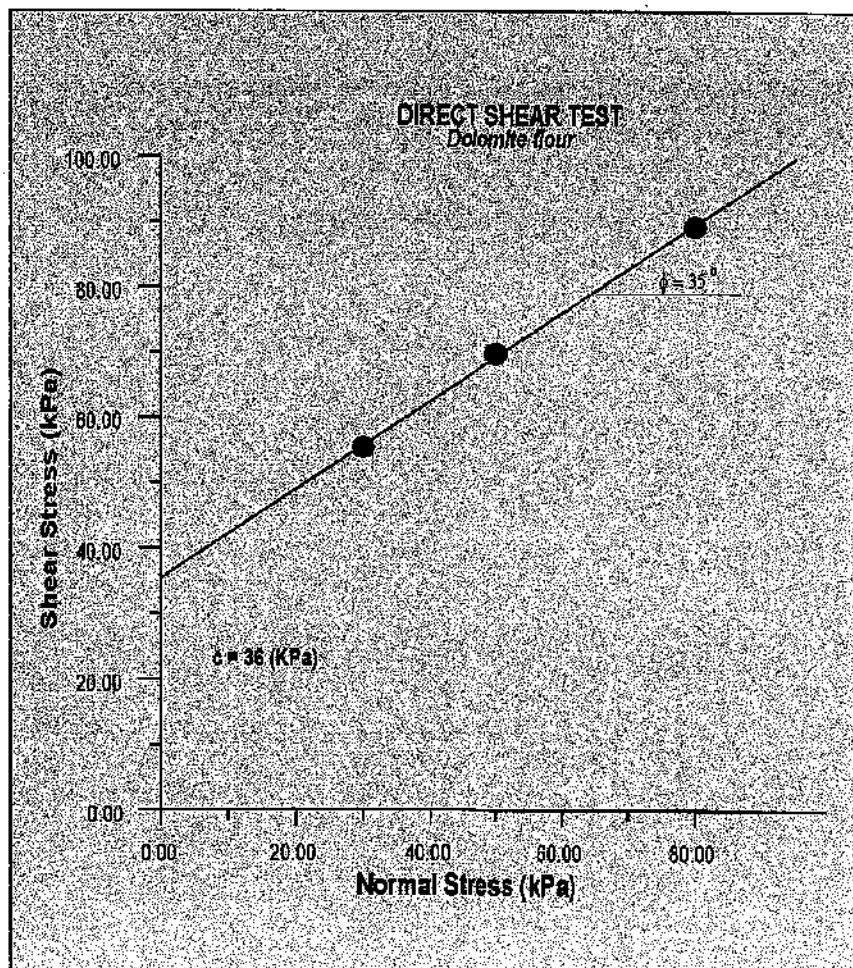
**Fig 2.6 - Direct shear (cd) test  
on the Dolomite flour.**

$$w = 2.74\%$$

**Fig. 2.7 - Direct shear (cd) test on the Dolomite flour.**  
 $w = 2.19\%$



**Fig. 2.8 - additional direct shear (cd) test on Dolomite flour.**  
 $w = 25\%$



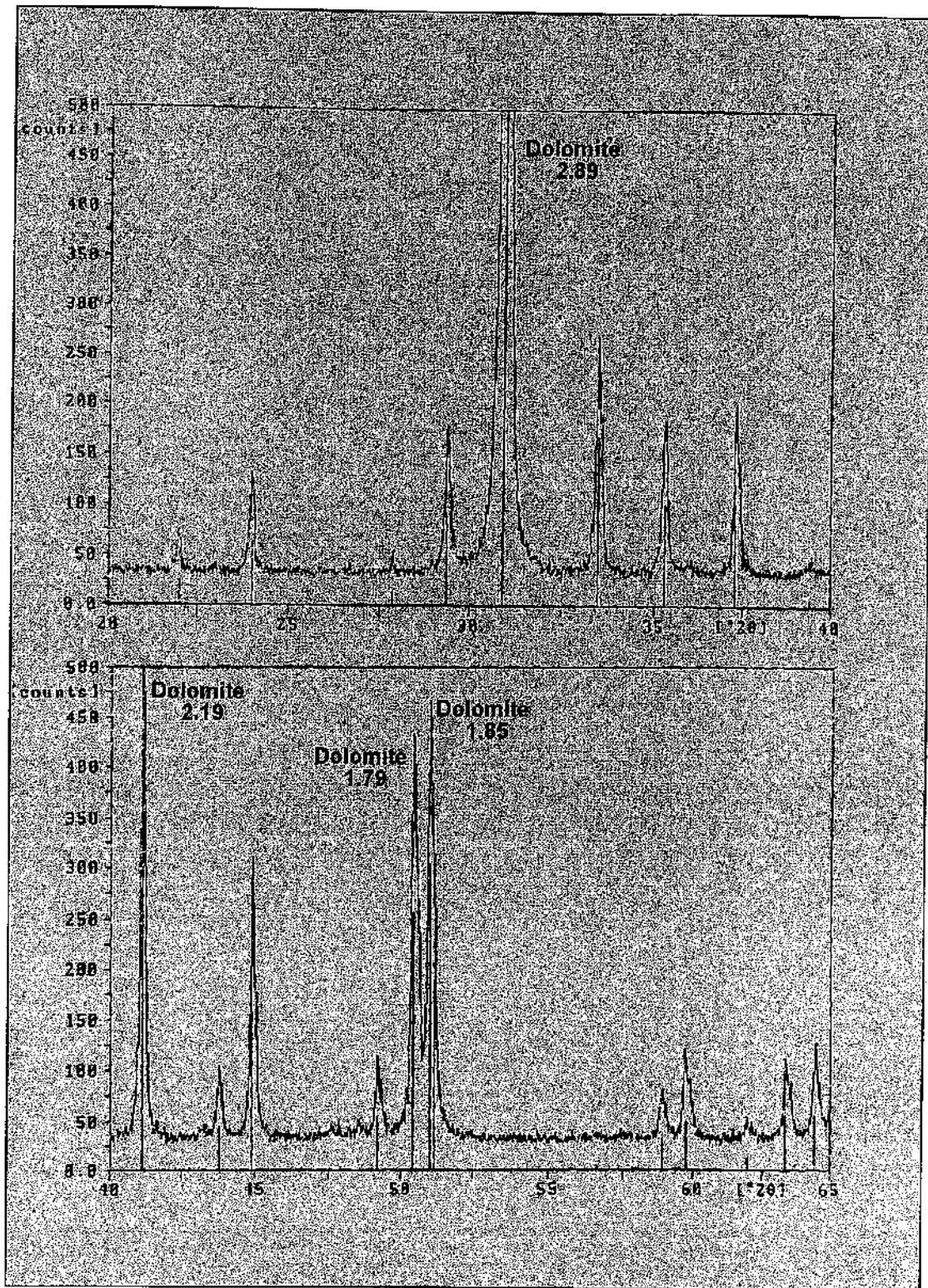


Fig. 2.9 - XRD analysis for the rock flour (Dolomite flour)

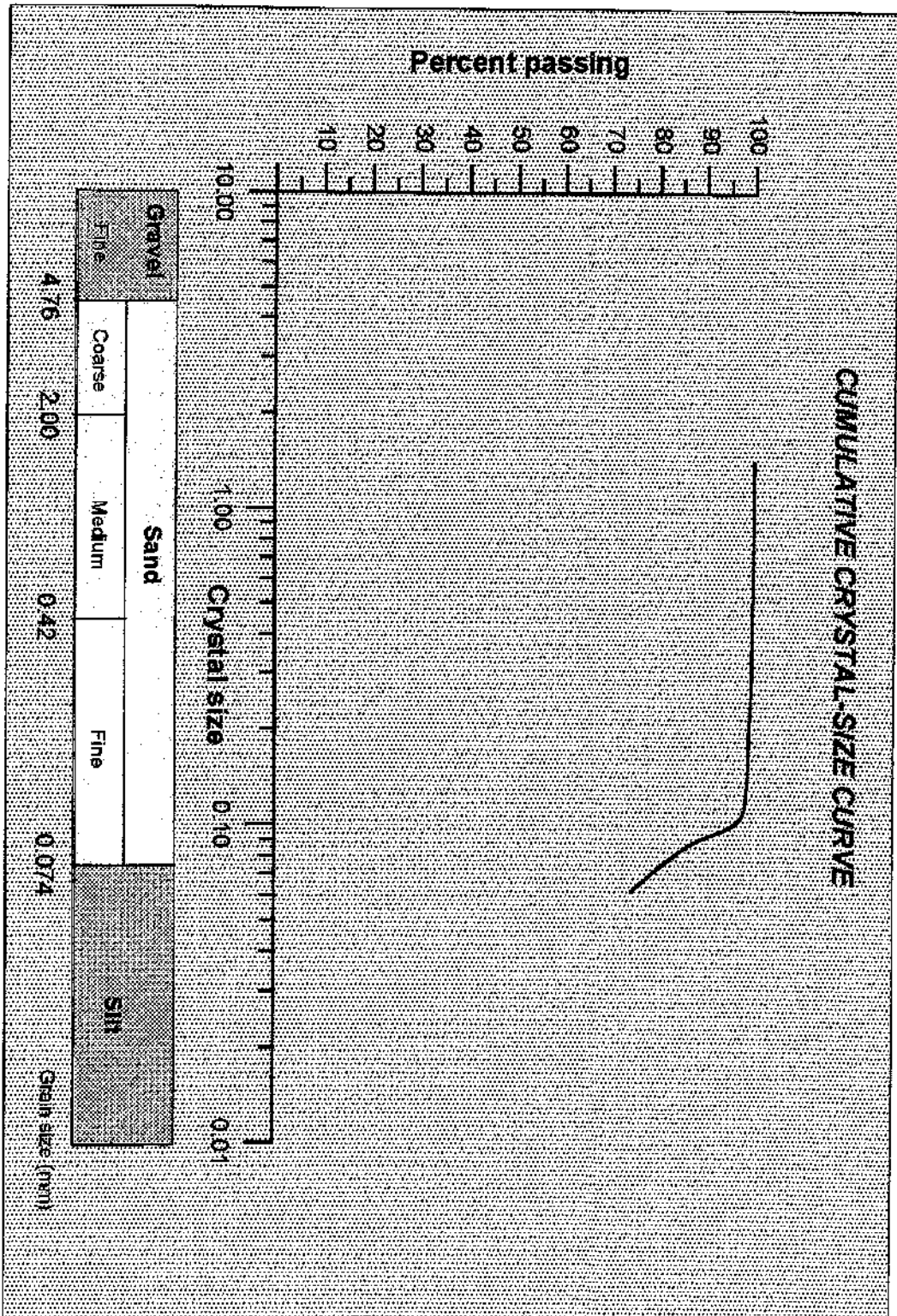


*Photo: 2.3 - Massive dolomite and yellowish dolomite flour.*

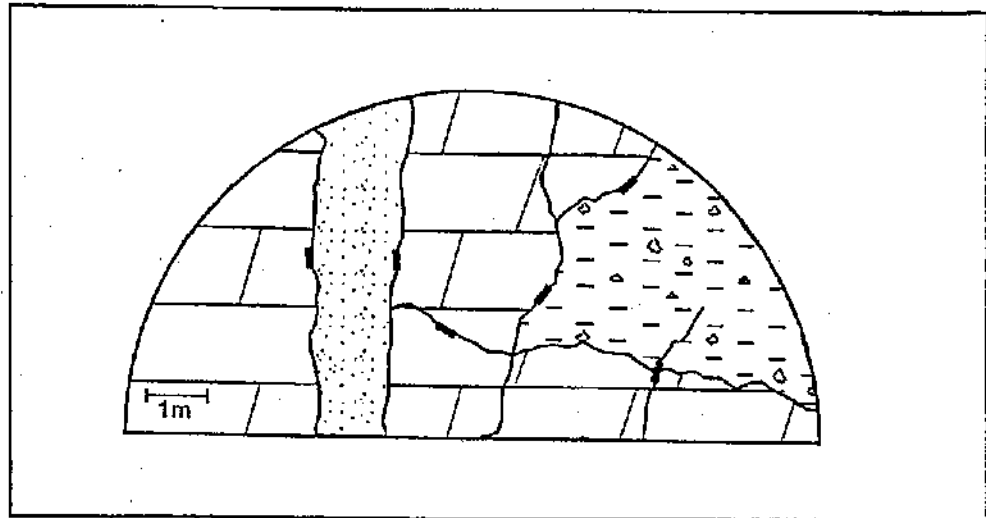
1 m



*Photo: 2.4 - Partial infilling  
of dolomite flour in karst  
along fracture.*



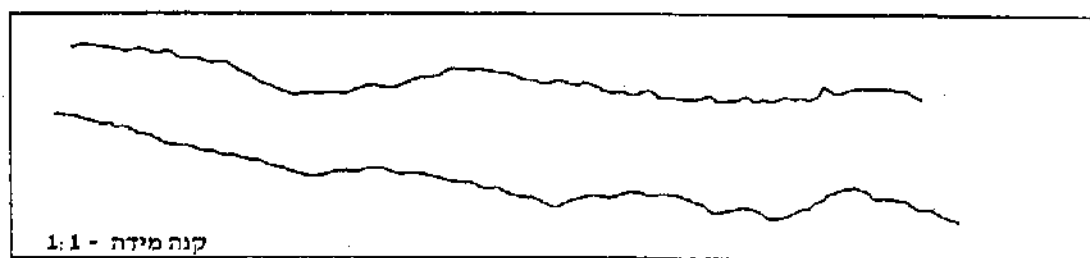
*Fig. 2.10 - Granulometric analysis for the Dolomite flour*



**Fig. 2.11 - Combination of massive dolomite, brecciated dolomite, clay and dolomite flour in the transition zone (section No. 430, southern area)**

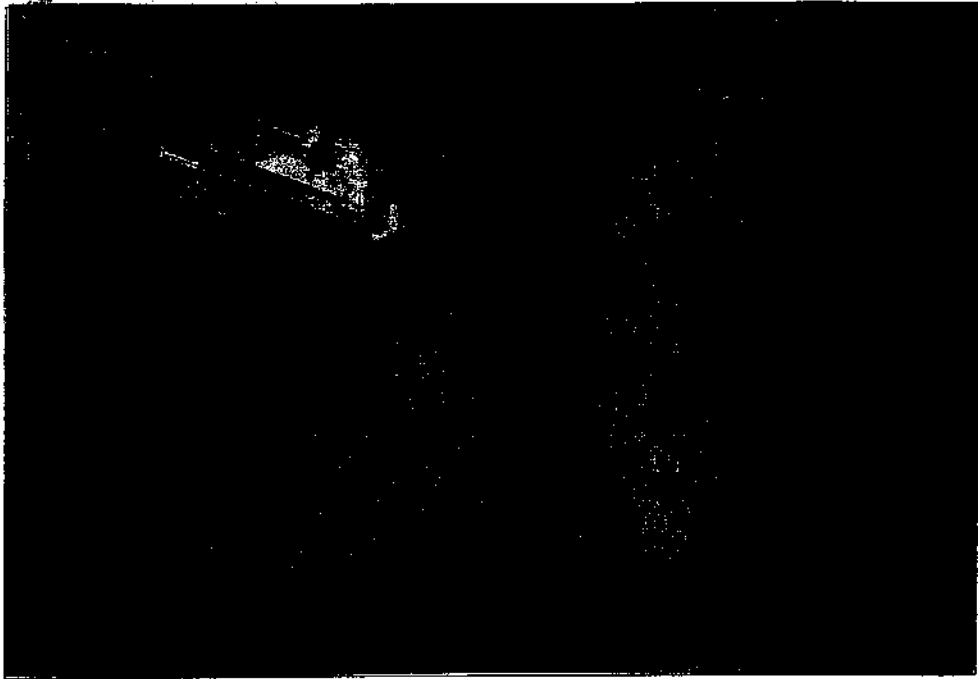
#### 2.1.4 תצורת עמינדב

תצורת עמינדב (ציור 2.12) אשר נמצאת מעל יחידת המעבר הנה בחלקה העליון יחידה דולומיטית אפורה ומאסיבית (תמונה 2.7) ובחלקה התחתון מורכבת מחילופין של גיר ודולומיט. הדולומיט הינו אפור עד אפור בהיר, קשה, בחלקו נקבובי ובונה שכבות בעובי של 0.50 - 1.00 מטר (Arkin et al. 1965). במעבר בין החלק התחתון לחלק העליון מופיעות שכבות חוזאר עד לעובי של חצי מטר. הגבול בין תצורת עמינדב ליחידת המעבר אינו ברור וניתן לראות בטווח של מטרים ספורים דולומיט מאסיבי, דולומיט בלוי ומפורר ושילוב של דולומיט מפורר ודולומיט אבקתי.

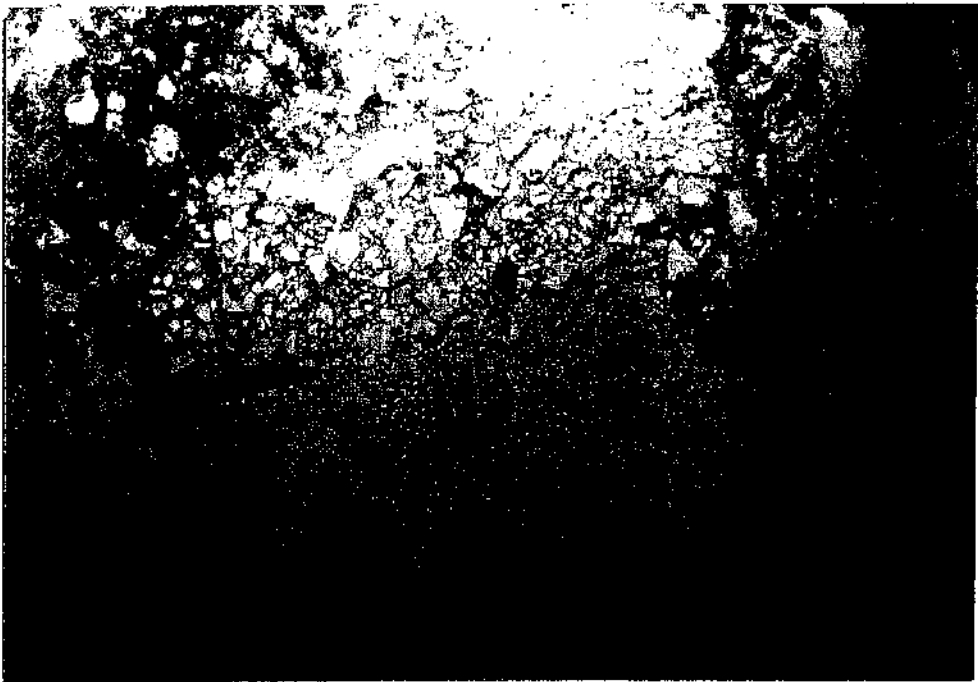


**Fig No. 2.13 - Roughness profile of joints from Aminudav formation**

דולומיט עמינדב מכיל שלוש מערכות סידוק עיקריות (ראה להלן פרק 5), הסדקים בחלקם פתוחים עד כ- 20 סנטימטרים ומלאים בהרסית חומה ובקרקע מסוג טרה רוטה שנשטפו פנימה מפני השטח (תמונה



*Photo: 2.5 - Dolomite flour surrounding clay. The dolomite flour forms a stable vertical wall, but disintegrates in the hand.*



*Photo: 2.6 - Clay pocket with rock fragments.*

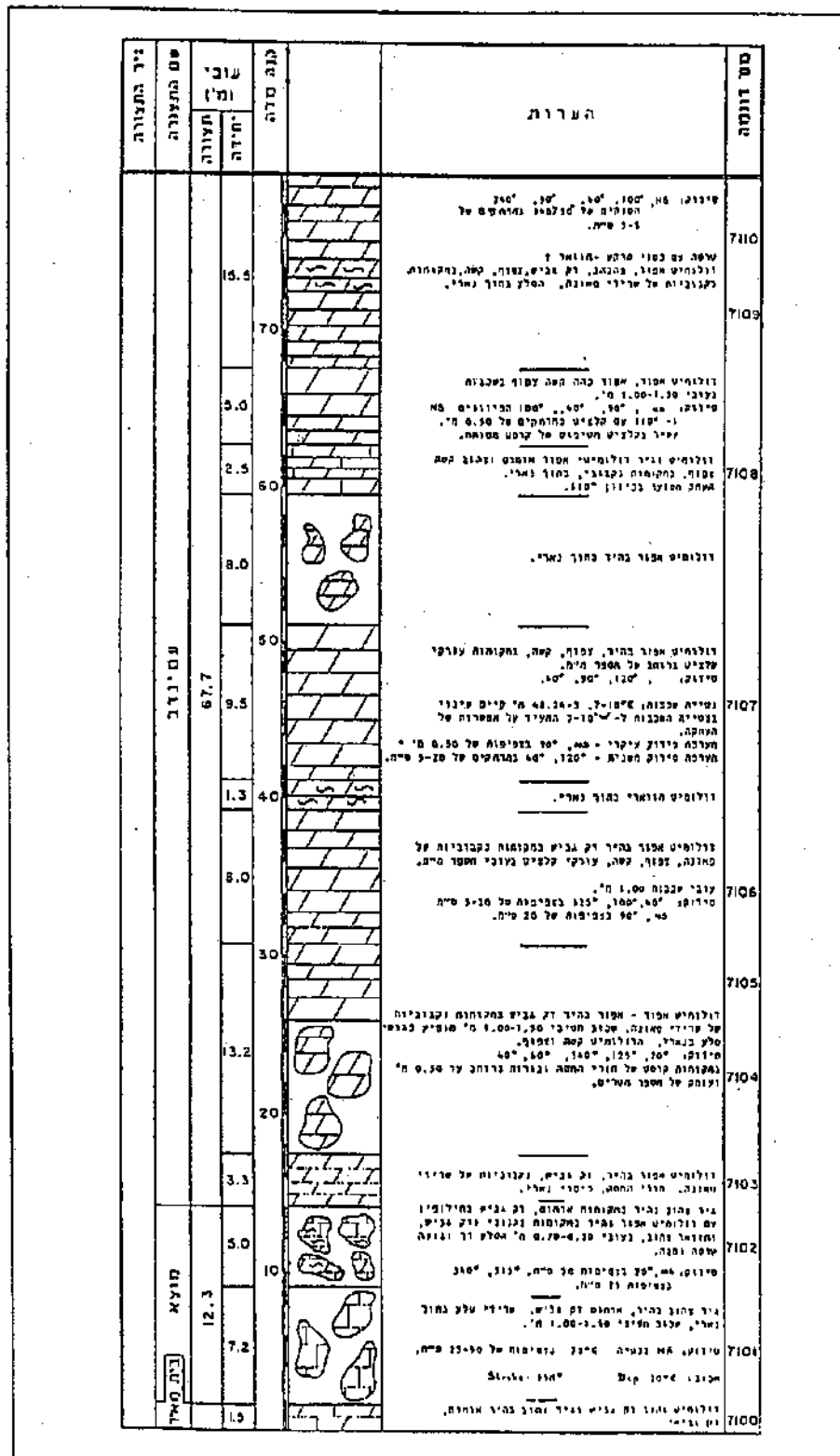


Fig. 2.12 - Columnar geological section, Aminadav Formation  
(from Arkin et al. 1987, in Hebrew)



*Photo: 2.7 - Massive dolomite in the Gilo Tunnel north portal.*



*Photo: 2.8 - Open fracture with clay and soil infilling.*

מספר 2.8). הסידוק מאופיין באנדולציות באמפליטודה של עד כמטר ובמישור סדק מהוספס (ציור 2.13). בנוסף לסדקים הסיסטמטיים ישנם סדקים נוספים המופיעים בדולומיט המאסיבי אך הם לרוב סגורים ללא חומר מילוי או "מולחמים" על ידי קלציט הנמצאת בין קירות הסדק.

ככל שיורדים בחתך, ניתן למצוא את דולומיט עמינדב בצורות הופעה שונות. הקטנת המרווח בין הסדקים גורמת לעליית כמות הסדקים וליצירת דרגשים כתוצאה מהצטלבות שתי מערכות סידוק (תמונה 2.9). צורת הופעה נוספת הנה דולומיט שבור ומרוסק (תמונה 2.10) הנוצר עקב התגברות הנוכחות של סדקים אקראיים בנוסף למערכות העיקריות. הסדקים בדולומיט זה מכילים לרוב חרסית וקרקע מסוג טרה רוסה והדולומיט ברובו מצופה בקרקע, כך שהצבע המאפיין הופעה זו הנו אפור עד חום אדמדם (תמונה 2.11).

#### 2.1.4 תופעות קארסט

תופעות של קארסט נפוצות מאוד בתצורת עמינדב ומלוות בחללי המסה ועורקי קלציט. במקומות מסוימים עשוי הקארסט להתפתח וליצור מערות בנפח של עשרות מטרים מעוקבים כגון בחתך של קשת 279 מכיוון דרום בו התגלתה מערה קארסטית בגודל של  $10m \times 7m \times 7m$  (ציור 2.14, תמונה 2.12). החללים קארסטיים באים לידי ביטוי גם בסידוק פתוח ומכילים מילוי של קרקע אשר נשטפה פנימה מפני השטח וחרסיות. לעתים ניתן לראות בחומר המילוי של החללים הקארסטיים גם שכב מאוד דק (תמונה 2.13) אשר מצביע על שקיעה מתוך גוף מים. בדיקת XRD הראתה כי חומר המילוי של החללים הקארסטיים והסידוק הפתוח הוא בהרכב חרסיתי בעיקר מונטמורילוניט שהיא חרסית תופחת וקאוליניט.

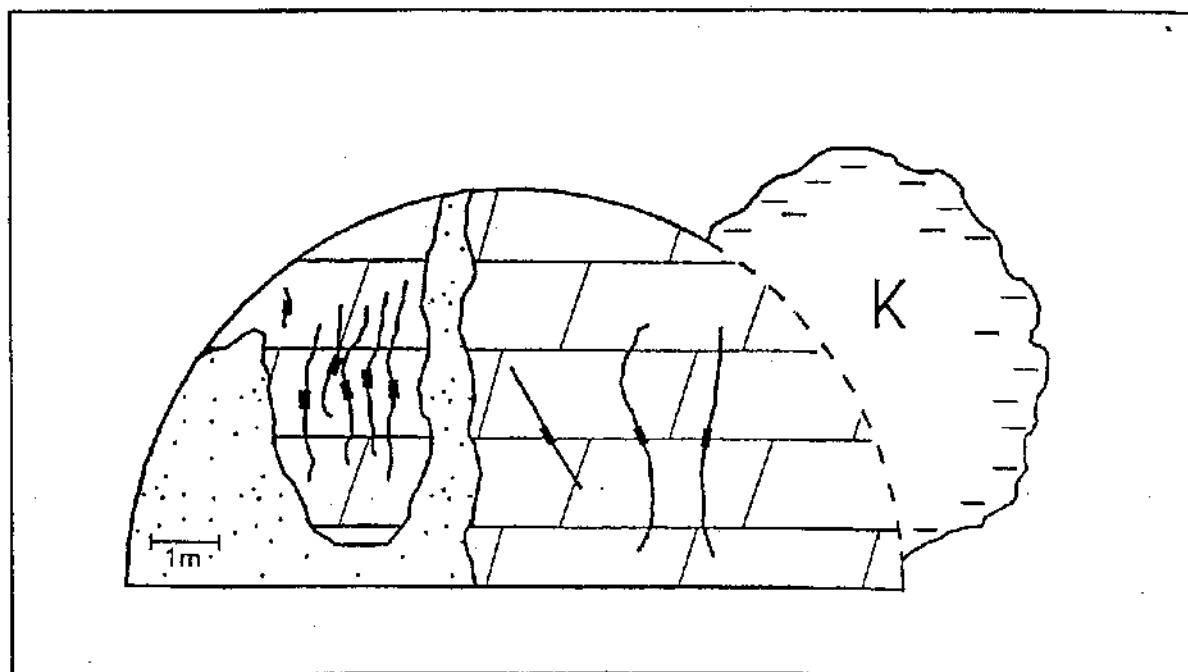
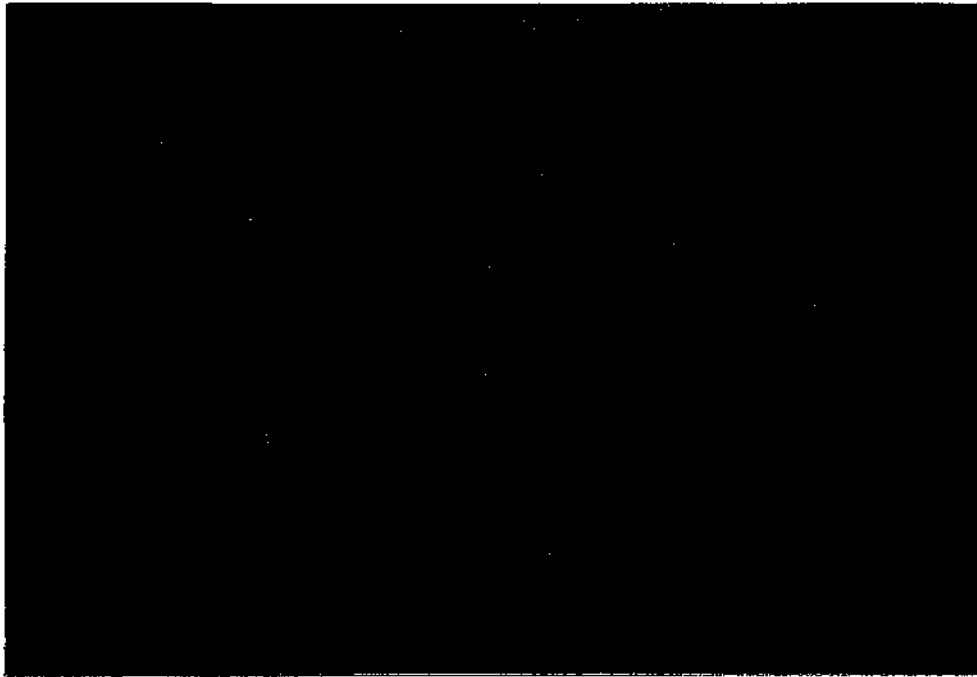
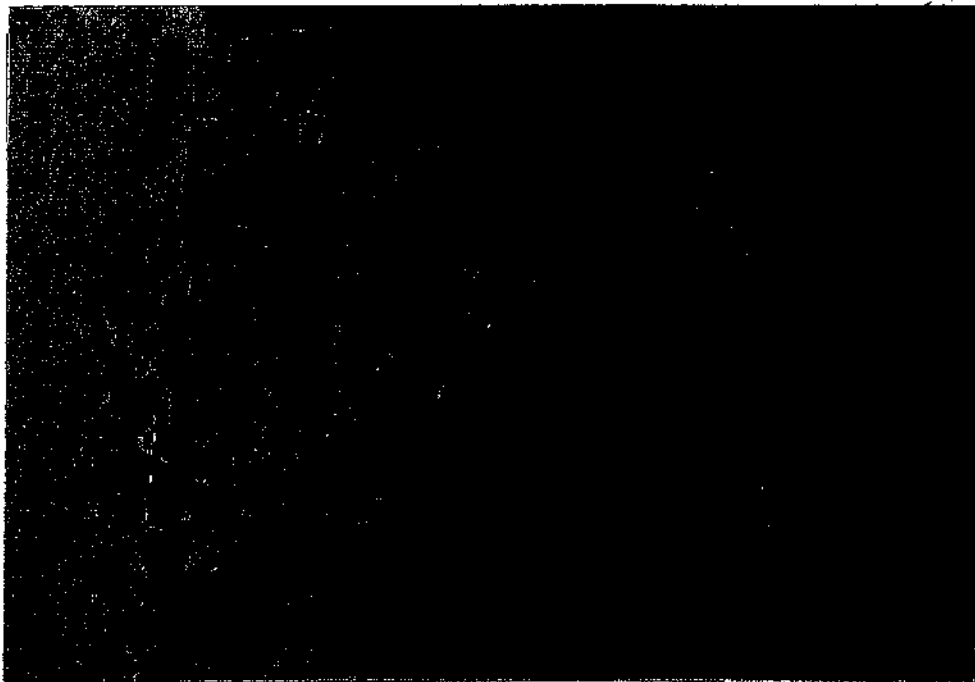


Fig 2.14 - Karstic cave in section No. 439 (southern area)

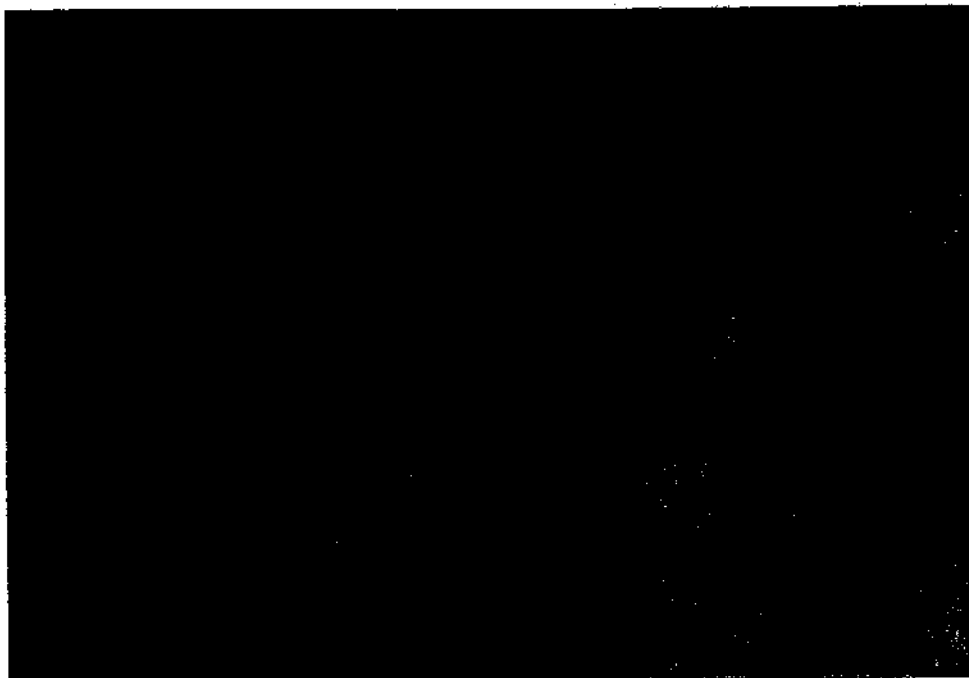


*Photo: 2.9 - Vertical fractures in dolomite.*



*Photo: 2.10 - Heavily fractured dolomite.*

1 m



*Photo: 2.11 - Heavily fractured dolomite with brown  
clay infillings.*

1 m



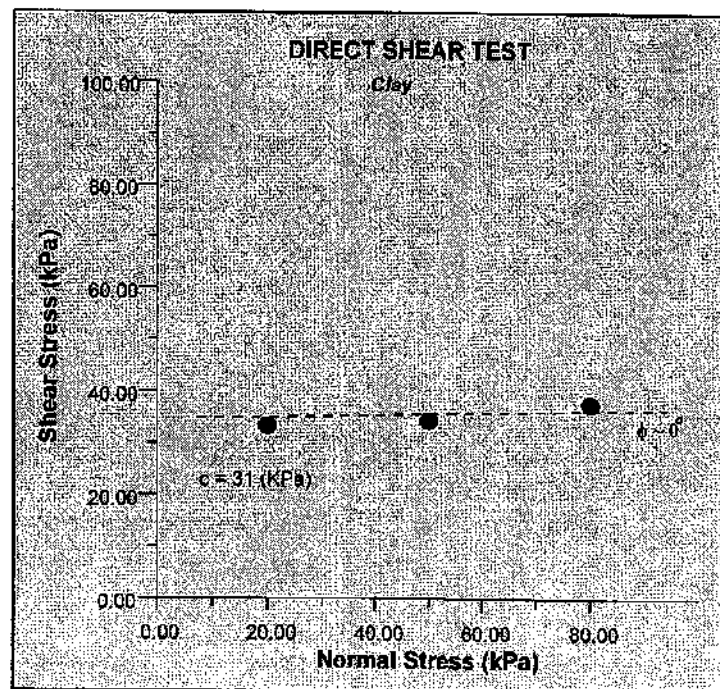
*Photo: 2.12 - Large karstic  
cave with clay infilling.*



*Photo: 2.13 - Layered clay in karstic massive dolomite.*

בדיקת גזירה ישירה שנעשתה על דוגמא של חומר מילוי מתוך חלל קארסטי הראתה זווית חיכוך פנימית של  $\phi \sim 0^\circ$  וקוהזיה של 31 KPa (ציור 2.15), תכולת הרטיבות של הדוגמא שנבדקה הגיע עד 74%. נוכחות חרסיות אלו בסדקים מורידה באופן משמעותי את החוזק ללחיצה ולמתוח של הסלע כפי שארע בניסוי הלחיצה החד צירי שהתבצע על גלעיני קידוח הגישוש שנעשה בכניסה הדרומית של המנהרה (גביש וחברי 1994). חוזק הלחיצה החד צירי שהתקבל עבור גלעינים אלו היה נמוך בהרבה מזה של הדולומיט המאסיבי והגיע עד 25 MPa בעוד החוזק של הדולומיט המאסיבי מגיע עד 100 MPa (ישראלי 1973) אין ספק כי חללי ההמסה הרבים והמילוי החרסיתי של הסדקים גרמו לסלע להיגזר באזורי חולשה אלו ללא קשר לפרמטרים הגיאומכניים שלו.

*Fig 2.15 - Direct shear (uu) test on the Clay in - filling material from open joints and karstic zones*



## 2.3 דולומיט אבקתי

בתחילת המנהור בכניסה הדרומית, בבסיס תצורת עמינדב, ולאורך כ - 450 מטרים הופיע חומר מפורר בעל התנהגות גיאומכנית דומה לחול. מבחינה הנדסית גרם החומר בעיות של יציבות ודרש תימוך מיידי ומאסיבי יותר. חומר זה הנו דולומיט אבקתי בעל גודל גביש הקטן מן החול ומכיל גם קלציט ומעט חרסיות. הופעה של דולומיט אבקתי מוכרת בעוד תצורות קרבונטיות דולומיטיות כגון תצורת ורדים. גודל התופעה שהתגלתה בבסיס תצורת עמינדב הנה בלתי מוכרת, בעוד שההכרות עם אבקת הדולומיט הייתה על

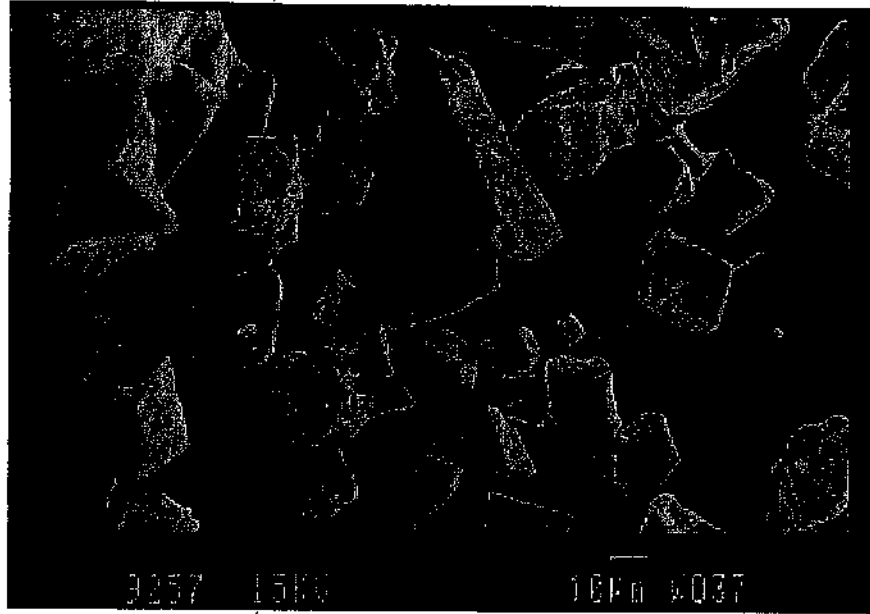
בסיס כיסים נקודתיים מקומיים ומוגבלת בגודלה, בסיס תצורת עמינדב מכיל רצועות עבות עד עשרה מטרים של דולומיט אבקתי.

תופעה זו מעוררת מספר שאלות בעלות חשיבות גיאולוגית וגיאונדסית. מבחינה גנטית מתעוררת השאלה כיצד נוצר הדולומיט האבקתי והאם אופן ההיווצרות של התופעה במקומות שונים דומה או שלשם יצירת "שכבות" נרחבות של דולומיט אבקתי היה צורך במנגנון שונה? כמו כן האם ניתן להתייחס לתופעה כעל פרט סטרייגרפי או שעדיין מדובר בהופעה מקומית, אם כי בצורה נרחבת יותר?

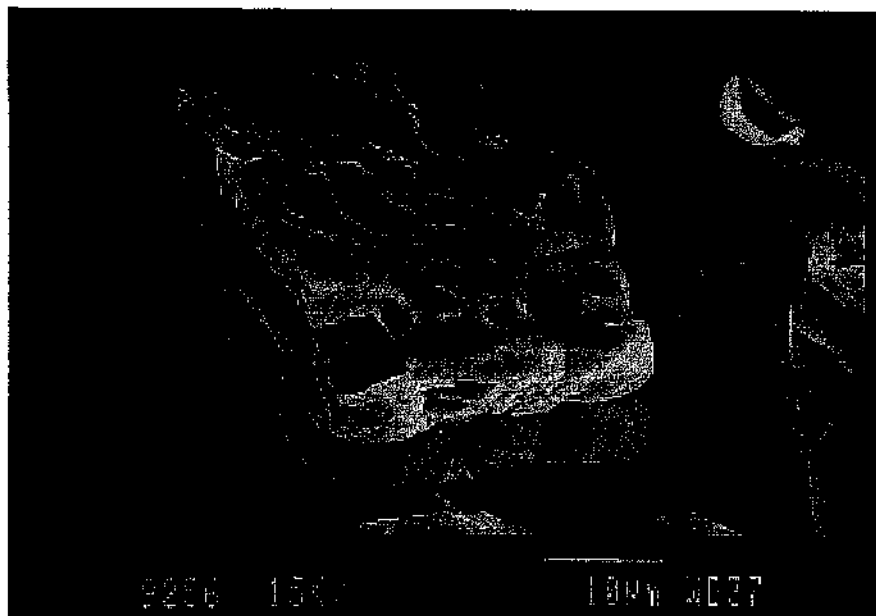
מבחינה גיאונדסית מעניינת השאלה האם ניתן לצפות את התופעה ולתת התרעה מראש בסקרים גיאולוגיים מקדימים, ובכך, לחסוך בעיות רבות שחתעוררו במהלך המנחור ונבעו מאי הכנה של הקבלן המבצע להתמודדות עם מאסת הסלע המארכת?

בתצלומי SEM (תמונות 2.14 - 2.17) ניתן לראות בבירור רומבים דולומיטיים אשר עברו המסה וחתעגלו בצורה חלקית. השאלה הגנטית המתעוררת היא האם הדולומיט האבקתי הוא אוטיגני או שהוא תוצאה מבליה של דולומיט מאסיבי יותר? את ההנחה שמדובר בבליה מחזקת העובדה שהתופעה נצפתה פעמים רבות במהלך המנחור לאורך סדקים וכיסי קארסט. כמו כן מציאת חרסיות, הנמצאות בדרך - כלל בסידוק פתוח וחללים קארסטיים, בעירוב יחד עם הדולומיט מחזקת את ההנחה שמדובר על תופעת בליה. יתכן שכאשר הדולומיטיזציה של היחידה הקרבונטית אינה מלאה נוצרת מסכית אוהדרלית המאפשרת מעבר נוח של תמיסות אשר חודרות למאסת הסלע, ואחראיות לקארסט ולפירור הרומבים הדולומיטיים לאורך נקודות המגע ביניהם (ע. ביין בע"פ 1995). כפי שניתן לראות בתמונות 2.14 ו- 2.15 אכן יש צריבה של פני שטח הגבישים המעידות על בליה מסוימת. בנוסף לתהליך הבליה רואים בתמונה 2.17 כי יש שקיעה חדשה של רומבים אוהדרלים לחלוטין על הרומבים הדולומיטיים הבלויים. שקיעה זו מצביעה על הדינמיות של התהליך ומראה את האפשרות הקיימת ליצירת דולומיט אוטיגני.

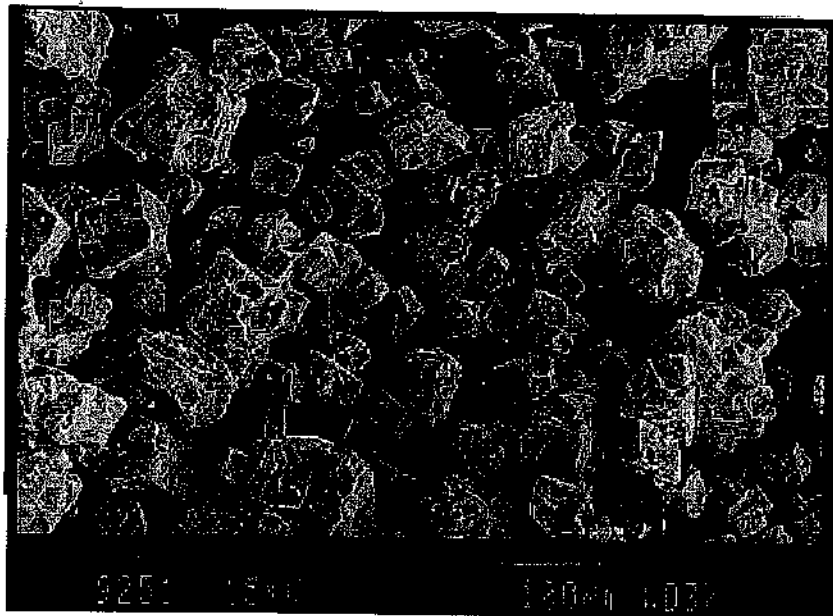
על מנת לחקור היטב את התופעה יש לבצע בדיקות גיאוכימיות (סטוכיומטריה, בדיקות איזוטופים) ולנסות ולראות את הזהות וחשוני בין מבנה הדולומיט האבקתי לבין דולומיט עמינדב המאסיבי ולזהות עקבות של תמיסות אשר גרמו לבליה. בדיקות אלו יכולות לתת תשובה לגבי מקור הדולומיט האבקתי ובכך להסביר את מנגנון ההיווצרות אשר יעזור להבנת התופעה בכלליותה.



*Fig. 2.14 - Weathered dolomite rhombs*



*Fig. 2.15 - Etched surface of dolomite crystal*



*Fig 2.16 - General view of dolomite rhombs forming rock flour*



*Fig 2.17 - Weathered dolomite rhomb overlain by euhedral rhomb*

## שיטות סיווג אמפיריות

### 3.1 רקע היסטורי

הראשון שפיתח שיטת סיווג למאסת סלע היה Terzaghi (1946). שיטתו הייתה מבוססת על הערכת העומס אשר נוצר על ידי הסלע עקב שחרור מאמצים בעת הכרייה ולאחריה. לאחר הערכת העומס הנוצר על ידי הסלע התאים Terzaghi את התימוך שהיה מבוסס על קשתות ברזל בלבד, סוג תימוך זה היה מקובל ובשימוש נרחב ב- 50 השנה האחרונות.

Cecil (1970) הגיע למסקנה ששיטה זו חנה כללית ואינה יכולה לאפשר את הערכת איכות מאסת הסלע. שיטה זו אינה מסוגלת להתמודד עם שיטות תימוך מודרניות אשר אינן מתבססות רק על קשתות ברזל, אלא על תימוך הכולל גם ברגי סלע ובטון מותז.

Lauffer (1958) פרסם שיטת סיווג המבוססת על עבודה מוקדמת של Stini (1950) בגיאומכניקה של מנהרות. Lauffer (1958) הציע שזמן העמידה של מנהרה בצורה יציבה ללא תימוך (stand-up time), משתנה בהתאם למאסת הסלע, והינו פונקציה של גודל המפתח של המנהרה (active span). משמעות הדבר שזמן היציבות של מנהרת תלוץ קטנה אינו שווה לזמן היציבות של מנהרה בעלת מפתח גדול יותר, והינו ארוך יותר. שיטת סיווג זו מציגה את זמן היציבות ואת גודל המפתח כפרמטרים הרלוונטיים בהגדרת סוג וכמות התימוך הנדרש.

זמן היציבות של מנהרה הוא פונקציה גם של כיוון ציר המנהרה ביחס למאסת הסלע (מישורי אי הרציפות), צורת החתך של המנהרה ושיטת הכרייה (Bieniawski 1989).

Deere (1967) פרסם את אינדקס ה- RQD (Rock Quality Designation), שיטה זו התבססה על ההחזר (recovery) של גלעיני קידוח, סך כל אורך הגלעינים אשר אורכם גדול מ- 10 סנטימטרים, ביחס למרווח דיגום של מטר אחד, ומהווה אינדיקציה למצב הסידוק ומצב הבליה ומכאן לאיכות הסלע כפי שבא לידי ביטוי בטבלה 3.1).

**Table 3.1 - Rock mass rating by RQD values**  
(From Deere 1967)

| RQD(%)  | Rock quality | RQD(%)   | Rock quality |
|---------|--------------|----------|--------------|
| < 25    | Very poor    | 75 - 90  | Good         |
| 25 - 50 | Poor         | 90 - 100 | Excellent    |
| 50 - 75 | Fair         |          |              |

Merritt (1972) פיתח שיטת תימוך המסתמכת על ה - RQD, אך ניתן לאמר כיום כי פרמטר זה

לבדו אינו טוב מספיק על מנת לתת תמונה הנדסית, כמותית על איכות מאסת הסלע.

Wickham et al. (1972) הציגו בארה"ב שיטת סיווג כמותית הנקראת Rock Structure Rating

(RSR) concept זו הייתה הפעם הראשונה שהוצגה שיטה שלמה לסיווג מאסת הסלע ובחירת התימוך הנדרש מאז Terzaghi (1946). יתרונות הסיווג נבעו מכך שה - RSR הנה שיטה כמותית שכללה מספר פרמטרים ולא התבססה על פרמטר אחד בלבד. השיטה אפשרה הכנסת נתונים, עיבודם והצגת תוצאות ללא צורך בהסתמכות על ניסיון השדה של המשתמש.

הסיווג התבסס על שלושה פרמטרים עיקריים:

א. תיאור כללי של הסלע ומבנהו.

1. מקור הסלע (מאגמות, מטמורפי, סדימנטרי)

2. קושי הסלע (קשה, רך, בינוני, לא מלוכד)

3. מבנה גיאולוגי (מאסיבי, דרגת הקימוט או השבירה)

ב. השפעת מישורי אי הרציפות בהתחשב בכיוון המנהרה.

1. מרווח בין סדקים.

2. כיוון הדיפ וכמותו.

3. כיוון ציר המנהרה.

ג. השפעת מי התהום.

1. השפעת מי התהום על הסלע כפי שמתואר בסעיף א.

2. השפעת מי התהום על מצב הבליה בסדקים.

3. כמות השפיעה של מי התהום ליחידת שטח ביחידת זמן.

כל אחד מהפרמטרים הנ"ל קיבל ערך מספרי ולפי הערך המצטבר הוגדרה איכות מאסת הסלע

ונבחר התימוך הנדרש.

כיום נהוגות בעולם שתי שיטות סיווג עיקריות: האחת של Bieniawski (1974) הנקראת RMR (Rock Mass Rating) והשנייה של Barton et al. מ-1974 הנקראת Q (Quality). שיטות אלו משמשות כבסיס לעבודת המחקר כפי שמפורט בפרק העוסק בתאור מסרות המחקר. לצד שיטות אלו קיימות שיטות נוספות כגון: NATM שזו השיטה האוסטרית (Rabcewicz 1964), ISRM classification (ISRM 1981) ועוד שיטות אשר אינן מפורטות כאן.

## 3.2 שיטת הסיווג - RMR, דירוג איכות מאסת הסלע

### (Rock Mass Rating)

שיטת הסיווג 'RMR' פותחה על ידי Z.T. Bieniawski בשנים 1972 - 1973 ופורסמה בשנת 1974. במשך השנים, ככל שהתווספו נתונים מאתרי מנהור ומכרות, עודכנה שיטת הסיווג והפרמטרים שוו בהתאם לתוצאות שהתקבלו מ- 351 אתרי מחקר (Bieniawski 1989). למרות השינויים חשוב לציין כי העקרונות והפרמטרים, עליהם בוסס הסיווג הגיאומכני לאורך שנים, לא שנו.

שיטת 'RMR' הנה שיטה אמפירית המבוססת על שישה פרמטרים משמעותיים. השיטה מחלקת גופי סלע לאזורים בעלי התנהגות מכנית דומה ובחסתמך על שיטת הסיווג של Lauffer (1958) מעריכה את זמן היציבות של המנהרה ללא תימוד, בהתאם לגודל המפתח. בטבלה מספר 3.2 מוצגים הפרמטרים המרכיבים את שיטת הסיווג 'RMR' כפי שהם מפורטים להלן:

1. חוזק בלחיצה חד - צירי של הסלע או לחיצה נקודתית (Uniaxial compressive strength, Point load).
2. דרגת איכות הסלע (Drill core quality, RQD).
3. מרווח בין הסדקים (Spacing of joints).
4. מצב הסדקים (Condition of joints).
5. זרימת מי תהום (Ground water inflow).
6. כיוון מישורי אי הרציפות (Orientation of joints).

פרמטרים אלו אינם בעלי חשיבות שווה ולפיכך משקלם היחסי בדירוג מאסת הסלע משתנה. הדירוג מבוצע על פי טבלה 3.2 במספרים מ- 1 עד 100 וככל שהוא גבוה יותר כך מאסת הסלע איכותית יותר. במקרים גבוליים הטבלה אינה מספקת פתרון מוחלט ולכן ניתן לדרג את שלושת הפרמטרים הראשונים (חוזק לחיצה חד - צירי, RQD ומרווח בין הסדקים) בעזרת גרפים מותאימים. גרפים אלו הנראים בציורים 3.1, 3.2 ו- 3.3 נועדו גם למנוע את הרושם של "קפיצות" גדולה בדירוג בין מרכיבי הטבלה השונים. על מנת לדרג את הפרמטר הרביעי המתנייח למצב הסדקים ניתן להיעזר בטבלה 3.3.

# A. CLASSIFICATION PARAMETERS AND THEIR RATING

| Strength of<br>rock (MPa)             | Point load strength<br>(MPa)             | RMR (1989)                                                                           |                                                                             |                                                                           |                                                                                           | For this low range,<br>uniaxial<br>compressive test is<br>preferred |
|---------------------------------------|------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
|                                       |                                          | 1                                                                                    | 2                                                                           | 3                                                                         | 4                                                                                         |                                                                     |
| measured                              | Equivalent compressive<br>strength (MPa) | >250                                                                                 | 100 - 250                                                                   | 50 - 100                                                                  | 25 - 50                                                                                   | 5 - 25                                                              |
|                                       |                                          | 15                                                                                   | 12                                                                          | 7                                                                         | 4                                                                                         | 2                                                                   |
|                                       |                                          | 90 - 100                                                                             | 75 - 90                                                                     | 50 - 75                                                                   | 25 - 50                                                                                   | 1                                                                   |
|                                       |                                          | 20                                                                                   | 17                                                                          | 13                                                                        | 8                                                                                         | 0                                                                   |
| Point load strength<br>(MPa)          | Equivalent compressive<br>strength (MPa) | >2 m                                                                                 | 0.6 - 2 m                                                                   | 200 - 600 mm                                                              | 60 - 200 mm                                                                               | <60 mm                                                              |
|                                       |                                          | 20                                                                                   | 15                                                                          | 10                                                                        | 8                                                                                         | 5                                                                   |
|                                       |                                          | 20                                                                                   | 17                                                                          | 13                                                                        | 8                                                                                         | 3                                                                   |
|                                       |                                          | 20                                                                                   | 15                                                                          | 10                                                                        | 8                                                                                         | 5                                                                   |
| Separation of discontinuities<br>(mm) | Separation of discontinuities<br>(mm)    | Very rough<br>surface<br>Not continuous<br>No separation<br>Unweathered<br>wall rock | Slightly rough<br>surface<br>Separation <1mm<br>Slightly<br>weathered walls | Slightly rough<br>surface<br>Separation <1mm<br>Highly weathered<br>walls | Slackensided surface<br>or<br>Gouge < 5 mm thick<br>or<br>Separation 1-5 mm<br>Continuous | Soft gouge > 5 mm<br>thick<br>or<br>Separation > 5mm<br>Continuous  |
|                                       |                                          | 30                                                                                   | 25                                                                          | 20                                                                        | 10                                                                                        | 0                                                                   |
|                                       |                                          | None                                                                                 | < 10                                                                        | 10 - 25                                                                   | 25 - 125                                                                                  | > 125                                                               |
|                                       |                                          | or                                                                                   | or                                                                          | or                                                                        | or                                                                                        | or                                                                  |
| Groundwater<br>condition              | Groundwater<br>condition                 | 0                                                                                    | < 0.1                                                                       | 0.1 - 0.2                                                                 | 0.2 - 0.5                                                                                 | > 0.5                                                               |
|                                       |                                          | or                                                                                   | or                                                                          | or                                                                        | or                                                                                        | or                                                                  |
|                                       |                                          | Completely dry                                                                       | Damp                                                                        | Wet                                                                       | Dripping                                                                                  | Flowing                                                             |
|                                       |                                          | 15                                                                                   | 10                                                                          | 7                                                                         | 4                                                                                         | 0                                                                   |

Table 3.2 - The Rock Mass Rating (RMR) parameter.  
(From Bieniawski 1989)

## B. RATING ADJUSTMENT FOR DISCONTINUITY ORIENTATION

| Strike-slip, normal, or thrust faulting | Very favorable | Favorable | Fair | Unfavorable | Very unfavorable |
|-----------------------------------------|----------------|-----------|------|-------------|------------------|
| 0° to 15°                               | 0              | -2        | -5   | -10         | -12              |
| 15° to 30°                              | 0              | -2        | -7   | -15         | -25              |
| 30° to 45°                              | 0              | -5        | -25  | -50         | -60              |

## C. ROCK MASS CLASS DETERMINED FROM TOTAL RATING

| 100 - 81       | 80 - 61   | 60 - 41   | 40 - 21   | < 20           |
|----------------|-----------|-----------|-----------|----------------|
| I              | II        | III       | IV        | V              |
| Very good rock | Good rock | Fair rock | Poor rock | Very poor rock |

## D. MEANING OF ROCK MASS CLASSES

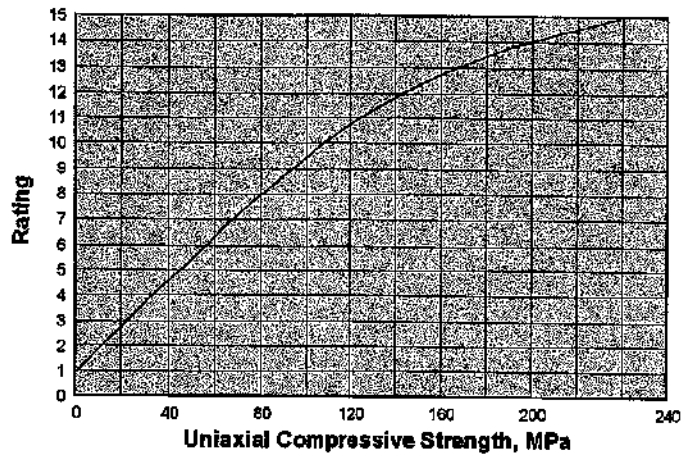
| I                   | II                 | III               | IV                 | V                   |
|---------------------|--------------------|-------------------|--------------------|---------------------|
| 20 yr. for 15m span | 1 yr. for 10m span | 1 wk. for 5m span | 10 h for 2.5m span | 30 min. for 1m span |
| > 400               | 300 - 400          | 200 - 300         | 100 - 200          | < 100               |
| > 45                | 35 - 45            | 25 - 35           | 15 - 25            | < 15                |

Table 3.2 - Continue...

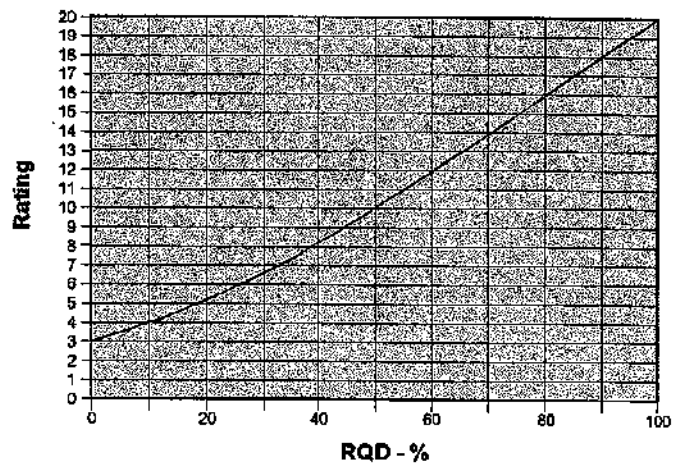
| Discontinuity condition | < 1 m | 1 - 3 m             | 3 - 10 m             | 10 - 20 m           | > 20 m              |
|-------------------------|-------|---------------------|----------------------|---------------------|---------------------|
| None                    | 6     | 4                   | 2                    | 1                   | 0                   |
| None                    | 6     | < 0.1 mm            | 0.1 - 1.0 mm         | 1 - 5 mm            | > 5 mm              |
| Very rough              | 6     | rough               | Slightly rough       | Smooth              | Stickensided        |
| None                    | 6     | Hard filling < 5 mm | Hard filling > 5 mm  | Soft filling < 5 mm | Soft filling > 5 mm |
| Unweathered             | 6     | Slightly weathered  | Moderately weathered | Highly weathered    | Decomposed          |
|                         | 6     | 5                   | 3                    | 1                   | 0                   |

Table 3.3 - Rating for the condition of discontinuity parameter. When the joint infilling is thick, the roughness is irrelevant and the rating is done with table 3.1 directly. (From Bieniawski 1989)

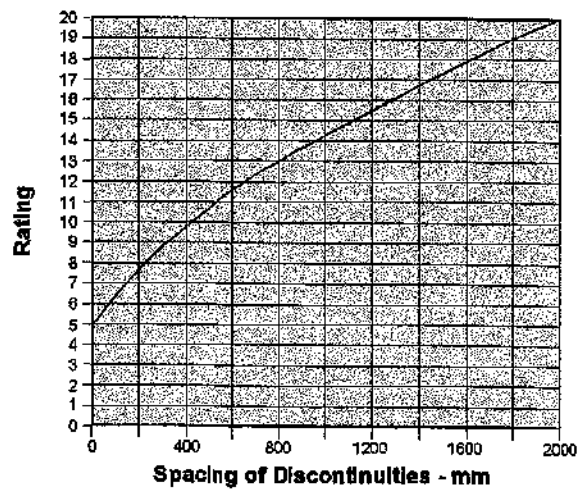
**Fig. 3.1 - Rating the strength parameter.**  
(From Bieniawski 1989)



**Fig. 3.2 - Rating for RQD.**  
(From Bieniawski 1989)



**Fig. 3.3 - Rating for discontinuity spacing.**  
(From Bieniawski 1989)



### 3.2.1 תיאור הפרמטרים

#### 3.2.1 א. חוזק לחיצה חד - צירית או לחיצה נקודתית

##### (Uniaxial compressive strength or Point load)

פרמטר זה הוכנס כגורם משמעותי למקרים בהם מאסת הסלע אינה משופעת מישורי אי רציפות ולכן יורדת חשיבות של הפרמטרים שעוסקים בסעיף זה. במקרים אלו, חוזק הסלע הוא הגורם העיקרי אשר יקבע את ההזדמנויות המכנית של מאסת הסלע. יש לקחת בחשבון את כיוון הלחיצה הפחות מועדף כלומר, למדוד את החוזק לחיצה בכיוון החלש יותר.

קיים קשר בין החוזק לחיצה חד - צירית לבין החוזק לחיצה נקודתית והוא בא לידי ביטוי

בנוסחה מספר 3.1.

$$U = 24 * I_s \quad (3.1)$$

$U$  - חוזק לחיצה חד - צירית של גלעין בעל יחס אורך לקוטר של 2 ל - 1, [kPa].

$I_s$  - חוזק לחיצה נקודתית (Point load index) [kPa].

קשר זה אינו מובחן והוא משתנה, סביב ערך דומה, בין יחידות גיאולוגיות שונות. כמו כן משתנה הנוסחה בהתאם לגודל הגלעינים הנבדקים, כך שנוסחה זו היא כללית ויש לבדוק כל מקרה לגופו.

#### 3.2.1 ב. (Rock Quality Designation) RQD

איכות גלעין הקידוח כפי שהוגדרה על ידי Deere ב - 1967 מבטאת את מצב הסידוק במאסת הסלע. ה - RQD הוא סכום אורך גלעיני הקידוח הגדולים מ - 10 סנטימטרים מחולק לאורך מקטע הקידוח. ככל שערכי RQD גבוהים יותר כך מאסת הסלע סדוקה פחות ומאסיבית יותר. Bieniawski (1974) השתמש בפרמטר זה גם כאינדקסיה למצב הבליה בסלע. יש לזכור כי ה - RQD מושפע מנתונים טכניים כגון מהירות הקידוח, סוג מכונת הקידוח ועוד.

#### 3.2.1 ג. מרווח בין מישורי הסידוק (Spacing)

לסידוק קיימת השפעה גדולה על הגדרת איכות מאסת הסלע. סלע בעל חוזק לחיצה חד צירי גבוה, יכול להיכשל לאורך מישור אי רציפות, כאשר החוזק לגזירה של מישור אי הרציפות נמוך יותר. ככל

שהרווח בין הסדקים גדול יותר ומספר מערכות הסידוק קטן יותר, עולה איכות מאסת הסלע. לצורך החגדרה יש לציין כי כל מישור אי רציפות נחשב כמישור סידוק כולל שכוב טבלה מספר 3.4 מסווגת את הסידוק בהתייחס למרווח בין הסדקים.

| Discontinuity<br>classification | Spacing<br>of joints<br>classification | Rock mass<br>classification |
|---------------------------------|----------------------------------------|-----------------------------|
| Very wide                       | >3m                                    | Solid                       |
| Wide                            | 1 - 3m                                 | Massive                     |
| Moderately<br>close             | 0.3 - 1m                               | Blocky / seamy              |
| Close                           | 50 - 300mm                             | Fractured                   |
| Very close                      | <50mm                                  | Crushed                     |

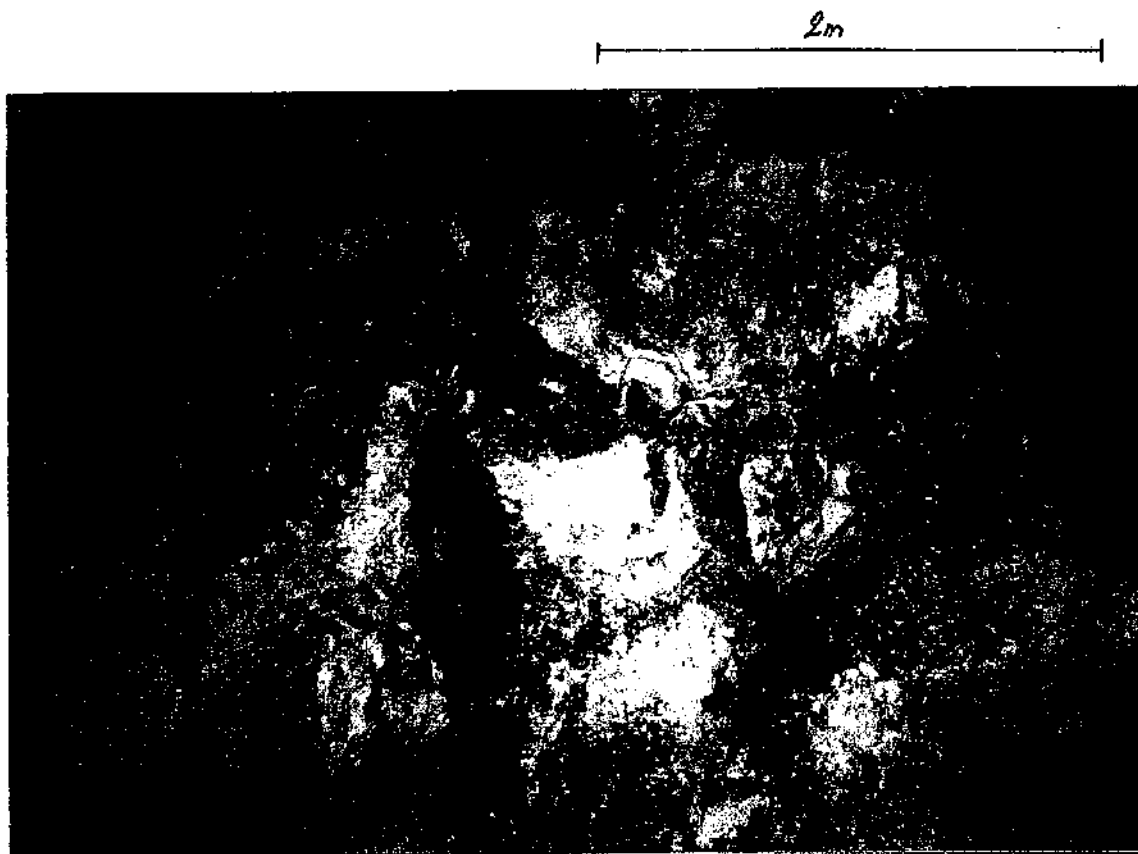
**Table 3.4 - Classification of Joints  
based on spacing.  
(From Bieniawski 1974)**

### 3.2.1. מצב מישורי אי הרציפות Condition of discontinuities

פרמטר זה כולל את כמות הפתיחה של הסדקים, רציפות הסדקים, חספוס מישורי הסדק וחומר המילוי אם קיים. ככל שכמות הפתיחה בין קירות הסדק קטנה יותר, חספוס מישור הסדק גדול יותר וכמות חומר המילוי הרך קטנה יותר כך עולה הדירוג של מאסת הסלע. המילוי יכול להיות מילוי רך המורכב מקרקע, חרסיות ואף חול ואז איכות מאסת הסלע יורדת, אך כאשר המילוי הינו קשה ויוצר מעין הלחמה בין קירות הסדק יכול הדבר להביא אף להגדלת חוזקו של הסלע ולפיכך גם עליה בדירוג איכות מאסת הסלע. ככל שהסדקים גדולים יותר ורציפים יותר דרוג מאסת הסלע יורד היות וסדקים אלו יכולים לשמש כצינור לזרימת מי תהום, ליצור בלוקים גדולים ולגרום או לזרוז את בליית מאסת הסלע. בנוסף, כאשר הליתולוגיה של מאסת הסלע ותנאי האקלים מתאימים תיתכן היווצרות של מערכות קארסטיות המחלישות את מאסת הסלע.

### 3.2.1. ה. מי - תהום Ground water

המים מהווים גורם משמעותי בזירוז וההליכי הבליה. המים זורמים בסדקים, גורמים להרחבתם ומשתמשים בסדקים כבסיס השקעה. כך נפתחים הסדקים ונוצר בהם מילוי (תמונה מספר 3.1) הגורם לירידה בדירוג איכות מאסת הסלע. בנוסף נוכחות של מי תהום מאלצת את המתכנן להתמודד עם בעיות של עומס הטבעות מנוכחות המים.



*Photo: 3.1 - Fractures with clay infillings in the Amminadav Formation.*

### 3.2.1. דירוג המבנה הגיאולוגי

לאחר חישוב חמשת הפרמטרים הנ"ל המופיעים בחלק A של טבלה 3.2 המתייחסים לאלמנטים גיאולוגיים וגיאוטכניים בלבד מתווסף הפרמטר השישי שבודק את היחס בין הדיפ והסטרייק של מישורי אי - הרציפות לבין כיוון ציר המנהרה. פרמטר זה מטופל בנפרד היות והוא משתנה בהתאם לסוג המבנה ההנדסי. הדירוג של הפרמטר ניתן במונחים איכותיים ולא כמותיים על מנת לעזור להגדיר האם כמות הדיפ וכיוון הסטרייק מועדפים למנהרה או לא. טבלה 3.5 המבוססת על עבודתם של Wickham et al. (1972) מפרטת את היחס בין המבנה הגיאולוגי וכיוון ציר המנהרה והדירוג מתאפשר בעזרת חלק B של טבלה מספר 3.2 המראה את הדירוג של המבנה הגיאולוגי בהתאם לחשפתו על המבנה ההנדסי כתלות בסוג המבנה. במקרה שאין מישור אי רציפות אחד דומיננטי מדרגים כל מישור בנפרד ומבצעים מיוצע.

| Strike Perpendicular Tunnel Axis |                               | Strike Parallel Tunnel Axis   |                               |
|----------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Dip $45^{\circ} - 90^{\circ}$    | Dip $20^{\circ} - 45^{\circ}$ | Dip $45^{\circ} - 90^{\circ}$ | Dip $20^{\circ} - 45^{\circ}$ |
| Very favorable                   | Favorable                     | Fair                          | Unfavorable                   |
| Strike Perpendicular Tunnel Axis |                               | Strike Parallel Tunnel Axis   |                               |
| Dip $20^{\circ} - 50^{\circ}$    | Dip $45^{\circ} - 90^{\circ}$ | Dip $0^{\circ} - 20^{\circ}$  |                               |
| Fair                             | Very unfavorable              | Fair                          |                               |

**Table 3.5 - Effect of discontinuity strike and dip orientation in tunneling**  
(From Bieniawski 1989 after Wickham et al. 1972)

### 3.2.1. סיכום

לאחר סיכום כל ששת הפרמטרים מתקבלת קבוצת הדירוג אליה שייכת מאסת הסלע, כפי שניתן לראות בחלק C של טבלה 3.2. דירוג מאסת הסלע מאפשר את הערכת הזמן בו מנהרה תעמוד בצורה יציבה ללא תימוך בהתאם לגודל המפתח. ככל שדירוג איכות מאסת הסלע גבוה יותר ומפתח המנהרה קטן יותר עולה זמן יציבות המנהרה ללא צורך בתימוך, כפי שניתן לראות בציר 3.4 ובחלק D של טבלה 3.2.

בנוסף להערכת זמן היציבות של המנהרה מספקת שיטת הסיווג RMR הערכה של עומס התימוך הנדרש בצורת טבלאות לתכנון התימוך. טבלאות תכנון התימוך משתנות בהתאם לצורת המנהרה, המאמץ

האנכי (עובי הכיסוס) ושיטת הכרייה. טבלה 3.6 לדוגמא, מאפשרת את קביעת התימוך למנהרה בצורת פרסה, בעלת מפתח ברוחב של 10 מטרים, עם מאמץ אנכי עד 25 MPa ובשיטת כריה של קידוח ופיצוץ. חישוב עומס התימוך הנדרש נעשה בעזרת נוסחה 3.2.

(From Bieniawski 1989

$$P = \frac{100 - RMR}{\gamma B} \quad (3.2)$$

after Unal 1983)

100

$P$  [kPa] - עומס התימוך      כאשר:

$B$  [m] - רוחב המנהרה -

$\gamma$  [kN/m<sup>3</sup>] - צפיפות מרחבתית של הסלע -

|  |                                                                                                                                                    | Rock Bolts (20 mm Dia. fully grouted)                                                      | Shotcrete                                                 | Steel Lags                                                                                       |
|--|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | Full face<br>3 m advance                                                                                                                           | Generally, no support required except for occasional spot bolting                          |                                                           |                                                                                                  |
|  | Full face<br>1.0 - 1.5 m advance<br>Complete support 20 m from face                                                                                | Locally, bolts in crown 3 m long, spaced 2.5 m, with occasional wire mesh                  | 50 mm in crown where required                             | None                                                                                             |
|  | Top heading and bench<br>1.5 - 3.0 m advance in top heading. Commence support after each blast.<br>Complete support 10 m from face.                | Systematic bolts 4 m long, spaced 1.5 - 2.0 m in crown and walls with wire mesh in crown.  | 50 - 100 mm in crown and 30 mm in sides                   | None                                                                                             |
|  | Top heading and bench<br>1.0 - 1.5 m advance in top heading. Install support concurrently with excavation 10 m from face.                          | Systematic bolts 4 - 5 m long, spaced 1.0 - 1.5 m in crown and wall with wire mesh         | 100 - 150 mm in crown and 100 mm in sides                 | Light to medium ribs spaced 1.5 m where required                                                 |
|  | Multiple drifts<br>0.5 - 1.5 m advance in top heading. Install support concurrently with excavation. Shotcrete as soon as possible after blasting. | Systematic bolts 5 - 6 m long, spaced 1.5 m in crown and walls with wire mesh. Bolt invert | 150 - 200 mm in crown, 150 mm in sides, and 50 mm in face | Medium to heavy ribs, spaced 0.75 m with steel lagging and fore-poling if required. Close invert |

**Table 3.6 - Guidelines for excavation and support of rock tunnels in accordance with the Rock Mass Rating (RMR) system. Relevant for tunnels with horseshoe shape, width of 10 m and vertical stress < 25 MPa**  
(From Bieniawski 1989)

לסיכום תהליך הסיווג ניתן להשתמש בתרשים זרימה אשר נעשה על ידי Bieniawski ב-1989 (ציר 3.5), כאן מתווספים לפרמטרים של הסיווג שלושה מקדמים אשר נועדו לתת תיקון לערך דירוג מאסת הסלע (RMR) בהתחשב בנוזקי הפיצוץ לצורך כריה (Ab), המאמצים בשטח העבודה (As) וקיום שברים באזור העבודה. לדוגמא, הנוזקים הנגרמים מצורת הכרייה מושפעים מאפקט ההרס הנגרם מן הפיצוצים ומחיכולת של המפוצץ לשלוט ולמתן ככל הניתן את נזקי הפיצוץ למאסת הסלע. לכן, כרייה בעזרת מכונת כרייה (TBM) אינה גורמת כלל לנוק לעומת כרייה בעזרת פיצוצים. תיאור מורחב של מקדמי התיקון ואת אופן השימוש בהם ניתן לראות אצל Bieniawski 1989.

פרמטרים אלו של תיקון ל-RMR שימושיים לרוב כאשר מדובר על מכרות וכמעט לא נעשה בהם שימוש ביחס למנהור.

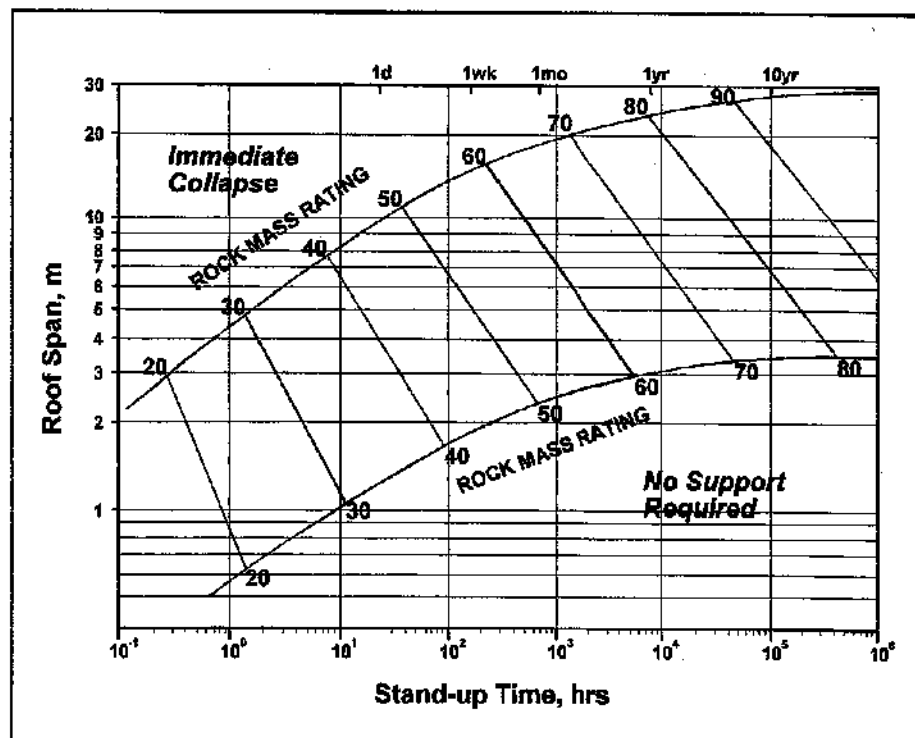
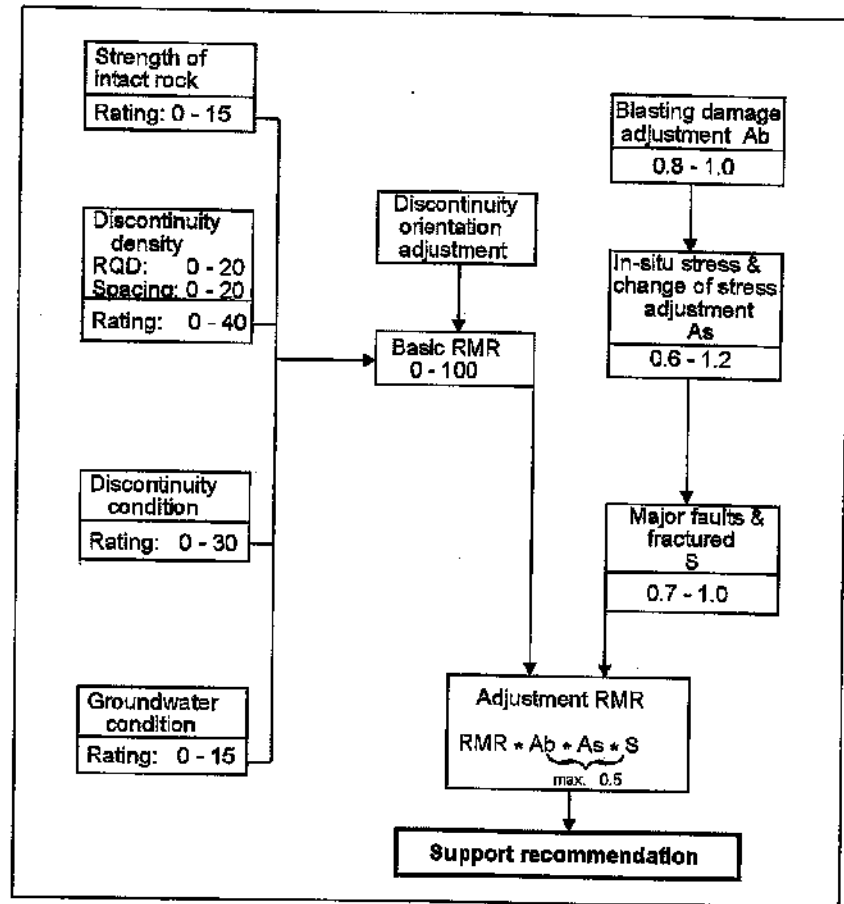


Fig 3.4 - Relationship between the stand up time and the RMR.

(From Bieniawski 1989)

*Fig. 3.5 - Adjustment to the  
Rock Mass Rating (RMR)  
system for mininig application  
(from Bieniawski 1989)*



### 3.3 שיטת הסיווג 'Q' (QUALITY)

שיטת סיווג אמפירית שפותחה על ידי Barton et al. ב - 1974. פיתוח השיטה היה הדרגתי ובתחילתו התבסס על פרמטר ה - RQD (Deere 1967). כאשר נבדק הקשר בין גודל מפתח הכרייה הלא תמוך וזמן יציבותו לבין ה - RQD, התגלה מתאם חיובי שהלך והשתפר כאשר ה - RQD חולק במספר מערכות הסדקים. מספר מערכות הסדקים הינו פרמטר המייצג את דרגות החופש של הסלע (Cecil 1970) ולכן גורם לשיפור המתאם בין ה - RQD לבין זמן היציבות וגודל המפתח הלא תמוך. בדיקת פרמטרים נוספים הביאה לשיפור בשיטה. המקדם הראשון שנבדק היה דרגת החספוס של מישור הסדק. הבדיקה הראתה כי קיים קשר חיובי בין דרגת החספוס לבין איכות מאסת הסלע. המקדם הבא שהתייחס לדרגת הבליה של מישורי הסידוק הראה קשר שלילי בינו ובין איכות מאסת הסלע. בהתאם לממצאים אלו פותחו סקלות כמותיות המתארות את הקשר בין ה - RQD, מספר מערכות הסידוק, דרגת החספוס ורמת הבליה לבין איכות מאסת הסלע. לסקלות אלו נוספו פרמטרים כמותיים נוספים המתייחסים להשפעת מי - התהום ומצב המאמצים על מאסת הסלע. בטבלה מספר 3.7, מפורטים כל הפרמטרים המרכיבים את שיטת ה - 'Q' ותיאורם הכמותי כאשר זירוג איכות מאסת הסלע מתבצע בעזרת נוסחה מספר 3.3 (Barton et al. 1974). חישוב המרכיב היחסי של כל פרמטר ופרמטר שלפני פותחה הנוסחה נעשה בהתאם לתצפיות חשדה, המבוססות בעיקר על אוסף הנתונים של Cecil 1970.

$$Q = (RQD/J_n) * (J_r/J_a) * (J_w/SRF) \quad (3.3)$$

RQD - איכות מאסת הסלע כפי שבאה לידי ביטוי בגלעין הקידוח (Deere 1967).

$J_n$  - מספר מערכות הסדקים.

$J_r$  - מקדם החספוס של קירות הסדק.

$J_a$  - מקדם רמת הבליה בסדק.

$J_w$  - מקדם החלשה עקב נוכחות מים במאסת הסלע.

SRF - מקדם החלשה עקב אזורי חולשה, גזירה, ומצב המאמצים.

|           | <i>Rock Quality Designation (RQD)</i> |
|-----------|---------------------------------------|
| Very poor | 0 - 25                                |
| Poor      | 25 - 50                               |
| Fair      | 50 - 75                               |
| Good      | 75 - 90                               |
| Excellent | 90 - 100                              |

Note:

- (i) Where RQD is reported or measured as  $< 10$  (including 0), a nominal value of 10 is used to evaluate  $Q$  in equation (3.3).  
(ii) RQD interval of 5, i.e., 100, 95, 90, etc., are sufficiently accurate.

|                                                                     | <i>Joint Set Number <math>J_n</math></i> |
|---------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|
| Massive, none or few joints                                         | 0.5 - 1.0                                |
| One joint set                                                       | 2                                        |
| One joint set plus random                                           | 3                                        |
| Two joint sets                                                      | 4                                        |
| Two joint sets plus random                                          | 6                                        |
| Three joint sets                                                    | 9                                        |
| Three joint sets plus random                                        | 12                                       |
| Four or more joint set, random, heavily jointed, "sugar cube", etc. | 15                                       |
| Crushed rock, earthlike                                             | 20                                       |

Note:

- (i) For intersection, use  $(3.0 * J_n)$   
(ii) For portals, use  $(2.0 * J_n)$

*Joint Roughness Number  $J_r$* 

|                                                                            |                  |
|----------------------------------------------------------------------------|------------------|
| (a) Rock wall contact and                                                  |                  |
| (b) Rock wall contact before 10 cm shear                                   |                  |
| Discontinuous joint                                                        | 4                |
| Rough or irregular, undulating                                             | 3                |
| Smooth, undulating                                                         | 2.0              |
| Slickensided, undulating                                                   | 1.5              |
| Rough or irregular, planar                                                 | 1.5              |
| Smooth, planar                                                             | 1.0 <sup>b</sup> |
| Slickensided, planar                                                       | 0.5              |
| (c) No rock wall contact when sheared                                      |                  |
| Zone containing clay minerals thick enough to prevent rock wall contact    | 1.0 <sup>b</sup> |
| Sandy, gravelly, or crushed zone thick enough to prevent rock wall contact | 1.0 <sup>b</sup> |

Note:

- (i) Add 1.0 if the mean spacing of the relevant joint set is greater than 3 m  
(ii)  $J_r = 0.5$  can be used for planar slickensided joints having lineation, provided the lineations are favorably oriented  
(iii) Description B to G refer to small - scale features and intermediate - scale features, in that order

*Joint Alteration Number  $J_a$* 

| (a) Rock wall contact                                                                                                                             | $J_a$ | $\phi_r$ (approx) |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|-------------------|
| Tightly healed, hard, nonsoftening, impermeable filling, i.e., quartz or epidote                                                                  | 0.75  |                   |
| A. Unaltered joint walls, surface staining only                                                                                                   | 1.0   | 25 - 35°          |
| B. Slightly altered joint walls. Nonsoftening mineral coating, sandy particles, clay - free                                                       |       |                   |
| C. disintegrated rock, etc.                                                                                                                       | 2.0   | 25 - 30°          |
| D. Silty or sandy clay coating, small clay fraction (nonsoftening)                                                                                | 3.0   | 20 - 25°          |
| Softening or low - friction clay mineral coating, i.e., kaolinite, mica. Also chlorite, talc, gypsum, and graphite, etc., and small quantities of |       |                   |
| E. swelling clays (discontinuous coatings, 1 - 2 mm or less in thickness)                                                                         | 4.0   | 8 - 16°           |

**Table 3.7 -  $Q$  system, rating of RQD,  $J_n$ ,  $J_r$ ,  $J_a$ , SRF and  $J_w$ . (From Barton et al. 1974)**

*Joint Alteration Number Ja (Continue ...)*

|    |                                                                                                                                                                                |                           |          |
|----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|----------|
| F. | Sandy particles, clay - free disintegrated rock, etc.                                                                                                                          | 4.0                       | 25 - 30° |
| G. | Strongly over - consolidated, nonsoftening clay mineral filling (continuous, < 5 mm in thickness)                                                                              | 6.0                       | 16 - 24° |
| H. | Medium or low over - consolidation, softening, clay mineral fillings. (continuous, < 5 mm in thickness)                                                                        | 8.0                       | 12 - 16° |
| J. | Swelling clay fillings, i.e., montmorillonite (continuous, < mm in thickness). Value of Ja depends on percentage of swelling clay - sized particles, and access to water, etc. | 8.0 - 12.0                | 6 - 12°  |
| K. | (c) No rock wall contact when sheared<br>Zone or bands of disintegrated or crushed rock and clay (see G., H., J. for description of clay condition)                            | 6.0, 8.0 or 8.0 - 12.0    | 6 - 24°  |
| L. | Zones or bands of silty or sandy clay, small clay fraction (nonsoftening)                                                                                                      | 5.0                       |          |
| M. | Thick, continuous zones or bands of clay (see G., H., J., for description of clay condition)                                                                                   | 10.0, 13.0 or 13.0 - 20.0 | 6 - 24°  |

Note:

- (i) Values of  $\phi_r$  are intended as an approximate guide to the mineralogical properties of the alteration products, if present

*Stress Reduction Factor (SRF)*

|                                                                                                                                 |                                                                                                          |                              |                             |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|-----------------------------|
| (a) Weakness zone intersecting excavation, which may cause loosening of rock mass when tunnel is excavated                      |                                                                                                          |                              |                             |
| Multiple occurrence of weakness zones containing clay or chemically disintegrated rock, very loose surrounding rock (any depth) |                                                                                                          |                              | 10.0                        |
| B.                                                                                                                              | Single-weakness zones containing clay or chemically disintegrated rock (depth of excavation ≤ 50 m)      |                              | 5.0                         |
| C.                                                                                                                              | Single-weakness zones containing clay or chemically disintegrated rock (depth of excavation > 50 m)      |                              | 2.5                         |
| D.                                                                                                                              | Multiple-shear zones in competent rock (clay-free), loose surrounding rock (any depth)                   |                              | 7.5                         |
| E.                                                                                                                              | Single-shear zones in competent rock (clay-free) (depth of excavation ≤ 50 m)                            |                              | 5.0                         |
| F.                                                                                                                              | Single-shear zones in competent rock (clay-free) (depth of excavation > 50 m)                            |                              | 2.5                         |
| G.                                                                                                                              | Loose open joints, heavily jointed or "sugar cube," etc. (any depth)                                     |                              | 5.0                         |
| (b) Competent rock, rock stress problems                                                                                        |                                                                                                          |                              |                             |
| H.                                                                                                                              | Low stress, near surface                                                                                 | $\sigma_c/\sigma_t$<br>> 200 | $\sigma_1/\sigma_3$<br>> 13 |
| J.                                                                                                                              | Medium stress                                                                                            | 200 - 10                     | 13 - 0.66                   |
| K.                                                                                                                              | High-stress, very tight structure (usually favorable to stability, may be unfavorable to wall stability) | 10 - 5                       | 0.66 - 0.33                 |

Note:

- (i) Reduce these SRF values by 25 - 50% if the relevant shear zone only influence but do not intersect the excavation

- (ii) For strongly anisotropic stress field (if measured): when  $5 \leq \sigma_1/\sigma_3 \leq 10$ , reduce  $\sigma_c$  and  $\sigma_t$  to 0.8  $\sigma_c$  and 0.8  $\sigma_t$ ; when  $\sigma_1/\sigma_3 > 10$ , reduce  $\sigma_c$  and  $\sigma_t$  to 0.6  $\sigma_c$  and 0.6  $\sigma_t$  (where  $\sigma_c$  = unconfined compressive strength,  $\sigma_t$  = tensile strength (point load),  $\sigma_1$  and  $\sigma_3$  = major and minor principle stress)

Table 3.7 - (continued)

| <i>Stress Reduction Factor (SRF)</i>              |                                                                                                 |                      |                                                  |
|---------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|--------------------------------------------------|
| L.                                                | Mild rock burst (massive rock)                                                                  | 5 - 2.5              | 0.33 - 0.16                                      |
| M.                                                | Heavy rock burst (massive rock)                                                                 | < 2.5                | < 0.16                                           |
|                                                   | (c) Squeezing rock; plastic flow of incompetent rock under the influence of high rock pressures |                      | 10 - 20                                          |
| N.                                                | Mild squeezing rock pressure                                                                    |                      | 5 - 10                                           |
| O.                                                | Heavy squeezing rock pressure                                                                   |                      | 10 - 20                                          |
|                                                   | (d) Swelling rock; chemical swelling activity depending on presence of water                    |                      |                                                  |
| P.                                                | Mild swelling rock pressure                                                                     |                      | 5 - 10                                           |
| R.                                                | Heavy swelling rock pressure                                                                    |                      | 10 - 15                                          |
| <i>Joint Water Reduction Factor J<sub>w</sub></i> |                                                                                                 |                      |                                                  |
|                                                   |                                                                                                 | <i>J<sub>w</sub></i> | Approximate water pressure (kg/cm <sup>2</sup> ) |
| A.                                                | Dry excavation or minor inflow, i.e.,                                                           |                      |                                                  |
| B.                                                | 5 L / min locally                                                                               | 1.0                  | < 1                                              |
|                                                   | Medium inflow or pressure occasional outwash of joint fillings                                  | 0.66                 | 1.0 - 2.5                                        |
| C.                                                | Large inflow or high pressure in competent rock with unfilled joints                            | 0.5                  | 2.5 - 10.0                                       |
| D.                                                | Large inflow or high pressure, considerable outwash of joint filling                            | 0.33                 | 2.5 - 10.0                                       |
| E.                                                | Exceptionally high inflow of water pressure at blasting, decaying with time                     | 0.2 - 0.1            | > 10.0                                           |
| F.                                                | Exceptionally high inflow of water pressure continuing without noticeable decay                 | 0.1 - 0.05           | > 10.0                                           |

(iii) Few case records available where depth of crown below surface is less than span width. Suggest SRF increase from 2.5 to 5 for such cases (see H)

Note:  
(i) Factors C - F are crude estimates. Increase  $J_w$  if drainage measure are installed.  
(ii) Special problems caused by ice formation are not considered

<sup>b</sup> Nominal

**Table 3.7 - Q system, rating of RQD, J<sub>n</sub>, J<sub>r</sub>, J<sub>a</sub>, SRF and J<sub>w</sub>. (From Barton et al. 1974)**

ששת הפרמטרים הנ"ל יכולים לכלול באופן תאורטי כ - 300,000 קומבינציות ליתולוגיות ולסוג מאסת סלע החל מקרקע ועד סלע מאסיבי מוצק (Barton et al. 1974). כאשר תופעות כגון שיטטויות, פוליאציה ופצילות לווחית מקבלות ממד חזק וברור יש להחשיבן כמערכת סידוק בפני עצמה ולעדכן את  $J_n$  בהתאם. הפרמטרים  $J_r$  ו-  $J_a$  חייבים לקבל את הערכים המתאימים לאזורים המראים את החולשה המרבית במאסת הסלע וזאת על מנת למנוע קריסה מקומית שיכולה לגרור אחריה כשל נרחב במערה. כאשר אין חרסיות והסידוק של מאסת הסלע מינימלי, יציבות המערה תלויה ביחס שבין המאמץ לחוזק הסלע כאשר הערכת החוזק למתיחה וללחיצה צריכה להיעשות תמיד בכיוון הפחות מועדף ובהתאם מתעדכן פרמטר ה-  $SRF$  הסולל בתוכו גם את חוזק הסלע ואת תכונותיו הגאוטכניים של הסלע (טבלה 3.7 חלקים b, c).

שילוב מרכיבי הנוסחה ואופן חלוקת הפרמטרים נועד לתת ביטוי למרכיבים הגאוטכניים השונים במאסת הסלע:

$RQD/J_n$  - החלק הראשון בנוסחה מייצג את המבנה הכללי של מאסת הסלע ובעצם מחווה אינדיקציה לגודל הבלוק היחסי. בלוקים גדולים יותר יתכנו עד כדי מספר פעמים מגודל הבלוק היחסי וכמובן יתכנו בלוקים קטנים יותר.

$J_r/J_a$  - מרכיב זה מייצג את החספוס ואת דרגת הבליה של קירות הסדק או חומרי המילוי. מסתבר כי  $\tan^{-1}(J_r/J_a)$  טוון הערכה קרובה לזווית החיכוך השפירית (residual friction angle) של קירות הסדק ולחוזק לגזירה (Barton et al. 1974). נוכחות מערלים חרסיתיים מקטינה באופן משמעותי את זווית החיכוך ומתוך כך את החוזק לגזירה.

$J_w/SRF$  - החלוקה של שני הפרמטרים מחווה ביטוי למצב המאמצים.  $J_w$  מחווה אינדיקציה ללחץ המים אשר יכול לגרום להקטנת ההתנגדות לגזירה. למים חשיבות נוספת עקב יכולתם לרכך או לשטוף חומר מילוי בסדקים.  $SRF$  מבטא את החשפעה של אזורי גזירה וחרסיות על הכרייה, מצב המאמצים בסלע ואת העומס הנוצר עקב טפיחה של סלע רך הנוטה להתרבות. לסיכום, פרמטרים אמפיריים אלו מתארים את המאמצים האקטיביים הפועלים במאסת הסלע.

הערכת כל הפרמטרים המרכיבים את שיטת ה-  $Q'$ , בעזרת טבלה מספר 3.7, וחישוב ערך איכות מאסת הסלע בעזרת נוסחה מספר 3.3 מסיימת את עיבוד הפרמטרים הקשורים במישרין למאסת הסלע. לצורך תכנון התימוך משתמשת שיטת ה-  $Q'$  בפרמטר נוסף הנקרא  $ESR$  (Excavation Support Ratio). פרמטר זה, בשונה מהפרמטרים הקודמים, אינו קשור כלל למאסת הסלע ומטרתו לתת ביטוי ליעודו של

המבנה ההנדסי ומקדם הביטחון הנדרש. בטבלה 3.8 נתונים ערכי ה- ESR כך שמנהרה לצורך מכרה זמני תקבל ערך גבוה של ESR לעומת מנהרה המשמשת לבניית כבישים, מבנים ציבוריים או תחנות כוח גרעיניות שתקבל ערך ESR נמוך. בציר מספר 3.6 חילקו Barton et al. (1974) את מאסת הסלע לשלושים ושימונה קבוצות תימוך שונות בהתאם לאיכות מאסת הסלע, לגודל מפתח הכרייה ול- ESR. ככל שערכי 'Q' נמוכים יותר, ערך ה- ESR גבוה יותר ומפתח המנהרה גדול יותר כך קטגוריית התימוך שתידרש תהיה מאסיבית ונרחבת יותר. קבוצות התימוך השונות מפורטות אצל Barton et al. 1974.

שיטת ה- 'Q' מאפשרת גם את הערכת לחץ התימוך הנדרש, Barton et al. 1974 מצאו התאמה בעזרת נוסחה מספר 3.4 בין ערך מקדם החספוס Jr וערך איכות מאסת הסלע 'Q' לבין לחץ התימוך הנדרש.

$$P_{roof} = (2.0/Jr) Q^{1/3} \quad (3.4)$$

כאשר :

לחץ תימוך קבוע לגג המנהרה ב-  $kg/cm^2$  -  $P_{roof}$  (Barton et al. 1974)

| Excavation Category                                                                                                                                   | ESR   | No. of Cases |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|--------------|
| A. Temporary mine openings                                                                                                                            | 3 - 5 | 2            |
| B. Vertical shafts:                                                                                                                                   |       |              |
| Circular section                                                                                                                                      | 2.5   |              |
| Rectangular/square section                                                                                                                            | 2.0   |              |
| C. Permanent mine opening, water tunnels for hydropower (excluding high-pressure penstocks), pilot tunnels, drifts, and heading for large excavations | 1.6   | 83           |
| D. Storage caverns, water treatment plants, minor highway and railroad tunnels, surge chambers, access tunnels                                        | 1.3   | 25           |
| E. Power station, major highway or railroad tunnels, civil defense chambers, portals, intersection                                                    | 1.0   | 73           |
| U. Underground nuclear power station, railroad stations, factories                                                                                    | 0.8   | 2            |

Table 3.8 - Rate of ESR parameter. (From Barton et al. 1974)

לחץ התימוך הנדרש יקטן ככל שקירות מישורי אי הרציפות יהיו מחוספסים יותר, דהיינו  $Jr$  גדול יותר, וערכי  $Q$  יהיו גדולים יותר כפי שמופיע בציור מספר 3.7. החלק הכהה בציור הוא הערכת המחברים לטווח הערכים הנפוץ בהתאם למחקרים ותצפיות. כשיפור לנוסחה מספר 3.4 ניתן להוסיף את מספר כמות מערכות הסידוק ( $Jn$ ) כפרמטר נוסף. נוסחה 3.4 מסתמכת על קיומן של שלוש מערכות סידוק וכאשר מספר זה קטן דרגות החופש במאסת הסלע קטנות ובחתאם לכך קטן גם לחץ התימוך הנדרש. נוסחה 3.5 (Barton et al. 1974) תיתן ערכי לחץ תימוך נמוכים יותר לערכי  $Jn$  הקטנים מ-9 (שלוש מערכות סידוק) וגדולים יותר במקרה של  $Jn > 9$ .

$$P_{roof} = (2Jn^{1/2} (Q)^{-1/3}) / 3Jr \quad (3.5)$$

גם הערכים המתקבלים מנוסחה מספר 3.5 נמצאים באופן כללי באזור השטח הכהה בציור 3.7. לחץ התימוך הדרוש לקירות חמנהרה שונה ובדרך כלל נמוך מזה הנדרש לג המנהרה, פרט למקרים של חרסיות טופחות בדופן המנהרה או במקרים של בעיות נקודתיות. Barton et al. 1974 ממליצים להשתמש בהערכת לחץ התימוך בציור 3.7 אך כאשר  $Q > 10$  יש להכפיל את ערך ה- $Q$  בחמש ובכך להקטין את לחץ התימוך הנדרש בסלע באיכות טובה. במאסות סלע בעל איכות בינונית  $0.1 < Q < 10$  להכפיל את ערך ה- $Q$  ב-2.5 וכאשר  $Q < 0.1$  אזי להשתמש בערך המתקבל עבור לחץ התימוך הנדרש בתקרה גם לקירות המנהרה.

חסרונה של שיטת ה- $Q$  נובע מהגדרתה כשיטת סיווג כללית אשר לא מתייחסת למבנה הגיאולוגי (דיפוסטרייק של מישורי אי - הרציפות והשכוב) ביחס למבנה ההנדסי. עובדה זו גורמת לכך שסיווג מאסת הסלע יהיה אחיד כאשר מדובר על מאסות סלע בעלות ערכי  $Q$  דומים ללא קשר לעובדה שבמאסת הסלע הראשונה נחצב הפרוייקט נגד כיוון הדיפים התלולים של השכבות, ואילו בשניה הדיפים מתונים מאוד וכיוונם הפוך מכיוון ההתקדמות והחציבה. מבחינת החלקה של הסלע על מישורי השכוב ברור כי ישנה העדפה למאסת הסלע בה המבחן הקינמטי מראה על סבירות נמוכה של החלקת סלע אל תוך חלל הכרייה, דהיינו במאסת הסלע בעלת דיפים של שכוב מתונים ומוגדים בכיוון ההתקדמות.

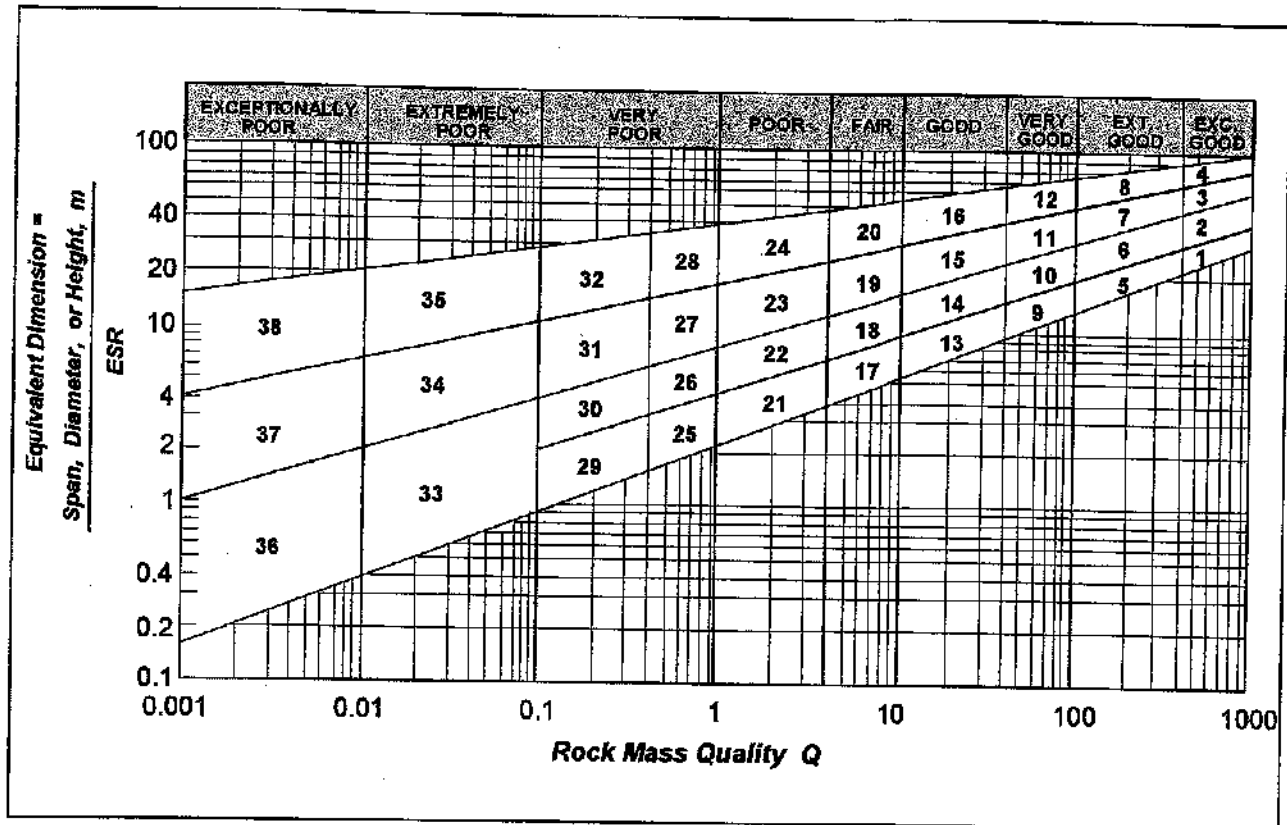


Fig. 3.6 - 38 support categories for deferent  $Q$ , ESR and span diameter values.  
(From Barton et al. 1974)

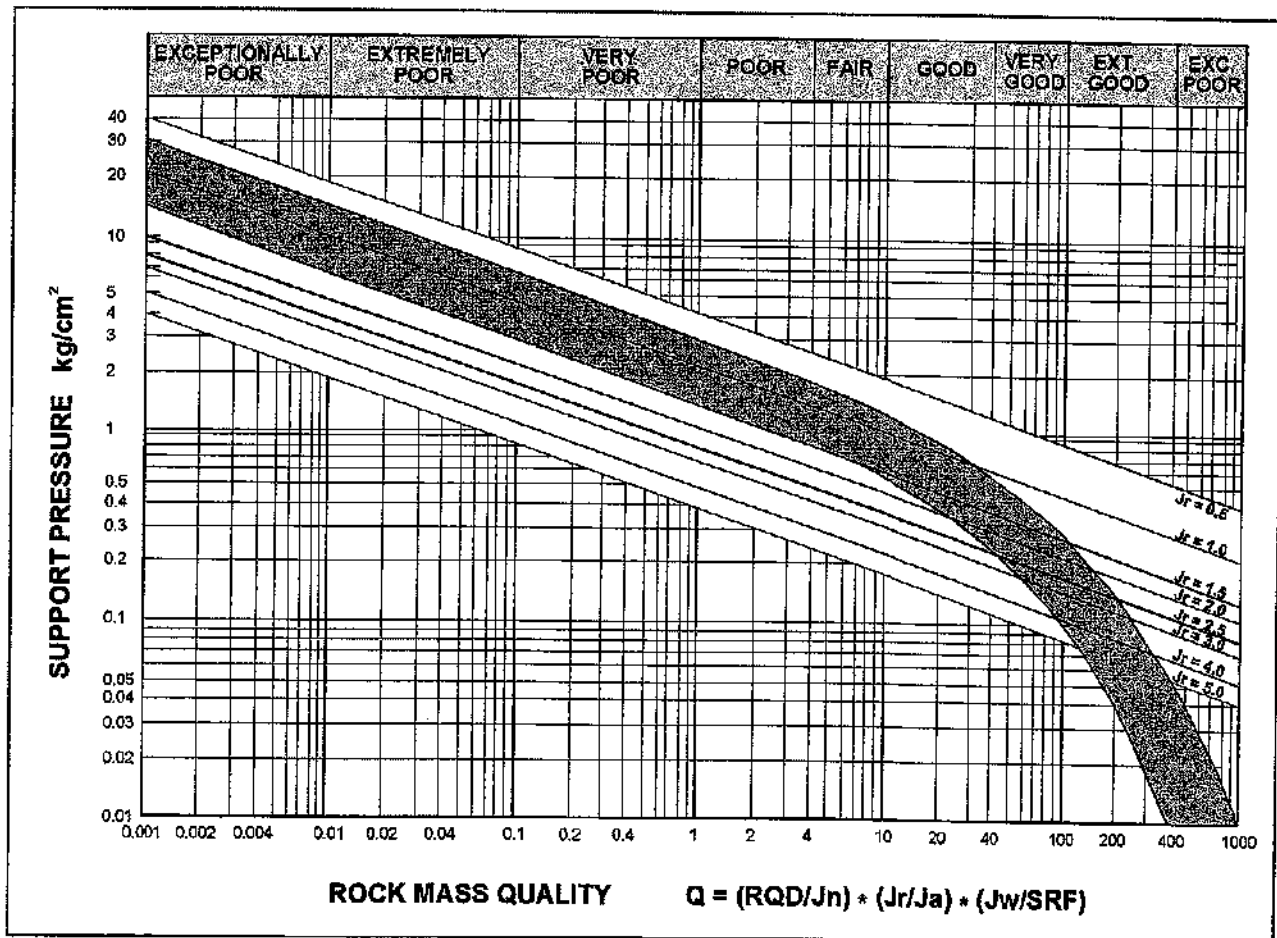


Fig. 3.7 - Relationship between  $Q$  values,  $J_r$  and the required support pressure.  
(From Barton et al. 1974)

### 3.4 קורלציה בין שיטות הסיווג 'Q' ו-'RMR'.

ב- 1976 פירסם Bieniawski קורלציה בין שיטות הסיווג 'Q' ו-'RMR'. הקורלציה פותחה על סמך נתונים מ- 111 מנהרות ברחבי סקנדינביה, דרום אפריקה וארה"ב. בנוסחה מספר 3.6 מובא הקשר בין שיטות הסיווג הנ"ל.

$$(3.6) \quad RMR = 9 \ln Q + 44 \quad (\text{Bieniawski 1976})$$

משוואה זו פותחה בצורה אמפירית ואינה מאפשרת מעבר מדויק בין שיטת סיווג אחת לשנייה.

## 4. שיטות המחקר

עבודת המחקר התבססה על נתונים מן השדה ובדיקות מעבדה. בהתאם לכך מחולק פרק זה לשיטות

העבודה בשדה ובמעבדה.

### 4.1 עבודת שדה

#### 4.1.1 מטרות עבודת השדה

איסוף הנתונים בשדה כלל תצפיות ומעקב אחרי ביצוע העבודות במנהרת גילה הארוכה. כל מחזור כרייה סיפק חשיפה של ותת - הקרקע ונתן נקודת מבט נוספת, ואף שונה, על הגיאולוגיה שנחשפה בפני השטח. המחשופים בפני השטח שימשו בעיקר למיפוי מישורי אי הרציפות ולהכנת הסקר המקדים (ארקין ושות' 1987). מטרת עבודת השדה הייתה איסוף כל הנתונים הגיאולוגיים והגיאוטכניים באמצעות:

1. מיפוי ליתולוגי של תוואי המנהרה.
  2. מיפוי מערכות הסדקים ומישורי אי הרציפות.
  3. קביעת ערכי הפרמטרים של 'Q' ו-'RMR' הקשורים לעבודת השדה.
- וחיבורם עם נתוני עבודת המעבדה על מנת לאפשר את בדיקת שאלת המחקר.

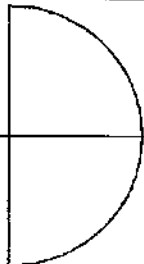
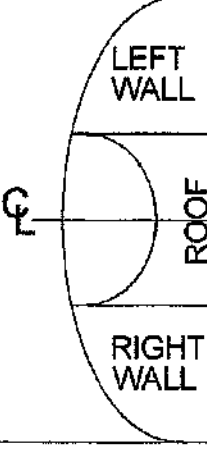
#### 4.1.2 מיפוי ליתולוגי של תוואי המנהרה

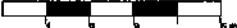
הכרייה במנהרת גילה התבצעה במקביל בשני כיוונים, צפון ודרום. ההתקדמות בפתיחת המנהרה נעשתה במקטעים אשר כוללים את הכרייה עצמה וביצוע של התימוך הזמני או לחילופין תימוך קבוע. לאחר כל שלב של כרייה, שבו הושגה התקדמות של 0.75 עד 2.5 מטרים, נעשה מיפוי של הסלע החשוף. המיפוי מתבצע על קירות המנהרה, גג המנהרה ועל פנים המנהרה. נתונים אלו משורטטים בטופס מעקב (ציור מספר 4.1) בעזרת תוכנת Corel Draw ויוצרים לוג ליתולוגי ברמת דיוק של מטר. כפי שנראה בציור מספר 4.1 מיפוי המנהרה נעשה על ידי פריסת קירות המנהרה והגג לקו רציף אחד דבר המאפשר הצגת תמונה רציפה לאורך המנהרה. יש לציין כי לעתים אין אפשרות לערוך מיפוי מלא לאחר כל שלב בכרייה עקב בעיות יציבות אשר דורשות תימוך מיידי, דבר אשר מסתיר את פני הסלע.

# GILO LONG TUNNEL

## Summary of Engineering geological data

Section No. \_\_\_\_\_ from \_\_\_\_\_ to \_\_\_\_\_

|                              |                   |                 |                                                                                    |
|------------------------------|-------------------|-----------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>LOCATION</b>              | DATE              |                 |                                                                                    |
|                              | STEEL ARCH NO.    |                 |                                                                                    |
|                              | EXCAVATION        | METHOD          |                                                                                    |
|                              |                   | PROG. (m)       |                                                                                    |
|                              | ROCK TYPE         |                 |                                                                                    |
| DISTANCE (m. from S. portal) |                   |                 |                                                                                    |
| <b>GRAPHIC LOG</b>           | LOG OF FACE       |                 |   |
|                              | REMARKS           |                 |                                                                                    |
|                              | LOG OF TUNNEL     |                 |                                                                                    |
| <b>DISCONTINUITIES</b>       | LEFT WALL         |                 |  |
|                              | ROOF              |                 |                                                                                    |
|                              | RIGHT WALL        |                 |                                                                                    |
|                              | REMARKS           |                 |                                                                                    |
|                              | SYMBOL            |                 |                                                                                    |
|                              | DIP/DIP DIRECTION |                 |                                                                                    |
|                              | CONTINUITY (m)    |                 |                                                                                    |
|                              | SEPARATION (cm)   |                 |                                                                                    |
|                              | SPACING (cm)      |                 |                                                                                    |
|                              | IN-FILLING        |                 |                                                                                    |
| WAVINESS                     |                   |                 |                                                                                    |
| ROUGHNESS                    |                   |                 |                                                                                    |
| REMARKS                      |                   |                 |                                                                                    |
| WATER IN-FLOW                |                   |                 |                                                                                    |
| <b>SUPPORT</b>               | ACTUAL            |                 |                                                                                    |
|                              | DESIGN BY 'Q'     |                 |                                                                                    |
|                              | DESIGN BY 'RMR'   |                 |                                                                                    |
| OVER-BREAK                   |                   |                 |                                                                                    |
| STRENGTH                     |                   | UN. / PL. (MPa) |                                                                                    |
| ROCK MASS CLASSIFICATION     |                   | 'Q'             |                                                                                    |
|                              |                   | 'RMR'           |                                                                                    |
| SPECIAL OPERATION            |                   |                 |                                                                                    |

Longitudinal Scale: 

**Fig. 4.1 - Geological and geotechnical follow-up**

### 4.1.3 מיפוי מערכות הסיזוק ומישורי אי הרציפות

נטית מישורי אי הרציפות מתוארת על ידי מדידת כמות הנטייה (דיפ) של מישורי אי הרציפות ביחס

לאופק, ועל ידי מדידת כיוון הנטייה ביחס לצפון (כיוון הדיפ), בעזרת ברנטון (ציור מספר 4.2). כמות הנטייה

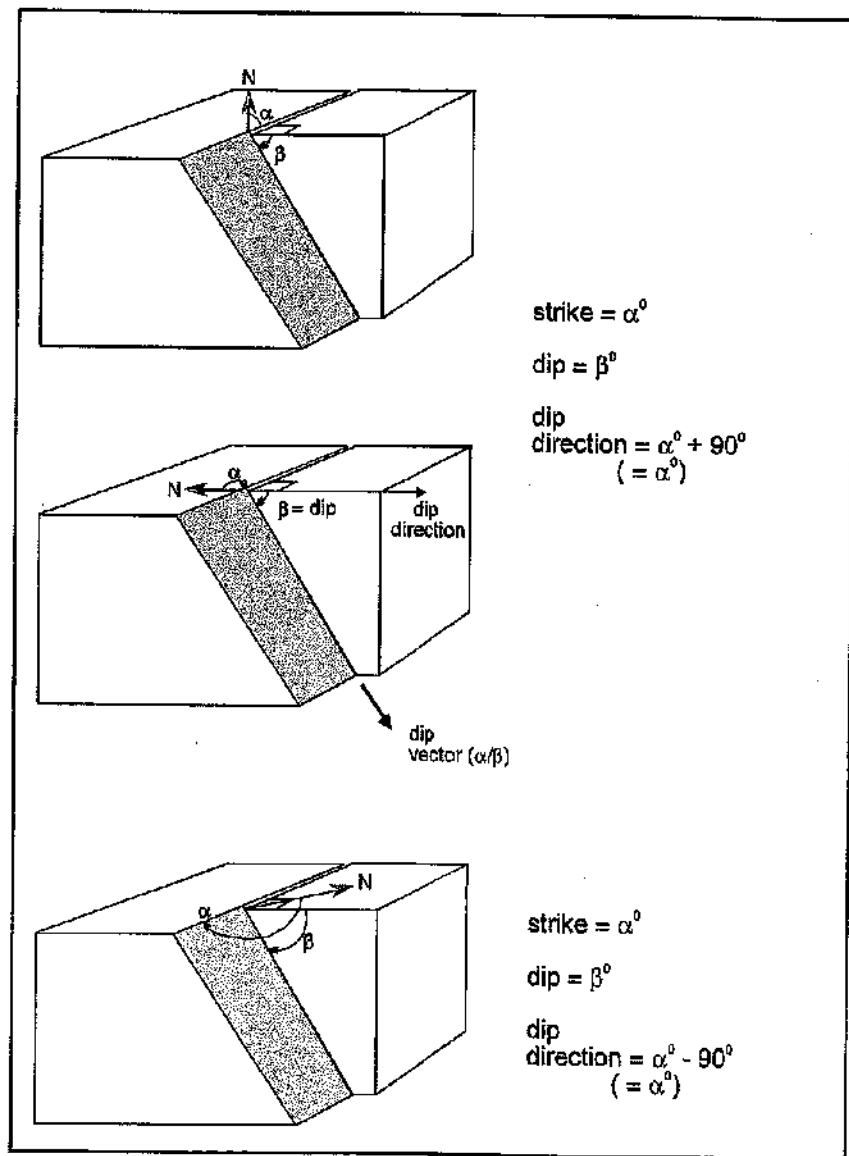
מתוארת במעלות על ידי שתי ספרות (90 - 00). כיוון הנטייה מתואר במעלות על ידי שלוש ספרות (360 - 000)

מן הצפון, עם כיוון השעון. ככל שמספר המדידות המבוצע הינו גדול יותר כך המאפיינים הסטטיסטיים של כל

מערכת סיזוק ברורים יותר ומחזיקים יותר. מספר המדידות שבוצעו במהלך העבודה נע בסביבות ה- 750 וכולל

מדידות של מישורי אי רציפות מחוץ למנהרה (בתצורות עמינדב ואזור המעבר) ובתוך המנהרה. הצגת הטונים

**Fig 4.2 - Measuring of Dip and Strike of discontinuity planse. (From ISRM 1978)**



נעשתה בעזרת תוכנות ROSE ו- Dips ועיבוד נתונים נעשה בעזרת תוכנת Dips אשר פותחה על ידי E. Hoek מאוניברסיטת טורונטו בקנדה. תוכנה זו מאפשרת השלכת נתונים על גבי סטריאונט, הגדרת הכיוונים הראשיים והפיזור הסטטיסטי סביב הממוצע.

#### 4.1.4 קביעת ערכי 'Q' ו- 'RMR'

שיטות הסיווג הנ"ל מורכבות ממספר סעיפים (כפי שפורט במבוא). חישוב כל סעיף מאפשר גישה לטבלאות הסיווג וקבלת ערך מספרי המהווה ערך כמותי לאיכות מאסת הסלע. חלק מן הסעיפים נקבעו ישירות בשדה, ובחלק אחר עובדו נתוני השדה במעבדה לתוצאות סופיות.

#### 4.1.4 א. חוזק ללחיצה נקודתית (Point load)

לצורך בדיקת פרמטר זה נדגמו סלעים לאורך המנהרה, לאחר הכרייה, ונבדקו במעבדה. רוב הדוגמאות לא נלקחו ממקומם הטבעי, אלא נאספו לאחר הפיצוץ או החציבה. סעיף זה יפורט בפרק הדין בשיטות המחקר במעבדה.

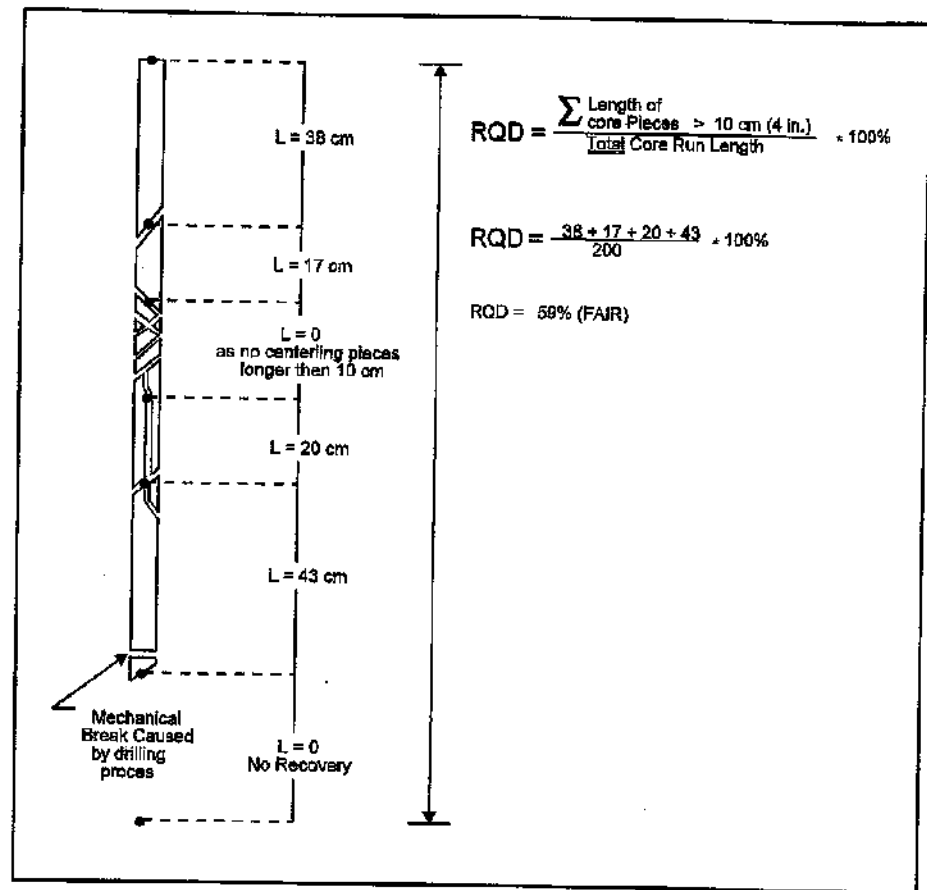
#### 4.1.4 ב. איכות גלעין הקידוח (RQD)

ה- RQD נקבע בעזרת הקידוחים שנעשו בסקר הראשוני (Arkin & Michaeli 1993, ארקין ומיכאלי 1989, ארקין ומיכאלי 1988) וקידוחי הגישוש שנעשו בזמן כריית המנהרה (גבסי וחבריו 1994, גביש וחבריו 1994). בכל מקטע של קידוח נמדדו כל הגלעינים אשר אורכם היה גדול מ- 10 סנטימטרים. האורך הכללי של הגלעינים הנ"ל חולק באורך מקטע הקידוח (נוסחה מספר 4.1). דוגמא לחישוב ערכי RQD ניתן לראות בציור 4.3.

$$RQD = \frac{(\text{סכום אורך הגלעינים} > 10 \text{ סנטימטרים})}{(\text{אורך מקטע הקידוח})} \cdot 100 \quad (4.1)$$

ככל שאיכות מאסת הסלע טובה יותר כך ערכי RQD גדולים יותר.

**Fig 4.3 - Example  
for RQD calculation  
(From Bieniawski 1989)**



#### 4.1.4 ג. מרווח בין הסדקים (Spacing)

מדידת המרווח בין הסדקים נעשית על ידי פריסת סרט מדידה בכיוון ידוע לאורך המחשוף. סרט המדידה חייב להיות ניצב לכיוון מישורי הסידוק, אולם היות ובדרך כלל נמדדות מספר מערכות סידוק על אותו סרט מדידה, לא יהיה סרט המדידה ניצב לכל מערכות הסידוק. פרט לכך לא תמיד ניתן להציב את סרט המדידה בניצב למערכת הסידוק עקב אילוצים טכניים, לכן, במקרים כאלו יש לבצע תיקון למדידה שיפורט בהמשך. הסדקים לאורך סרט המדידה נמדדים על ידי הגדרת כמות הנטייה של מישור הסדק וכיוונו (Dip / Direction) ביחס לצפון ורישום נקודת החיתוך בין מישור הסדק לבין סרט המדידה, נקודה זו היא המרחק של הסדק הנמדד מנקודת האפס היחסית אשר נקבעה על ידי המודד. כל סדק נמצא במרחק אחר מנקודת האפס והמרחקים בין הסדקים זהו למעשה המרווח בין הסדקים, במידה וסרט המדידה ניצב לכיוון מישורי הסידוק. המרווח הממוצע בין הסדקים והתדירות מחושבים בעזרת נוסטאות מספר 4.2 ו- 4.3. ככל שהתדירות גבוהה יותר כך המרווח הממוצע קטן יותר, זאת אומרת סידוק צפוף יותר.

$$\lambda = N/L \quad (4.2)$$

$$\bar{X} = 1/\lambda \quad (4.3)$$

$L$  = אורך סרט המדידה

$N$  = מספר הסדקים שנמדדו

$\lambda$  = תדירות

$\bar{X}$  = מרווח ממוצע (Spacing)

המרווח הממוצע המחושב בנוסחה מספר 4.3 הינו מרווח ממוצע של כל הסדקים המופיעים בטווח של סרט המדידה ללא חלוקה למערכות סידוק ראשיות. על מנת לחשב מרווח ממוצע לכל מערכת יש להפריד את הסדקים המתקבלים לפי כיוונם למערכות ראשיות. בעזרת תוכנת גיליון נתונים כגון Quattro Pro ניתן למיין לפי הכיוונים הראשיים שהוגדרו בעזרת תוכנת Dips ואז לחשב את המרווח הממוצע לכל מערכת על סמך המרחקים בין הסדקים שנמדדו בעזרת סרט המדידה בשדה. במידה וסרט המדידה אינו ניצב למישורי הסדקים אזי המרחק הנמדד בין סדק לסדק אינו מרחק אמיתי ולכן יש לערוך תיקון למרחק הנמדד בעזרת נוסחה מספר 4.4. תיקון זה מוצג בציר מספר 4.4 (Terzaghi 1965).

$$S = d * \sin \alpha \quad (4.4)$$

כאשר:

$\alpha$  = זווית בין מישור הסדק לבין סרט המדידה

$d$  = המרחק המדומה שנמדד

$S$  = המרחק האמיתי המתקבל לאחר תיקון Terzaghi



#### 4.1.4 ה. חספוס מישורי הסדק (Joint roughness)

חספוס מישור הסדק משפיע בצורה ישירה על החוזק לגזירה של הסלע (נוסחה מספר 4.5). ככל שמישור הסדק מחוספס יותר זווית החיכוך עולה. זווית זו מורכבת מזווית חיכוך בסיסית ( $\phi_\mu$ ), שהיא זווית החיכוך המתאימה למישור סדק חלק ללא חספוס, ומזווית הנטייה של הגבשושיות היוצרות את חספוס מישור הסדק ביחס למישור הסדק ( $i$ ) (צור 4.5). (Goodman 1989).

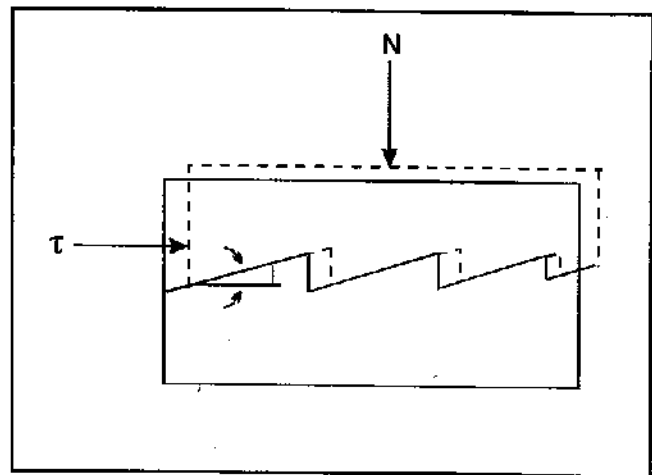


Fig 4.5 - The angle formed in the discontinuity plane by the roughness of the plane.  
(From Goodman 1989)

$$(4.5) \quad \tau = \sigma_n \tan (\phi_\mu + i) \quad \text{עבור מאמץ נורמלי נמוך} \quad (\text{Goodman 1989})$$

כאשר :

$$\tau = \text{החוזק לגזירה}$$

$$\sigma_n = \text{המאמץ הנורמלי}$$

$$\phi_\mu = \text{זווית החיכוך של מישור הסדק ללא החספוס}$$

$$i = \text{זווית התפוחה של הסדק ביחס למישור הסדק}$$

עבור מאמץ נורמלי גבוה התווק לגזירה ניתן לחישוב בעזרת נוסחה מספר 4.6.

$$\tau = c + \sigma_n \tan \phi_r \quad (4.6)$$

כאשר  $c$  היא הקוהזיה ו-  $\phi_r$  היא זווית החיכוך השוירית. במקרים רבים משתמשים בזווית  $\phi_\mu$  במקום

זווית החיכוך השוירית היות וההבדלים ביניהם אינם משמעותיים (Goodman 1989).

חספוס מישור הסדק נמדד בשתי קטגוריות:

1. מדידה המתייחסת לסדק כולו ונמדדת בקנה מידה המתייחס לרציפות הקיימת של הסדק. מדידה זו קובעת

האם הסדק הוא אנדולטורי, מדורג או שטות. הגבשושיות הגורמות לפרופיל מישור הסדק להיות אנדולטורי

או מדורג אינן נחרסות במהלך הגזירה.

2. מדידה המתייחסת למספר סנטימטרים ומודדת את מידת חספוס מישור הסדק בקנה מידה מקומי. המדידה

נעשית בעזרת מד פרופיל אשר מוצמד למישור הסדק, במקביל לכיוון הדיפ ומודד את פרופיל מישור הסדק

במקביל לכיוון ההתלקה. התוצאה מתקבלת ברזולוציה של עד מלימטרים בודדים. הגבשושיות המרכיבות

את פרופיל החספוס, כפי שבא לידי ביטוי במד פרופיל, נשחקות ונחרסות ולכן יש להתגבר עליהן על מנת

שתתרחש גזירה.

את התוצאות המתקבלות משתי מדידות אלו יש להשוות לטבלה מספר 4.1 ומשם יש לעבור אל טבלת

הסיווג של Barton ולדרג את פרמטר החספוס - Jr. כאשר הסדק פתוח והוא מכיל חומר מילוי, יורדת חשיבות

פרופיל החספוס של מישורי הסדק היות והגזירה אינה מתבצעת דרך החספוס אלא דרך חומר המילוי.

#### 4.1.4. מקדם הפחתת מאמצים (SRF - Stress Reduction Factor)

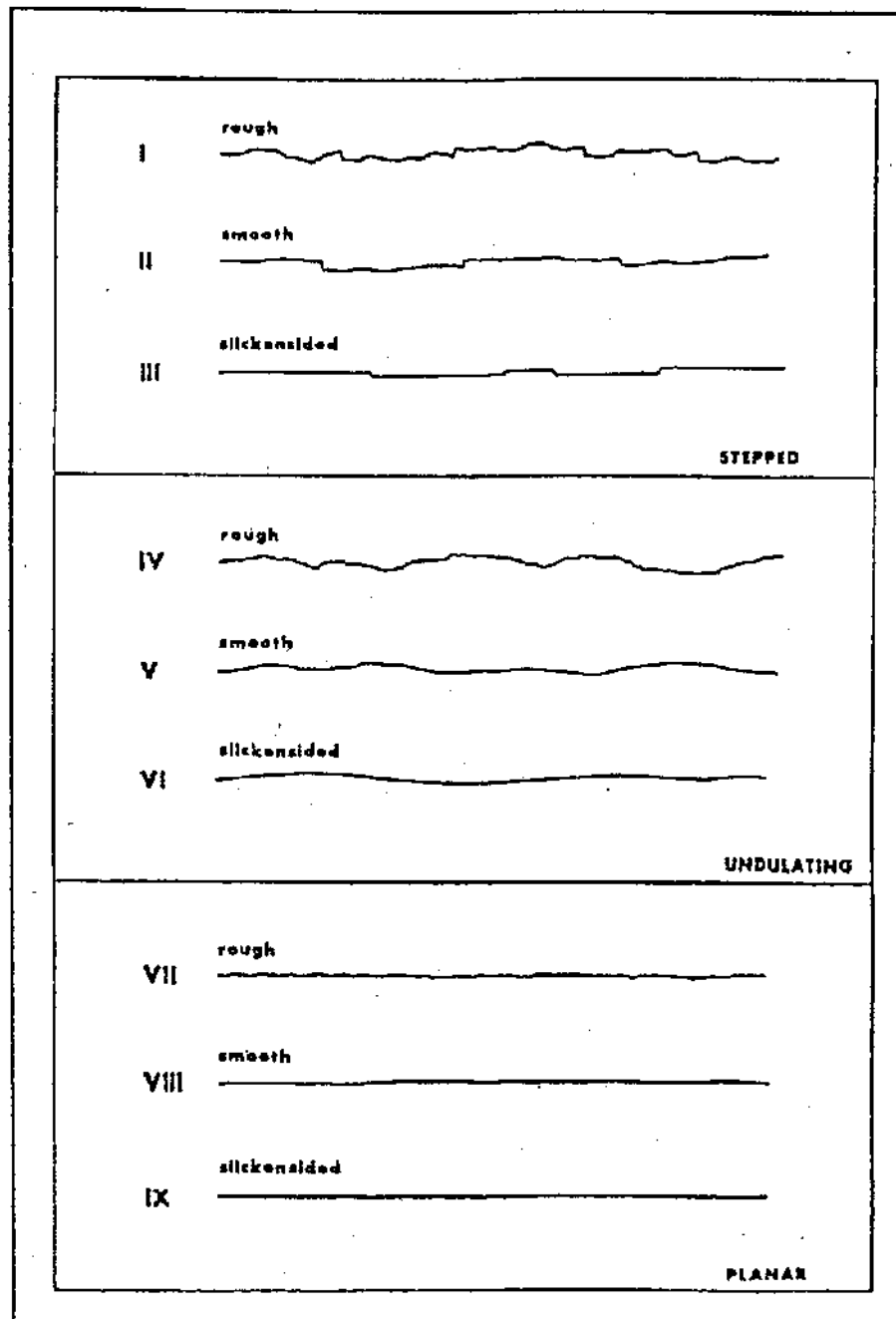
פרמטר זה בא לתת ביטוי כמותי לאזורי חולשה הנובעים מנוכחות אזורי גזירה, שברים, חרסיות

הגורמות לתפיחה, סלעים שיכולים להגיע למצב של זרימה ויחס בין מאמצים  $\sigma_1$ ,  $\sigma_3$ . יחס המאמצים לא נמדד

בעבודה זו, שאר המרכיבים של פרמטר זה מתגלים במהלך מיפוי המנהרה ומתוארים ונבדקים במעבדה במקרה

של תפיחת חרסיות.

**Table 4.1 - Classification  
of roughness profile.  
(From ISRM 1978)**



#### 14.1.4. מי תהום

כמות מי התהום נמדדת על ידי בדיקת חשפיעת של המים אל תוך מקטע אורך של 10 מטר במנהרה, במשך פרק זמן קצוב. במחקר זה המנהרה נחפרה בתנאים יבשים לכל אורכה ולכן מקבל פרמטר זה ערך אחיד לכל אורך המנהרה.

## 4.2 שיטות עבודה - מעבדה

### 4.2.1 חוזק לחיצה נקודתית (Point load) Is

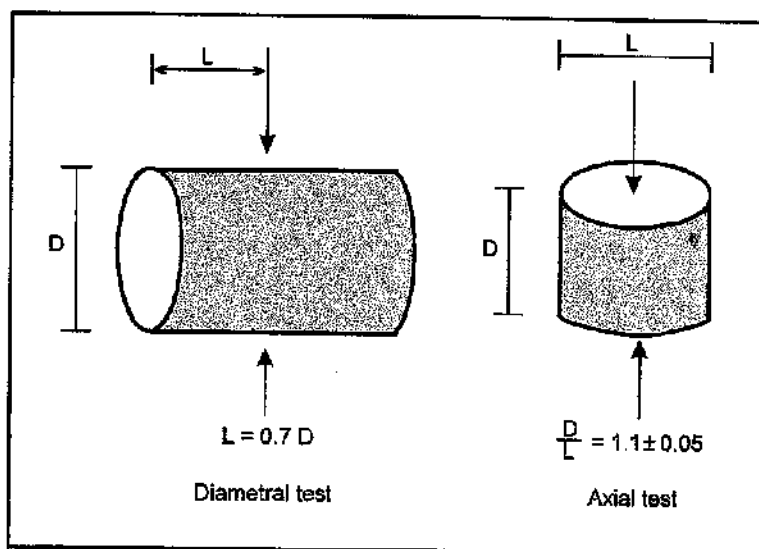
בדיקת החוזק הנקודתי מתבצעת באמצעות הפעלת לחץ נקודתי על גלעיני סלע אשר נקדחים מסלעי המדגם. מכל דוגמת סלע נקדחים מספר גלילים בקוטר קבוע (D) ובשני אורכים (L) שונים (ציור מספר 4.6 בהתאם לסוג הבדיקה וקוטר גלעין הסלע שנקדח).

אורכי הגלעין הנדרשים הם:

$$1. \quad L > 0.7D \quad \text{לצורך לחיצה לאורך ציר הרוחב (Diametral)}$$

$$2. \quad D/L = 1.1 \pm 0.05 \quad \text{לצורך לחיצה לאורך ציר האורך שלהם (Axial)}$$

Fig 4.6 - Cores size  
for point load test  
(From ISRM 1978)

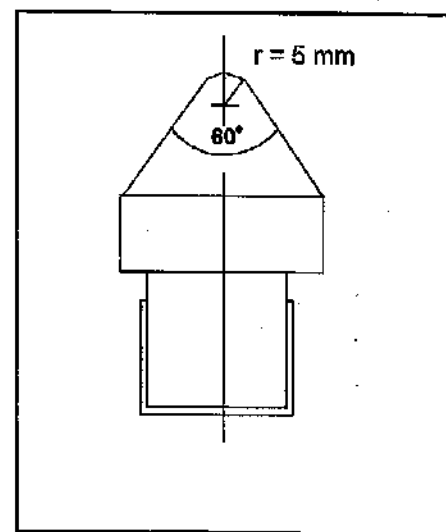


מכשיר הבדיקה מורכב ממלחציים קוניים, ידית הפעלה אשר מספקת לחץ שמן לסגירת המלחציים ושעון המודד את לחץ השמן. הקונוסים במלחציים הנם בזווית של  $60^\circ$  (מקצה הקונוס לקצות הבסיס) וקצה הקונוס הינו ברדיוס של 5 מילימטרים (ציור מספר 4.7). שעון המדידה מודד את לחץ השמן.

כיוון הלחיצה צריך להיות אחד לכל הבדיקות של סלעי המנהרה. כאשר דוגמים ממחשופים ניתן לסמן את מיקום הדוגמא במחשוף, כיוון השכוב וכיוון המעמס. בדגום של בלוקי סלע, הנופלים מדפנות המנהרה עקב פיצוץ או כריה בצורה שונה, לא ניתן לקבוע את הכיוון המקורי של הדוגמא בטווח מאסת הסלע. מסיבה זו נערכה בדיקת איזוטרופיות לחוזק נקודתי בסלעי תצורת עמינדב ותצורת המעבר המופיעים לאורך תוואי

המנהרה. במהלך בדיקה זו נלקחו שלוש דוגמאות, דוגמאות מספר 1 ו-3 נוסרו לשלושה חלקים ודוגמא מספר 2 נוסרה לשני חלקים. כל חלק בדוגמא מסוימת נקדת, לצורך הוצאת גלעינים, בכיוון שונה כך שהתקבל ייצוג של שלושה כיוונים בדוגמאות מספר 1 ו-3 ושני כיוונים בדוגמא מספר 2. לאחר ביצוע בדיקת החוזק הנקודתי הראו התוצאות על ממוצע דומה בין גלילי הסלע השייכים לאותה הדוגמה אך מייצגים כיוונים שונים של לחיצה (ראה נספח 1 דוגמאות I1, I2, I3). תוצאות אלו מאפשרות המשך איסוף דוגמאות שנפלו כתוצאה מהפיצוץ והכרייה, וביצוע הניסוי מבלי לקבוע כיוון לחיצה אחד לכולם, כפי שניתן לעשות כאשר דוגמים מתוך שכבות סלע.

**Fig 4.7 - Size of the cone for the point - load test. (From ISRM 1978)**



שלבי הבדיקה:

1. קדיחת גלילי סלע מדוגמאות השדה.
2. מיון וניסור גלילי הסלע לפי המידות הנדרשות, על מנת שניתן יהיה לבצע את שני סוגי הבדיקות שפורטו לעיל.
3. יבוש הדוגמאות בתנור למשך 24 שעות בטמפרטורה של 105 מעלות צלזיוס על מנת לנטרל את השפעת המים שמקורם בתהליך הקדיחה ובניסור.
4. הכנסת הדוגמא למכשיר הבדיקה והפעלת עומס הדרגתי עד לכשל הדוגמא. בנקודת הכשל יש לקרוא את שעון לחץ השמן לצורך חישוב החוזק הנקודתי ( $I_s$ ).

## 5. חישוב החוזק הנקודתי.

$$I_s = P/D^2 \quad (\text{Broch and Franklin 1972})$$

כאשר  $P$  הינו הכוח שמועבר למדגם [kN], כפי שמראה שיעון המדידה ו-  $D$  הינו קוטר או גובה

(בהתאם לסוג הבדיקה - Axial test, Diametral test) הגלעין שנבדק ביחידות של מטר.

הערך  $I_s$  מחושב עבור כל גליל סלע בגפרוד ובסוף הניסוי נערך מיצוע של הערכים שהתקבלו על מנת לקבל את החוזק הנקודתי של דוגמת הסלע.

על מנת להבטיח את איכות התוצאות יש להציג עבור כל דוגמת סלע את טווח הערכים אשר התקבל עבור גלילי הסלע השונים על מנת לאפשר בדיקה של הממוצע ומידת ייצוגו את ערכי החוזק הנקודתי. כאשר גליל סלע נכשל לאורך מישור חולשה קיים אזי אין להתחשב בערך שהתקבל היות והוא אינו מייצג את חוזק הסלע אלא את החוזק של מישור החולשה. כאשר מכניסים גליל סלע אל המלחציים יש להקפיד שהעומס הנקודתי יופעל לאורך ציר האמצע של הגליל. אי הקפדה על כך תגרור עיוות בתוצאות וחוסר אחדות במהלך הניסוי.

## 4.2.2 תכולת רטיבות (w - water content)

תכולת המים הנה היחס המשקלי באחוזים בין כמות המים בדוגמא לבין משקלה המרבי של הדוגמא ללא המים (נוסחה מספר 4.7). הדוגמא נאספת בשדה באזור לא חשוף לשמש, על מנת למנוע את בריחת המים הטבעיים, ומוכנסת לשקית ניילון או מיכל. כלי הקיבול נאטם בעזרת סרט הדבקה ומצופה בשעווה חמה על מנת לקבל אטימה מוחלטת. יש לוודא שכלי הקיבול הינו צמוד לדוגמא ותכולת האוויר בתוכו הנה מינימלית. שלבי הבדיקה:

1. איסוף הדוגמא ואטימתה.
2. הכנסת הדוגמא למספר מכלים אשר משקלם ידוע.
3. שקילת המכלים עם חלקי הדוגמא אשר בתוכם.
4. יבוש המדגמים בתנור, בטמפרטורה של 105 צלזיוס, עד לקבלת משקל יציב.
5. חישוב תכולת המים (w):

$$w\% = \{(w_1 - w_2)/(w_2 - w_3)\} * 100 \quad (4.7)$$

$$= w_w/w_s * 100$$

|                                       |         |              |         |
|---------------------------------------|---------|--------------|---------|
| תכולת המים הטבעיים                    | $w$ -   | משקל הנוזלים | $w_w$ - |
| משקל המכל כולל הדוגמא לפני הייבוש     | $w_1$ - | משקל המוצקים | $w_s$ - |
| משקל המכל כולל הדוגמא לאחר יבוש בתנור | $w_2$ - |              |         |
| משקל המכל                             | $w_3$ - |              |         |

#### 4.2.3 גזירה ישירה (Direct Shear)

בדיקה זו נועדה לבדוק את זווית החיכוך הפנימית והקוהזיה של הדוגמא. פרמטרים אלו חשובים כאשר מחשבים את החוזק לגזירה של הסלע. דוגמאות הסלע אשר נבדקו במעבדה הנם דוגמאות מופרות של סלעים רכים, ונבדקו בעזרת מכשיר לבדיקת גזירה ישירה תוצרת ELE, אנגליה. הבדיקות נעשו בתנאים של קונסולידציה וניקוז חופשי (Consolidated Drained). קצב הגזירה הינו 0.59 mm לדקה. שלבי הבדיקה:

1. איסוף הדוגמאות בשדה באותה צורה שבה נאספו הדוגמאות לצורך בדיקת תכולת רטיבות.
2. הדוגמא מוכנסת לקופסא מרובעת, המחולקת לחלק עליון ותחתון, אשר מידותיה הן  $10 * 10$  סנטימטרים ועומקה 2 סנטימטרים.
3. גזירת הדוגמא בצורה אופקית. בדיקה זו נעשתה שלוש או ארבע פעמים, על מדגמים שונים מאותה דוגמת סלע, כאשר בכל פעם הופעלה קונסולידציה תחת המאמץ הנורמלי המרבי אשר שימש במהלך הניסוי. כל מהלך הבדיקה נרשם על גבי טופס עד נקודת הגזירה. בסיום הבדיקות מתקבלות שלוש או ארבע נקודות אשר מייצגות את המאמץ בנקודת הגזירה של כל מדגם.
4. הנקודות המייצגות את המאמץ בעת הגזירה מועלות על גרף, כאשר ציר X מציין את המאמץ הנורמלי

שהופעל וציר  $Y$  מציין את מאמץ הגזירה ברגע בו נגזר המדגם, ומחוברות בקו.

5. חישוב זווית החיכוך ( $\phi$ ) והקוהזיה.

הזווית בין הקו המחבר בין הנקודות לבין ציר  $X$  הנה זווית החיכוך הפנימית. נקודת החיתוך של הקו עם ציר

$Y$  הנה גודל הקוהזיה.

6. לאחר ביצוע כל ניסוי נלקח חלק מן המדגם לצורך בדיקת תכולת הרטיבות על מנת לוודא שהמדגם שנבדק

אכן בעל תכולת רטיבות דומה לזו של הדוגמא במצבה הטבעי.

#### 4.2.4 אנליזה גרנולומטרית

גודל הגרגרים המרכיבים את החומר (קרקע, עפר) הוא גורם חשוב המשפיע על התכונות ההנדסיות של

החומר. אנליזת גודל הגרגר נעשתה במעבדה הסדימנטולוגית של המכון הגיאולוגי. המדגם הועבר דרך מערכת

של נפות בריטיות (ראה טבלה 4.2). לאחר ניפוי המדגם מסכמים את התוצאות על ידי חישוב האחוז המשקלי

שעבר כל נפה ונפה ומציגים את האחוז המצטבר על גרף חצי לוגריתמי תיקני.

| מספר נפה | פתח מ"מ |
|----------|---------|
| 10       | 2.00    |
| 14       | 1.41    |
| 25       | 0.71    |
| 50       | 0.29    |
| 100      | 0.149   |
| 140      | 0.105   |
| 170      | 0.088   |
| 230      | 0.062+  |
| -230     | 0.062-  |

Table 4.2 - The sieve size.

### 4.3 ניתוח אנליטי

#### 4.3.1 Block theory - רקע כללי

כאשר מבצעים כריה ות - קרקעית במאסת סלע סדוקה עלולים להשתחרר בלוקים מדפנות ותקרת המבנה אל תוך החלל התת - קרקעי. כאשר החלל אינו תמוך יכולה החלקה של בלוק מסוים לגרום להחלקה או נפילה של בלוקים נוספים ובכך ליצור גלישה שתגרסם להרס או לנוק ניכר של המבנה. כאשר החלל התת - קרקעי תמוך יוצרים הבלוקים לחץ על התימוך ועלולים לגרום לכשל של התימוך במידה והתכנון לא התייחס לעומסים שעלולים להיווצר.

כאשר נוצר בלוק ממפגש בין מישורי אי הרציפות ומגע עם מישור העבודה (מישור חופשי), יכול בלוק זה לנוע על ידי החלקה על מישור אחד או יותר, על ידי נפילה חופשית (גרביטציה), על ידי שילוב בין החלקה לרוטציה (Toppling) או להישאר יציב ללא יכולת תזוזה. השיטה אשר מאפשרת את חיזוי היווצרות הבלוקים וניתוח יכולת חתנועה שלהם נקראת תיאוריית הבלוקים (Block theory). הבלוק המסוכן ביותר ליציבות נקרא "בלוק מפתח" (Key block) וניתן לאתרם בעזרת תיאוריית הבלוקים על מנת לאפשר פתרון הנדסי מבעוד מועד. מיקום וצורת בלוק המפתח הנם תלת מימדיים ועל ידי הצבתם על מפת מיקום בתוואי המנתרה ניתן לתכנן תימוך אופטימלי ולבחור את אוריינטציה הכרייה, במידה ואין אילוצים אחרים.

תיאור הפיתוח התאורטי של תיאוריית הבלוקים מופיע אצל Goodman & Shi (1985) ו - Goodman

(1989). שילוב גיאוסטטיסטיקה וישום התיאוריה מופיע אצל Hatzor & Goodman (1993) ו - Hatzor (1993),

אצל Hatzor (1995) מופיע שמוש בתיאוריית הבלוקים עבור לחצי מים בסדקים בגבולות בלוקים.

#### 4.3.2 סוגי בלוקים

סביב חלל תת - קרקעי יכולים להתפתח שישה סוגים שונים של בלוקים. בצור 4.8 ניתן לראות בלוקים אשר חלקם בעלי יכולת תזוזה וחלקם אכן נוצרים אך אינם מהווים בעיה הנדסית. בלוק מספר 6 הוא בלוק ללא מגע עם המישור החופשי ואינו מגיע כלל לאפשרות תזוזה. בלוק מספר 5 בא במגע עם המישור החופשי, במקרה זה גג המנהרה, אך זהו בלוק אינסופי. בלוק מספר 4 לכוד בין בלוקים אחרים ואם לא יוצרו סדקים נוספים אף אחד מן הבלוקים שהוזכרו לעיל לא יוכל להשתחרר. שאר הבלוקים הנם בלוקים סופיים ותאורטית יכולים אף להשתחרר. יכולת הבלוקים הנ"ל להשתחרר תלויה לא רק בגיאומטריה שלהם ביחס למישור החופשי אלא גם בכוח המניע ובזווית החיכוך של מישורי האי - רציפות

Fig. 4.8 - Type of blocks around the under-ground excavation.  
(From Goodman, 1989)

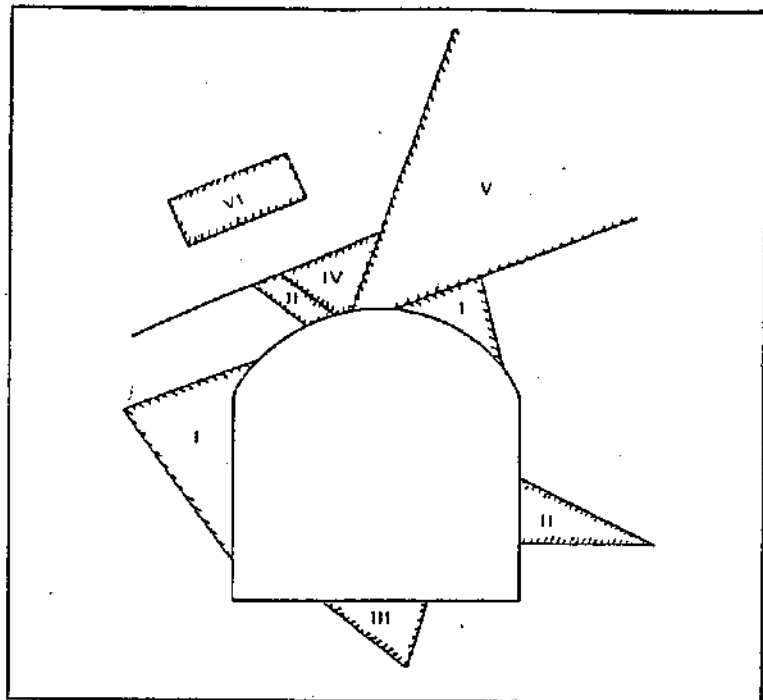


Fig. 4.9 - Removable block with two joints and two free face.  
(From Goodman, 1989)

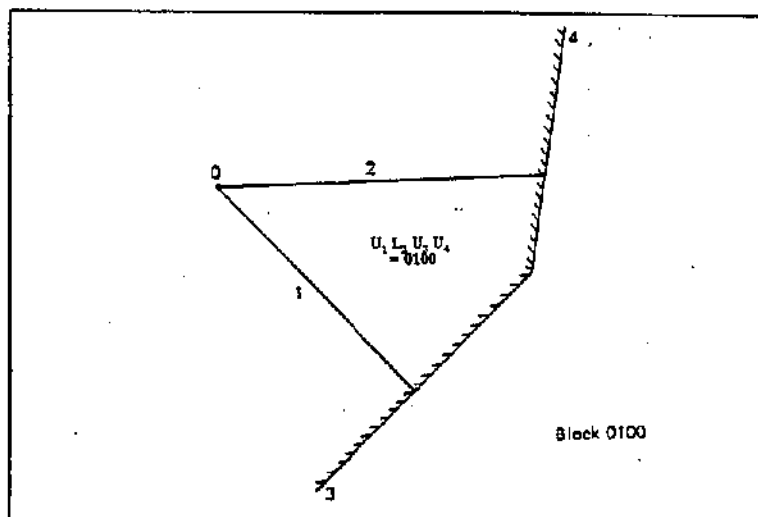
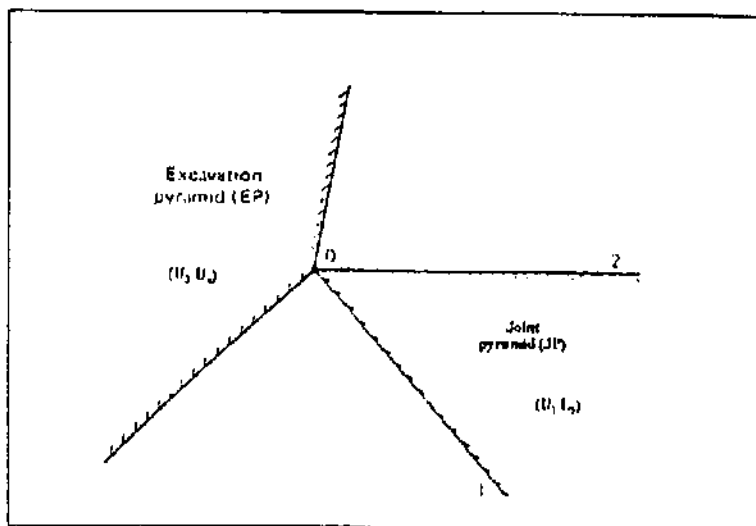


Fig. 4.10 - JP & EP formed after the forth plane moved through point 'o' without rotation.  
(From Goodman, 1989)



אשר יוצרים את הבלוק. כאשר הכוח הפועל הינו הגרביטציה בלבד אזי בלוק מספר 3 נחשב לבלוק יציב וללא יכולת תזוזה, בלוק מספר 2 בקיר הימני של ציור מספר 4.8 נשען על בסיס שטוח ואופקי ולכן אף הוא אינו צפוי לזוז תחת כוח המשיכה אלא אם כן יוצר מצב של לחץ מים או שינוי בכיוון הכוח המניע ואילו בגג המנהרה יכול בלוק מספר 2 לנוע רק במקביל לשני מישורי הסידוק המגבילים אותו. בלוק מספר 1 נחשב לבלוק מפתח, בלוק זה הנמצא בתקרה ייפול עם פתיחת החלל התת - קרקעי ואילו בקיר השמאלי תתרחש קרוב לודאי החלקה של הבלוק אם לא יבוצע תימוד מתאים, ובזמן.

### 4.3.3 אנליזת הזזה

תיאוריית הבלוקים מאפשרת את חלוקת הבלוקים המופיעים בציור 4.8 לבלוקים בעלי יכולת תזוזה ולבלוקים יציבים על ידי אנליזת הזזה או בשמה הנוסף תיאוריית Shi (Goodman & Shi 1985). על מנת לקבוע אם הבלוק הוא בר תזוזה יש לבדוק ראשית אם הבלוק הוא בלוק סופי. בציור 4.9 מופיע בלוק סופי בשני מימדים. כאשר גבולות הבלוק מוויזים ללא רוטציה לכיוון מרכז הבלוק והבלוק מצטמצם עד כדי נקודה ניתן לאמר כי הבלוק הוא סופי. הבלוק בציור 4.9 מכיל ארבעה חצאי חללים:  $U_1$  הוא חצי החלל שנמצא מעל מישור מספר 1,  $L_1$  הוא חצי החלל שמתחת למישור הסידוק או השכוב והוא המשלים את  $U_1$ ,  $L_2$  הנו חצי החלל שנמצא מתחת למישור מספר 2,  $U_2$  הוא חצי החלל שנמצא מעל מישור מספר 3 ו-  $U_3$  הוא חצי החלל אשר נמצא מעל מישור מספר 4, מישורים מספר 3 ו- 4 הנם מישורים חופשיים ומישורים מספר 1 ו- 2 הנם מישורי סידוק או שכוב. בציור 4.10 חוזרו ארבעת המישורים ללא רוטציה והועברו דרך נקודה בודדת  $O'$ . החיתוך בין  $U_1$  ו-  $L_2$  יוצר שטח הנקרא Joint pyramid או בקיצור JP, ה- JP, בשני מימדים, זוהי זווית אשר קדקודה נמצא בנקודה  $O'$ . באופן דומה החיתוך  $U_2$  ו-  $U_3$  יוצרים שטח הנקרא Excavation pyramid ובקיצור EP, גם חיתוך זה הנו זווית שמרכזה הוא נקודה  $O'$ , בתלת מימד יוצרים החיתוכים הנ"ל פירמידה. ה- JP מבטא את הסלע הבונה את הבלוק שאמור להשתחרר ואילו ה- EP מבטא את הסלע בגב המישור החופשי ממנו אמור להשתחרר הבלוק. לפי התיאוריה של Shi הבלוק הוא סופי ובר תזוזה אם ורק אם אין כל חיתוך בין ה- JP ל- EP לאחר הבאת כל המישורים אל נקודה משותפת, או לחילופין אם ה- JP מוכל כולו ב- SP - פירמידת החלל (Goodman & Shi 1985).

### 4.3.4 הגדרת בלוקים קריטיים בעזרת השלכה סטריאוגרפית

השלכה סטריאוגרפית מאפשרת הפשטה של הדיון בתיאוריית הבלוקים. באמצעות ההשלכה הסטריאוגרפית ניתן להפחית את מימד העבודה כך שמרחב תלת מימדי ידון בעזרת ההשלכה באמצעות

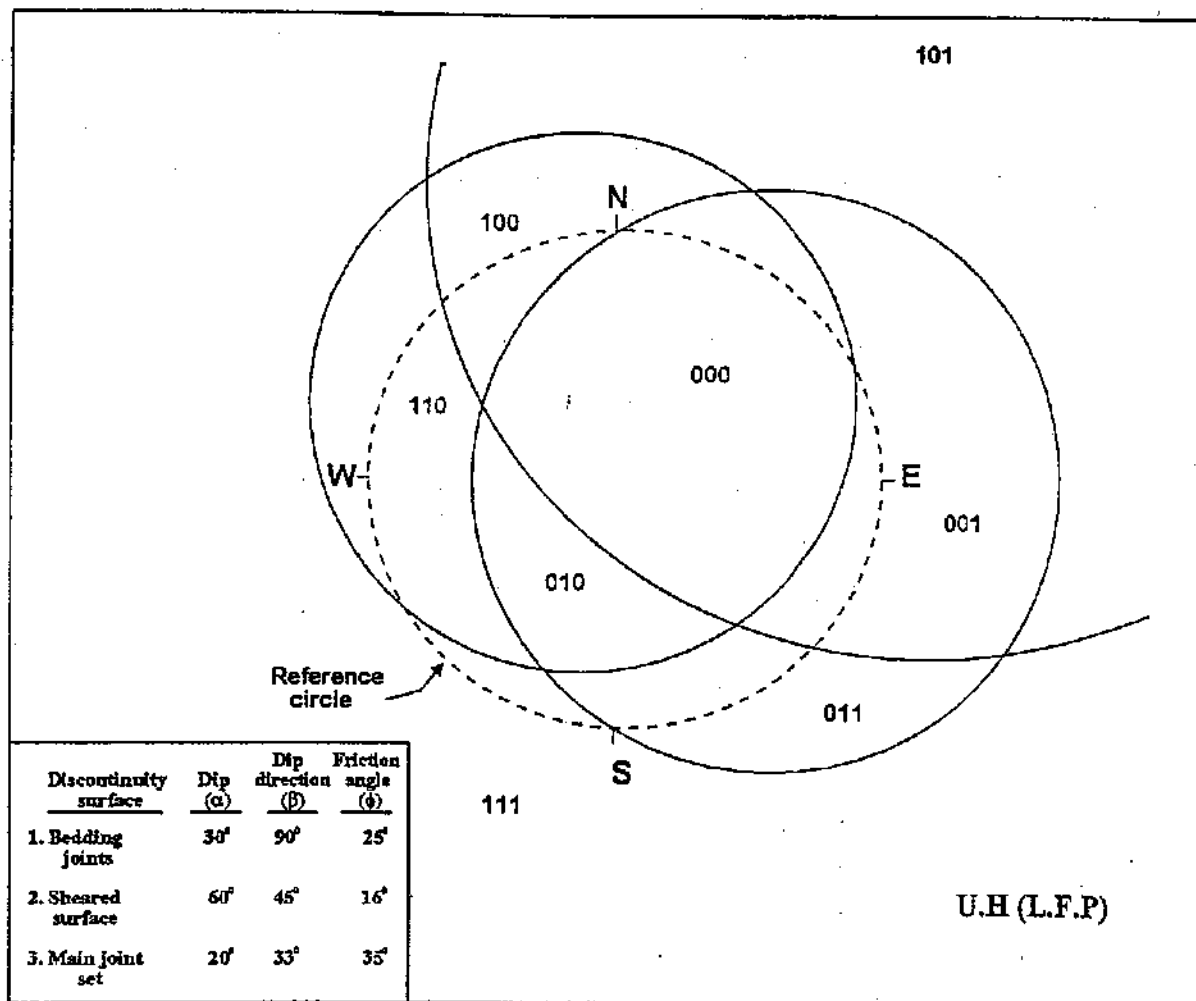


Fig. 4.11 - Stereographic projection of three discontinuity planes that form joint pyramid (JP).  
(From Goodman, 1989)

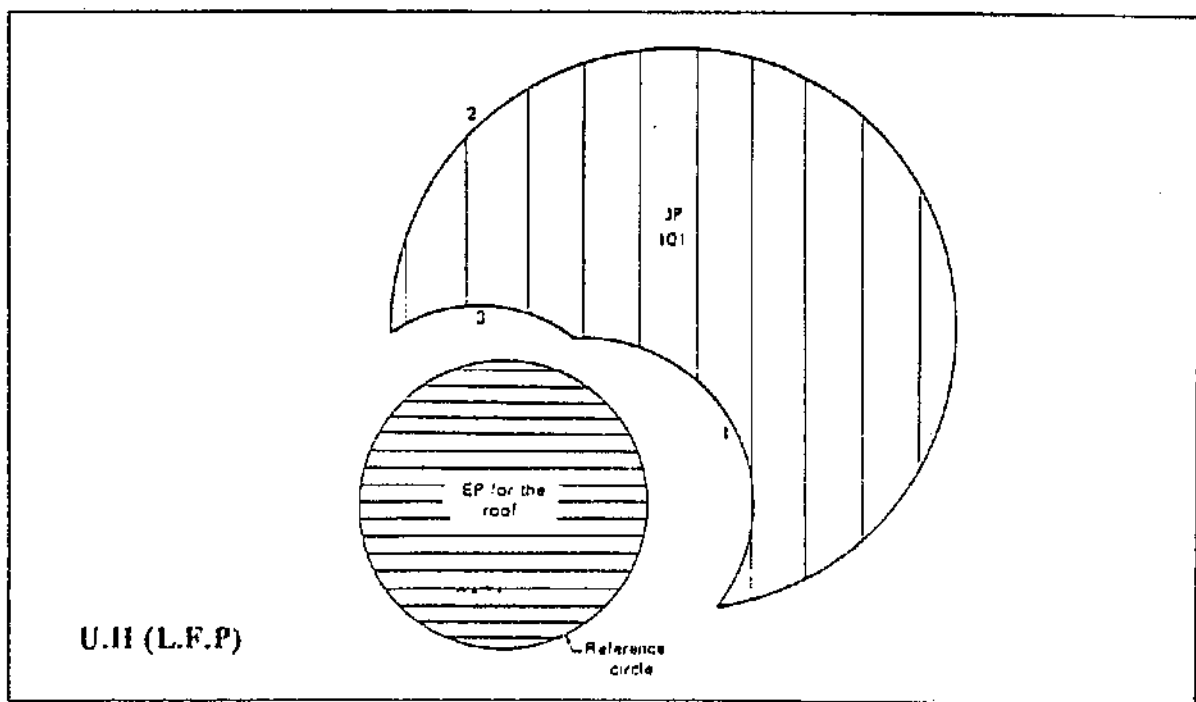
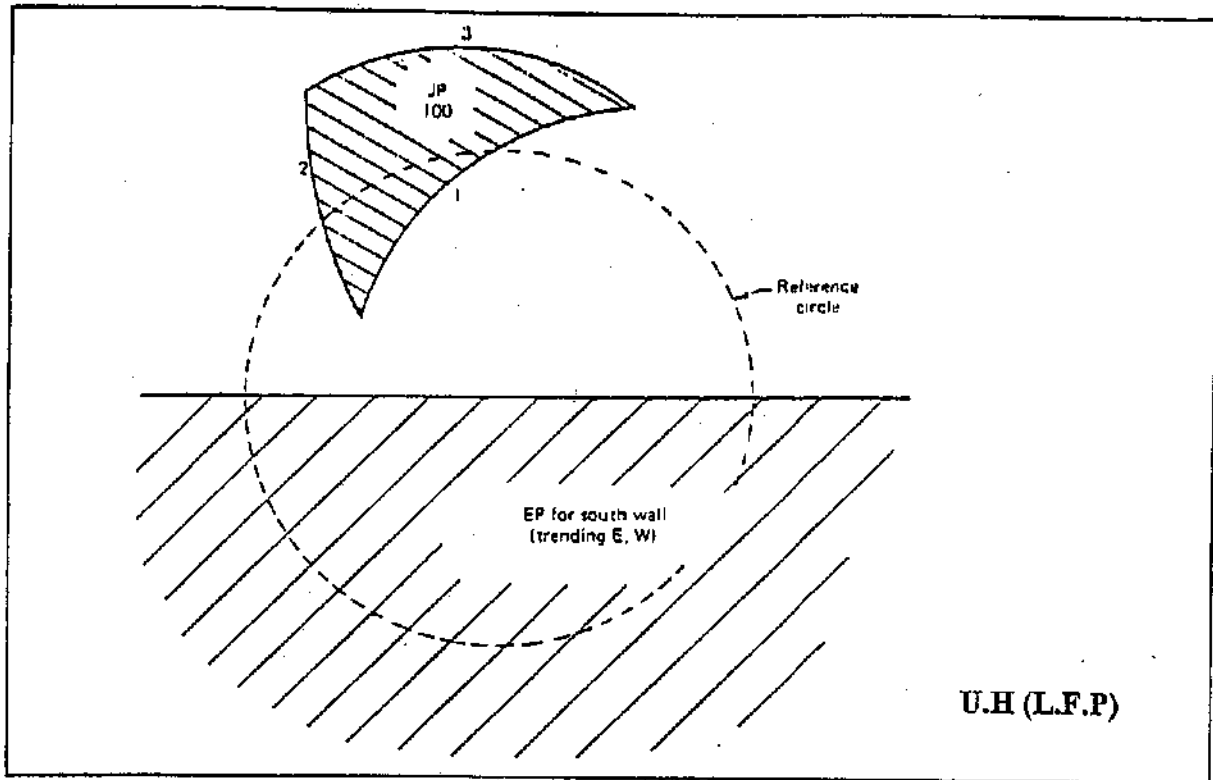


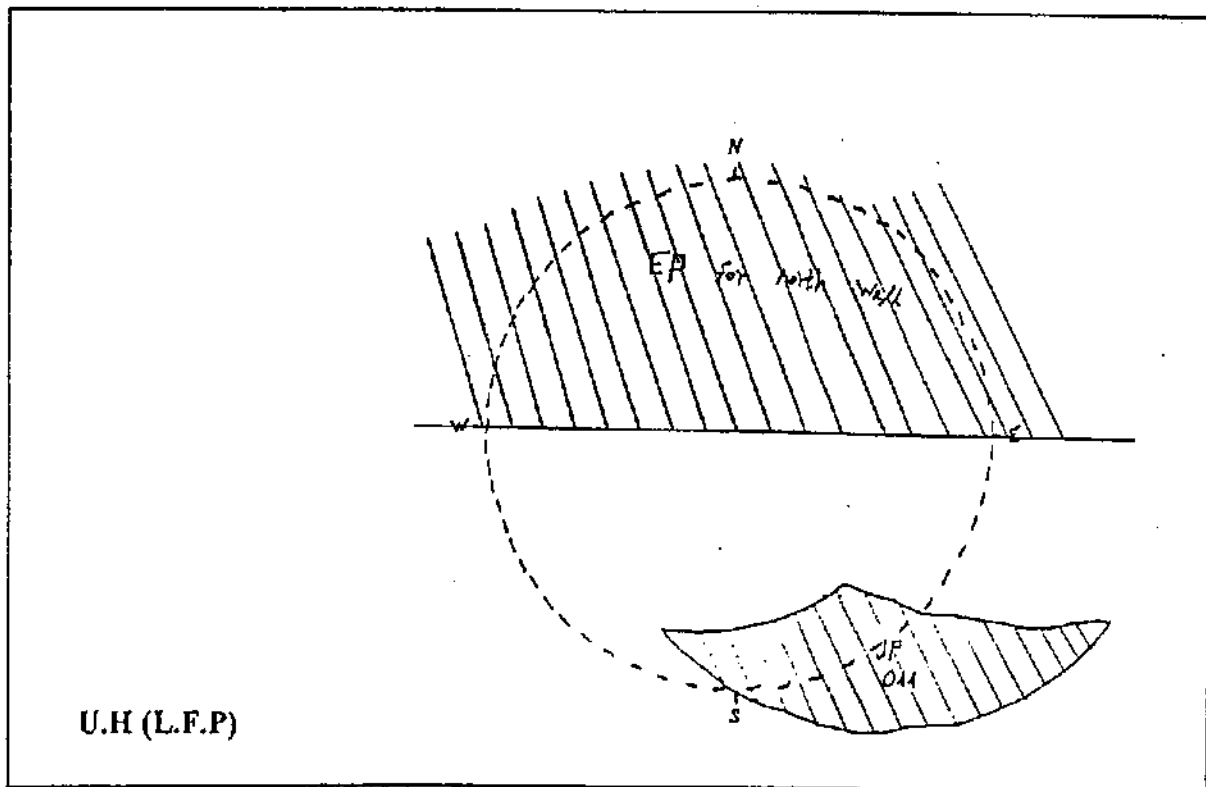
Fig. 4.12 - The only removable JP from the tunnel roof.  
(From Goodman, 1989)

גיאומטריה זו - מימדית (Priest 1985). קו אשר עובר דרך מרכז המעגל של הכדור יושלך על המעגל כנקודה ואילו מישור שעובר בצורה דומה ייוצג על ידי קו על המעגל ההשלכה. בציר 4.11 מספר מופיעים שלושה מישורי אי רציפות המושלכים על מעגל בהשלכה של חצי כדור עליון (נקודת פוקוס בתחתית כדור ההשלכה) ה - JP הנוצר מחיתוך מישורי אי הרציפות מקבל שם בעזרת המספרים אפס ואחד. בפרק הקודם קיבל כל חצי חלל כינוי על ידי שילוב בין אות המייצגת את מיקום החלל (בלוק) ביחס למישור אי הרציפות (מעל או מתחת למישור) ומספר שציין את מישור אי הרציפות. בציר 4.11 מוגדרים מישורי אי הרציפות במספרים מאחד עד שלוש והחלל אשר מעל למישור אי הרציפות מקבל את המספר אפס ואילו החלל אשר מתחת למישור אי הרציפות מקבל את הספרה אחת. כאשר מתייחסים למעגל ההשלכה בציר 4.11 אזי נקודה  $C_2$  נמצאת מחוץ למעגלים הגדולים המייצגים את מישורי אי הרציפות מספר אחד ושלוש ובתוך המעגל המייצג את מישור מספר שניים, זאת אומרת מעל מישור מספר שניים אך מתחת למישורים אחד ושלוש. ה - JP המכיל את נקודה  $C_2$  יקבל את השם 101. השטח בתוך מעגל ההשלכה (Reference circle) מייצג את תקרת החלל התת קרקעי (EP) בהשלכת חצי כדור עליון (UH) והשטח מחוץ למעגל זה מייצג את פירמידת החלל (SP) של התקרה. לכן, לפי התיאוריה של Shi ה - JP (בלוק) היחיד שיכול לזוז הנו 101 (ציר 4.12) היות ואין שום חיתוך בין פירמידת הסדקים שנוצרה לבין ה - EP. כאשר נבצע אנליזת ההזזה של בלוקים מקירות המנהרה (ציר 4.13) נראה כי JP 100 הנו בר תזוזה מן הקיר הדרומי דבר שאומר שה - JP שיכול לזוז מן הקיר הצפוני הוא ה - JP המקבל אינדקסים (שם) הפוכים, דהיינו 011. ואכן אם נחזור לציר 4.11 ונציין את ה - EP המייצג את קיר העבודה הצפוני (ציר 4.14) נראה כי JP 011 אכן בר תזוזה מן הקיר הצפוני, JP זה (011) נקרא cousin ל - JP 100.

לאחר ביצוע אנליזת ההזזה ומציאת הבלוקים הקריטיים יש לבדוק על אילו מישורי אי רציפות תתבצע ההחלקה או שמא תהיה זו נפילה ואת זווית החיכוך של מישורי אי הרציפות אלו. זווית חיכוך אשר גדולה משיפוע מישור אי הרציפות תמנע תאורטית סכנת החלקה עבור החלקה על מישור בודד. עבור החלקה על שני מישורים, יש לבצע אנליזת יציבות מורכבת יותר. אנליזה זו נקראת אנליזת שיווי משקל גבולית.



*Fig. 4.13 - The only JP removable from the EP of the southern wall.  
(From Goodman, 1989)*



*Fig. 4.14 - The only JP removable from the EP of the northern wall.*

## 5. תוצאות המחקר

### 5.1 הגדרת ערכי $Q$ ו- $RMR$

#### 5.1.1 חוזק ללחיצה נקודתית (point load)

ניסויי הלחיצה הנקודתית נערכו על סלעי תצורת עמינדב לאורך תוואי המנהור, הדגימה הייתה של סלעים אשר יוכלו לשמש בבדיקה, חומר מפורר ובלוי במידה רבה לא נדגם. חוזק הלחיצה הנקודתית מקבל ערכים של 8 - 9 MPa באזור הצפוני של המנהרה בו מאסת הסלע הנה דולומיט עמינדב מאסיבי, וכאשר איכות מאסת הסלע יורדת עם ההתקדמות לכיוון החלק הדרומי של המנהרה עומד חוזק הלחיצה הנקודתית סביב ערכים הנמוכים מ- 7 MPa ומגיע עד כדי 2 MPa (ציר 5.1). תוצאות הניסוי עברו תיקון לצורך התאמה לתקן של גודל המדגם על פי Broch and Franklin 1972 (ציר 5.2).

ערכי הלחיצה הנקודתית שהתקבלו בכל הדוגמאות הנם בין 0 MPa ועד 9 MPa דבר הנותן דירוג של 0 עד 12 בשיטת הסיווג  $RMR$ .

המטרה בביצוע הבדיקה הנ"ל היא לבדוק האם פרמטר זה יכול לספק אינדיקציה אמינה לבעיות יציבות במנהרה. אם אכן פרמטר זה אמין למאסת הסלע באזור בו אנו עובדים, נצפה לראות עליה וירידה בדירוג ה-  $RMR$  של פרמטר זה כנגד שנויים באיכות מאסת הסלע, כפי שאכן קורה. יש לציין שה-  $RMR$  כולל שישה פרמטרים עיקריים ואין באחד מהם בלבד להצביע על התאמה או חוסר התאמה של שיטת הסיווג הנ"ל לאזור העבודה. לכן, המסקנות הסופיות יתקבלו מחיבור התוצאות של כל הפרמטרים. שיטת עבודה זו של בדיקת כל פרמטר בנפרד תעזור למקד את הבעייתיות במקרה של אי התאמה בין התחזית של איכות מאסת הסלע בנושא התימוך והיציבות של המנהרה לבין המציאות הקיימת בשטח. דבר זה נכון גם לגבי שיטת ה-  $Q$ .

#### 5.1.2 סידוק

מדידות של סדקים (dip \ dip direction) נעשו מחוץ למנהרה ובתוך המנהרה. התוצאות שהתקבלו מראות על תפוסת של סדקים המאפשרת את חלוקתם לשלוש מערכות סידוק עיקריות מחוץ למנהרה

# POINT LOAD TEST ALONG GILO LONG TUNNEL

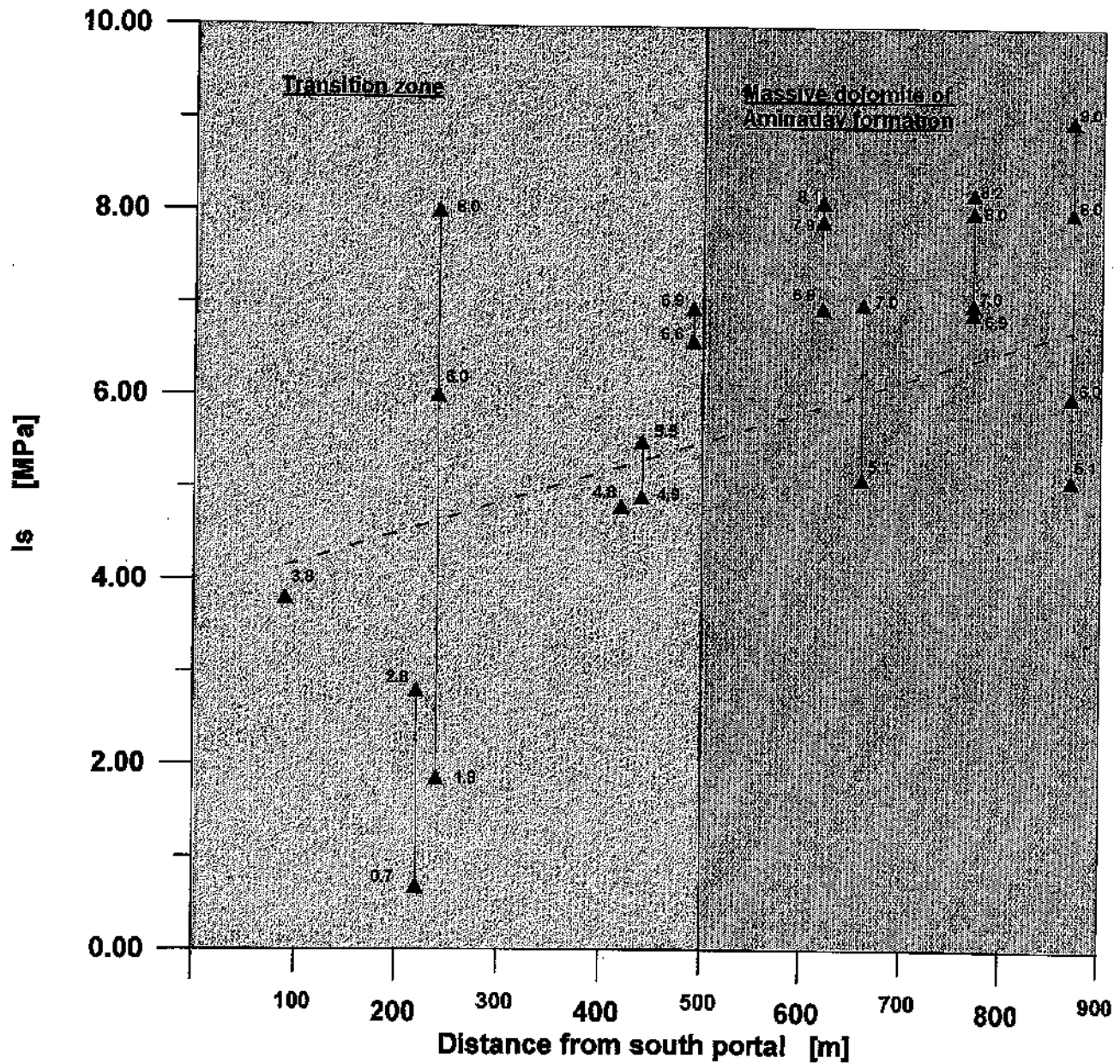
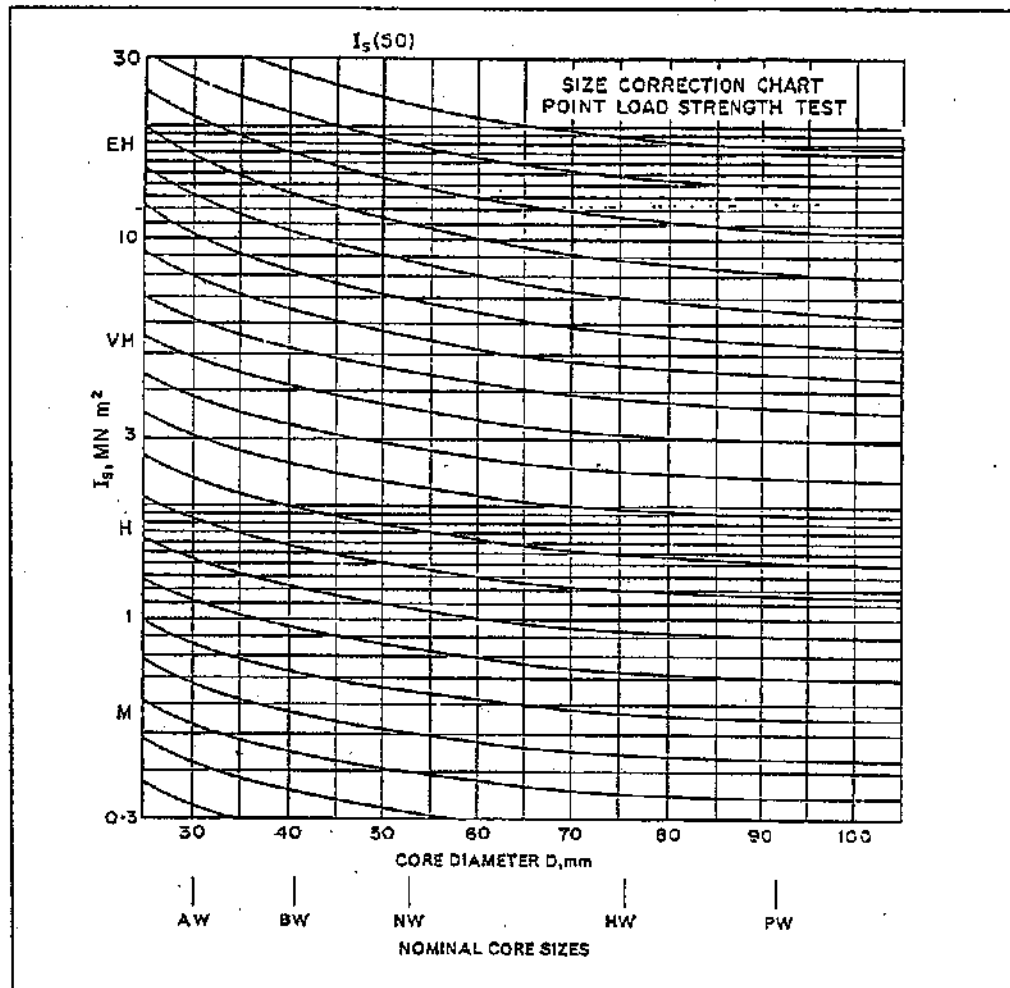


Fig. 5.1 - Point load test result.



*Fig. 5.2 - Size correction for point load strength test  
(From Broch and Franklin 1972)*

(ציור מספר 5.3) וכך גם בתוך המנהרה (ציור מספר 5.4) אם כי קיימת סטייה בין כיווני הסידוק כפי שנמדדו מחוץ למנהרה לבין אלו שנמדדו במנהרה.

כאשר לא נפרש סרט מדידה אלא נמדדות המערכות הבולטות בלבד, המערכת השלישית (J3) בולטת פחות בנוכחותה עקב כיוונה התת - מקביל לסטרייק המנהרה. ציור 5.5 מראה את מדידת הסדקים כפי שנעשתה בידי מר B. Rudowski (גיאולוג מטעם החברה המבצעת), כפי שניתן לראות מערכת J3 כמעט ואינה מופיעה וקיימת זהות במדידת מערכות J1 ו- J2 לציור 5.4.

מדידות סדקים מפני השטח מאופיינת במדידת "רעשים", סידוק משני, הקשור לתופעות בליה של פני השטח ולשחרור מאמצים, (ארקין בע"פ 1995), דבר שיכול להסביר את ההבדל בכיוונים הראשיים בין הסידוק בתוך המנהרה לבין זה שנעשה מחוץ למנהרה. לכן ההתייחסות במהלך המחקר הנה למדידות מישורי אי הרציפות שנעשו מתוך המנהרה.

מערכת מספר אחת (J1) - מערכת סיסטמטית בעלת רציפות גדולה של כ - 30 מטרים לפחות, סטרייק ממוצע של המערכת  $350^{\circ}$  מעלות, כיוון הדיפ  $260^{\circ}$  מעלות וכמות הדיפ  $85^{\circ}$ , (ראה טבלה 5.1) הסידוק הינו סידוק פתוח החל מסנטימטרים בודדים ועד עשרות סנטימטרים. באזורים בהם הבליה ניכרת, יצרה החמסה וההשקעה של המילוי החרסיתי פתיחה נרחבת יותר בסדק ומערכות קרסטיות. בנוסף למילוי החרסיתי קיים מילוי של קלציט בשכוב דק ובעובי של עד 2 סנטימטר באזור שלא בלוי ומילוי קלציטי גם יותר המופיע יחד עם החרסית באזורי הבליה. הסידוק הנו אנדולטורי וכיוונו משתנה עד  $20^{\circ}$  לכל כיוון.

מערכת מספר שניים (J2) - מערכת סיסטמטית בעלת רציפות דומה ל- J1 ובסטרייק ממוצע של  $280^{\circ}$  מעלות. כיוון הדיפ  $010^{\circ}$  וכמות הדיפ  $84^{\circ}$ . מערכת זו הנה אנדולטורית ובעלת אפיונים דומים למערכת J1.

מערכת מספר שלוש (J3) - מערכת סיסטמטית בעלת רציפות של לפחות 20 מטרים. הסטרייק הממוצע הנו  $020^{\circ}$  מעלות, כיוון הדיפ  $290^{\circ}$  וכמות הדיפ  $70^{\circ}$ . מערכת זו אינה אנדולטורית אלא ישרה עד מדורגת ומאופיינת בסימני גזירה אופקיים.

| No. | DIP | DIP<br>DIRECTION | STRIKE | UNDULATION |
|-----|-----|------------------|--------|------------|
| J1  | 85° | 260°             | 350°   | ± 20°      |
| J2  | 84° | 010°             | 280°   | ± 20°      |
| J3  | 70° | 290°             | 020°   | Stepped    |

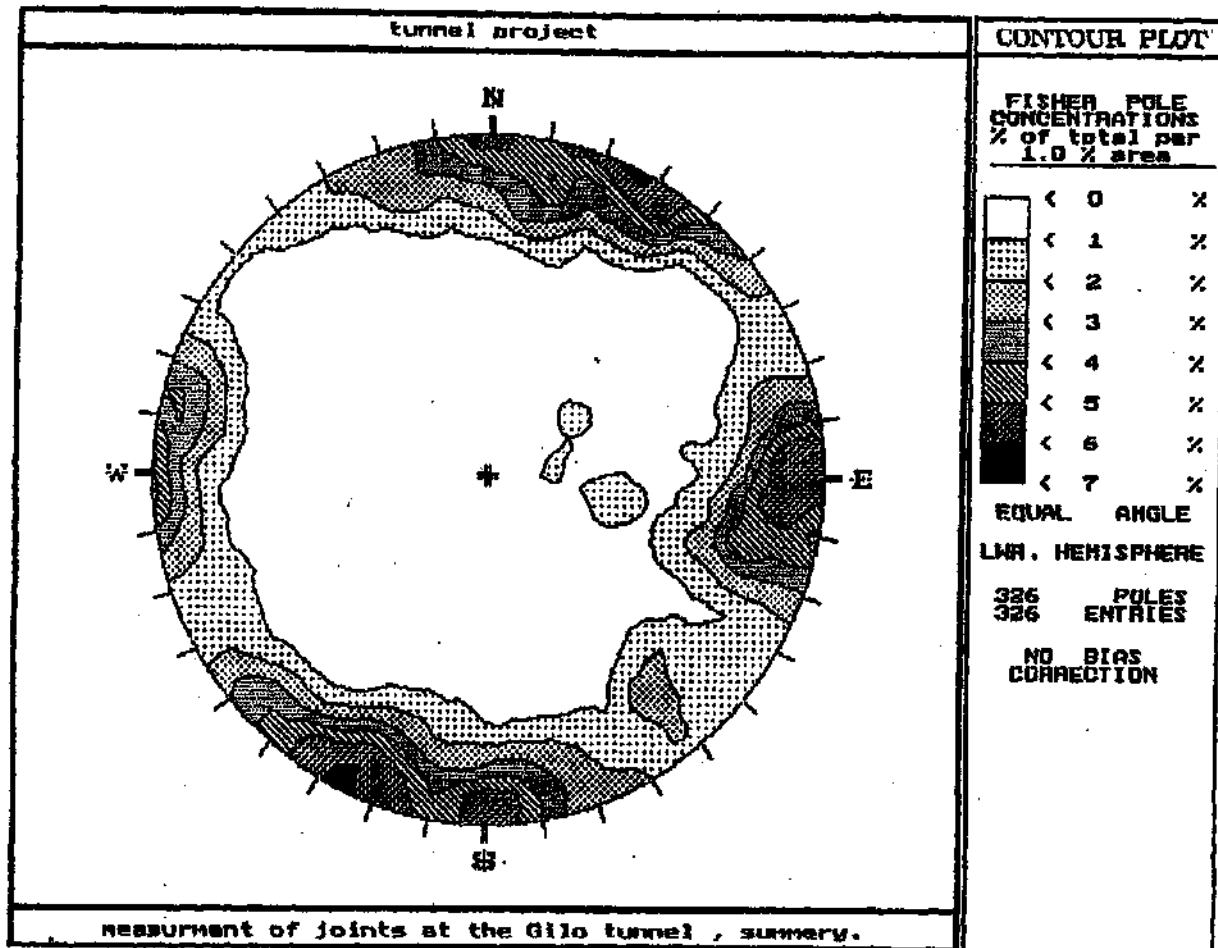
Table 5.1 - Joint systems

באזורים בהם הליתולוגיה אינה דולומיט מאסיבי הסידוק אינו תמיד ברור, מספר המערכות אינו אחיד, וניכרת חופעה אקראית של סדקים. באזורי דולומיט מאסיבי מאופיינת מערכת הסידוק בשני כיוונים עיקריים וכיוון שלישי נלווה. מערכות הסידוק J1 ו- J2 דומיננטיות יותר ואף אופייניות גם לתצורת ורדים אשר נמצאת גבוה יותר בחתך ואילו מערכת J3 מופיעה בתדירות נמוכה יותר. לכן כאשר מגדירים את ערכי Q ו- RMR צריך להתייחס לכך כי יש קטעים המאופיינים בשתי מערכות בלבד ויש קטעים המאופיינים במספר רב מאוד של סדקים עד כדי יצירת מעין "קוביות סוכר" בסלע כפי שמגדירים זאת Barton et al. (1974) בטבלת הקלסיפיקציה Q.

ערך Jn בקלסיפיקציה Q לשתי מערכות סידוק הינו 6 והוא מגיע עד 20 שזוהו ערך המייצג מצב בו הסלע מרוסק עד כדי אבקת סלע. שיטת RMR אינה משתמשת בכמות מערכות הסידוק כפרמטר, אלא מתייחסת למצב הסידוק באופן כללי ועל כך יפורט בהמשך.

### 5.1.3 פרופיל חספוס

כפי שניתן לראות בטבלה 5.1 מערכות הסידוק J1 ו- J2 הנם בעלי אנדולציות, פרופיל החספוס שלהם מוגדר כמחוספס, ערך ה- Jn מטבלת ה- Q נע בין 2 ל- 4 באזור הדולומיט המאסיבי. באזור הדרומי בו מאסת הסלע אינה מאסיבית מגיע ערך ה- Jn ל- 1 שזוהו המספר המייצג מאסת סלע מפוררת כדולומיט המפורר. בדיקת פרופילי החספוס וחשונותם לאיכות מאסת הסלע הקיימת והתימוך הנדרש תאפשר בדיקה של השפעת החספוס של מישורי אי הרציפות על הצינבות של מאסת הסלע.



**Fig. 5.3 - Joint measurement (Dip/Dip Direction) outside the tunnel**

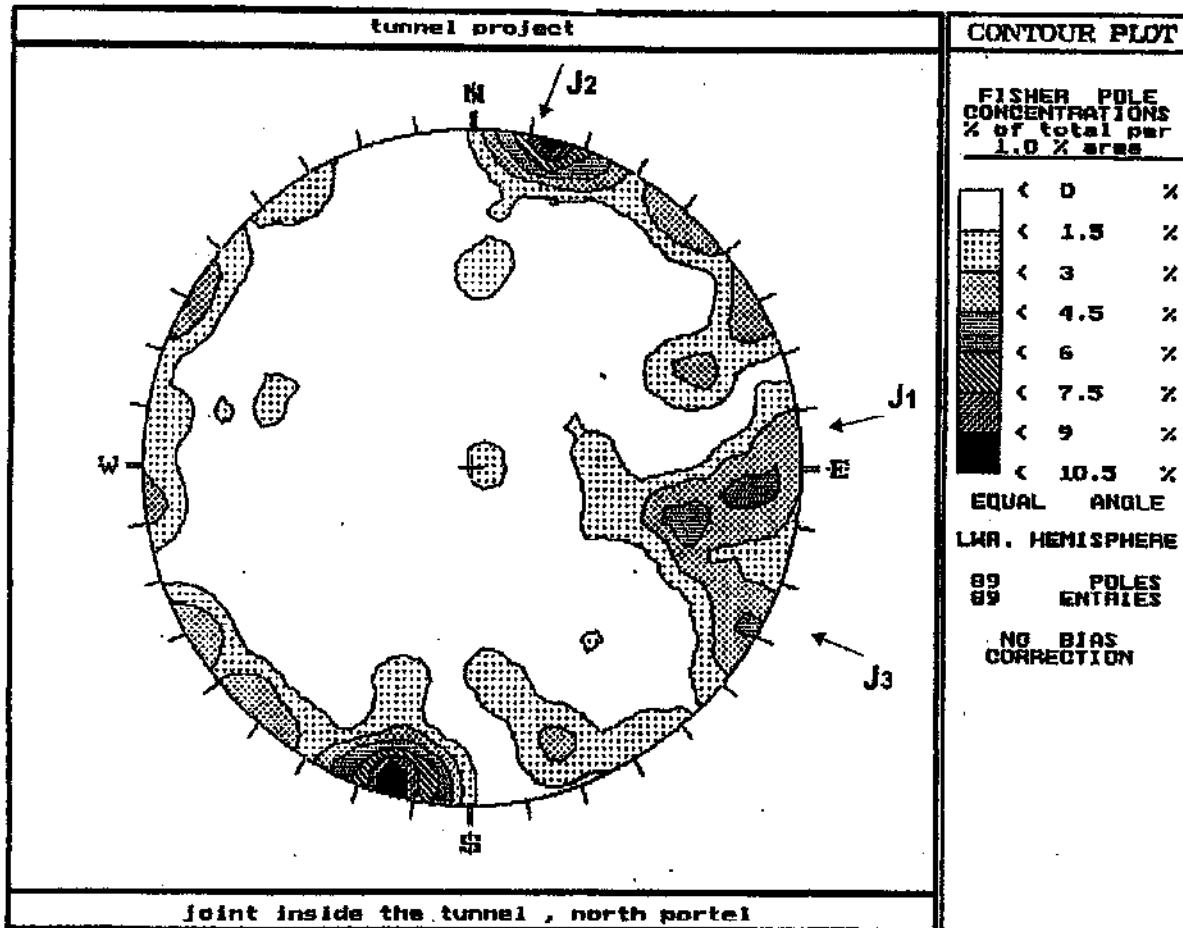
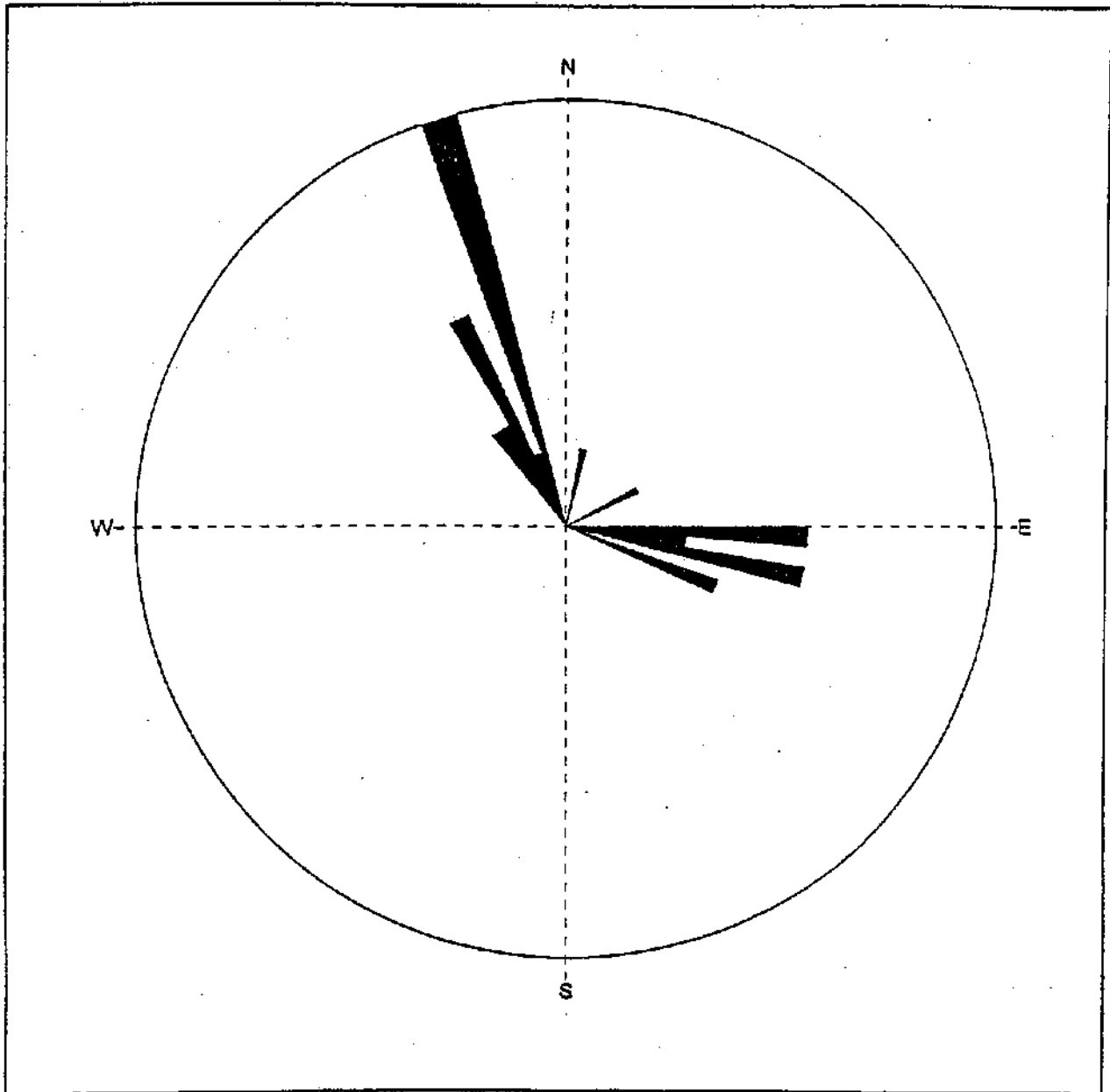


Fig. 5.4 - Joint measurement (Dip/Dip Direction) in the tunnel



*fig. 5.5 - Strike of joint, after B. Rudowski (PeBeKa)*

#### 5.1.4 דרגת הבליה של הסדקים

באזור של דולומיט מאסיבי הסדקים הנם סגורים וקירות הסדק אינם בלויים ולכן מתקבל הערך  $J_a = 1$  מתוך קלסיפיקציה ה-  $J_a \cdot Q$ . משתנה בהתאם לצורת החופעה של הדולומיט, כאשר הדולומיט סדוק, מופיע בצורת דרגשים אנכיים וניכרת תחילה של בליה בקירות הסדק נקבל  $J_a = 2$ . באזורים בהם קירות הסדק הנם בלויים בצורה מתקדמת והסדקים פתוחים ומכילים חרסית מגיעים ערכי  $J_a$  ל- 6 עד 8, באזורים של אבקת דולומיט מתקבל הערך  $J_a = 4 - 8$ .

המטרה במעקב אחרי פרמטר זה היא עריכת השוואה בין דרגת הבליה של הסדקים לבין הנתונים על איכות מאסת הסלע, יציבות קירות המנהרה והתימוך אשר מתקבלים מהמיפוי בשטח.

#### 5.1.5 מרווח בין הסדקים (Spacing)

המרווח הממוצע של מערכות הסידוק השונות, משתנה לאורך המנהרה. במקומות המאופיינים בדולומיט מאסיבי שבו מופיעות שתי מערכות סידוק הרווחים בין הסדקים הנם 1.5 מטר עד 3 מטרים. באזורים בהם הסידוק הוא מקסימלי המרווח הממוצע בין הסדקים הינו 20 סנטימטרים.

ערך RMR הינו 5 לאזורים בעלי המרווח הנמוך בין הסדקים ו- 20 לאזורים בעלי המרווח הגדול. בשיטת הקלסיפיקציה Q אין התייחסות ישירה ל- spacing אלא בעקיפין בעזרת ה- RQD. בשיטת ה- RMR מופיעים הפרמטרים  $J_a$ ,  $J_n$ ,  $J_r$  (משיטת ה- Q) כפרמטר אחד הנקרא condition of joint. פרמטר זה מקבל ערך של עד 28 בדולומיט המאסיבי וערך של אפס המתאים לדולומיט אבקתי.

#### 5.1.6 מי תהום

מפלס מי התהום אינו מתגלה במהלך חכרייה ולפיכך אין שפיעה של מים לזנך המנהרה. המים היחידים הזורמים למנהרה מגיעים בחורף ומקורם בנגר עילי. בכל מקרה כמות השפיעה היא קטנה ולכן לפי שתי שיטות הקלסיפיקציה Q ו- RMR מוגדר המצב כיבש.

$$J_w = 1 \quad \text{ערכי } Q$$

Ground water = 15 ערכי RMR

### 5.1.7 (Stress Reduction Factor) SRF

פרמטר זה עוזר לאחזרה ב- 1993 וחזא נקבע באופן אחד לסלע קשה ובאופן שונה לסלע מתפורר ובלוי. ערך ה- SRF בזולמיס המאסיבי הינו 1 ובשאר מאסת הסלע הוא משתנה בהתאם לדרגת הבליה מ- 5 עד 10. הערך 10 מתייחס לאזור בו הסלע הוא rock flour ומכיל חרסיות, דבר שמתאים לאזורים הקארסטיים לאורך המנהרה ואילו הערך 5 מתייחס למצב בו יש סלע סדוק מאוד עד כדי "קוביות סוכר" וסידוק פזות המכיל חרסיות. פרמטר זה הוא הפרמטר הפחות מדיד ומצריך הערכה על סמך תצפיות ומיפוי שטח ולא מדידות מזויקות יותר כגון spacing או מספר מערכות הסידוק.

### 5.1.8 RQD

ערכי ה- RQD נלקחו מהקידוחים G3 עד G7 שנעשו בסקר הגיאולוגי ומקידוחי הגישוש שנעשו תוך כדי מינהור. הערכת RQD מתבצעת גם תוך כדי המיפוי בעזרת ספירת הסדקים הקיימים במטר מעוקב של סלע (ראה Barton et al. 1974) אך קיימת בעיית "רעש" הנובעת מסדקים שנוצרים תוך כדי פיצוץ וכרייה ומונעת הערכה נכונה של ה- RQD. לכן ערכי RQD מתבססים בעיקר על הקידוחים שנעשו במהלך המינהור וחדרו את מאסת הסלע על מאפייניה השונים. ערכי RQD נעים בין 10% עד 100%.

### 5.1.9 סיכום ערכי Q ו- RMR

ערכי Q ו- RMR ניתנים בצורה של טווחים היות והם משתנים תדירות בהתאם למצב מאסת הסלע כפי שמתגלה בהתאם לכרייה.

$$Q = (RQD/J_n) * (J_r/J_a) * (J_w/SRF) \quad (Barton et al. 1974)$$

$$RQD = 10 - 100$$

$$J_n = 6 - 20$$

$$J_r = 1 - 4$$

$$J_a = 1 - 8$$

$$J_w = 1$$

$$SRF = 1 - 10$$

$$Q_{\min} = (10/20) * (1/8) * (1/10) = 0.006 \quad \text{Exceptionally poor}$$

$$Q_{\max} = (100/6) * (4/1) * 1 = 66.66 \quad \text{Very good}$$

### RMR

$$RQD = 3 - 20$$

$$SPACING = 5 - 20$$

$$POINT \text{ LOAD} = 0 - 12$$

$$CONDITION \text{ OF JOINT} = 0 - 28$$

$$GROUND \text{ WATER} = 15$$

$$STRIKE \text{ AND DIP} = -2$$

$$RMR_{\min} = 21 \quad \text{Very poor rock}$$

$$RMR_{\max} = 93 \quad \text{Very good rock}$$

ערכי  $Q$  ו-  $RMR$  מעידים על מאסת סלע המשתנה מסלע גרוע מאוד ועד סלע טוב מאוד. קיים הבדל

משמעותי בתכנון מנהרה לכל אחד מערכי הקצוות של שיטות הסיווג, כך שהתכנון חייב להיות תימוך משתנה

נקודתית. תימוך מסוג זה לא ניתן לתכנן מראש היות ולשם כך צריך חיזוי מדויק של איכות מאסת הסלע לאורך המנהרה.

המטרה בחישוב ה- RMR וה- Q, מיפוי המנהרה והתימוך, היא לאפשר את בחינת התוצאות של שיטות הסיווג הנ"ל והמלצותיהן לגבי סוג וכמות התימוך הנדרשת וה- stand up time של הסלע בעת הכרייה מול המצב הקיים במציאות ומתועד על- ידי המיפוי.

## 5.2 מיפוי גיאוטכני

במהלך כריית המנהרה והמחקר נעשה מיפוי ליתולוגי - גיאוטכני שכלל גם מיפוי של מישורי אי - הרציפות. עבודת המנהור נמשכה כ- 24 שעות ברציפות וכללה לפחות מחזור כרייה אחד ביממה, המיפוי נעשה בעת היציאות לאתר העבודה וחושלם בעזרת הנתונים שאסף הגיאולוג בשטח מטעם הקבלן (PeBeKa). צורת המיפוי מבוססת על שיטת המיפוי המקובלת בחללים תת- קרקעיים וכוללת פריסה של קירות המנהרה ותקרת המנהרה למישור אחד (ציר 5.6). כל מיפוי של אזור יוצר מלבן וביתד ניתן לחבר את כל המיפויים וליצור רצף המכסה את כל שטח המנהרה ונותן לוג גיאוטכני הכולל מיפוי ליתולוגי, מיפוי מישורי אי - הרציפות ונתונים על עבודת הכרייה. לאחר סיום הכרייה עובדו הנתונים לתוך תוכנת Corel Draw לצורך יצירת מפה גיאוטכנית של מנהרת גילה הארוכה, כפי שבאה לידי ביטוי בעמודים הבאים.

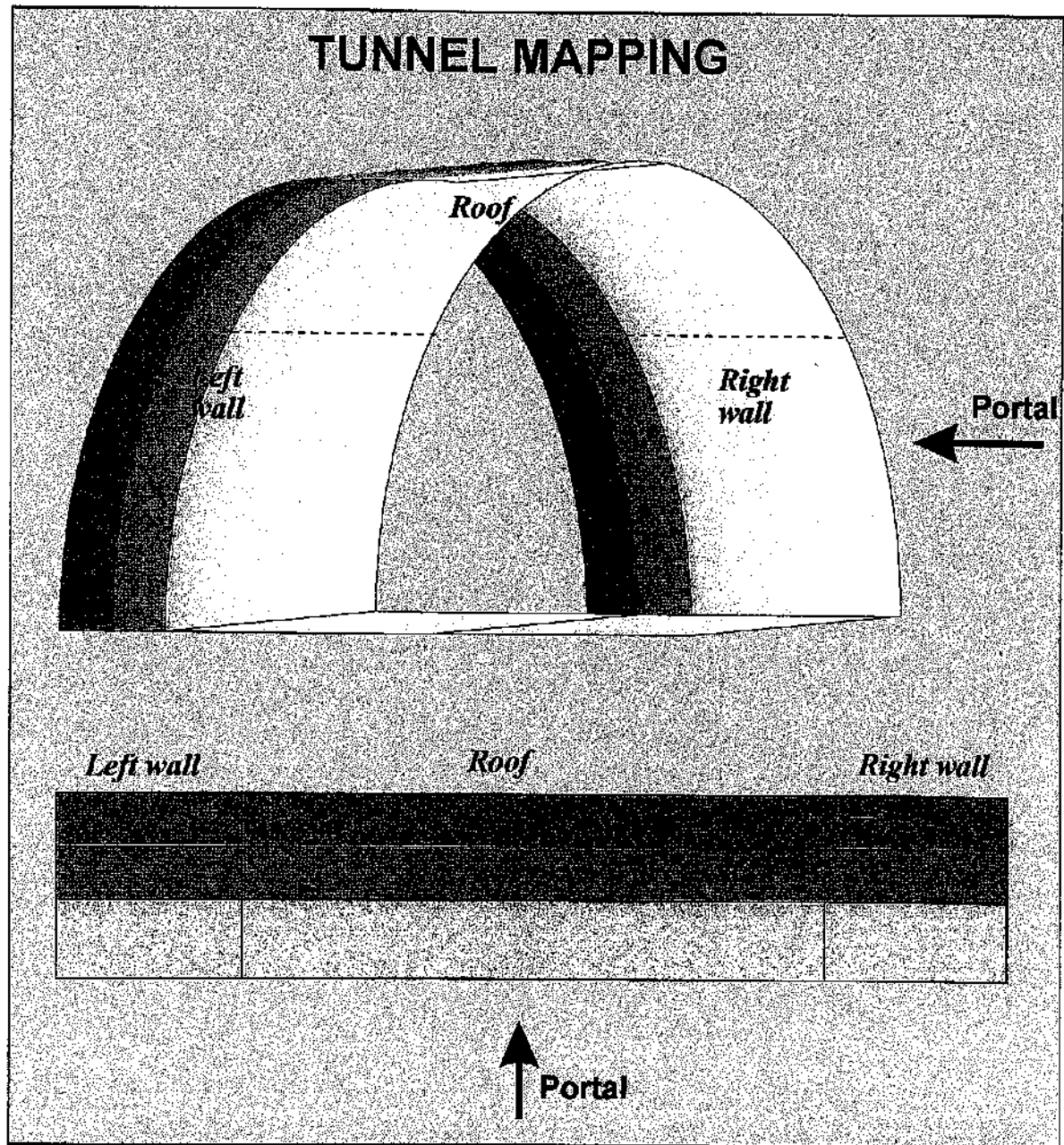


Fig 5.6 - Demonstration of mapping technic

# GILO LONG TUNNEL

## LEGEND

### LOCATION

#### EXCAVATION METHOD

Ha Hammer DB Drill & Blast

### GRAPHIC LOG

#### LITHOLOGY

|                                                                                   |                                                                                     |                                                                                   |                                                            |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
|  | Dolomite, massive, hard with some joints.                                           |  | Clay                                                       |
|  | Dolomite, semi hard, fractured by two joint direction that create vertical benches. |  | Dolomite flour                                             |
|  | Dolomite, heavily jointed                                                           |  | Dolomite, massive with content of dolomite flour up to 40% |
|  | Clay with rock fragment                                                             |  | Clay content                                               |

### GEOLOGICAL DISCONTINUITIES

#### SYMBOLS

|                                                                                     |                                   |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|
| J <sub>1</sub> , J <sub>2</sub> , ...                                               | Joint system                      |
|  | Joint                             |
|  | Joint, separation more than 10 cm |
| K                                                                                   | Solution cavities (karst)         |
| b - -                                                                               | Bedding plane                     |

#### WAVINESS

#### & ROUGHNESS

|    |              |
|----|--------------|
| Un | Undulating   |
| St | Stepped      |
| Pl | Planar       |
| Ro | Rough        |
| Sm | Smooth       |
| Sl | Slickensided |

#### IN - FILLING / WEATHRING

|    |          |
|----|----------|
| Ca | Calcite  |
| Cl | Clay     |
| Li | Limonite |

### WATER IN-FLOW

|    |      |    |               |
|----|------|----|---------------|
| Dr | Dry  | Wa | Wet           |
| Da | Damp | WF | Flowing water |

### SUPPORT

#### ACTUAL SUPPORT

|       |                                 |
|-------|---------------------------------|
| B     | Rock bolts, length (m)          |
| (tg)  | Tensioned                       |
| (utg) | Untensioned                     |
| S     | Shotcrete, thickness (cm)       |
| mr    | mesh - reinforced               |
| SA    | Steel arches, (s) - spacing (m) |
| Gr    | Grout                           |

#### SUPPORT DESIGN BY 'Q' SYSTEM

For 'Q' support categories see Barton et al. 1974

#### SUPPORT DESIGN BY 'RMR' SYSTEM

For 'RMR' support categories see table No. 3.6

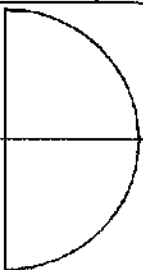
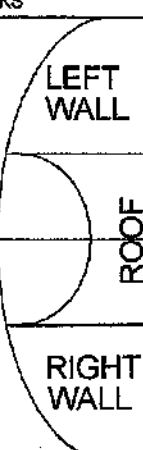
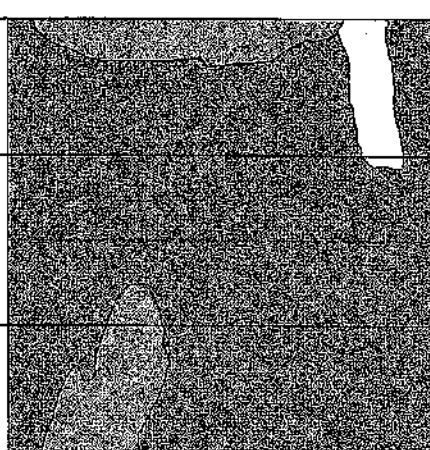
### SPECIAL OPERATIONS

|    |            |    |       |
|----|------------|----|-------|
| PH | Pilot hole | Ra | Radar |
|----|------------|----|-------|

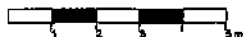
# GILO LONG TUNNEL

## Summary of Engineering geological data

Section No. 426 from 0.000 to 9.845 m

|                                 |                   |                                                                                                                                                             |                                                           |                                                                                     |
|---------------------------------|-------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>LOCATION</b>                 | DATE              |                                                                                                                                                             |                                                           |                                                                                     |
|                                 | STEEL ARCH NO.    |                                                                                                                                                             |                                                           |                                                                                     |
|                                 | EXCAVATION        | METHOD                                                                                                                                                      | ← Ha + DB →                                               |                                                                                     |
|                                 | PROG. (m)         |                                                                                                                                                             |                                                           |                                                                                     |
|                                 | ROCK TYPE         |                                                                                                                                                             | Dolomite flour, at places massive boulders                |                                                                                     |
| DISTANCE (m. from S. portal)    |                   | <div style="display: flex; justify-content: space-between; width: 100%;"> <span>0</span> <span>2</span> <span>4</span> <span>6</span> <span>8</span> </div> |                                                           |                                                                                     |
| <b>GRAPHIC LOG</b>              | LOG OF FACE       |                                                                            | South portal → Section No. 426 + 9.82                     | No data of mapping                                                                  |
|                                 | REMARKS           |                                                                                                                                                             |                                                           |                                                                                     |
|                                 | LOG OF TUNNEL     |                                                                           | South portal → Section No. 426 + 9.82                     |  |
|                                 | REMARKS           |                                                                                                                                                             |                                                           |                                                                                     |
| <b>DISCONTINUITIES</b>          | SYMBOL            |                                                                                                                                                             |                                                           |                                                                                     |
|                                 | DIP/DIP DIRECTION |                                                                                                                                                             |                                                           |                                                                                     |
|                                 | CONTINUITY (m)    |                                                                                                                                                             |                                                           |                                                                                     |
|                                 | SEPARATION (cm)   |                                                                                                                                                             |                                                           |                                                                                     |
|                                 | SPACING (cm)      |                                                                                                                                                             |                                                           |                                                                                     |
|                                 | IN-FILLING        |                                                                                                                                                             |                                                           |                                                                                     |
|                                 | WAVINESS          |                                                                                                                                                             |                                                           |                                                                                     |
|                                 | ROUGHNESS         |                                                                                                                                                             |                                                           |                                                                                     |
|                                 | REMARKS           |                                                                                                                                                             | The drawing is interpretation from lower bench excavation |                                                                                     |
| WATER IN-FLOW                   |                   | ← Dr →                                                                                                                                                      |                                                           |                                                                                     |
| <b>SUPPORT</b>                  | ACTUAL            |                                                                                                                                                             |                                                           |                                                                                     |
|                                 | DESIGN BY 'Q'     |                                                                                                                                                             | SA(s = 0.5 - 1m) + S(m) 30cm                              |                                                                                     |
|                                 | DESIGN BY 'RMR'   |                                                                                                                                                             | 31, 35                                                    |                                                                                     |
| DESIGN BY 'RMR'                 |                   | 3, 4                                                                                                                                                        |                                                           |                                                                                     |
| OVER-BREAK                      |                   |                                                                                                                                                             |                                                           |                                                                                     |
| STRENGTH UN./PL. (MPa)          |                   |                                                                                                                                                             |                                                           |                                                                                     |
| <b>ROCK MASS CLASSIFICATION</b> | 'Q'               |                                                                                                                                                             | 0.05 - 0.31                                               |                                                                                     |
|                                 | 'RMR'             |                                                                                                                                                             | 26 - 39                                                   |                                                                                     |
| SPECIAL OPERATION               |                   |                                                                                                                                                             |                                                           |                                                                                     |

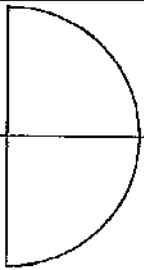
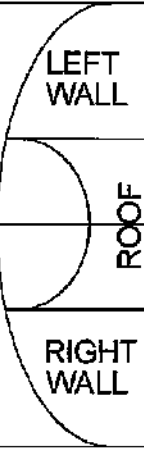
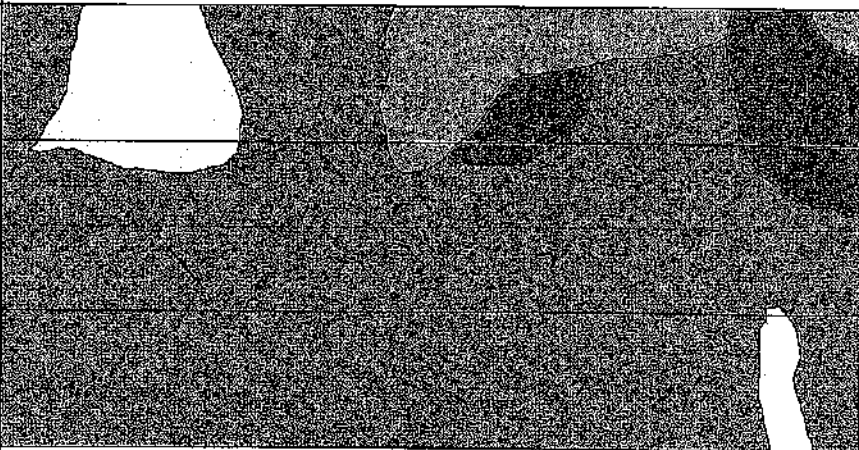
Longitudinal Scale:



# GILO LONG TUNNEL

## Summary of Engineering geological data

Section No. 427 from 9.945 to 28.530 m

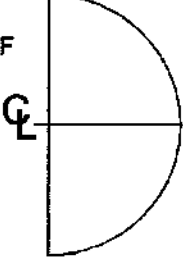
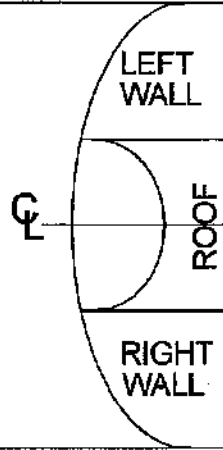
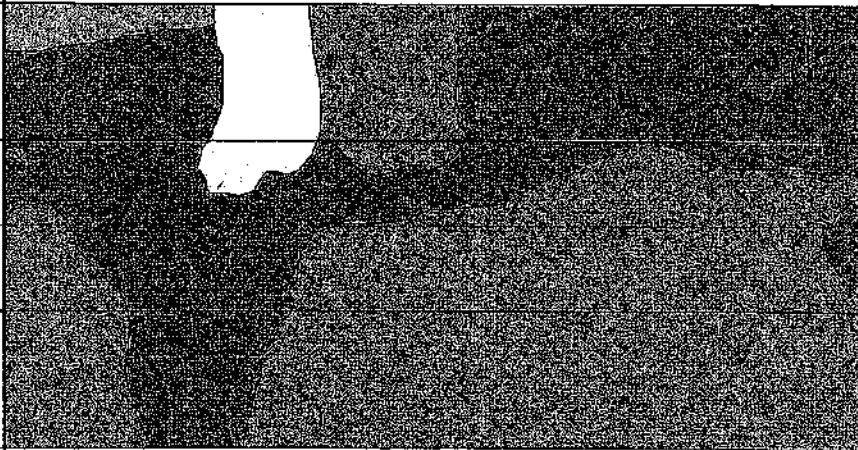
|                                 |                              |                                                                                    |                                                                                     |
|---------------------------------|------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>LOCATION</b>                 | DATE                         |                                                                                    |                                                                                     |
|                                 | STEEL ARCH NO.               |                                                                                    |                                                                                     |
|                                 | EXCAVATION                   | METHOD                                                                             | ← Ha + DB →                                                                         |
|                                 | PROG. (m)                    |                                                                                    |                                                                                     |
| <b>GRAPHIC LOG</b>              | ROCK TYPE                    |                                                                                    | Dolomite floor, at places massive                                                   |
|                                 | DISTANCE (m. from S. portal) |                                                                                    | 10 12 14 16 18 20 22 24 26 28                                                       |
|                                 | LOG OF FACE                  |   | No data of mapping                                                                  |
|                                 | REMARKS                      |                                                                                    |                                                                                     |
|                                 | LOG OF TUNNEL                |  |  |
|                                 | REMARKS                      |                                                                                    | The drawing is interpretation from lower bench excavation                           |
|                                 | SYMBOL                       |                                                                                    |                                                                                     |
|                                 | DIP/DIP DIRECTION            |                                                                                    |                                                                                     |
|                                 | CONTINUITY (m)               |                                                                                    |                                                                                     |
|                                 | SEPARATION (cm)              |                                                                                    |                                                                                     |
| <b>DISCONTINUITIES</b>          | SPACING (cm)                 |                                                                                    |                                                                                     |
|                                 | IN-FILLING                   |                                                                                    |                                                                                     |
|                                 | WAVINESS                     |                                                                                    |                                                                                     |
|                                 | ROUGHNESS                    |                                                                                    |                                                                                     |
|                                 | REMARKS                      |                                                                                    |                                                                                     |
|                                 | WATER IN-FLOW                |                                                                                    | ← Dr →                                                                              |
|                                 | <b>SUPPORT</b>               | ACTUAL                                                                             | SA(s = 0.5 - 1m) + S(mr) 30cm                                                       |
|                                 |                              | DESIGN BY 'Q'                                                                      | 31, 35                                                                              |
| DESIGN BY 'RMR'                 |                              | 3, 4                                                                               |                                                                                     |
| OVER-BREAK                      |                              |                                                                                    |                                                                                     |
| STRENGTH                        | UN. / PL. (MPa)              |                                                                                    |                                                                                     |
| <b>ROCK MASS CLASSIFICATION</b> | 'Q'                          | 0.05 - 0.31                                                                        |                                                                                     |
|                                 | 'RMR'                        | 26 - 39                                                                            |                                                                                     |
| SPECIAL OPERATION               |                              |                                                                                    |                                                                                     |

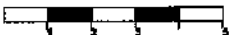
Longitudinal Scale: 

# GILO LONG TUNNEL

## Summary of Engineering geological data

Section No. 428 from 29.530 to 49.225 m

|                                 |                                                                                    |                               |                                                                                     |
|---------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>LOCATION</b>                 | DATE                                                                               |                               |                                                                                     |
|                                 | STEEL ARCH NO.                                                                     |                               |                                                                                     |
|                                 | EXCAVATION                                                                         | METHOD                        | ← Ha + DB →                                                                         |
|                                 | PROG. (m)                                                                          |                               |                                                                                     |
|                                 | ROCK TYPE                                                                          |                               | Dolomite, jointed forming vertical benches and dolomite floor                       |
| DISTANCE (m. from S. portal)    |                                                                                    | 30 32 34 36 38 40 42 44 46 48 |                                                                                     |
| <b>GRAPHIC LOG</b>              | LOG OF FACE                                                                        |                               | No data of mapping                                                                  |
|                                 |   |                               |                                                                                     |
|                                 | REMARKS                                                                            |                               |                                                                                     |
|                                 |  |                               |  |
| <b>DISCONTINUITIES</b>          | REMARKS                                                                            |                               |                                                                                     |
|                                 | SYMBOL                                                                             |                               |                                                                                     |
|                                 | DIP/DIP DIRECTION                                                                  |                               |                                                                                     |
|                                 | CONTINUITY (m)                                                                     |                               |                                                                                     |
|                                 | SEPARATION (cm)                                                                    |                               |                                                                                     |
|                                 | SPACING (cm)                                                                       |                               |                                                                                     |
|                                 | IN-FILLING                                                                         |                               |                                                                                     |
|                                 | WAVINESS                                                                           |                               |                                                                                     |
|                                 | ROUGHNESS                                                                          |                               |                                                                                     |
|                                 | REMARKS                                                                            |                               |                                                                                     |
| WATER IN-FLOW                   |                                                                                    | ← Dr →                        |                                                                                     |
| <b>SUPPORT</b>                  | ACTUAL                                                                             |                               | SA(s = 0.5 - 1m) + S(mr) 30cm                                                       |
|                                 | DESIGN BY 'Q'                                                                      |                               | 14, 18, 22, 23, 31, 35                                                              |
|                                 | DESIGN BY 'RMR'                                                                    |                               | 2, 3, 4                                                                             |
| OVER-BREAK                      |                                                                                    |                               |                                                                                     |
| STRENGTH UN. / PL. (MPa)        |                                                                                    |                               |                                                                                     |
| <b>ROCK MASS CLASSIFICATION</b> | 'Q'                                                                                |                               | 0.05 - 0.31, 2.2 - 11.7                                                             |
|                                 | 'RMR'                                                                              |                               | 26 - 49, 51 - 79                                                                    |
| SPECIAL OPERATION               |                                                                                    |                               |                                                                                     |

Longitudinal Scale: 

# GILO LONG TUNNEL

## Summary of Engineering geological data

Section No. 429 from 48.225 to 69.060 m

|                                 |                   |                                                                        |                               |   |                         |     |                    |     |     |   |   |     |     |     |     |     |
|---------------------------------|-------------------|------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|---|-------------------------|-----|--------------------|-----|-----|---|---|-----|-----|-----|-----|-----|
| <b>LOCATION</b>                 | DATE              |                                                                        | 31/12/1993 4/1/1994           |   | 11/1                    |     | 8/2                |     |     |   |   |     |     |     |     |     |
|                                 | STEEL ARCH NO.    |                                                                        | 65s 67s 69s                   |   | 72s 73s 74s 75s 76s 77s |     | 85s 87s 89s        |     |     |   |   |     |     |     |     |     |
|                                 | EXCAVATION        | METHOD                                                                 | ← Ha + DB →                   |   |                         |     |                    |     |     |   |   |     |     |     |     |     |
|                                 |                   | PROG. (m)                                                              | 1                             | 1 | 0.5                     | 1.7 | 1                  | 1.5 | 1.7 | 1 | 1 | 0.7 | 0.5 | 1.5 | 1.9 | 0.7 |
| ROCK TYPE                       |                   | Dolomite, karstic, jointed forming vertical benches and dolomite floor |                               |   |                         |     |                    |     |     |   |   |     |     |     |     |     |
| DISTANCE (m. from S. portal)    |                   | 50 52 54 56 58 60 62 64 66 68                                          |                               |   |                         |     |                    |     |     |   |   |     |     |     |     |     |
| <b>GRAPHIC LOG</b>              | LOG OF FACE       |                                                                        |                               |   |                         |     |                    |     |     |   |   |     |     |     |     |     |
|                                 | REMARKS           |                                                                        |                               |   |                         |     |                    |     |     |   |   |     |     |     |     |     |
|                                 | LOG OF TUNNEL     | LEFT WALL                                                              |                               |   |                         |     |                    |     |     |   |   |     |     |     |     |     |
|                                 |                   | RIGHT WALL                                                             |                               |   |                         |     |                    |     |     |   |   |     |     |     |     |     |
| REMARKS                         |                   |                                                                        |                               |   |                         |     |                    |     |     |   |   |     |     |     |     |     |
| <b>DISCONTINUITIES</b>          | SYMBOL            |                                                                        | J1                            |   | J3                      |     | J2                 |     |     |   |   |     |     |     |     |     |
|                                 | DIP/DIP DIRECTION |                                                                        | 90°/260°                      |   | 90°/310°                |     | 80°/010°           |     |     |   |   |     |     |     |     |     |
|                                 | CONTINUITY (m)    |                                                                        | 3                             |   | 5                       |     | 3                  |     |     |   |   |     |     |     |     |     |
|                                 | SEPARATION (cm)   |                                                                        | 1 - 3                         |   | 1 - 2                   |     | 1 - 3              |     |     |   |   |     |     |     |     |     |
|                                 | SPACING (cm)      |                                                                        | 10 - 50                       |   | 200 - 300               |     | 10 - 50            |     |     |   |   |     |     |     |     |     |
|                                 | IN-FILLING        |                                                                        | Cl, weathered rock            |   | Cl, weathered rock      |     | Cl, weathered rock |     |     |   |   |     |     |     |     |     |
|                                 | WAVINESS          |                                                                        | Un                            |   | Un                      |     | Un                 |     |     |   |   |     |     |     |     |     |
|                                 | ROUGHNESS         |                                                                        | Ro                            |   |                         |     | Ro                 |     |     |   |   |     |     |     |     |     |
|                                 | REMARKS           |                                                                        |                               |   |                         |     |                    |     |     |   |   |     |     |     |     |     |
| WATER IN-FLOW                   |                   | ← Dr →                                                                 |                               |   |                         |     |                    |     |     |   |   |     |     |     |     |     |
| <b>SUPPORT</b>                  | ACTUAL            |                                                                        | SA(s = 0.5 - 1m) + S(mr) 30cm |   |                         |     |                    |     |     |   |   |     |     |     |     |     |
|                                 | DESIGN BY 'Q'     |                                                                        | 14, 18, 22, 23, 31, 35        |   |                         |     |                    |     |     |   |   |     |     |     |     |     |
|                                 | DESIGN BY 'RMR'   |                                                                        | 2, 3, 4                       |   |                         |     |                    |     |     |   |   |     |     |     |     |     |
| OVER-BREAK                      |                   |                                                                        |                               |   |                         |     |                    |     |     |   |   |     |     |     |     |     |
| STRENGTH UN. / PL. (MPa)        |                   |                                                                        |                               |   |                         |     |                    |     |     |   |   |     |     |     |     |     |
| <b>ROCK MASS CLASSIFICATION</b> | 'Q'               |                                                                        | 0.05 - 0.31, 2.2 - 11.7       |   |                         |     |                    |     |     |   |   |     |     |     |     |     |
|                                 | 'RMR'             |                                                                        | 26 - 49, 51 - 79              |   |                         |     |                    |     |     |   |   |     |     |     |     |     |
| SPECIAL OPERATION               |                   |                                                                        |                               |   |                         |     |                    |     |     |   |   |     |     |     |     |     |

Longitudinal Scale:

# GILO LONG TUNNEL

## Summary of Engineering geological data

Section No. 430 from 69.060 to 88.825 m

| LOCATION                 |  | DATE                         |           | 14/2/1994                                                              |     | 17/2 |     | 27/2 |     |                    |     |      |    |      |     |                |   |      |   |     |   |     |  |
|--------------------------|--|------------------------------|-----------|------------------------------------------------------------------------|-----|------|-----|------|-----|--------------------|-----|------|----|------|-----|----------------|---|------|---|-----|---|-----|--|
|                          |  | STEEL ARCH NO.               |           | 95s                                                                    |     | 97s  |     | 100s |     | 102s               |     | 105s |    | 109s |     | 113s           |   | 116s |   |     |   |     |  |
|                          |  | EXCAVATION                   | METHOD    | Ha + DB                                                                |     |      |     |      |     |                    |     |      |    |      |     |                |   |      |   |     |   |     |  |
|                          |  |                              | PROG. (m) | 1                                                                      | 1.5 | 1.5  | 0.7 | 1    | 1.8 | 0.7                | 0.7 | 0.6  | 1  | 1    | 0.7 | 1              | 2 | 1    | 1 | 0.5 | 1 | 0.5 |  |
| GRAPHIC LOG              |  | ROCK TYPE                    |           | Dolomite, karstic, jointed forming vertical benches and dolomite floor |     |      |     |      |     |                    |     |      |    |      |     |                |   |      |   |     |   |     |  |
|                          |  | DISTANCE (m. from S. portal) |           | 70                                                                     | 72  | 74   | 76  | 78   | 80  | 82                 | 84  | 86   | 88 |      |     |                |   |      |   |     |   |     |  |
| LOG OF TUNNEL            |  | LOG OF FACE                  |           |                                                                        |     |      |     |      |     |                    |     |      |    |      |     |                |   |      |   |     |   |     |  |
|                          |  | REMARKS                      |           |                                                                        |     |      |     |      |     |                    |     |      |    |      |     |                |   |      |   |     |   |     |  |
|                          |  | LOG OF TUNNEL                |           |                                                                        |     |      |     |      |     |                    |     |      |    |      |     |                |   |      |   |     |   |     |  |
| DISCONTINUITIES          |  | REMARKS                      |           |                                                                        |     |      |     |      |     |                    |     |      |    |      |     |                |   |      |   |     |   |     |  |
|                          |  | SYMBOL                       |           | J1                                                                     |     |      |     |      |     | J2                 |     |      |    |      |     | J3             |   |      |   |     |   |     |  |
|                          |  | DIP/DIP DIRECTION            |           | 90°/260°                                                               |     |      |     |      |     | 90°/360°           |     |      |    |      |     | 80°/290°       |   |      |   |     |   |     |  |
|                          |  | CONTINUITY (m)               |           | 3                                                                      |     |      |     |      |     | 3                  |     |      |    |      |     | 6              |   |      |   |     |   |     |  |
|                          |  | SEPARATION (cm)              |           | 1 - 5                                                                  |     |      |     |      |     | 1 - 6              |     |      |    |      |     | < 1            |   |      |   |     |   |     |  |
|                          |  | SPACING (cm)                 |           | 10 - 30                                                                |     |      |     |      |     | 10 - 30            |     |      |    |      |     |                |   |      |   |     |   |     |  |
|                          |  | IN-FILLING                   |           | Cl, weathered rock                                                     |     |      |     |      |     | Cl, weathered rock |     |      |    |      |     | weathered rock |   |      |   |     |   |     |  |
|                          |  | WAVINESS                     |           | Un                                                                     |     |      |     |      |     | Un                 |     |      |    |      |     | St - Un        |   |      |   |     |   |     |  |
| WATER IN-FLOW            |  | ROUGHNESS                    |           | Ro                                                                     |     |      |     |      |     | Ro                 |     |      |    |      |     |                |   |      |   |     |   |     |  |
|                          |  | REMARKS                      |           |                                                                        |     |      |     |      |     |                    |     |      |    |      |     |                |   |      |   |     |   |     |  |
| SUPPORT                  |  | ACTUAL                       |           | SA(s = 0.5 - 1m) + S(mr) 30cm                                          |     |      |     |      |     |                    |     |      |    |      |     |                |   |      |   |     |   |     |  |
|                          |  | DESIGN BY 'Q'                |           | 14, 18, 22, 23, 31, 35                                                 |     |      |     |      |     |                    |     |      |    |      |     |                |   |      |   |     |   |     |  |
|                          |  | DESIGN BY 'RMR'              |           | 2, 3, 4                                                                |     |      |     |      |     |                    |     |      |    |      |     |                |   |      |   |     |   |     |  |
| OVER-BREAK               |  |                              |           |                                                                        |     |      |     |      |     |                    |     |      |    |      |     |                |   |      |   |     |   |     |  |
|                          |  |                              |           |                                                                        |     |      |     |      |     |                    |     |      |    |      |     |                |   |      |   |     |   |     |  |
| STRENGTH                 |  | UN. / PL. (MPa)              |           |                                                                        |     |      |     |      |     |                    |     |      |    |      |     |                |   |      |   |     |   |     |  |
|                          |  |                              |           |                                                                        |     |      |     |      |     |                    |     |      |    |      |     |                |   |      |   |     |   |     |  |
| ROCK MASS CLASSIFICATION |  | 'Q'                          |           | 0.05 - 0.31, 2.2 - 11.7                                                |     |      |     |      |     |                    |     |      |    |      |     |                |   |      |   |     |   |     |  |
|                          |  | 'RMR'                        |           | 28 - 49, 51 - 79                                                       |     |      |     |      |     |                    |     |      |    |      |     |                |   |      |   |     |   |     |  |
| SPECIAL OPERATION        |  |                              |           |                                                                        |     |      |     |      |     |                    |     |      |    |      |     |                |   |      |   |     |   |     |  |
|                          |  |                              |           |                                                                        |     |      |     |      |     |                    |     |      |    |      |     |                |   |      |   |     |   |     |  |

Longitudinal Scale:

# GILO LONG TUNNEL

## Summary of Engineering geological data

Section No. 431 from 88.825 to 108.590 m

|                                 |                   |                                                                        |                                                          |      |      |      |      |      |      |      |     |     |   |   |   |   |   |   |     |   |   |   |
|---------------------------------|-------------------|------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|-----|-----|---|---|---|---|---|---|-----|---|---|---|
| <b>LOCATION</b>                 | DATE              |                                                                        | 8/3/1994                                                 |      | 14/3 |      | 17/3 |      |      |      |     |     |   |   |   |   |   |   |     |   |   |   |
|                                 | STEEL ARCH NO.    |                                                                        | 118s                                                     | 120s | 128s | 132s | 134s | 136s | 138s | 140s |     |     |   |   |   |   |   |   |     |   |   |   |
|                                 | EXCAVATION        | METHOD                                                                 | Ha + DB                                                  |      |      |      |      |      |      |      |     |     |   |   |   |   |   |   |     |   |   |   |
|                                 |                   | PROG. (m)                                                              | 0.5                                                      | 1    | 1    | 0.5  | 0.5  | 0.5  | 0.5  | 0.5  | 0.7 | 0.7 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0.7 | 1 | 1 | 1 |
| ROCK TYPE                       |                   | Dolomite, karstic, jointed forming vertical benches and dolomite floor |                                                          |      |      |      |      |      |      |      |     |     |   |   |   |   |   |   |     |   |   |   |
| DISTANCE (m. from S. portal)    |                   | 90 92 94 96 98 100 102 104 106 108                                     |                                                          |      |      |      |      |      |      |      |     |     |   |   |   |   |   |   |     |   |   |   |
| <b>GRAPHIC LOG</b>              | LOG OF FACE       |                                                                        |                                                          |      |      |      |      |      |      |      |     |     |   |   |   |   |   |   |     |   |   |   |
|                                 | REMARKS           |                                                                        |                                                          |      |      |      |      |      |      |      |     |     |   |   |   |   |   |   |     |   |   |   |
|                                 | LOG OF TUNNEL     |                                                                        |                                                          |      |      |      |      |      |      |      |     |     |   |   |   |   |   |   |     |   |   |   |
| <b>DISCONTINUITIES</b>          | REMARKS           |                                                                        |                                                          |      |      |      |      |      |      |      |     |     |   |   |   |   |   |   |     |   |   |   |
|                                 | SYMBOL            |                                                                        | J1 J3 J2                                                 |      |      |      |      |      |      |      |     |     |   |   |   |   |   |   |     |   |   |   |
|                                 | DIP/DIP DIRECTION |                                                                        | 90°/280° 90°/300° 80°/010°                               |      |      |      |      |      |      |      |     |     |   |   |   |   |   |   |     |   |   |   |
|                                 | CONTINUITY (m)    |                                                                        | 3 5 3                                                    |      |      |      |      |      |      |      |     |     |   |   |   |   |   |   |     |   |   |   |
|                                 | SEPARATION (cm)   |                                                                        | 1-3 1-2 1-3                                              |      |      |      |      |      |      |      |     |     |   |   |   |   |   |   |     |   |   |   |
|                                 | SPACING (cm)      |                                                                        | 10-50 10-50 10-50                                        |      |      |      |      |      |      |      |     |     |   |   |   |   |   |   |     |   |   |   |
|                                 | IN-FILLING        |                                                                        | Cl, weathered rock Ca, weathered rock Cl, weathered rock |      |      |      |      |      |      |      |     |     |   |   |   |   |   |   |     |   |   |   |
|                                 | WAVINESS          |                                                                        | Un Un Un                                                 |      |      |      |      |      |      |      |     |     |   |   |   |   |   |   |     |   |   |   |
|                                 | ROUGHNESS         |                                                                        | Ro Ro Ro                                                 |      |      |      |      |      |      |      |     |     |   |   |   |   |   |   |     |   |   |   |
|                                 | REMARKS           |                                                                        |                                                          |      |      |      |      |      |      |      |     |     |   |   |   |   |   |   |     |   |   |   |
| WATER IN-FLOW                   |                   | Dr                                                                     |                                                          |      |      |      |      |      |      |      |     |     |   |   |   |   |   |   |     |   |   |   |
| <b>SUPPORT</b>                  | ACTUAL            |                                                                        | SA(s = 0.5 - 1m) + S(mr) 30cm                            |      |      |      |      |      |      |      |     |     |   |   |   |   |   |   |     |   |   |   |
|                                 | DESIGN BY 'Q'     |                                                                        | 13, 14, 18, 22, 23, 35, 38                               |      |      |      |      |      |      |      |     |     |   |   |   |   |   |   |     |   |   |   |
|                                 | DESIGN BY 'RMR'   |                                                                        | 2, 3, 4                                                  |      |      |      |      |      |      |      |     |     |   |   |   |   |   |   |     |   |   |   |
| OVER-BREAK                      |                   |                                                                        |                                                          |      |      |      |      |      |      |      |     |     |   |   |   |   |   |   |     |   |   |   |
| STRENGTH                        |                   | 3.8                                                                    |                                                          |      |      |      |      |      |      |      |     |     |   |   |   |   |   |   |     |   |   |   |
| <b>ROCK MASS CLASSIFICATION</b> | 'Q'               |                                                                        | 0.006 - 0.05, 2.2 - 11.7                                 |      |      |      |      |      |      |      |     |     |   |   |   |   |   |   |     |   |   |   |
|                                 | 'RMR'             |                                                                        | 21, 51 - 79                                              |      |      |      |      |      |      |      |     |     |   |   |   |   |   |   |     |   |   |   |
| SPECIAL OPERATION               |                   |                                                                        |                                                          |      |      |      |      |      |      |      |     |     |   |   |   |   |   |   |     |   |   |   |

Longitudinal Scale:

# GILO LONG TUNNEL

## Summary of Engineering geological data

Section No. 432 from 108.580 to 128.335 m

| LOCATION                 |                 | DATE                         |                            | 22/3/1994                                                              |     | 25/3      |     | 30/3      |     |                               |                |                     |   |   |   |   |   |         |  |
|--------------------------|-----------------|------------------------------|----------------------------|------------------------------------------------------------------------|-----|-----------|-----|-----------|-----|-------------------------------|----------------|---------------------|---|---|---|---|---|---------|--|
|                          |                 | STEEL ARCH NO.               |                            | 143s                                                                   |     | 145s 146s |     | 148s 149s |     | 151s 152s 153s 154s 155s 156s |                | 158s 159s 160s 161s |   |   |   |   |   |         |  |
|                          |                 | EXCAVATION                   | METHOD                     | Ha + DB                                                                |     |           |     |           |     |                               |                |                     |   |   |   |   |   |         |  |
|                          |                 |                              | PROG. (m)                  | 1                                                                      | 1   | 1         | 1   | 1         | 1   | 1                             | 1              | 1                   | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1       |  |
| GRAPHIC LOG              |                 | ROCK TYPE                    |                            | Dolomite, jointed forming vertical benches, karstic and dolomite flour |     |           |     |           |     |                               |                |                     |   |   |   |   |   |         |  |
|                          |                 | DISTANCE (m. from S. portal) |                            | 110                                                                    | 112 | 114       | 116 | 118       | 120 | 122                           | 124            | 126                 |   |   |   |   |   |         |  |
| LOG OF FACE              |                 |                              |                            |                                                                        |     |           |     |           |     |                               |                |                     |   |   |   |   |   |         |  |
|                          |                 |                              |                            |                                                                        |     |           |     |           |     |                               |                |                     |   |   |   |   |   | REMARKS |  |
|                          |                 |                              |                            |                                                                        |     |           |     |           |     |                               |                |                     |   |   |   |   |   |         |  |
| LOG OF TUNNEL            |                 |                              |                            |                                                                        |     |           |     |           |     |                               |                |                     |   |   |   |   |   |         |  |
|                          |                 |                              |                            |                                                                        |     |           |     |           |     |                               |                |                     |   |   |   |   |   | REMARKS |  |
|                          |                 |                              |                            |                                                                        |     |           |     |           |     |                               |                |                     |   |   |   |   |   |         |  |
| DISCONTINUITIES          |                 | SYMBOL                       |                            | J2                                                                     |     |           |     |           |     |                               | J1             |                     |   |   |   |   |   |         |  |
|                          |                 | DIP/DIP DIRECTION            |                            | 80°/350°                                                               |     |           |     |           |     |                               | 90°/260°       |                     |   |   |   |   |   |         |  |
|                          |                 | CONTINUITY (m)               |                            | 5                                                                      |     |           |     |           |     |                               | 3              |                     |   |   |   |   |   |         |  |
|                          |                 | SEPARATION (cm)              |                            | 1 - 2                                                                  |     |           |     |           |     |                               | 1 - 3          |                     |   |   |   |   |   |         |  |
|                          |                 | SPACING (cm)                 |                            | 10 - 50                                                                |     |           |     |           |     |                               | 10 - 50        |                     |   |   |   |   |   |         |  |
|                          |                 | IN-FILLING                   |                            | weathered rock                                                         |     |           |     |           |     |                               | weathered rock |                     |   |   |   |   |   |         |  |
|                          |                 | WAVINESS                     |                            | Un                                                                     |     |           |     |           |     |                               | Un             |                     |   |   |   |   |   |         |  |
|                          |                 | ROUGHNESS                    |                            | Ro                                                                     |     |           |     |           |     |                               | Ro             |                     |   |   |   |   |   |         |  |
|                          |                 | REMARKS                      |                            |                                                                        |     |           |     |           |     |                               |                |                     |   |   |   |   |   |         |  |
|                          |                 | WATER IN-FLOW                |                            |                                                                        |     |           |     |           |     |                               |                |                     |   |   |   |   |   |         |  |
| SUPPORT                  | ACTUAL          |                              |                            |                                                                        |     |           |     |           |     |                               |                |                     |   |   |   |   |   |         |  |
|                          | DESIGN BY 'Q'   |                              | SA(s = 1m) + S(mi) 30cm    |                                                                        |     |           |     |           |     |                               |                |                     |   |   |   |   |   |         |  |
|                          | DESIGN BY 'RMR' |                              | 13, 14, 18, 22, 23, 35, 38 |                                                                        |     |           |     |           |     |                               |                |                     |   |   |   |   |   |         |  |
| DESIGN BY 'RMR'          |                 | 2, 3, 4                      |                            |                                                                        |     |           |     |           |     |                               |                |                     |   |   |   |   |   |         |  |
| OVER-BREAK               |                 |                              |                            |                                                                        |     |           |     |           |     |                               |                |                     |   |   |   |   |   |         |  |
| STRENGTH UN. / PL. (MPa) |                 |                              |                            |                                                                        |     |           |     |           |     |                               |                |                     |   |   |   |   |   |         |  |
| ROCK MASS CLASSIFICATION |                 | 'Q'                          |                            | 0.006 - 0.05, 2.2 - 11.7                                               |     |           |     |           |     |                               |                |                     |   |   |   |   |   |         |  |
|                          |                 | 'RMR'                        |                            | 21, 51 - 79                                                            |     |           |     |           |     |                               |                |                     |   |   |   |   |   |         |  |
| SPECIAL OPERATION        |                 |                              |                            |                                                                        |     |           |     |           |     |                               |                |                     |   |   |   |   |   |         |  |

Longitudinal Scale:

# GILO LONG TUNNEL

## Summary of Engineering geological data

Section No. 433 from 128.335 to 148.120

| LOCATION                     |                 | DATE                                                                                            | 4/4/1994       |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 11/4      |     |     |     |                            |     |     |     |     |   | 22/4                     |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|------------------------------|-----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----------|-----|-----|-----|----------------------------|-----|-----|-----|-----|---|--------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
|                              |                 | STEEL ARCH NO.                                                                                  | 163s 167s 169s |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 180s 182s |     |     |     |                            |     |     |     |     |   | 184s 186s 187s 188s 189s |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|                              |                 | EXCAVATION METHOD                                                                               | ← Ha + DB →    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |           |     |     |     |                            |     |     |     |     |   |                          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|                              |                 |                                                                                                 | PROG. (m)      | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.6 | 0.5       | 0.5 | 0.7 | 0.7 | 0.7                        | 0.5 | 0.5 | 0.6 | 0.7 | 1 | 1                        | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| ROCK TYPE                    |                 | Dolomite flour and jointed Dolomite forming vertical benches, karst with clay content at places |                |     |     |     |     |     |     |     |     |     |           |     |     |     |                            |     |     |     |     |   |                          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| DISTANCE (m. from S. portal) |                 | 130 132 134 136 138 140 142 144 146                                                             |                |     |     |     |     |     |     |     |     |     |           |     |     |     |                            |     |     |     |     |   |                          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| GRAPHIC LOG                  |                 | LOG OF FACE                                                                                     |                |     |     |     |     |     |     |     |     |     |           |     |     |     |                            |     |     |     |     |   |                          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|                              |                 | REMARKS                                                                                         |                |     |     |     |     |     |     |     |     |     |           |     |     |     |                            |     |     |     |     |   |                          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|                              |                 | LOG OF TUNNEL                                                                                   |                |     |     |     |     |     |     |     |     |     |           |     |     |     |                            |     |     |     |     |   |                          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| DISCONTINUITIES              |                 | REMARKS                                                                                         |                |     |     |     |     |     |     |     |     |     |           |     |     |     |                            |     |     |     |     |   |                          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|                              |                 | SYMBOL                                                                                          |                |     |     |     |     |     |     |     |     |     |           |     |     |     |                            |     |     |     |     |   |                          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|                              |                 | DIP/DIP DIRECTION                                                                               |                |     |     |     |     |     |     |     |     |     |           |     |     |     |                            |     |     |     |     |   |                          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|                              |                 | CONTINUITY (m)                                                                                  |                |     |     |     |     |     |     |     |     |     |           |     |     |     |                            |     |     |     |     |   |                          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|                              |                 | SEPARATION (cm)                                                                                 |                |     |     |     |     |     |     |     |     |     |           |     |     |     |                            |     |     |     |     |   |                          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|                              |                 | SPACING (cm)                                                                                    |                |     |     |     |     |     |     |     |     |     |           |     |     |     |                            |     |     |     |     |   |                          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|                              |                 | IN-FILLING                                                                                      |                |     |     |     |     |     |     |     |     |     |           |     |     |     |                            |     |     |     |     |   |                          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|                              |                 | WAVINESS                                                                                        |                |     |     |     |     |     |     |     |     |     |           |     |     |     |                            |     |     |     |     |   |                          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|                              |                 | ROUGHNESS                                                                                       |                |     |     |     |     |     |     |     |     |     |           |     |     |     |                            |     |     |     |     |   |                          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|                              |                 | REMARKS                                                                                         |                |     |     |     |     |     |     |     |     |     |           |     |     |     |                            |     |     |     |     |   |                          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| WATER IN-FLOW                |                 | ← Dr →                                                                                          |                |     |     |     |     |     |     |     |     |     |           |     |     |     |                            |     |     |     |     |   |                          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| SUPPORT                      | ACTUAL          | SA(s < 1m) + S(mr) 30cm                                                                         |                |     |     |     |     |     |     |     |     |     |           |     |     |     | SA(s = 1m) + S(mr) 30cm    |     |     |     |     |   |                          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|                              | DESIGN BY 'Q'   | 13, 14, 18, 22, 23, 35, 38                                                                      |                |     |     |     |     |     |     |     |     |     |           |     |     |     | 13, 14, 18, 22, 23, 31, 35 |     |     |     |     |   |                          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|                              | DESIGN BY 'RMR' | 2, 3, 4                                                                                         |                |     |     |     |     |     |     |     |     |     |           |     |     |     | 2, 3, 4                    |     |     |     |     |   |                          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| OVER-BREAK                   |                 |                                                                                                 |                |     |     |     |     |     |     |     |     |     |           |     |     |     |                            |     |     |     |     |   |                          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| STRENGTH                     | UN. / PL. (MPa) |                                                                                                 |                |     |     |     |     |     |     |     |     |     |           |     |     |     |                            |     |     |     |     |   |                          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| ROCK MASS CLASSIFICATION     | 'Q'             | 0.006 - 0.05, 2.2 - 11.7                                                                        |                |     |     |     |     |     |     |     |     |     |           |     |     |     | 0.05 - 0.31, 2.2 - 11.7    |     |     |     |     |   |                          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|                              | 'RMR'           | 21, 51 - 79                                                                                     |                |     |     |     |     |     |     |     |     |     |           |     |     |     | 26 - 49, 51 - 79           |     |     |     |     |   |                          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| SPECIAL OPERATION            |                 |                                                                                                 |                |     |     |     |     |     |     |     |     |     |           |     |     |     |                            |     |     |     |     |   |                          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |

Longitudinal Scale: 5m

# GILO LONG TUNNEL

## Summary of Engineering geological data

Section No. 434 from 148.120 to 167.885

|                                 |                              |                                                                      |      |      |      |                |      |      |      |                    |      |      |   |
|---------------------------------|------------------------------|----------------------------------------------------------------------|------|------|------|----------------|------|------|------|--------------------|------|------|---|
| <b>LOCATION</b>                 | DATE                         | 24/4/1994                                                            |      | 28/4 |      | 1/5            |      |      |      |                    |      |      |   |
|                                 | STEEL ARCH NO.               | 191s                                                                 | 192s | 194s | 196s | 199s           | 202s | 204s | 206s | 207s               | 208s | 209s |   |
|                                 | EXCAVATION METHOD            | ← Ha + DB →                                                          |      |      |      |                |      |      |      |                    |      |      |   |
|                                 | PROG. (m)                    | 1                                                                    | 1    | 1    | 1    | 1              | 1    | 1    | 1    | 1                  | 1    | 1.2  | 1 |
|                                 | ROCK TYPE                    | Dolomite, jointed forming vertical benches. Dolomite flour at places |      |      |      |                |      |      |      |                    |      |      |   |
| <b>GRAPHIC LOG</b>              | DISTANCE (m. from S. portal) | 150                                                                  | 152  | 154  | 156  | 158            | 160  | 162  | 164  | 166                |      |      |   |
|                                 | LOG OF FACE                  |                                                                      |      |      |      |                |      |      |      |                    |      |      |   |
|                                 | REMARKS                      |                                                                      |      |      |      |                |      |      |      |                    |      |      |   |
|                                 | LOG OF TUNNEL                |                                                                      |      |      |      |                |      |      |      |                    |      |      |   |
|                                 | REMARKS                      |                                                                      |      |      |      |                |      |      |      |                    |      |      |   |
| <b>DISCONTINUITIES</b>          | SYMBOL                       | J1                                                                   |      |      |      | J3             |      |      |      | J2                 |      |      |   |
|                                 | DIP/DIP DIRECTION            | 90°/250°                                                             |      |      |      | 75°/290°       |      |      |      | 80°/360°           |      |      |   |
|                                 | CONTINUITY (m)               | 3                                                                    |      |      |      | 5              |      |      |      | 3                  |      |      |   |
|                                 | SEPARATION (cm)              | 1 - 3                                                                |      |      |      | 1 - 3          |      |      |      | 1 - 3              |      |      |   |
|                                 | SPACING (cm)                 | 10 - 50                                                              |      |      |      | 200 - 250      |      |      |      | 10 - 50            |      |      |   |
|                                 | IN-FILLING                   | Cl, weathered rock                                                   |      |      |      | weathered rock |      |      |      | Cl, weathered rock |      |      |   |
|                                 | WAVINESS                     | Un                                                                   |      |      |      | Un             |      |      |      | Un                 |      |      |   |
|                                 | ROUGHNESS                    | Ro                                                                   |      |      |      | Ro             |      |      |      | Ro                 |      |      |   |
|                                 | REMARKS                      |                                                                      |      |      |      |                |      |      |      |                    |      |      |   |
|                                 | WATER IN-FLOW                | ← Dr →                                                               |      |      |      |                |      |      |      |                    |      |      |   |
| <b>SUPPORT</b>                  | ACTUAL                       | SA(s = 1m) + S(mi) 30cm                                              |      |      |      |                |      |      |      |                    |      |      |   |
|                                 | DESIGN BY 'Q'                | 13, 14, 18, 22, 23, 31, 35                                           |      |      |      |                |      |      |      |                    |      |      |   |
|                                 | DESIGN BY 'RMR'              | 2, 3, 4                                                              |      |      |      |                |      |      |      |                    |      |      |   |
| OVER-BREAK                      |                              |                                                                      |      |      |      |                |      |      |      |                    |      |      |   |
| STRENGTH UN. / PL. (MPa)        |                              |                                                                      |      |      |      |                |      |      |      |                    |      |      |   |
| <b>ROCK MASS CLASSIFICATION</b> | 'Q'                          | 0.05 - 0.31, 2.2 - 11.7                                              |      |      |      |                |      |      |      |                    |      |      |   |
|                                 | 'RMR'                        | 26 - 49, 51 - 79                                                     |      |      |      |                |      |      |      |                    |      |      |   |
| SPECIAL OPERATION               |                              |                                                                      |      |      |      |                |      |      |      |                    |      |      |   |

Longitudinal Scale: 5m

# GILO LONG TUNNEL

## Summary of Engineering geological data

Section No. 435 from 167.885 to 187.550

| LOCATION          |  | DATE                           |           | 4/5/1994                                                                                          |     | 19/10 |     | 11/5 |     |     |     |                    |     |   |   |   |   |   |  |
|-------------------|--|--------------------------------|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|-------|-----|------|-----|-----|-----|--------------------|-----|---|---|---|---|---|--|
|                   |  | STEEL ARCH NO.                 |           | 211a                                                                                              |     | 213s  |     | 218s |     |     |     |                    |     |   |   |   |   |   |  |
|                   |  | EXCAVATION                     | METHOD    | Ha + DB                                                                                           |     |       |     |      |     |     |     |                    |     |   |   |   |   |   |  |
|                   |  |                                | PROG. (m) | 1                                                                                                 | 1.1 | 1     | 1   | 1    | 1   | 1   | 1   | 1                  | 1   | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |  |
| GRAPHIC LOG       |  | ROCK TYPE                      |           | Dolomite, jointed forming vertical benches. Dolomite floor at places and heavily jointed dolomite |     |       |     |      |     |     |     |                    |     |   |   |   |   |   |  |
|                   |  | DISTANCE (m. from S. portal)   |           | 168                                                                                               | 170 | 172   | 174 | 176  | 178 | 180 | 182 | 184                | 186 |   |   |   |   |   |  |
| DISCONTINUITIES   |  | LOG OF FACE                    |           |                                                                                                   |     |       |     |      |     |     |     |                    |     |   |   |   |   |   |  |
|                   |  | REMARKS                        |           |                                                                                                   |     |       |     |      |     |     |     |                    |     |   |   |   |   |   |  |
|                   |  | REMARKS                        |           |                                                                                                   |     |       |     |      |     |     |     |                    |     |   |   |   |   |   |  |
| DISCONTINUITIES   |  | SYMBOL                         |           | J1                                                                                                |     |       |     |      |     |     |     | J2                 |     |   |   |   |   |   |  |
|                   |  | DIP/DIP DIRECTION              |           | 90°/280°                                                                                          |     |       |     |      |     |     |     | 80°/010°           |     |   |   |   |   |   |  |
|                   |  | CONTINUITY (m)                 |           | 3                                                                                                 |     |       |     |      |     |     |     | 3                  |     |   |   |   |   |   |  |
|                   |  | SEPARATION (cm)                |           | 1 - 3                                                                                             |     |       |     |      |     |     |     | 1 - 3              |     |   |   |   |   |   |  |
|                   |  | SPACING (cm)                   |           | 10 - 50                                                                                           |     |       |     |      |     |     |     | 10 - 50            |     |   |   |   |   |   |  |
|                   |  | IN-FILLING                     |           | Cl, weathered rock                                                                                |     |       |     |      |     |     |     | Cl, weathered rock |     |   |   |   |   |   |  |
|                   |  | WAVINESS                       |           | Un                                                                                                |     |       |     |      |     |     |     | Un                 |     |   |   |   |   |   |  |
|                   |  | ROUGHNESS                      |           | Ro                                                                                                |     |       |     |      |     |     |     | Ro                 |     |   |   |   |   |   |  |
| SUPPORT           |  | WATER IN-FLOW                  |           | ← Dr →                                                                                            |     |       |     |      |     |     |     |                    |     |   |   |   |   |   |  |
|                   |  | ACTUAL                         |           | SA(s = 1m) + S(mr) 30cm                                                                           |     |       |     |      |     |     |     |                    |     |   |   |   |   |   |  |
|                   |  | DESIGN BY 'Q'                  |           | 31, 35                                                                                            |     |       |     |      |     |     |     |                    |     |   |   |   |   |   |  |
|                   |  | DESIGN BY 'RMR'                |           | 3, 4                                                                                              |     |       |     |      |     |     |     |                    |     |   |   |   |   |   |  |
| SPECIAL OPERATION |  | OVER-BREAK                     |           |                                                                                                   |     |       |     |      |     |     |     |                    |     |   |   |   |   |   |  |
|                   |  | STRENGTH UN. / PL. (MPa)       |           |                                                                                                   |     |       |     |      |     |     |     |                    |     |   |   |   |   |   |  |
|                   |  | ROCK MASS CLASSIFICATION 'Q'   |           | 0.025 - 0.31                                                                                      |     |       |     |      |     |     |     |                    |     |   |   |   |   |   |  |
|                   |  | ROCK MASS CLASSIFICATION 'RMR' |           | 26 - 49                                                                                           |     |       |     |      |     |     |     |                    |     |   |   |   |   |   |  |

Longitudinal Scale:

# GILO LONG TUNNEL

## Summary of Engineering geological data

Section No. 438 from 187.650 to 207.415 m

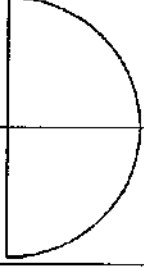
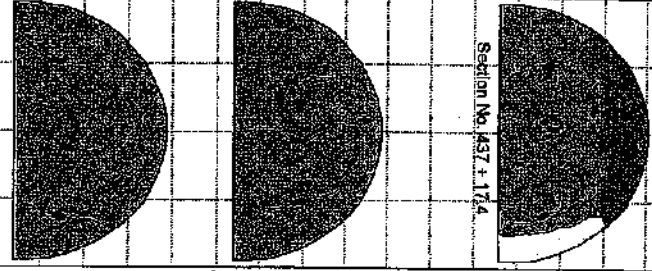
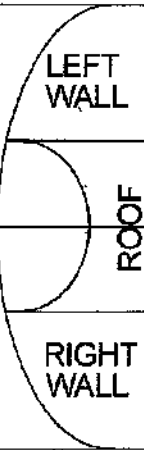
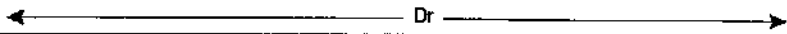
|                                 |                              |                                                                      |      |      |      |      |      |          |      |      |      |      |   |      |   |      |  |
|---------------------------------|------------------------------|----------------------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|----------|------|------|------|------|---|------|---|------|--|
| <b>LOCATION</b>                 | DATE                         | 18/5/1994                                                            |      |      |      |      |      |          |      |      |      |      |   | 23/5 |   | 25/5 |  |
|                                 | STEEL ARCH NO.               | 230s                                                                 | 232s | 233s | 234s | 236s | 238s | 239s     | 241s | 242s | 244s | 246s |   |      |   |      |  |
|                                 | EXCAVATION METHOD            | ← Ha + DB →                                                          |      |      |      |      |      |          |      |      |      |      |   |      |   |      |  |
|                                 | PROG. (m)                    | 1                                                                    | 1    | 1.5  | 1    | 1    | 1    | 1        | 1.5  | 1.5  | 1.5  | 1    | 1 | 1    | 1 |      |  |
| <b>GRAPHIC LOG</b>              | ROCK TYPE                    | Dolomite, jointed forming vertical benches. Dolomite flour at places |      |      |      |      |      |          |      |      |      |      |   |      |   |      |  |
|                                 | DISTANCE (m. from S. portal) | 188                                                                  | 190  | 192  | 194  | 196  | 198  | 200      | 202  | 204  | 206  |      |   |      |   |      |  |
|                                 | LOG OF FACE                  |                                                                      |      |      |      |      |      |          |      |      |      |      |   |      |   |      |  |
|                                 | REMARKS                      |                                                                      |      |      |      |      |      |          |      |      |      |      |   |      |   |      |  |
| <b>DISCONTINUITIES</b>          | REMARKS                      |                                                                      |      |      |      |      |      |          |      |      |      |      |   |      |   |      |  |
|                                 | SYMBOL                       | J1                                                                   |      |      |      |      |      | J2       |      |      |      |      |   |      |   |      |  |
|                                 | DIP/DIP DIRECTION            | 85°/240°                                                             |      |      |      |      |      | 80°/015° |      |      |      |      |   |      |   |      |  |
|                                 | CONTINUITY (m)               | 2 - 3                                                                |      |      |      |      |      | 3        |      |      |      |      |   |      |   |      |  |
|                                 | SEPARATION (cm)              | < 1                                                                  |      |      |      |      |      | < 1      |      |      |      |      |   |      |   |      |  |
|                                 | SPACING (cm)                 | 10 - 50                                                              |      |      |      |      |      | 10 - 50  |      |      |      |      |   |      |   |      |  |
|                                 | IN-FILLING                   | Cl                                                                   |      |      |      |      |      | Cl       |      |      |      |      |   |      |   |      |  |
|                                 | WAVINESS                     | Un                                                                   |      |      |      |      |      | Un       |      |      |      |      |   |      |   |      |  |
|                                 | ROUGHNESS                    | Ro                                                                   |      |      |      |      |      | Ro       |      |      |      |      |   |      |   |      |  |
|                                 | REMARKS                      |                                                                      |      |      |      |      |      |          |      |      |      |      |   |      |   |      |  |
| <b>WATER IN-FLOW</b>            |                              | ← Dr →                                                               |      |      |      |      |      |          |      |      |      |      |   |      |   |      |  |
| <b>SUPPORT</b>                  | ACTUAL                       | SA(s = 1 - 1.5m) + S(mr) 30cm                                        |      |      |      |      |      |          |      |      |      |      |   |      |   |      |  |
|                                 | DESIGN BY 'Q'                | 13, 14, 18, 22, 23, 31, 35, 38                                       |      |      |      |      |      |          |      |      |      |      |   |      |   |      |  |
|                                 | DESIGN BY 'RMR'              | 2, 3, 4                                                              |      |      |      |      |      |          |      |      |      |      |   |      |   |      |  |
| <b>OVER-BREAK</b>               |                              |                                                                      |      |      |      |      |      |          |      |      |      |      |   |      |   |      |  |
| <b>STRENGTH</b>                 | UN. / PL. (MPa)              |                                                                      |      |      |      |      |      |          |      |      |      |      |   |      |   |      |  |
| <b>ROCK MASS CLASSIFICATION</b> | 'Q'                          | 0.006 - 0.31, 2.2 - 11.7                                             |      |      |      |      |      |          |      |      |      |      |   |      |   |      |  |
|                                 | 'RMR'                        | 21, 26 - 49, 51 - 79                                                 |      |      |      |      |      |          |      |      |      |      |   |      |   |      |  |
| <b>SPECIAL OPERATION</b>        |                              |                                                                      |      |      |      |      |      |          |      |      |      |      |   |      |   |      |  |

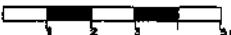
Longitudinal Scale:

# GILO LONG TUNNEL

## Summary of Engineering geological data

Section No. 437 from 207.415 to 227.180 m

| LOCATION                     |                   | DATE                                                                                 |           | 28/5/1994                                                                           |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 1/6 |  | 5/6 |  |  |  |
|------------------------------|-------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-----|--|-----|--|--|--|
|                              |                   | STEEL ARCH NO.                                                                       |           | 247s 248s 251s 253s 255s 257s 258s 261s 264s 265s                                   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |     |  |     |  |  |  |
|                              |                   | EXCAVATION                                                                           | METHOD    | DB + Ha                                                                             |  |  |  |  |  |  |  |  |  |     |  |     |  |  |  |
|                              |                   |                                                                                      | PROG. (m) | 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1.5                                                 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |     |  |     |  |  |  |
| ROCK TYPE                    |                   | Dolomite, jointed forming vertical benches. Dolomite flour at places                 |           |                                                                                     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |     |  |     |  |  |  |
| DISTANCE (m. from S. portal) |                   | 208 210 212 214 216 218 220 222 224 226                                              |           |                                                                                     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |     |  |     |  |  |  |
| GRAPHIC LOG                  | LOG OF FACE       |     |           |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |     |  |     |  |  |  |
|                              | REMARKS           |                                                                                      |           |                                                                                     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |     |  |     |  |  |  |
|                              | LOG OF TUNNEL     |    |           |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |     |  |     |  |  |  |
| DISCONTINUITIES              | REMARKS           |                                                                                      |           |                                                                                     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |     |  |     |  |  |  |
|                              | SYMBOL            | J1 J2                                                                                |           |                                                                                     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |     |  |     |  |  |  |
|                              | DIP/DIP DIRECTION | 90°/260° 80°/010°                                                                    |           |                                                                                     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |     |  |     |  |  |  |
|                              | CONTINUITY (m)    | 3 3                                                                                  |           |                                                                                     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |     |  |     |  |  |  |
|                              | SEPARATION (cm)   | < 1 < 1                                                                              |           |                                                                                     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |     |  |     |  |  |  |
|                              | SPACING (cm)      | 10 - 50 10 - 50                                                                      |           |                                                                                     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |     |  |     |  |  |  |
|                              | IN-FILLING        | Cl Cl                                                                                |           |                                                                                     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |     |  |     |  |  |  |
|                              | WAVINESS          | Un Un                                                                                |           |                                                                                     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |     |  |     |  |  |  |
|                              | ROUGHNESS         | Rn Rn                                                                                |           |                                                                                     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |     |  |     |  |  |  |
|                              | REMARKS           |                                                                                      |           |                                                                                     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |     |  |     |  |  |  |
| WATER IN-FLOW                |                   |  |           |                                                                                     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |     |  |     |  |  |  |
| SUPPORT                      | ACTUAL            | SA(s = 1m) + S(mr) 30cm                                                              |           |                                                                                     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |     |  |     |  |  |  |
|                              | DESIGN BY 'Q'     | 13, 14, 18, 22, 23, 31, 35, 38                                                       |           |                                                                                     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |     |  |     |  |  |  |
|                              | DESIGN BY 'RMR'   | 2, 3, 4                                                                              |           |                                                                                     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |     |  |     |  |  |  |
| OVER-BREAK                   |                   |                                                                                      |           |                                                                                     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |     |  |     |  |  |  |
| STRENGTH / 强度 / PL (MPa)     |                   | 2.8 0.68                                                                             |           |                                                                                     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |     |  |     |  |  |  |
| ROCK MASS CLASSIFICATION     | 'Q'               | 0.006 - 0.31, 2.2 - 11.7                                                             |           |                                                                                     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |     |  |     |  |  |  |
|                              | 'RMR'             | 21, 26 - 49, 51 - 79                                                                 |           |                                                                                     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |     |  |     |  |  |  |
| SPECIAL OPERATION            |                   |                                                                                      |           |                                                                                     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |     |  |     |  |  |  |

Longitudinal Scale: 

# GILO LONG TUNNEL

## Summary of Engineering geological data

Section No. 438 from 227.18 to 246.935 m

|                          |                              |                                                                                                                                 |      |      |      |      |      |     |     |     |     |
|--------------------------|------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|
| <b>LOCATION</b>          | DATE                         | 7/6/1994                                                                                                                        | 16/6 | 19/6 |      |      |      |     |     |     |     |
|                          | STEEL ARCH NO.               | 268s                                                                                                                            | 267s | 268s | 268s | 272s | 274s |     |     |     |     |
|                          | EXCAVATION METHOD            | DB + Hs                                                                                                                         |      |      |      |      |      |     |     |     |     |
|                          | PROG. (m)                    | 1.5                                                                                                                             | 1.5  | 1.5  | 0.7  | 6.7  | 2.4  | 1   | 1.4 |     |     |
| <b>GRAPHIC LOG</b>       | ROCK TYPE                    | massive Dolomite and jointed Dolomite forming vertical bandches. Dolomite flour et places and karst                             |      |      |      |      |      |     |     |     |     |
|                          | DISTANCE (m. from S. portal) | 228                                                                                                                             | 230  | 232  | 234  | 236  | 238  | 240 | 242 | 244 | 246 |
| <b>LOG OF FACE</b>       | LOG OF FACE                  |                                                                                                                                 |      |      |      |      |      |     |     |     |     |
|                          | REMARKS                      |                                                                                                                                 |      |      |      |      |      |     |     |     |     |
|                          | LOG OF TUNNEL                |                                                                                                                                 |      |      |      |      |      |     |     |     |     |
| <b>DISCONTINUITIES</b>   | REMARKS                      |                                                                                                                                 |      |      |      |      |      |     |     |     |     |
|                          | SYMBOL                       |                                                                                                                                 |      |      |      |      |      |     |     |     |     |
|                          | DIP/DIP DIRECTION            |                                                                                                                                 |      |      |      |      |      |     |     |     |     |
|                          | CONTINUITY (m)               |                                                                                                                                 |      |      |      |      |      |     |     |     |     |
|                          | SEPARATION (cm)              |                                                                                                                                 |      |      |      |      |      |     |     |     |     |
|                          | SPACING (cm)                 |                                                                                                                                 |      |      |      |      |      |     |     |     |     |
|                          | IN-FILLING                   |                                                                                                                                 |      |      |      |      |      |     |     |     |     |
|                          | WAVINESS                     |                                                                                                                                 |      |      |      |      |      |     |     |     |     |
|                          | ROUGHNESS                    |                                                                                                                                 |      |      |      |      |      |     |     |     |     |
|                          | REMARKS                      |                                                                                                                                 |      |      |      |      |      |     |     |     |     |
| <b>SUPPORT</b>           | WATER IN-FLOW                | Dr                                                                                                                              |      |      |      |      |      |     |     |     |     |
|                          | ACTUAL                       | $SA(s = 1.5m) + S(mr) 30cm + B(tg) 3-4m$ $B(tg) \text{ at roof \& (utg) in walls } 3-4m + S(mr) 12cm$ $SA(s = 1m) + S(mr) 30cm$ |      |      |      |      |      |     |     |     |     |
|                          | DESIGN BY 'Q'                | 35                                                                                                                              |      |      |      |      |      |     |     |     |     |
|                          | DESIGN BY 'RMR'              | 3, 4                                                                                                                            |      |      |      |      |      |     |     |     |     |
| OVER-BREAK               |                              |                                                                                                                                 |      |      |      |      |      |     |     |     |     |
| STRENGTH                 | MPa / PL (MPa)               | 8.0 7.1 1.85                                                                                                                    |      |      |      |      |      |     |     |     |     |
| ROCK MASS CLASSIFICATION | 'Q'                          | 0.025 - 0.09                                                                                                                    |      |      |      |      |      |     |     |     |     |
|                          | 'RMR'                        | 26 - 39                                                                                                                         |      |      |      |      |      |     |     |     |     |
| SPECIAL OPERATION        |                              |                                                                                                                                 |      |      |      |      |      |     |     |     |     |

Longitudinal Scale:

# GILO LONG TUNNEL

## Summary of Engineering geological data

Section No. 439 from 246.935 to 266.735 m

|                                 |                   |               |                                                                                |     |      |      |      |              |      |      |      |      |   |  |
|---------------------------------|-------------------|---------------|--------------------------------------------------------------------------------|-----|------|------|------|--------------|------|------|------|------|---|--|
| <b>LOCATION</b>                 | DATE              |               | 8/7/1994                                                                       |     | 13/7 |      | 18/8 |              |      |      |      |      |   |  |
|                                 | STEEL ARCH NO.    |               | 277s                                                                           |     | 279s | 281s | 283s | 285s         | 287s | 289s | 291s | 293s |   |  |
|                                 | EXCAVATION        | METHOD        | ← Ha + DB →                                                                    |     |      |      |      |              |      |      |      |      |   |  |
|                                 |                   | PROG. (m)     |                                                                                | 2   | 1    | 1    | 1    | 1            | 1    | 1    | 1    | 1    | 1 |  |
|                                 | ROCK TYPE         |               | Dolomite, jointed forming vertical benches. Dolomite floor at places and karst |     |      |      |      |              |      |      |      |      |   |  |
| DISTANCE (m. from S. portal)    |                   | 248           | 250                                                                            | 252 | 254  | 256  | 258  | 260          | 262  | 264  |      |      |   |  |
| <b>GRAPHIC LOG</b>              | LOG OF FACE       |               |                                                                                |     |      |      |      |              |      |      |      |      |   |  |
|                                 | REMARKS           |               |                                                                                |     |      |      |      |              |      |      |      |      |   |  |
|                                 | LOG OF TUNNEL     |               |                                                                                |     |      |      |      |              |      |      |      |      |   |  |
| <b>DISCONTINUITIES</b>          | REMARKS           |               | Cave 3.5 m deep                                                                |     |      |      |      |              |      |      |      |      |   |  |
|                                 | SYMBOL            |               | J1                                                                             |     |      |      |      | J2 - Random  |      |      |      |      |   |  |
|                                 | DIP/DIP DIRECTION |               | 86°/272°                                                                       |     |      |      |      | 86°/340°     |      |      |      |      |   |  |
|                                 | CONTINUITY (m)    |               | 3                                                                              |     |      |      |      | 3            |      |      |      |      |   |  |
|                                 | SEPARATION (cm)   |               | < 1                                                                            |     |      |      |      | 1 - 3        |      |      |      |      |   |  |
|                                 | SPACING (cm)      |               | 10 - 30                                                                        |     |      |      |      | 10 - 50      |      |      |      |      |   |  |
|                                 | IN-FILLING        |               | Cl, Ca                                                                         |     |      |      |      | Cl           |      |      |      |      |   |  |
|                                 | WAVINESS          |               | Un                                                                             |     |      |      |      | Un           |      |      |      |      |   |  |
|                                 | ROUGHNESS         |               | Ro                                                                             |     |      |      |      | Ro           |      |      |      |      |   |  |
|                                 | REMARKS           |               |                                                                                |     |      |      |      |              |      |      |      |      |   |  |
| WATER IN-FLOW                   |                   |               | ← Dr →                                                                         |     |      |      |      |              |      |      |      |      |   |  |
| <b>SUPPORT</b>                  | ACTUAL            |               | SA(s = 1m) + S(mr) 30cm                                                        |     |      |      |      |              |      |      |      |      |   |  |
|                                 | DESIGN BY 'Q'     |               | 9, 13, 14, 18                                                                  |     |      |      |      | 35           |      |      |      |      |   |  |
|                                 | DESIGN BY 'RMR'   |               | 1, 2                                                                           |     |      |      |      | 3, 4         |      |      |      |      |   |  |
| OVER-BREAK                      |                   |               |                                                                                |     |      |      |      |              |      |      |      |      |   |  |
| STRENGTH                        |                   | UN./PL. (MPa) |                                                                                |     |      |      |      |              |      |      |      |      |   |  |
| <b>ROCK MASS CLASSIFICATION</b> | 'Q'               |               | 6.7 - 66.7                                                                     |     |      |      |      | 0.025 - 0.09 |      |      |      |      |   |  |
|                                 | 'RMR'             |               | 61 - 93                                                                        |     |      |      |      | 26 - 39      |      |      |      |      |   |  |
| SPECIAL OPERATION               |                   |               |                                                                                |     |      |      |      |              |      |      |      |      |   |  |

Longitudinal Scale:

# GILO LONG TUNNEL

## Summary of Engineering geological data

Section No. 440 from 266.735 to 286.615 m

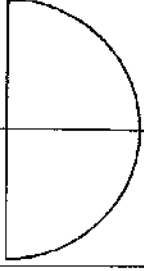
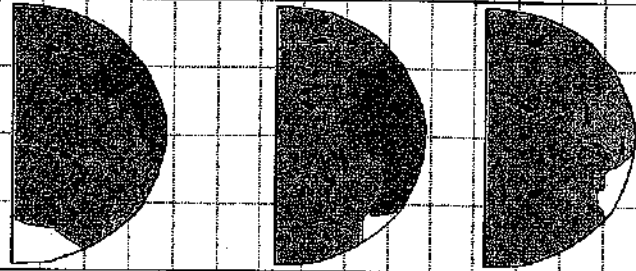
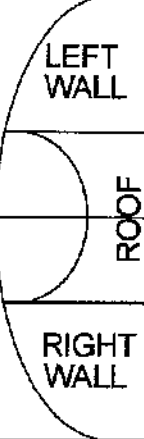
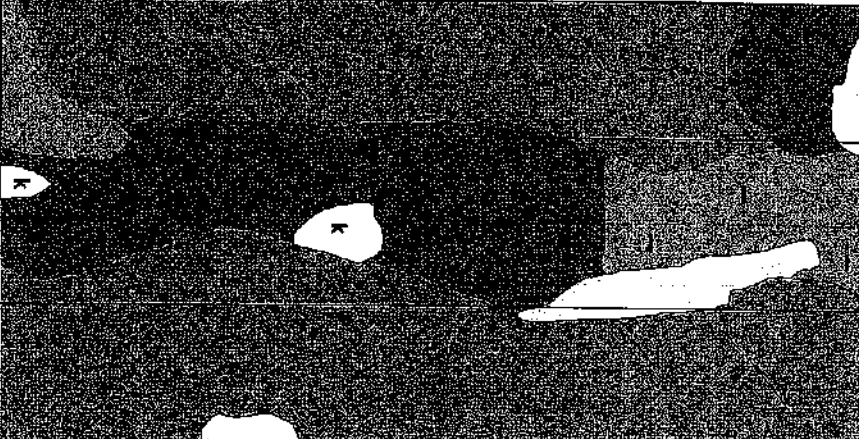
|                                 |                              |                                                                                                               |      |      |      |      |          |      |      |     |     |   |
|---------------------------------|------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|------|------|------|----------|------|------|-----|-----|---|
| <b>LOCATION</b>                 | DATE                         | 12/8/1994                                                                                                     |      | 18/8 |      | 21/8 |          |      |      |     |     |   |
|                                 | STEEL ARCH NO.               | 295s                                                                                                          | 297s | 300s | 304s | 306s | 308s     | 310s | 313s |     |     |   |
|                                 | EXCAVATION METHOD            | ← DB + Ha →                                                                                                   |      |      |      |      |          |      |      |     |     |   |
|                                 | PROG. (m)                    | 1                                                                                                             | 1    | 1    | 2    | 4    | 2        | 2    | 2    | 1   | 1.5 | 1 |
| <b>GRAPHIC LOG</b>              | ROCK TYPE                    | Dolomite, heavily jointed and Dolomite forming vertical benches according to joints. Dolomite flour at places |      |      |      |      |          |      |      |     |     |   |
|                                 | DISTANCE (m. from S. portal) | 268                                                                                                           | 270  | 272  | 274  | 276  | 278      | 280  | 282  | 284 |     |   |
| <b>LOG OF FACE</b>              | LOG OF FACE                  |                                                                                                               |      |      |      |      |          |      |      |     |     |   |
|                                 | REMARKS                      |                                                                                                               |      |      |      |      |          |      |      |     |     |   |
|                                 | LOG OF TUNNEL                |                                                                                                               |      |      |      |      |          |      |      |     |     |   |
| <b>DISCONTINUITIES</b>          | REMARKS                      |                                                                                                               |      |      |      |      |          |      |      |     |     |   |
|                                 | SYMBOL                       | J1                                                                                                            |      |      |      |      | J2       |      |      |     |     |   |
|                                 | DIP/DIP DIRECTION            | 90°/260°                                                                                                      |      |      |      |      | 80°/010° |      |      |     |     |   |
|                                 | CONTINUITY (m)               | 3                                                                                                             |      |      |      |      | 3        |      |      |     |     |   |
|                                 | SEPARATION (cm)              | < 1                                                                                                           |      |      |      |      | < 1      |      |      |     |     |   |
|                                 | SPACING (cm)                 | 10 - 50                                                                                                       |      |      |      |      | 10 - 50  |      |      |     |     |   |
|                                 | IN-FILLING                   | Cl                                                                                                            |      |      |      |      | Cl       |      |      |     |     |   |
|                                 | WAVINESS                     | Un                                                                                                            |      |      |      |      | Un       |      |      |     |     |   |
|                                 | ROUGHNESS                    | Ro                                                                                                            |      |      |      |      | Ro       |      |      |     |     |   |
|                                 | REMARKS                      |                                                                                                               |      |      |      |      |          |      |      |     |     |   |
| <b>SUPPORT</b>                  | WATER IN-FLOW                | ← Dr →                                                                                                        |      |      |      |      |          |      |      |     |     |   |
|                                 | ACTUAL                       | SA(s = 1m) + S(mr) 30cm                                                                                       |      |      |      |      |          |      |      |     |     |   |
|                                 | DESIGN BY 'Q'                | 13, 14, 18, 22, 23, 35                                                                                        |      |      |      |      |          |      |      |     |     |   |
| <b>OVER-BREAK</b>               | DESIGN BY 'RMR'              | 2, 3, 4                                                                                                       |      |      |      |      |          |      |      |     |     |   |
|                                 | STRENGTH UN./# (MPa)         | 77.8, 35.4, 70.7, 33.6                                                                                        |      |      |      |      |          |      |      |     |     |   |
| <b>ROCK MASS CLASSIFICATION</b> | 'Q'                          | 0.025 - 0.09, 2.2 - 11.7                                                                                      |      |      |      |      |          |      |      |     |     |   |
|                                 | 'RMR'                        | 26 - 39, 51 - 79                                                                                              |      |      |      |      |          |      |      |     |     |   |
| <b>SPECIAL OPERATION</b>        |                              | Ra PH                                                                                                         |      |      |      |      |          |      |      |     |     |   |

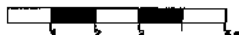
Longitudinal Scale: 4m

# GILO LONG TUNNEL

## Summary of Engineering geological data

Section No. 441 from 298.615 to 306.585 m

| LOCATION                 |                   | DATE                                                                               | 24/8/1994                                                                                                     |      | 28/8 |      | 31/8     |      |      |      |      |      |
|--------------------------|-------------------|------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|------|------|----------|------|------|------|------|------|
|                          |                   | STEEL ARCH NO.                                                                     | 314s                                                                                                          | 316s | 317s | 319s | 321s     | 323s | 325s | 328s | 330s | 332s |
|                          |                   | EXCAVATION METHOD                                                                  | ← Ha + D8 →                                                                                                   |      |      |      |          |      |      |      |      |      |
|                          |                   | PROG. (m)                                                                          | 1.5                                                                                                           | 1    | 2    | 2    | 1        | 1    | 2    | 1    | 1    | 2    |
|                          |                   | ROCK TYPE                                                                          | Dolomite, heavily jointed and Dolomite forming vertical benches according to joints. Dolomite flour at places |      |      |      |          |      |      |      |      |      |
|                          |                   | DISTANCE (m. from S. portal)                                                       | 288                                                                                                           | 290  | 292  | 294  | 296      | 298  | 300  | 302  | 304  |      |
| GRAPHIC LOG              | LOG OF FACE       |   |                             |      |      |      |          |      |      |      |      |      |
|                          | REMARKS           |                                                                                    |                                                                                                               |      |      |      |          |      |      |      |      |      |
|                          | LOG OF TUNNEL     |  |                            |      |      |      |          |      |      |      |      |      |
| DISCONTINUITIES          | REMARKS           |                                                                                    |                                                                                                               |      |      |      |          |      |      |      |      |      |
|                          | SYMBOL            | J1                                                                                 |                                                                                                               |      |      |      | J2       |      |      |      |      |      |
|                          | DIP/DIP DIRECTION | 90°/260°                                                                           |                                                                                                               |      |      |      | 85°/352° |      |      |      |      |      |
|                          | CONTINUITY (m)    | 3                                                                                  |                                                                                                               |      |      |      | 2 - 3    |      |      |      |      |      |
|                          | SEPARATION (cm)   | < 1                                                                                |                                                                                                               |      |      |      | < 1      |      |      |      |      |      |
|                          | SPACING (cm)      | 10 - 50                                                                            |                                                                                                               |      |      |      | 30 - 50  |      |      |      |      |      |
|                          | IN-FILLING        | Cl, weathered rock                                                                 |                                                                                                               |      |      |      | Cl       |      |      |      |      |      |
|                          | WAVINESS          | Un                                                                                 |                                                                                                               |      |      |      | Pl - Un  |      |      |      |      |      |
|                          | ROUGHNESS         | Ro                                                                                 |                                                                                                               |      |      |      | Ro       |      |      |      |      |      |
| WATER IN-FLOW            |                   | ← Dr →                                                                             |                                                                                                               |      |      |      |          |      |      |      |      |      |
| SUPPORT                  | ACTUAL            |                                                                                    |                                                                                                               |      |      |      |          |      |      |      |      |      |
|                          | DESIGN BY 'Q'     | SA(s = 1m) + S(mr) 30cm                                                            |                                                                                                               |      |      |      |          |      |      |      |      |      |
|                          | DESIGN BY 'RMR'   | 13, 14, 18, 22, 23, 35, 38                                                         |                                                                                                               |      |      |      |          |      |      |      |      |      |
| OVER-BREAK               |                   |                                                                                    |                                                                                                               |      |      |      |          |      |      |      |      |      |
| STRENGTH UN./PL. (MPa)   |                   |                                                                                    |                                                                                                               |      |      |      |          |      |      |      |      |      |
| ROCK MASS CLASSIFICATION | 'Q'               | 0.006 - 0.31, 2.2 - 11.7                                                           |                                                                                                               |      |      |      |          |      |      |      |      |      |
|                          | 'RMR'             | 21, 26 - 49, 51 - 79                                                               |                                                                                                               |      |      |      |          |      |      |      |      |      |
| SPECIAL OPERATION        |                   |                                                                                    |                                                                                                               |      |      |      |          |      |      |      |      |      |

Longitudinal Scale: 

# GILO LONG TUNNEL

## Summary of Engineering geological data

Section No. 442 from 308.585 to 326.585 m

|                          |                              |                                                                                       |         |      |     |      |           |     |     |     |
|--------------------------|------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|---------|------|-----|------|-----------|-----|-----|-----|
| <b>LOCATION</b>          | DATE                         | 8/9/1994                                                                              |         | 12/9 |     | 29/9 |           |     |     |     |
|                          | STEEL ARCH NO.               | 353s 357s                                                                             |         |      |     |      |           |     |     |     |
|                          | EXCAVATION METHOD            | ← Ha + DB →                                                                           |         |      |     |      |           |     |     |     |
|                          | PROG. (m)                    | 1.8                                                                                   | 3       | 1.5  | 1.5 | 1.6  | 1         | 1.1 | 1   | 1   |
|                          | ROCK TYPE                    | Dolomite bracciated with dolomite flour and jointed Dolomite forming vertical benches |         |      |     |      |           |     |     |     |
| <b>GRAPHIC LOG</b>       | DISTANCE (m. from S. portal) | 388                                                                                   | 310     | 312  | 314 | 316  | 318       | 320 | 322 | 324 |
|                          | LOG OF FACE                  |                                                                                       |         |      |     |      |           |     |     |     |
|                          | REMARKS                      |                                                                                       |         |      |     |      |           |     |     |     |
|                          | LOG OF TUNNEL                |                                                                                       |         |      |     |      |           |     |     |     |
|                          | REMARKS                      |                                                                                       |         |      |     |      |           |     |     |     |
|                          | <b>DISCONTINUITIES</b>       | SYMBOL                                                                                | J1      |      |     |      | J2        |     |     |     |
|                          |                              | DIP/DIP DIRECTION                                                                     | 90°/25d |      |     |      | 80°/1010° |     |     |     |
|                          |                              | CONTINUITY (m)                                                                        | 2 - 3   |      |     |      | 3         |     |     |     |
|                          |                              | SEPARATION (cm)                                                                       | 1 - 5   |      |     |      | 1 - 3     |     |     |     |
|                          |                              | SPACING (cm)                                                                          | 30 - 50 |      |     |      | 10 - 50   |     |     |     |
| IN-FILLING               |                              | Cl                                                                                    |         |      |     | Cl   |           |     |     |     |
| WAVINESS                 |                              | Un                                                                                    |         |      |     | Un   |           |     |     |     |
| ROUGHNESS                |                              | Ro                                                                                    |         |      |     | Ro   |           |     |     |     |
| REMARKS                  |                              |                                                                                       |         |      |     |      |           |     |     |     |
| <b>SUPPORT</b>           |                              | WATER IN-FLOW                                                                         | ← Dr →  |      |     |      |           |     |     |     |
|                          | ACTUAL                       | SA(ε = 1m) + S(mr) 30cm                                                               |         |      |     |      |           |     |     |     |
|                          | DESIGN BY 'Q'                | 31, 35                                                                                |         |      |     |      |           |     |     |     |
|                          | DESIGN BY 'RMR'              | 3, 4                                                                                  |         |      |     |      |           |     |     |     |
| OVER-BREAK               |                              |                                                                                       |         |      |     |      |           |     |     |     |
| STRENGTH UN. / PL. (MPa) |                              |                                                                                       |         |      |     |      |           |     |     |     |
| ROCK MASS CLASSIFICATION | 'Q'                          | 0.025 - 0.31                                                                          |         |      |     |      |           |     |     |     |
|                          | 'RMR'                        | 25 - 49                                                                               |         |      |     |      |           |     |     |     |
| SPECIAL OPERATION        |                              |                                                                                       |         |      |     |      |           |     |     |     |

Longitudinal Scale:

# GILO LONG TUNNEL

## Summary of Engineering geological data

Section No. 443 from 326.585 to 346.585 m

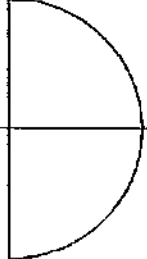
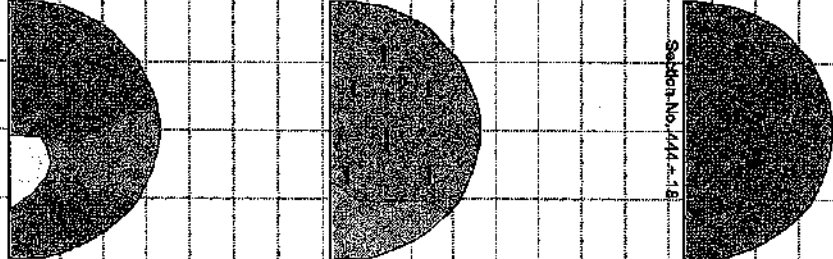
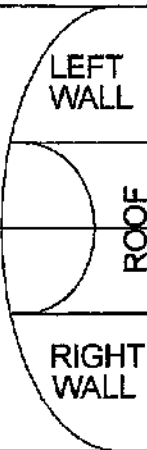
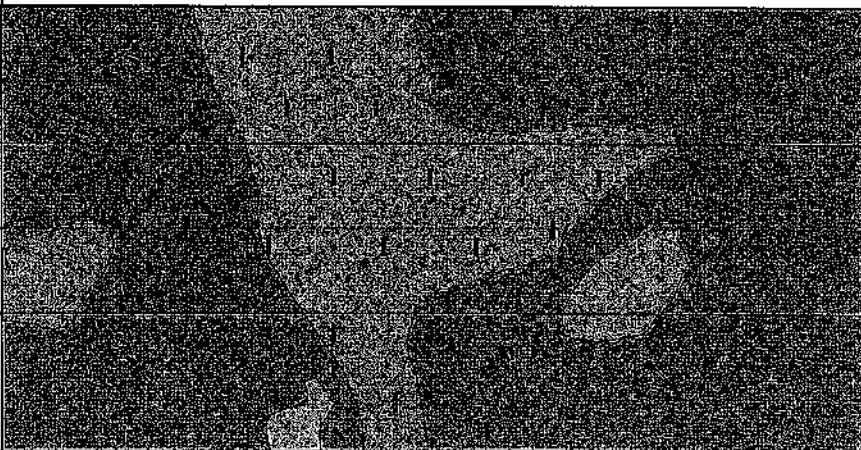
|                                 |                   |                                                                                              |                            |     |       |     |       |     |      |     |          |   |      |   |      |   |      |   |
|---------------------------------|-------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|-----|-------|-----|-------|-----|------|-----|----------|---|------|---|------|---|------|---|
| <b>LOCATION</b>                 | DATE              |                                                                                              | 12/10/1994                 |     | 18/10 |     | 25/10 |     |      |     |          |   |      |   |      |   |      |   |
|                                 | STEEL ARCH NO.    |                                                                                              | 362s                       |     | 365s  |     | 368s  |     | 371s |     | 373s     |   | 375s |   | 377s |   | 379s |   |
|                                 | EXCAVATION        | METHOD                                                                                       | ← DB + Hm →                |     |       |     |       |     |      |     |          |   |      |   |      |   |      |   |
|                                 |                   | PROG. (m)                                                                                    | 1.1                        | 3.2 | 3.1   | 1.2 | 2     | 2   | 2    | 2   | 2        | 2 | 2    | 2 | 2    | 2 | 2    | 2 |
| ROCK TYPE                       |                   | Dolomite, jointed forming vertical benches. Dolomite floor and brecciated Dolomite at places |                            |     |       |     |       |     |      |     |          |   |      |   |      |   |      |   |
| DISTANCE (m. from S. portal)    |                   | 328                                                                                          | 330                        | 332 | 334   | 336 | 338   | 340 | 342  | 344 |          |   |      |   |      |   |      |   |
| <b>GRAPHIC LOG</b>              | LOG OF FACE       |                                                                                              |                            |     |       |     |       |     |      |     |          |   |      |   |      |   |      |   |
|                                 | REMARKS           |                                                                                              |                            |     |       |     |       |     |      |     |          |   |      |   |      |   |      |   |
|                                 | LOG OF TUNNEL     |                                                                                              |                            |     |       |     |       |     |      |     |          |   |      |   |      |   |      |   |
| <b>DISCONTINUITIES</b>          | REMARKS           |                                                                                              |                            |     |       |     |       |     |      |     |          |   |      |   |      |   |      |   |
|                                 | SYMBOL            |                                                                                              | J1                         |     |       |     |       |     |      |     | J2       |   |      |   |      |   |      |   |
|                                 | DIP/DIP DIRECTION |                                                                                              | 80°/250°                   |     |       |     |       |     |      |     | 80°/030° |   |      |   |      |   |      |   |
|                                 | CONTINUITY (m)    |                                                                                              | 3                          |     |       |     |       |     |      |     | 3        |   |      |   |      |   |      |   |
|                                 | SEPARATION (cm)   |                                                                                              | < 1                        |     |       |     |       |     |      |     | < 1      |   |      |   |      |   |      |   |
|                                 | SPACING (cm)      |                                                                                              | 10 - 60                    |     |       |     |       |     |      |     | 10 - 50  |   |      |   |      |   |      |   |
|                                 | IN-FILLING        |                                                                                              | Cl                         |     |       |     |       |     |      |     | Cl       |   |      |   |      |   |      |   |
|                                 | WAVINESS          |                                                                                              | Un                         |     |       |     |       |     |      |     | Un       |   |      |   |      |   |      |   |
|                                 | ROUGHNESS         |                                                                                              | Ro                         |     |       |     |       |     |      |     | Ro       |   |      |   |      |   |      |   |
|                                 | REMARKS           |                                                                                              |                            |     |       |     |       |     |      |     |          |   |      |   |      |   |      |   |
| WATER IN-FLOW                   |                   | ← Dr →                                                                                       |                            |     |       |     |       |     |      |     |          |   |      |   |      |   |      |   |
| <b>SUPPORT</b>                  | ACTUAL            |                                                                                              | SA(s = 1m) + S(mr) 30cm    |     |       |     |       |     |      |     |          |   |      |   |      |   |      |   |
|                                 | DESIGN BY 'Q'     |                                                                                              | 13, 14, 18, 22, 23, 31, 35 |     |       |     |       |     |      |     |          |   |      |   |      |   |      |   |
|                                 | DESIGN BY 'RMR'   |                                                                                              | 2, 3, 4                    |     |       |     |       |     |      |     |          |   |      |   |      |   |      |   |
| OVER-BREAK                      |                   |                                                                                              |                            |     |       |     |       |     |      |     |          |   |      |   |      |   |      |   |
| STRENGTH UN. / PL. (MPa)        |                   |                                                                                              |                            |     |       |     |       |     |      |     |          |   |      |   |      |   |      |   |
| <b>ROCK MASS CLASSIFICATION</b> | 'Q'               |                                                                                              | 0.025 - 0.31, 2.2 - 11.7   |     |       |     |       |     |      |     |          |   |      |   |      |   |      |   |
|                                 | 'RMR'             |                                                                                              | 26 - 49, 51 - 79           |     |       |     |       |     |      |     |          |   |      |   |      |   |      |   |
| SPECIAL OPERATION               |                   |                                                                                              |                            |     |       |     |       |     |      |     |          |   |      |   |      |   |      |   |

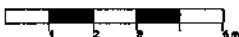
Longitudinal Scale:

# GILO LONG TUNNEL

## Summary of Engineering geological data

Section No. 444 from 346.585 to 366.585 m

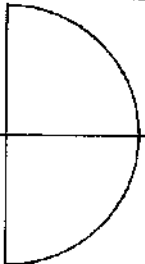
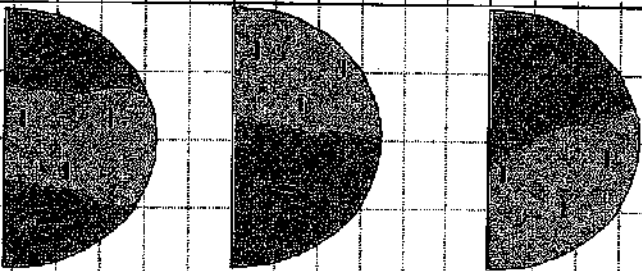
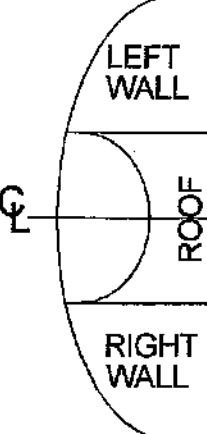
| LOCATION                 |                   | DATE                                                                               | 26/10                                                                                        | 27/10           | 28/10 | 25/10 | 24/10 | 23/10 | 21/10 | 20/10 | 19/10 | 18/10/1964 |
|--------------------------|-------------------|------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------------|
|                          |                   | STEEL ARCH NO.                                                                     | 382s, 383s                                                                                   | 185n            | 181n  | 179n  | 177n  | 175n  | 171n  | 169n  |       |            |
| LOCATION                 |                   | EXCAVATION METHOD                                                                  | DB + Ha                                                                                      |                 |       |       |       |       |       |       |       |            |
|                          |                   | PROG. (m)                                                                          | 2.1                                                                                          | 1.2             | 2     | 2     | 2     | 2     | 1.8   | 2     | 2     | 2.8        |
| LOCATION                 |                   | ROCK TYPE                                                                          | Dolomite, jointed forming vertical benches. Dolomite floor and brecciated Dolomite at places |                 |       |       |       |       |       |       |       |            |
|                          |                   | DISTANCE (m. from S. portal)                                                       | 348                                                                                          | 350             | 352   | 354   | 356   | 358   | 360   | 362   | 364   |            |
| GRAPHIC LOG              | LOG OF FACE       |   |            |                 |       |       |       |       |       |       |       |            |
|                          | REMARKS           |                                                                                    |                                                                                              |                 |       |       |       |       |       |       |       |            |
|                          | LOG OF TUNNEL     |  |           |                 |       |       |       |       |       |       |       |            |
| DISCONTINUITIES          | REMARKS           |                                                                                    |                                                                                              |                 |       |       |       |       |       |       |       |            |
|                          | SYMBOL            | J1                                                                                 | J2                                                                                           | Random          |       |       |       |       |       |       |       |            |
|                          | DIP/DIP DIRECTION | 90°/260°                                                                           | 80°/010°                                                                                     | 70°/326° - 340° |       |       |       |       |       |       |       |            |
|                          | CONTINUITY (m)    | 3                                                                                  | 3                                                                                            | 4 - 5           |       |       |       |       |       |       |       |            |
|                          | SEPARATION (cm)   | 1 - 3                                                                              | 1 - 3                                                                                        | 1 - 5           |       |       |       |       |       |       |       |            |
|                          | SPACING (cm)      | 10 - 50                                                                            | 10 - 50                                                                                      |                 |       |       |       |       |       |       |       |            |
|                          | IN-FILLING        | Cl, weathered rock                                                                 | Cl, weathered rock                                                                           | Cl              |       |       |       |       |       |       |       |            |
|                          | WAVINESS          | Un                                                                                 | Un                                                                                           | Un              |       |       |       |       |       |       |       |            |
|                          | ROUGHNESS         | Ro                                                                                 | Ro                                                                                           | Ro              |       |       |       |       |       |       |       |            |
| WATER IN-FLOW            |                   | ← Dr →                                                                             |                                                                                              |                 |       |       |       |       |       |       |       |            |
| SUPPORT                  | ACTUAL            | SA(s < 1m) + S(m) 30cm                                                             | SA(s = 1m) + S(m) 30cm                                                                       |                 |       |       |       |       |       |       |       |            |
|                          | DESIGN BY 'Q'     | 13, 14, 18, 22, 23, 31, 35                                                         |                                                                                              |                 |       |       |       |       |       |       |       |            |
|                          | DESIGN BY 'RMR'   | 2, 3, 4                                                                            |                                                                                              |                 |       |       |       |       |       |       |       |            |
| OVER-BREAK               |                   |                                                                                    |                                                                                              |                 |       |       |       |       |       |       |       |            |
| STRENGTH UN. / PL. (MPa) |                   |                                                                                    |                                                                                              |                 |       |       |       |       |       |       |       |            |
| ROCK MASS CLASSIFICATION | 'Q'               | 0.05 - 0.31, 2.2 - 11.7                                                            |                                                                                              |                 |       |       |       |       |       |       |       |            |
|                          | 'RMR'             | 26 - 49, 51 - 79                                                                   |                                                                                              |                 |       |       |       |       |       |       |       |            |
| SPECIAL OPERATION        |                   |                                                                                    |                                                                                              |                 |       |       |       |       |       |       |       |            |

Longitudinal Scale: 

# GILO LONG TUNNEL

## Summary of Engineering geological data

Section No. 445 from 368.585 to 385.585 m

| LOCATION                 |                   | DATE                                                                               | 17/10                                                                               | 16/10 | 16/10 | 14/10 | 13/10 | 12/10 | 11/10 | 9/10 | 7/10 | 6/10/1994 |
|--------------------------|-------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|-----------|
|                          |                   | STEEL ARCH NO.                                                                     | 167n                                                                                | 165n  | 163n  | 161n  | 156n  | 154n  | 150n  | 147n |      |           |
|                          |                   | EXCAVATION                                                                         | METHOD                                                                              |       |       |       |       |       |       |      |      |           |
|                          |                   | PROG. (m)                                                                          | 1.1                                                                                 | 1.1   | 2.1   | 2.1   | 1     | 2     | 2     | 4    | 2    | 2.9       |
|                          |                   | ROCK TYPE                                                                          | Dolomite, jointed forming vertical benches. Brecciated Dolomite at places           |       |       |       |       |       |       |      |      |           |
|                          |                   | DISTANCE (m. from S. portal)                                                       | 368                                                                                 | 370   | 372   | 374   | 376   | 378   | 380   | 382  | 384  |           |
| GRAPHIC LOG              | LOG OF FACE       |   |   |       |       |       |       |       |       |      |      |           |
|                          | REMARKS           |                                                                                    |                                                                                     |       |       |       |       |       |       |      |      |           |
|                          | LOG OF TUNNEL     |  |  |       |       |       |       |       |       |      |      |           |
| DISCONTINUITIES          | REMARKS           |                                                                                    |                                                                                     |       |       |       |       |       |       |      |      |           |
|                          | SYMBOL            | J1                                                                                 | J2                                                                                  |       |       |       |       |       |       |      |      |           |
|                          | DIP/DIP DIRECTION | 90°/280°                                                                           | 60°/020°                                                                            |       |       |       |       |       |       |      |      |           |
|                          | CONTINUITY (m)    | 1 - 2                                                                              | 3                                                                                   |       |       |       |       |       |       |      |      |           |
|                          | SEPARATION (cm)   | 1 - 3                                                                              | 1 - 5                                                                               |       |       |       |       |       |       |      |      |           |
|                          | SPACING (cm)      | 10 - 50                                                                            | 10 - 50                                                                             |       |       |       |       |       |       |      |      |           |
|                          | IN-FILLING        | Cl, weathered rock                                                                 | Cl, weathered rock                                                                  |       |       |       |       |       |       |      |      |           |
|                          | WAVINESS          | Un                                                                                 | Un                                                                                  |       |       |       |       |       |       |      |      |           |
|                          | ROUGHNESS         | Ro                                                                                 | Ro                                                                                  |       |       |       |       |       |       |      |      |           |
|                          | REMARKS           |                                                                                    |                                                                                     |       |       |       |       |       |       |      |      |           |
| WATER IN-FLOW            |                   | ← Dr →                                                                             |                                                                                     |       |       |       |       |       |       |      |      |           |
| SUPPORT                  | ACTUAL            |                                                                                    |                                                                                     |       |       |       |       |       |       |      |      |           |
|                          | DESIGN BY 'Q'     | SA(s = 1m) + S(m) 30cm                                                             |                                                                                     |       |       |       |       |       |       |      |      |           |
|                          | DESIGN BY 'RMR'   | 13, 14, 18, 22, 23, 31, 35                                                         |                                                                                     |       |       |       |       |       |       |      |      |           |
| OVER-BREAK               |                   |                                                                                    |                                                                                     |       |       |       |       |       |       |      |      |           |
| STRENGTH                 | UN. / PL. (MPa)   |                                                                                    |                                                                                     |       |       |       |       |       |       |      |      |           |
| ROCK MASS CLASSIFICATION | 'Q'               | 0.025 - 0.31, 2.2 - 11.7                                                           |                                                                                     |       |       |       |       |       |       |      |      |           |
|                          | 'RMR'             | 26 - 49, 51 - 79                                                                   |                                                                                     |       |       |       |       |       |       |      |      |           |
| SPECIAL OPERATION        |                   |                                                                                    |                                                                                     |       |       |       |       |       |       |      |      |           |

Longitudinal Scale:  5m

# GILO LONG TUNNEL

## Summary of Engineering geological data

Section No. 446 from 386.585 to 408.585 m

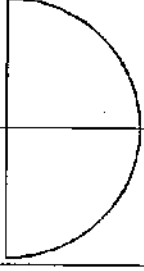
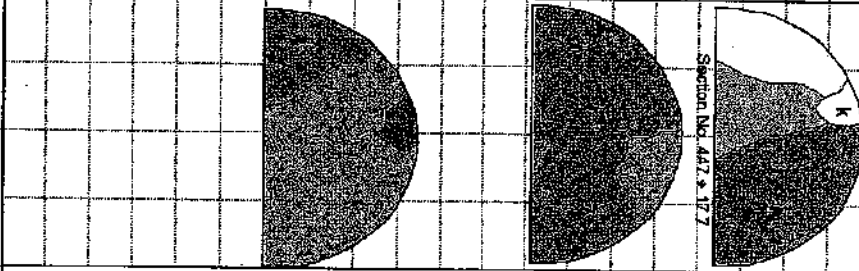
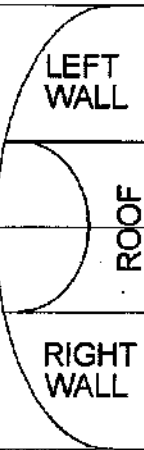
| LOCATION                     |                   | DATE                                                                      | 3/10 | 2/10      | 30/9 | 28/9      | 26/9               | 26/9 | 25/9 | 23/9      | 21/9/1984 |
|------------------------------|-------------------|---------------------------------------------------------------------------|------|-----------|------|-----------|--------------------|------|------|-----------|-----------|
|                              |                   | STEEL ARCH NO.                                                            | 145n | 143n 144n | 140n | 136n 135n |                    |      |      | 131n 130n |           |
|                              | EXCAVATION METHOD | ← DB + Ha →                                                               |      |           |      |           |                    |      |      |           |           |
|                              |                   | PROG. (m)                                                                 | ← 3  | 2         | 4    | 1         | 1                  | 1    | 3    | 2.1       | 1         |
| ROCK TYPE                    |                   | Dolomite, jointed forming vertical benches. Brecciated Dolomite at places |      |           |      |           |                    |      |      |           |           |
| DISTANCE (m. from S. portal) |                   | 388                                                                       | 390  | 392       | 394  | 396       | 398                | 400  | 402  | 404       |           |
| GRAPHIC LOG                  | LOG OF FACE       |                                                                           |      |           |      |           |                    |      |      |           |           |
|                              | REMARKS           |                                                                           |      |           |      |           |                    |      |      |           |           |
|                              | LOG OF TUNNEL     |                                                                           |      |           |      |           |                    |      |      |           |           |
| DISCONTINUITIES              | REMARKS           |                                                                           |      |           |      |           |                    |      |      |           |           |
|                              | SYMBOL            | J1                                                                        |      |           |      |           | J2                 |      |      |           |           |
|                              | DIP/DIP DIRECTION | 90°/270°                                                                  |      |           |      |           | 60°/350°           |      |      |           |           |
|                              | CONTINUITY (m)    | 3                                                                         |      |           |      |           | 3                  |      |      |           |           |
|                              | SEPARATION (cm)   | < 1                                                                       |      |           |      |           | < 1                |      |      |           |           |
|                              | SPACING (cm)      | 30 - 60                                                                   |      |           |      |           | 10 - 50            |      |      |           |           |
|                              | IN-FILLING        | Cl, weathered rock                                                        |      |           |      |           | Cl, weathered rock |      |      |           |           |
|                              | WAVINESS          | Un                                                                        |      |           |      |           | Un                 |      |      |           |           |
|                              | ROUGHNESS         | Ro                                                                        |      |           |      |           | Ro                 |      |      |           |           |
| WATER IN-FLOW                |                   | ← Dr →                                                                    |      |           |      |           |                    |      |      |           |           |
| SUPPORT                      | ACTUAL            | SA(s = 1m) + S(nr) 30cm                                                   |      |           |      |           |                    |      |      |           |           |
|                              | DESIGN BY 'Q'     | 13, 14, 18, 22, 23, 31, 35                                                |      |           |      |           |                    |      |      |           |           |
|                              | DESIGN BY 'RMR'   | 2, 3, 4                                                                   |      |           |      |           |                    |      |      |           |           |
| OVER-BREAK                   |                   |                                                                           |      |           |      |           |                    |      |      |           |           |
| STRENGTH UN / PL (MPa)       |                   |                                                                           |      |           |      |           |                    |      |      |           |           |
| ROCK MASS CLASSIFICATION     | 'Q'               | 0.025 - 0.31, 2.2 - 11.7                                                  |      |           |      |           |                    |      |      |           |           |
|                              | 'RMR'             | 26 - 49, 51 - 79                                                          |      |           |      |           |                    |      |      |           |           |
| SPECIAL OPERATION            |                   |                                                                           |      |           |      |           |                    |      |      |           |           |

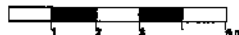
Longitudinal Scale:

# GILO LONG TUNNEL

## Summary of Engineering geological data

Section No. 447 from 406.555 to 426.585 m

| LOCATION                 |                   | DATE                                                                               | 19/9                                                                                         | 18/9 | 16/9 | 13/9 | 12/9 | 8/9/1994 |             |
|--------------------------|-------------------|------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|------|------|------|------|----------|-------------|
|                          |                   | STEEL ARCH NO.                                                                     | 127n                                                                                         | 125n | 123n | 121n | 119n | 117n     | 115n 114n   |
|                          |                   | EXCAVATION METHOD                                                                  | Ha + DB                                                                                      |      |      |      |      |          |             |
|                          |                   | PROG. (m)                                                                          | 3.1                                                                                          | 1.9  | 3    | 3.1  | 5.6  |          |             |
|                          |                   | ROCK TYPE                                                                          | Dolomite, jointed forming vertical benches. Dolomite floor and brecciated Dolomite at places |      |      |      |      |          |             |
|                          |                   | DISTANCE (m. from S. portal)                                                       | 408                                                                                          | 410  | 412  | 414  | 416  | 418      | 420 422 424 |
| GRAPHIC LOG              | LOG OF FACE       |   |            |      |      |      |      |          |             |
|                          | REMARKS           |                                                                                    |                                                                                              |      |      |      |      |          |             |
| DISCONTINUITIES          | LOG OF TUNNEL     |  |           |      |      |      |      |          |             |
|                          | REMARKS           |                                                                                    |                                                                                              |      |      |      |      |          |             |
| DISCONTINUITIES          | SYMBOL            |                                                                                    |                                                                                              |      |      |      |      |          |             |
|                          | DIP/DIP DIRECTION |                                                                                    |                                                                                              |      |      |      |      |          |             |
|                          | CONTINUITY (m)    |                                                                                    |                                                                                              |      |      |      |      |          |             |
|                          | SEPARATION (cm)   |                                                                                    |                                                                                              |      |      |      |      |          |             |
|                          | SPACING (cm)      |                                                                                    |                                                                                              |      |      |      |      |          |             |
|                          | IN-FILLING        |                                                                                    |                                                                                              |      |      |      |      |          |             |
|                          | WAVINESS          |                                                                                    |                                                                                              |      |      |      |      |          |             |
|                          | ROUGHNESS         |                                                                                    |                                                                                              |      |      |      |      |          |             |
| REMARKS                  |                   |                                                                                    |                                                                                              |      |      |      |      |          |             |
| WATER IN-FLOW            |                   |                                                                                    | Dr                                                                                           |      |      |      |      |          |             |
| SUPPORT                  | ACTUAL            |                                                                                    | $SA(s = 1m) + S(mr) 30cm$                                                                    |      |      |      |      |          |             |
|                          | DESIGN BY 'Q'     |                                                                                    | $SA(s < 1m) + S(mr) 30cm$                                                                    |      |      |      |      |          |             |
|                          | DESIGN BY 'RMR'   |                                                                                    | 13, 14, 18, 22, 23, 31, 35, 38<br>2, 3, 4                                                    |      |      |      |      |          |             |
| OVER-BREAK               |                   |                                                                                    |                                                                                              |      |      |      |      |          |             |
| STRENGTH                 | MPa / PL (MPa)    |                                                                                    | 4.1                                                                                          |      |      |      |      |          |             |
| ROCK MASS CLASSIFICATION | 'Q'               |                                                                                    | 0.006 - 0.31, 2.2 - 11.7                                                                     |      |      |      |      |          |             |
|                          | 'RMR'             |                                                                                    | 21, 26 - 49, 51 - 79                                                                         |      |      |      |      |          |             |
| SPECIAL OPERATION        |                   |                                                                                    |                                                                                              |      |      |      |      |          |             |

Longitudinal Scale: 

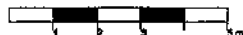
# GILO LONG TUNNEL

## Summary of Engineering geological data

Section No. 448 from 426.585 to 446.585 m

| LOCATION                     |                   | DATE                                                                                         | 2/8      | 2/9 | 31/8 | 28/8                   | 26/8 | 31/7/1994 |     |                                     |
|------------------------------|-------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|----------|-----|------|------------------------|------|-----------|-----|-------------------------------------|
|                              |                   | STEEL ARCH NO.                                                                               | 106n     | 98n | 98n  | 94n                    | 92n  | 90n       | 88n | 86n                                 |
| EXCAVATION                   | METHOD            | ← Ha + DB →                                                                                  |          |     |      |                        |      |           |     |                                     |
|                              | PROG. (m)         | ← 4.9                                                                                        | 2.4      | 2.4 | 5.1  | 1                      | 4    | 3.5       | →   |                                     |
| ROCK TYPE                    |                   | Dolomite, jointed forming vertical benches. Dolomite floor and brecciated Dolomite at places |          |     |      |                        |      |           |     |                                     |
| DISTANCE (m. from S. portal) |                   | 428                                                                                          | 430      | 432 | 434  | 436                    | 438  | 440       | 442 | 444                                 |
| GRAPHIC LOG                  | LOG OF FACE       |                                                                                              |          |     |      |                        |      |           |     |                                     |
|                              | REMARKS           |                                                                                              |          |     |      |                        |      |           |     |                                     |
|                              | LOG OF TUNNEL     |                                                                                              |          |     |      |                        |      |           |     |                                     |
| DISCONTINUITIES              | REMARKS           |                                                                                              |          |     |      |                        |      |           |     |                                     |
|                              | SYMBOL            | J1                                                                                           | J2       |     |      |                        |      |           |     |                                     |
|                              | DIP/DIP DIRECTION | 90°/250°                                                                                     | 80°/360° |     |      |                        |      |           |     |                                     |
|                              | CONTINUITY (m)    | 3                                                                                            | 3        |     |      |                        |      |           |     |                                     |
|                              | SEPARATION (cm)   | 1 - 3                                                                                        | 1 - 3    |     |      |                        |      |           |     |                                     |
|                              | SPACING (cm)      | 30 - 40                                                                                      | 30 - 40  |     |      |                        |      |           |     |                                     |
|                              | IN-FILLING        | Cl                                                                                           | Cl       |     |      |                        |      |           |     |                                     |
|                              | WAVINESS          | Un                                                                                           | Un       |     |      |                        |      |           |     |                                     |
|                              | ROUGHNESS         | Ro                                                                                           | Ro       |     |      |                        |      |           |     |                                     |
| REMARKS                      |                   |                                                                                              |          |     |      |                        |      |           |     |                                     |
| WATER IN-FLOW                |                   | ← Dr →                                                                                       |          |     |      |                        |      |           |     |                                     |
| SUPPORT                      | ACTUAL            | SA(s < 1m) + S(m) 30cm                                                                       |          |     |      | SA(s = 1m) + S(m) 30cm |      |           |     | SA(1.5m) + S(m) 30cm + B(tg) 3 - 4m |
|                              | DESIGN BY 'Q'     | 13, 14, 18, 22, 23, 31, 35, 38                                                               |          |     |      |                        |      |           |     |                                     |
|                              | DESIGN BY 'RMR'   | 2, 3, 4                                                                                      |          |     |      |                        |      |           |     |                                     |
| OVER-BREAK                   |                   |                                                                                              |          |     |      |                        |      |           |     |                                     |
| STRENGTH                     | 岩性 / PL. (MPa)    | 5.5                                                                                          |          |     |      | 4.8                    |      |           |     |                                     |
| ROCK MASS CLASSIFICATION     | 'Q'               | 0.006 - 0.31, 2.2 - 11.7                                                                     |          |     |      |                        |      |           |     |                                     |
|                              | 'RMR'             | 21, 28 - 49, 51 - 79                                                                         |          |     |      |                        |      |           |     |                                     |
| SPECIAL OPERATION            |                   |                                                                                              |          |     |      |                        |      |           |     |                                     |

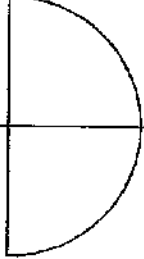
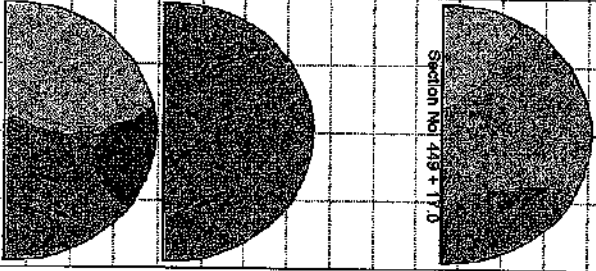
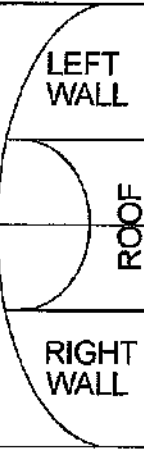
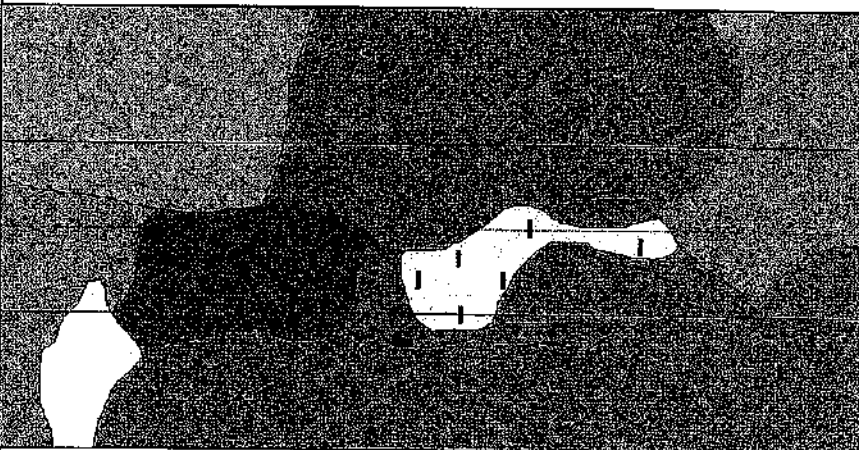
Longitudinal Scale:

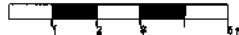


# GILO LONG TUNNEL

## Summary of Engineering geological data

Section No. 449 from 446.585 to 466.595 m

| LOCATION                 |                   | DATE                                                                               | 28/7                                                                                                     | 25/7 | 24/7 | 21/7 | 20/7                    | 19/7 | 19/7 | 18/7 | 18/7/1994 |  |
|--------------------------|-------------------|------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|------|------|-------------------------|------|------|------|-----------|--|
|                          |                   | STEEL ARCH NO.                                                                     | 82n                                                                                                      | 81n  |      | 76n  | 74n                     | 72n  | 71n  | 69n  | 67n       |  |
|                          |                   | EXCAVATION METHOD                                                                  | ← DB + Ha →                                                                                              |      |      |      |                         |      |      |      |           |  |
|                          |                   | PROG. (m)                                                                          | 1.5                                                                                                      | 3    | 3.5  | 2    | 2                       | 2    | 1    | 1    | 4         |  |
|                          |                   | ROCK TYPE                                                                          | Dolomite, massive and jointed forming vertical benches. Dolomite floor and brecciated Dolomite at places |      |      |      |                         |      |      |      |           |  |
|                          |                   | DISTANCE (m. from S. portal)                                                       | 448                                                                                                      | 450  | 452  | 454  | 456                     | 458  | 460  | 462  | 464       |  |
| GRAPHIC LOG              | LOG OF FACE       |   |                        |      |      |      |                         |      |      |      |           |  |
|                          | REMARKS           |                                                                                    |                                                                                                          |      |      |      |                         |      |      |      |           |  |
|                          | LOG OF TUNNEL     |  |                       |      |      |      |                         |      |      |      |           |  |
| DISCONTINUITIES          | REMARKS           |                                                                                    |                                                                                                          |      |      |      |                         |      |      |      |           |  |
|                          | SYMBOL            | J1 J2                                                                              |                                                                                                          |      |      |      |                         |      |      |      |           |  |
|                          | DIP/DIP DIRECTION | 69°/250° 60°/010°                                                                  |                                                                                                          |      |      |      |                         |      |      |      |           |  |
|                          | CONTINUITY (m)    | 2 - 3 2 - 3                                                                        |                                                                                                          |      |      |      |                         |      |      |      |           |  |
|                          | SEPARATION (cm)   | 1 - 5 1 - 5                                                                        |                                                                                                          |      |      |      |                         |      |      |      |           |  |
|                          | SPACING (cm)      | 50 - 100 50 - 100                                                                  |                                                                                                          |      |      |      |                         |      |      |      |           |  |
|                          | IN-FILLING        | Cl, Ca Cl, Ca                                                                      |                                                                                                          |      |      |      |                         |      |      |      |           |  |
|                          | WAVINESS          | PI - Un PI - Un                                                                    |                                                                                                          |      |      |      |                         |      |      |      |           |  |
|                          | ROUGHNESS         | Ro Ro                                                                              |                                                                                                          |      |      |      |                         |      |      |      |           |  |
|                          | REMARKS           |                                                                                    |                                                                                                          |      |      |      |                         |      |      |      |           |  |
| WATER IN-FLOW            |                   | ← Dr →                                                                             |                                                                                                          |      |      |      |                         |      |      |      |           |  |
| SUPPORT                  | ACTUAL            | SA(s = 1.5m) + S(mr) 30cm + B(tg) 3 - 4m                                           |                                                                                                          |      |      |      | SA(s = 1m) + S(mr) 30cm |      |      |      |           |  |
|                          | DESIGN BY 'Q'     | 9, 13, 14, 18, 22, 23, 31, 35, 38                                                  |                                                                                                          |      |      |      |                         |      |      |      |           |  |
|                          | DESIGN BY 'RMR'   | 1, 2, 3, 4                                                                         |                                                                                                          |      |      |      |                         |      |      |      |           |  |
| OVER-BREAK               |                   |                                                                                    |                                                                                                          |      |      |      |                         |      |      |      |           |  |
| STRENGTH UN. / PL. (MPa) |                   |                                                                                    |                                                                                                          |      |      |      |                         |      |      |      |           |  |
| ROCK MASS CLASSIFICATION | 'Q'               | 0.006 - 0.31, 2.2 - 66.7                                                           |                                                                                                          |      |      |      |                         |      |      |      |           |  |
|                          | 'RMR'             | 21, 26 - 49, 51 - 93                                                               |                                                                                                          |      |      |      |                         |      |      |      |           |  |
| SPECIAL OPERATION        |                   |                                                                                    |                                                                                                          |      |      |      |                         |      |      |      |           |  |

Longitudinal Scale: 

# GILO LONG TUNNEL

## Summary of Engineering geological data

Section No. 450 from 466.585 to 486.585 m

|                                 |                   |                                                                                              |                    |      |         |      |         |         |           |     |
|---------------------------------|-------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|------|---------|------|---------|---------|-----------|-----|
| <b>LOCATION</b>                 | DATE              | 15/7                                                                                         | 13/7               | 12/7 | 11/7    | 10/7 | 8/7     | 21/6    | 17/6/1994 |     |
|                                 | STEEL ARCH NO.    | 65n                                                                                          | 61n                | 59n  | 57n 56n | 54n  | 52n 51n | 49n 48n | 47n       |     |
|                                 | EXCAVATION METHOD | ← Ha + DB →                                                                                  |                    |      |         |      |         |         |           |     |
|                                 | PROG. (m)         | 3                                                                                            | 3                  | 3    | 2       | 3    | 2       | 1       |           |     |
|                                 | ROCK TYPE         | Dolomite, jointed forming vertical benches. Dolomite floor and brecciated Dolomite at places |                    |      |         |      |         |         |           |     |
| DISTANCE (m. from S. portal)    |                   | 468                                                                                          | 470                | 472  | 474     | 476  | 478     | 480     | 482       | 484 |
| <b>GRAPHIC LOG</b>              | LOG OF FACE       |                                                                                              |                    |      |         |      |         |         |           |     |
|                                 | REMARKS           |                                                                                              |                    |      |         |      |         |         |           |     |
|                                 | LOG OF TUNNEL     |                                                                                              |                    |      |         |      |         |         |           |     |
|                                 | REMARKS           |                                                                                              |                    |      |         |      |         |         |           |     |
| <b>DISCONTINUITIES</b>          | SYMBOL            | J1                                                                                           | J2                 |      |         |      |         |         |           |     |
|                                 | DIP/DIP DIRECTION | 90°/260°                                                                                     | 80°/10°            |      |         |      |         |         |           |     |
|                                 | CONTINUITY (m)    | 3                                                                                            | 3                  |      |         |      |         |         |           |     |
|                                 | SEPARATION (cm)   | 1-3                                                                                          | 1-3                |      |         |      |         |         |           |     |
|                                 | SPACING (cm)      | 10-50                                                                                        | 10-50              |      |         |      |         |         |           |     |
|                                 | IN-FILLING        | Cl, weathered rock                                                                           | Cl, weathered rock |      |         |      |         |         |           |     |
|                                 | WAVINESS          | Un                                                                                           | Un                 |      |         |      |         |         |           |     |
|                                 | ROUGHNESS         | Ro                                                                                           | Ro                 |      |         |      |         |         |           |     |
|                                 | REMARKS           |                                                                                              |                    |      |         |      |         |         |           |     |
| WATER IN-FLOW                   |                   | ← Dr →                                                                                       |                    |      |         |      |         |         |           |     |
| <b>SUPPORT</b>                  | ACTUAL            | SA(s = 1m) + S(mr) 30cm                                                                      |                    |      |         |      |         |         |           |     |
|                                 | DESIGN BY 'Q'     | 13, 14, 18, 22, 23, 31, 35                                                                   |                    |      |         |      |         |         |           |     |
|                                 | DESIGN BY 'RMR'   | 2, 3, 4                                                                                      |                    |      |         |      |         |         |           |     |
| OVER-BREAK                      |                   |                                                                                              |                    |      |         |      |         |         |           |     |
| STRENGTH UN / PL. (MPa)         |                   |                                                                                              |                    |      |         |      |         |         |           |     |
| <b>ROCK MASS CLASSIFICATION</b> | 'Q'               | 0.025 - 0.31, 22 - 11.7                                                                      |                    |      |         |      |         |         |           |     |
|                                 | 'RMR'             | 26 - 49, 51 - 79                                                                             |                    |      |         |      |         |         |           |     |
| SPECIAL OPERATION               |                   | PH                                                                                           |                    |      |         |      |         |         |           |     |

Longitudinal Scale:

# GILO LONG TUNNEL

## Summary of Engineering geological data

Section No. 451 from 485.585 to 506.585 m

| LOCATION                 |  | DATE                         | 14/6                                                                                              | 13/6     | 12/6 | 9/6 | 8/6                     | 7/6/1994 |     |     |                           |    |     |    |   |
|--------------------------|--|------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|------|-----|-------------------------|----------|-----|-----|---------------------------|----|-----|----|---|
|                          |  | STEEL ARCH NO.               | 45n                                                                                               | 43n      | 41n  | X   | IX                      | VIII     | VII | VI  | V                         | IV | III | II | I |
| GRAPHIC LOG              |  | EXCAVATION                   | ← DB + Ha →                                                                                       |          |      |     |                         |          |     |     |                           |    |     |    |   |
|                          |  | METHOD                       |                                                                                                   |          |      |     |                         |          |     |     |                           |    |     |    |   |
| DISCONTINUITIES          |  | PROG. (m)                    | 4.8                                                                                               | 2.2      | 2    | 2   | 3                       | 5.5      |     |     |                           |    |     |    |   |
|                          |  | ROCK TYPE                    | Massive Dolomite and jointed Dolomite forming vertical benches. Dolomite flour and Clay at places |          |      |     |                         |          |     |     |                           |    |     |    |   |
| LOG OF FACE              |  | DISTANCE (m. from S. portal) | 488                                                                                               | 490      | 492  | 494 | 496                     | 498      | 500 | 502 | 504                       |    |     |    |   |
|                          |  | LOG OF TUNNEL                |                                                                                                   |          |      |     |                         |          |     |     |                           |    |     |    |   |
| REMARKS                  |  | REMARKS                      |                                                                                                   |          |      |     |                         |          |     |     |                           |    |     |    |   |
|                          |  | REMARKS                      |                                                                                                   |          |      |     |                         |          |     |     |                           |    |     |    |   |
| SUPPORT                  |  | SYMBOL                       | J1                                                                                                | J2       |      |     |                         |          |     |     |                           |    |     |    |   |
|                          |  | DIP/DIP DIRECTION            | 90°/250°                                                                                          | 80°/360° |      |     |                         |          |     |     |                           |    |     |    |   |
|                          |  | CONTINUITY (m)               | 3                                                                                                 | 3        |      |     |                         |          |     |     |                           |    |     |    |   |
|                          |  | SEPARATION (cm)              | < 1                                                                                               | < 1      |      |     |                         |          |     |     |                           |    |     |    |   |
|                          |  | SPACING (cm)                 | 10 - 60                                                                                           | 10 - 60  |      |     |                         |          |     |     |                           |    |     |    |   |
|                          |  | IN-FILLING                   | Cl                                                                                                | Cl       |      |     |                         |          |     |     |                           |    |     |    |   |
|                          |  | WAVINESS                     | Un                                                                                                | Un       |      |     |                         |          |     |     |                           |    |     |    |   |
|                          |  | ROUGHNESS                    | Ro                                                                                                | Ro       |      |     |                         |          |     |     |                           |    |     |    |   |
| WATER IN-FLOW            |  | REMARKS                      |                                                                                                   |          |      |     |                         |          |     |     |                           |    |     |    |   |
|                          |  | ACTUAL                       | SA(s = 1.5m) + S(mr) 30cm + B(tg) 3 - 4m                                                          |          |      |     | SA(s = 1m) + S(mr) 30cm |          |     |     | B(tg) 3 - 4m + S(mr) 12cm |    |     |    |   |
|                          |  | DESIGN BY 'Q'                | 13, 14, 18, 22, 23, 31, 35                                                                        |          |      |     |                         |          |     |     | 9, 13, 14, 18             |    |     |    |   |
| OVER-BREAK               |  | DESIGN BY 'RMR'              | 2, 3, 4                                                                                           |          |      |     |                         |          |     |     | 1, 2                      |    |     |    |   |
|                          |  | STRENGTH                     | 6.6    6.95<br><small>MPa / PL (MPa)</small>                                                      |          |      |     |                         |          |     |     |                           |    |     |    |   |
| ROCK MASS CLASSIFICATION |  | 'Q'                          | 0.025 - 0.31, 2.2 - 11.7                                                                          |          |      |     |                         |          |     |     | 6.7 - 66.7                |    |     |    |   |
|                          |  | 'RMR'                        | 26 - 49, 51 - 79                                                                                  |          |      |     |                         |          |     |     | 61 - 93                   |    |     |    |   |
| SPECIAL OPERATION        |  |                              |                                                                                                   |          |      |     |                         |          |     |     |                           |    |     |    |   |
|                          |  |                              |                                                                                                   |          |      |     |                         |          |     |     |                           |    |     |    |   |

Longitudinal Scale:

# GILO LONG TUNNEL

## Summary of Engineering geological data

Section No. 452 from 506.585 to 526.585 m

|                                 |                   |                                                           |                                                     |     |     |     |          |     |     |     |                    |  |           |  |
|---------------------------------|-------------------|-----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-----|-----|-----|----------|-----|-----|-----|--------------------|--|-----------|--|
| <b>LOCATION</b>                 | DATE              |                                                           | 6/6                                                 |     | 3/6 |     | 3/6      |     | 2/6 |     | 1/6                |  | 31/5/1994 |  |
|                                 | STEEL ARCH NO.    |                                                           |                                                     |     |     |     |          |     |     |     |                    |  |           |  |
|                                 | EXCAVATION        | METHOD                                                    | DB + Ha                                             |     |     |     |          |     |     |     |                    |  |           |  |
|                                 |                   | PROG. (m)                                                 | 5.1                                                 | 2.4 | 3   | 3   | 3        | 2.8 | 2.8 |     |                    |  |           |  |
| ROCK TYPE                       |                   | Massive Dolomite with some karstic phenomenon and Gravels |                                                     |     |     |     |          |     |     |     |                    |  |           |  |
| DISTANCE (m. from S. portal)    |                   | 508                                                       | 510                                                 | 512 | 514 | 516 | 518      | 520 | 522 | 524 |                    |  |           |  |
| <b>GRAPHIC LOG</b>              | LOG OF FACE       |                                                           |                                                     |     |     |     |          |     |     |     |                    |  |           |  |
|                                 | REMARKS           |                                                           |                                                     |     |     |     |          |     |     |     |                    |  |           |  |
|                                 | LOG OF TUNNEL     |                                                           |                                                     |     |     |     |          |     |     |     |                    |  |           |  |
| <b>DISCONTINUITIES</b>          | REMARKS           |                                                           |                                                     |     |     |     |          |     |     |     |                    |  |           |  |
|                                 | SYMBOL            |                                                           | J3                                                  |     |     |     | J1       |     |     |     | J2                 |  |           |  |
|                                 | DIP/DIP DIRECTION |                                                           | 80°/300°                                            |     |     |     | 90°/240° |     |     |     | 90°/020°           |  |           |  |
|                                 | CONTINUITY (m)    |                                                           | 6                                                   |     |     |     | 3        |     |     |     | 6                  |  |           |  |
|                                 | SEPARATION (cm)   |                                                           | 15 - 20                                             |     |     |     | 10 - 15  |     |     |     | 10 - 15            |  |           |  |
|                                 | SPACING (cm)      |                                                           |                                                     |     |     |     |          |     |     |     |                    |  |           |  |
|                                 | IN-FILLING        |                                                           | Cl, Ca                                              |     |     |     | Cl, Ca   |     |     |     | Cl, weathered rock |  |           |  |
|                                 | WAVINESS          |                                                           | St                                                  |     |     |     | Un       |     |     |     | Un                 |  |           |  |
|                                 | ROUGHNESS         |                                                           |                                                     |     |     |     |          |     |     |     | Ro                 |  |           |  |
|                                 | REMARKS           |                                                           |                                                     |     |     |     |          |     |     |     |                    |  |           |  |
| WATER IN-FLOW                   |                   | Da                                                        |                                                     |     |     |     |          |     |     |     |                    |  |           |  |
| <b>SUPPORT</b>                  | ACTUAL            |                                                           | B(ltg) at roof & (ulg) in walls 3 - 4m + S(mr) 12cm |     |     |     |          |     |     |     |                    |  |           |  |
|                                 | DESIGN BY 'Q'     |                                                           | 9, 13, 14, 18                                       |     |     |     |          |     |     |     |                    |  |           |  |
|                                 | DESIGN BY 'RMR'   |                                                           | 1, 2                                                |     |     |     |          |     |     |     |                    |  |           |  |
| OVER-BREAK                      |                   |                                                           |                                                     |     |     |     |          |     |     |     |                    |  |           |  |
| STRENGTH UN./PL. (MPa)          |                   |                                                           |                                                     |     |     |     |          |     |     |     |                    |  |           |  |
| <b>ROCK MASS CLASSIFICATION</b> | 'Q'               |                                                           | 6.7 - 66.7                                          |     |     |     |          |     |     |     |                    |  |           |  |
|                                 | 'RMR'             |                                                           | 61 - 93                                             |     |     |     |          |     |     |     |                    |  |           |  |
| SPECIAL OPERATION               |                   |                                                           |                                                     |     |     |     |          |     |     |     |                    |  |           |  |

Longitudinal Scale:

# GILO LONG TUNNEL

## Summary of Engineering geological data

Section No. 453 from 526.585 to 546.585 m

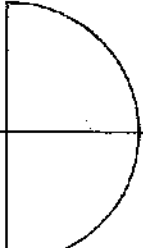
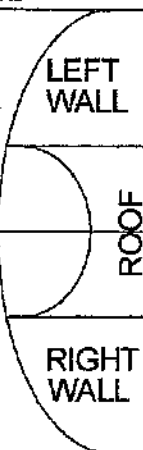
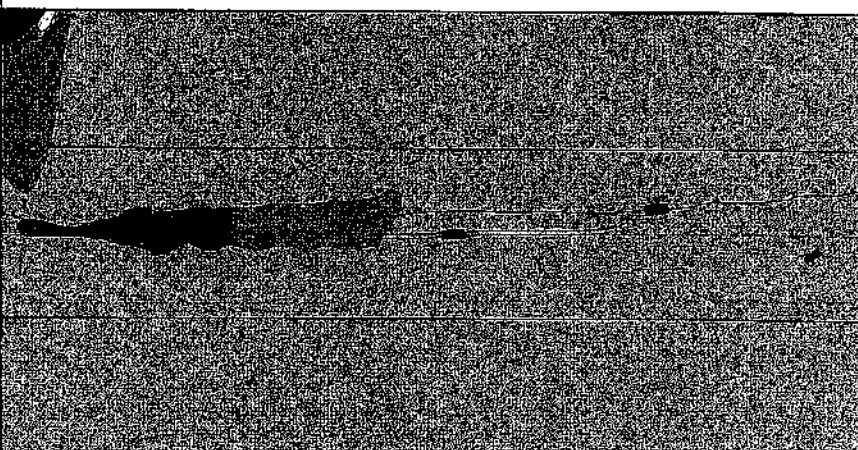
|                                 |                              |           |                                                           |      |      |      |           |     |     |     |     |
|---------------------------------|------------------------------|-----------|-----------------------------------------------------------|------|------|------|-----------|-----|-----|-----|-----|
| <b>LOCATION</b>                 | DATE                         |           | 17/4                                                      | 23/5 | 26/6 | 25/5 | 24/5/1994 |     |     |     |     |
|                                 | STEEL ARCH NO.               |           |                                                           |      |      |      |           |     |     |     |     |
|                                 | EXCAVATION                   | METHOD    | DB                                                        |      |      |      |           |     |     |     |     |
|                                 |                              | PROG. (m) | 7.4                                                       | 3.8  | 2.8  | 3.4  | 3         |     |     |     |     |
| <b>GRAPHIC LOG</b>              | ROCK TYPE                    |           | Massive Dolomite with some karstic phenomenon and Gravels |      |      |      |           |     |     |     |     |
|                                 | DISTANCE (m. from S. portal) |           | 528                                                       | 530  | 532  | 534  | 536       | 538 | 540 | 542 | 544 |
|                                 | LOG OF FACE                  |           |                                                           |      |      |      |           |     |     |     |     |
| <b>DISCONTINUITIES</b>          | REMARKS                      |           |                                                           |      |      |      |           |     |     |     |     |
|                                 | LOG OF TUNNEL                |           |                                                           |      |      |      |           |     |     |     |     |
|                                 | REMARKS                      |           |                                                           |      |      |      |           |     |     |     |     |
| <b>DISCONTINUITIES</b>          | SYMBOL                       |           | J1                                                        |      |      |      |           |     |     |     |     |
|                                 | DIP/DIP DIRECTION            |           | 90°/270°                                                  |      |      |      |           |     |     |     |     |
|                                 | CONTINUITY (m)               |           | 2 - 3                                                     |      |      |      |           |     |     |     |     |
|                                 | SEPARATION (cm)              |           | 1 - 2                                                     |      |      |      |           |     |     |     |     |
|                                 | SPACING (cm)                 |           | 300                                                       |      |      |      |           |     |     |     |     |
|                                 | IN-FILLING                   |           | Cl, Ca                                                    |      |      |      |           |     |     |     |     |
|                                 | WAVINESS                     |           | Un                                                        |      |      |      |           |     |     |     |     |
|                                 | ROUGHNESS                    |           | Ro                                                        |      |      |      |           |     |     |     |     |
|                                 | REMARKS                      |           |                                                           |      |      |      |           |     |     |     |     |
|                                 | WATER IN-FLOW                |           | Da                                                        |      |      |      |           |     |     |     |     |
| <b>SUPPORT</b>                  | ACTUAL                       |           | B(ttg) at roof & (utg) in walls 3 - 4m + S(mr) 12cm       |      |      |      |           |     |     |     |     |
|                                 | DESIGN BY 'Q'                |           | 9, 13, 14, 18                                             |      |      |      |           |     |     |     |     |
|                                 | DESIGN BY 'RMR'              |           | 1, 2                                                      |      |      |      |           |     |     |     |     |
| OVER-BREAK                      |                              |           |                                                           |      |      |      |           |     |     |     |     |
| STRENGTH UN. / PL. (MPa)        |                              |           |                                                           |      |      |      |           |     |     |     |     |
| <b>ROCK MASS CLASSIFICATION</b> | 'Q'                          |           | 6.7 - 68.7                                                |      |      |      |           |     |     |     |     |
|                                 | 'RMR'                        |           | 61 - 93                                                   |      |      |      |           |     |     |     |     |
| SPECIAL OPERATION               |                              |           |                                                           |      |      |      |           |     |     |     |     |

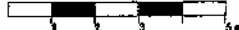
Longitudinal Scale:

# GILO LONG TUNNEL

## Summary of Engineering geological data

Section No. 454 from 548.585 to 568.585 m

|                                 |                                                                                    |           |                                                                                     |        |      |           |         |  |  |  |
|---------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------|------|-----------|---------|--|--|--|
| <b>LOCATION</b>                 | DATE                                                                               |           | 17/4                                                                                | 22/5   | 20/5 | 19/5/1984 |         |  |  |  |
|                                 | STEEL ARCH NO.                                                                     |           |                                                                                     |        |      |           |         |  |  |  |
|                                 | EXCAVATION                                                                         | METHOD    | ← DB →                                                                              |        |      |           |         |  |  |  |
|                                 |                                                                                    | PROG. (m) | 3                                                                                   | 2.5    | 2.5  | 11        |         |  |  |  |
| <b>GRAPHIC LOG</b>              | ROCK TYPE                                                                          |           | Massive Dolomite with some karstic phenomenon and Gravels                           |        |      |           |         |  |  |  |
|                                 | DISTANCE (m. from S. portal)                                                       |           | 548                                                                                 | 550    | 552  | 554       | 556     |  |  |  |
| <b>LOG OF FACE</b>              |   |           |    |        |      |           |         |  |  |  |
|                                 |                                                                                    |           |    |        |      |           |         |  |  |  |
|                                 |                                                                                    |           |  |        |      |           |         |  |  |  |
| <b>LOG OF TUNNEL</b>            |  |           |  |        |      |           |         |  |  |  |
|                                 |                                                                                    |           |                                                                                     |        |      |           | REMARKS |  |  |  |
|                                 |                                                                                    |           |                                                                                     |        |      |           | REMARKS |  |  |  |
| <b>DISCONTINUITIES</b>          | SYMBOL                                                                             |           | J3                                                                                  |        |      |           |         |  |  |  |
|                                 | DIP/DIP DIRECTION                                                                  |           | 75°/290°                                                                            |        |      |           |         |  |  |  |
|                                 | CONTINUITY (m)                                                                     |           | > 10                                                                                |        |      |           |         |  |  |  |
|                                 | SEPARATION (cm)                                                                    |           | 10 - 150                                                                            |        |      |           |         |  |  |  |
|                                 | SPACING (cm)                                                                       |           |                                                                                     |        |      |           |         |  |  |  |
|                                 | IN-FILLING                                                                         |           | Cl, Ca                                                                              |        |      |           |         |  |  |  |
|                                 | WAVINESS                                                                           |           | St                                                                                  |        |      |           |         |  |  |  |
|                                 | ROUGHNESS                                                                          |           |                                                                                     |        |      |           |         |  |  |  |
| REMARKS                         |                                                                                    |           |                                                                                     |        |      |           |         |  |  |  |
| WATER IN-FLOW                   |                                                                                    | ← Da →    |                                                                                     | ← Dr → |      |           |         |  |  |  |
| <b>SUPPORT</b>                  | ACTUAL                                                                             |           | B(fg) at roof & (utg) in walls 3 - 4m + S(mr) 12cm                                  |        |      |           |         |  |  |  |
|                                 | DESIGN BY 'Q'                                                                      |           | 9, 13, 14, 18                                                                       |        |      |           |         |  |  |  |
|                                 | DESIGN BY 'RMR'                                                                    |           | 1, 2                                                                                |        |      |           |         |  |  |  |
| OVER-BREAK                      |                                                                                    |           |                                                                                     |        |      |           |         |  |  |  |
| STRENGTH UN. / PL. (MPa)        |                                                                                    |           |                                                                                     |        |      |           |         |  |  |  |
| <b>ROCK MASS CLASSIFICATION</b> | 'Q'                                                                                |           | 6.7 - 66.7                                                                          |        |      |           |         |  |  |  |
|                                 | 'RMR'                                                                              |           | 61 - 93                                                                             |        |      |           |         |  |  |  |
| SPECIAL OPERATION               |                                                                                    |           |                                                                                     |        |      |           |         |  |  |  |

Longitudinal Scale: 

# GILO LONG TUNNEL

## Summary of Engineering geological data

Section No. 455 from 566.585 to 588.585 m

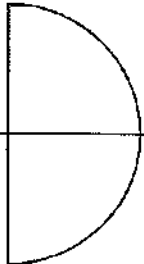
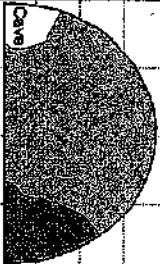
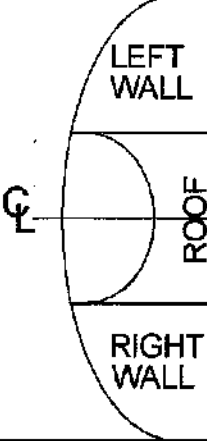
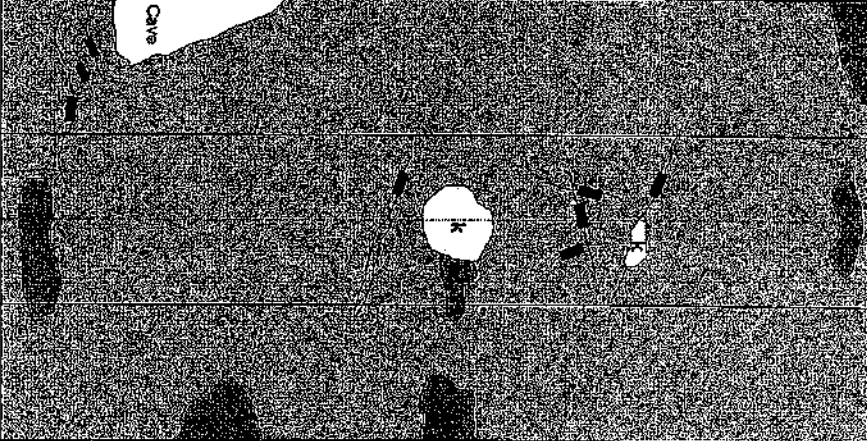
|                          |                              |                 |                                                                                                                                                                           |            |     |     |     |     |     |     |     |
|--------------------------|------------------------------|-----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| <b>LOCATION</b>          | DATE                         |                 | ← 17/5 13/5 12/5 5/5 4/5 3/5 2/5/1994                                                                                                                                     |            |     |     |     |     |     |     |     |
|                          | STEEL ARCH NO.               |                 | 40n 39n 36n 30n                                                                                                                                                           |            |     |     |     |     |     |     |     |
|                          | EXCAVATION                   | METHOD          | ← DB →                                                                                                                                                                    |            |     |     |     |     |     |     |     |
|                          |                              | PROG. (m)       | 3                                                                                                                                                                         | 3.8        | 1.2 | 3   | 5.7 | 2.1 |     |     |     |
| <b>GRAPHIC LOG</b>       | ROCK TYPE                    |                 | Massive Dolomite with some karstic phenomenon and Gravels                                                                                                                 |            |     |     |     |     |     |     |     |
|                          | DISTANCE (m. from S. portal) |                 | 568                                                                                                                                                                       | 670        | 572 | 574 | 676 | 578 | 580 | 582 | 584 |
| <b>DISCONTINUITIES</b>   | LOG OF FACE                  |                 |                                                                                                                                                                           |            |     |     |     |     |     |     |     |
|                          | REMARKS                      |                 |                                                                                                                                                                           |            |     |     |     |     |     |     |     |
|                          | REMARKS                      |                 | <p>SYMBOL</p> <p>DIP/DIP DIRECTION</p> <p>CONTINUITY (m)</p> <p>SEPARATION (cm)</p> <p>SPACING (cm)</p> <p>IN-FILLING</p> <p>WAVINESS</p> <p>ROUGHNESS</p> <p>REMARKS</p> |            |     |     |     |     |     |     |     |
| WATER IN-FLOW            |                              |                 | ← Dr →                                                                                                                                                                    |            |     |     |     |     |     |     |     |
| <b>SUPPORT</b>           | ACTUAL                       |                 | $B_{(tg)} \text{ at roof \& (utg) in walls } 3-4m + S_{(mr)} 12cm$ $SA(s = 1m) + S_{(mr)} 30cm + Gr$ $B_{(tg)} \text{ at roof \& (utg) in walls } 3 - 4m + S_{(mr)} 12cm$ |            |     |     |     |     |     |     |     |
|                          | DESIGN BY 'Q'                |                 | 9, 13, 14, 18                                                                                                                                                             |            |     |     |     |     |     |     |     |
|                          | DESIGN BY 'RMR'              |                 | 1, 2                                                                                                                                                                      |            |     |     |     |     |     |     |     |
| OVER-BREAK               |                              |                 |                                                                                                                                                                           |            |     |     |     |     |     |     |     |
| STRENGTH                 |                              | UN. / PL. (MPa) |                                                                                                                                                                           |            |     |     |     |     |     |     |     |
| ROCK MASS CLASSIFICATION |                              | 'Q'             |                                                                                                                                                                           | 6.7 - 66.7 |     |     |     |     |     |     |     |
|                          |                              | 'RMR'           |                                                                                                                                                                           | 61 - 93    |     |     |     |     |     |     |     |
| SPECIAL OPERATION        |                              |                 |                                                                                                                                                                           |            |     |     |     |     |     |     |     |

Longitudinal Scale:

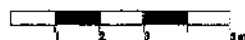
# GILO LONG TUNNEL

## Summary of Engineering geological data

Section No. 456 from 586.585 to 608.585 m

| LOCATION          |  | DATE                         |           | 28/4                                                                               |  | 28/4                                                                                |  | 27/4                                                                               |  | 28/4                                                                                |  | 25/4                  |  | 24/4/1994 |  |     |  |     |  |
|-------------------|--|------------------------------|-----------|------------------------------------------------------------------------------------|--|-------------------------------------------------------------------------------------|--|------------------------------------------------------------------------------------|--|-------------------------------------------------------------------------------------|--|-----------------------|--|-----------|--|-----|--|-----|--|
|                   |  | STEEL ARCH NO.               |           |                                                                                    |  |                                                                                     |  |                                                                                    |  |                                                                                     |  |                       |  |           |  |     |  |     |  |
|                   |  | EXCAVATION                   | METHOD    | ← DB →                                                                             |  |                                                                                     |  |                                                                                    |  |                                                                                     |  |                       |  |           |  |     |  |     |  |
|                   |  |                              | PROG. (m) | 2.9                                                                                |  | 3.2                                                                                 |  | 3                                                                                  |  | 3.2                                                                                 |  | 6.1                   |  |           |  |     |  |     |  |
|                   |  | ROCK TYPE                    |           | Massive Dolomite with some karstic phenomenon and Gravels                          |  |                                                                                     |  |                                                                                    |  |                                                                                     |  |                       |  |           |  |     |  |     |  |
|                   |  | DISTANCE (m. from S. portal) |           | 588                                                                                |  | 590                                                                                 |  | 592                                                                                |  | 594                                                                                 |  | 596                   |  | 598       |  | 600 |  | 602 |  |
| GRAPHIC LOG       |  | LOG OF FACE                  |           |   |  |    |  |  |  |  |  | Section No. 456 + 137 |  |           |  |     |  |     |  |
|                   |  | REMARKS                      |           |                                                                                    |  |                                                                                     |  |                                                                                    |  |                                                                                     |  |                       |  |           |  |     |  |     |  |
|                   |  | LOG OF TUNNEL                |           |  |  |  |  |                                                                                    |  |                                                                                     |  |                       |  |           |  |     |  |     |  |
| DISCONTINUITIES   |  | REMARKS                      |           |                                                                                    |  |                                                                                     |  |                                                                                    |  |                                                                                     |  |                       |  |           |  |     |  |     |  |
|                   |  | SYMBOL                       |           | Random                                                                             |  |                                                                                     |  |                                                                                    |  |                                                                                     |  |                       |  |           |  |     |  |     |  |
|                   |  | DIP/DIP DIRECTION            |           | 85°/135°                                                                           |  |                                                                                     |  |                                                                                    |  |                                                                                     |  |                       |  |           |  |     |  |     |  |
|                   |  | CONTINUITY (m)               |           | 6                                                                                  |  |                                                                                     |  |                                                                                    |  |                                                                                     |  |                       |  |           |  |     |  |     |  |
|                   |  | SEPARATION (cm)              |           | 1 - 2                                                                              |  |                                                                                     |  |                                                                                    |  |                                                                                     |  |                       |  |           |  |     |  |     |  |
|                   |  | SPACING (cm)                 |           |                                                                                    |  |                                                                                     |  |                                                                                    |  |                                                                                     |  |                       |  |           |  |     |  |     |  |
|                   |  | IN-FILLING                   |           | Ca                                                                                 |  |                                                                                     |  |                                                                                    |  |                                                                                     |  |                       |  |           |  |     |  |     |  |
|                   |  | WAVINESS                     |           | Pl - Un                                                                            |  |                                                                                     |  |                                                                                    |  |                                                                                     |  |                       |  |           |  |     |  |     |  |
|                   |  | ROUGHNESS                    |           | Rc                                                                                 |  |                                                                                     |  |                                                                                    |  |                                                                                     |  |                       |  |           |  |     |  |     |  |
|                   |  | REMARKS                      |           |                                                                                    |  |                                                                                     |  |                                                                                    |  |                                                                                     |  |                       |  |           |  |     |  |     |  |
| SUPPORT           |  | WATER IN-FLOW                |           | ← Dr →                                                                             |  |                                                                                     |  |                                                                                    |  |                                                                                     |  |                       |  |           |  |     |  |     |  |
|                   |  | ACTUAL                       |           | B((tg) at roof & (utg) in walls) 3 - 4m + S(mr) 12cm                               |  |                                                                                     |  | SA(a = 1m) + S(mr) 30cm + Gr                                                       |  | B((tg) at roof & (utg) in walls) 3 - 4m + S(mr) 12cm                                |  |                       |  |           |  |     |  |     |  |
|                   |  | DESIGN BY 'Q'                |           | 9, 13, 14, 18                                                                      |  |                                                                                     |  |                                                                                    |  |                                                                                     |  |                       |  |           |  |     |  |     |  |
|                   |  | DESIGN BY 'RMR'              |           | 1, 2                                                                               |  |                                                                                     |  |                                                                                    |  |                                                                                     |  |                       |  |           |  |     |  |     |  |
| OVER-BREAK        |  | STRENGTH                     |           |                                                                                    |  |                                                                                     |  |                                                                                    |  |                                                                                     |  |                       |  |           |  |     |  |     |  |
|                   |  | UN. / PL. (MPa)              |           |                                                                                    |  |                                                                                     |  |                                                                                    |  |                                                                                     |  |                       |  |           |  |     |  |     |  |
|                   |  | ROCK MASS CLASSIFICATION     |           | 'Q'                                                                                |  | 6.7 - 66.7                                                                          |  |                                                                                    |  |                                                                                     |  |                       |  |           |  |     |  |     |  |
|                   |  |                              |           | 'RMR'                                                                              |  | 61 - 93                                                                             |  |                                                                                    |  |                                                                                     |  |                       |  |           |  |     |  |     |  |
| SPECIAL OPERATION |  |                              |           |                                                                                    |  |                                                                                     |  |                                                                                    |  |                                                                                     |  |                       |  |           |  |     |  |     |  |
|                   |  |                              |           |                                                                                    |  |                                                                                     |  |                                                                                    |  |                                                                                     |  |                       |  |           |  |     |  |     |  |

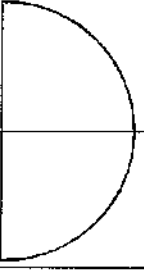
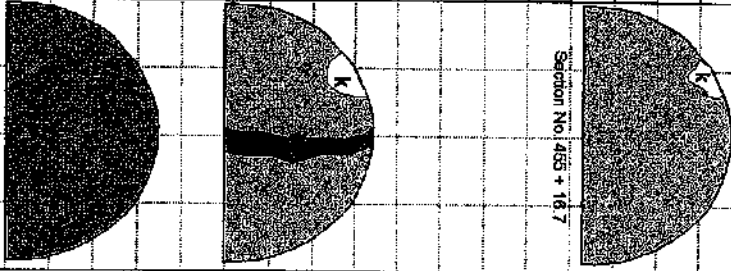
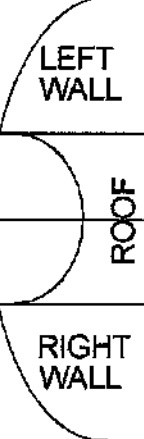
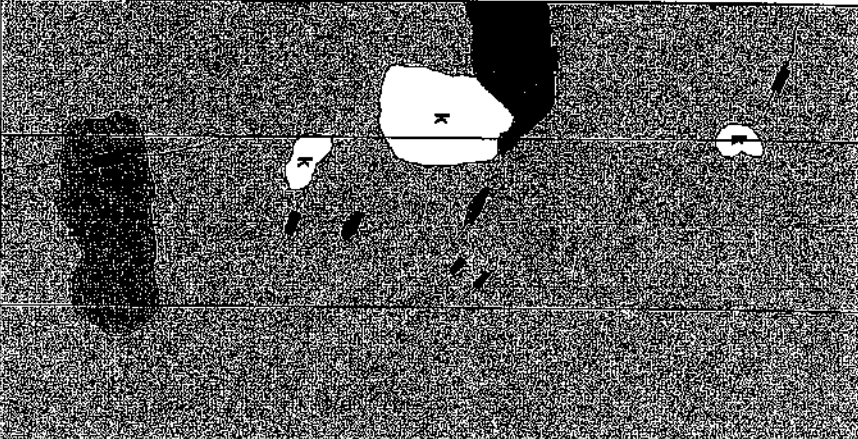
Longitudinal Scale:

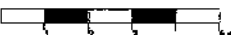


# GILO LONG TUNNEL

## Summary of Engineering geological data

Section No. 455 from 566.585 to 566.585 m

| LOCATION                 |                   | DATE                                                                               | ← 17/5 13/5                                                                         |     | 12/5 5/5 |     | 4/5   |                                                      | 3/5 |     | 2/5/1994 |  |  |
|--------------------------|-------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----|----------|-----|-------|------------------------------------------------------|-----|-----|----------|--|--|
|                          |                   | STEEL ARCH NO.                                                                     | 40n 39n                                                                             |     | 36n      |     | 30n   |                                                      |     |     |          |  |  |
|                          |                   | EXCAVATION METHOD                                                                  | ← DB →                                                                              |     |          |     |       |                                                      |     |     |          |  |  |
|                          |                   | PROG. (m)                                                                          | 3                                                                                   | 3.8 | 1.2      | 3   | 5.7   | 2.1                                                  |     |     |          |  |  |
|                          |                   | ROCK TYPE                                                                          | Massive Dolomite with some karstic phenomenon and Gravels                           |     |          |     |       |                                                      |     |     |          |  |  |
|                          |                   | DISTANCE (m. from S. portal)                                                       | 568                                                                                 | 570 | 572      | 574 | 576   | 578                                                  | 580 | 582 | 584      |  |  |
| GRAPHIC LOG              | LOG OF FACE       |   |   |     |          |     |       |                                                      |     |     |          |  |  |
|                          | REMARKS           |                                                                                    |                                                                                     |     |          |     |       |                                                      |     |     |          |  |  |
|                          | LOG OF TUNNEL     |  |  |     |          |     |       |                                                      |     |     |          |  |  |
| DISCONTINUITIES          | REMARKS           |                                                                                    |                                                                                     |     |          |     |       |                                                      |     |     |          |  |  |
|                          | SYMBOL            | J1                                                                                 |                                                                                     |     |          |     |       | J2                                                   |     |     |          |  |  |
|                          | DIP/DIP DIRECTION | 90°/250°                                                                           |                                                                                     |     |          |     |       | 90°/240° - 270°                                      |     |     |          |  |  |
|                          | CONTINUITY (m)    | 6                                                                                  |                                                                                     |     |          |     |       | 9                                                    |     |     |          |  |  |
|                          | SEPARATION (cm)   | 20 - 40                                                                            |                                                                                     |     |          |     |       | 50 - 150                                             |     |     |          |  |  |
|                          | SPACING (cm)      | 100 - 300                                                                          |                                                                                     |     |          |     |       | 100 - 300                                            |     |     |          |  |  |
|                          | IN-FILLING        | Cl                                                                                 |                                                                                     |     |          |     |       | Cl                                                   |     |     |          |  |  |
|                          | WAVINESS          |                                                                                    |                                                                                     |     |          |     |       | Un                                                   |     |     |          |  |  |
|                          | ROUGHNESS         |                                                                                    |                                                                                     |     |          |     |       | Ro                                                   |     |     |          |  |  |
| REMARKS                  | Karst             |                                                                                    |                                                                                     |     |          |     | Karst |                                                      |     |     |          |  |  |
| WATER IN-FLOW            |                   | ← Dr →                                                                             |                                                                                     |     |          |     |       |                                                      |     |     |          |  |  |
| SUPPORT                  | ACTUAL            | B((tg) at roof & (utg) in walls) 3-4m + S(mr) 12cm                                 | SA(s = 1m) + S(mr) 30cm + Gr                                                        |     |          |     |       | B((tg) at roof & (utg) in walls) 3 - 4m + S(mr) 12cm |     |     |          |  |  |
|                          | DESIGN BY 'Q'     |                                                                                    |                                                                                     |     |          |     |       |                                                      |     |     |          |  |  |
|                          | DESIGN BY 'RMR'   | 9, 13, 14, 18                                                                      |                                                                                     |     |          |     |       |                                                      |     |     |          |  |  |
| OVER-BREAK               |                   |                                                                                    |                                                                                     |     |          |     |       |                                                      |     |     |          |  |  |
| STRENGTH                 | UN. / PL. (MPa)   |                                                                                    |                                                                                     |     |          |     |       |                                                      |     |     |          |  |  |
| ROCK MASS CLASSIFICATION | 'Q'               | 6.7 - 66.7                                                                         |                                                                                     |     |          |     |       |                                                      |     |     |          |  |  |
|                          | 'RMR'             | 61 - 93                                                                            |                                                                                     |     |          |     |       |                                                      |     |     |          |  |  |
| SPECIAL OPERATION        |                   |                                                                                    |                                                                                     |     |          |     |       |                                                      |     |     |          |  |  |

Longitudinal Scale: 

# GILO LONG TUNNEL

## Summary of Engineering geological data

Section No. 456 from 586.585 to 606.585 m

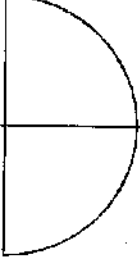
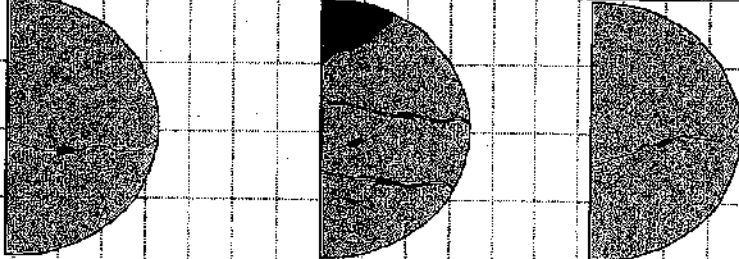
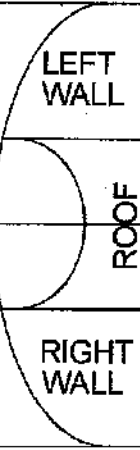
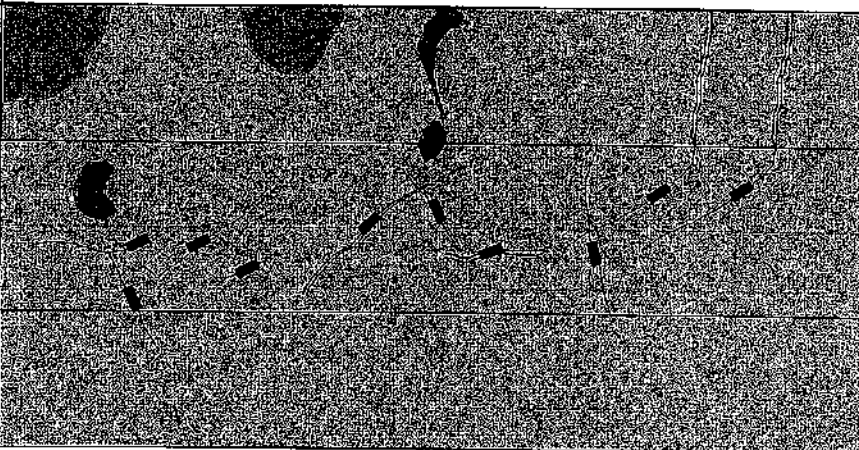
|                                 |                              |                                                           |        |                              |      |                                                    |           |
|---------------------------------|------------------------------|-----------------------------------------------------------|--------|------------------------------|------|----------------------------------------------------|-----------|
| <b>LOCATION</b>                 | DATE                         | 28/4                                                      | 28/4   | 27/4                         | 28/4 | 25/4                                               | 24/4/1994 |
|                                 | STEEL ARCH NO.               |                                                           |        |                              |      |                                                    |           |
|                                 | EXCAVATION METHOD            | ← DB →                                                    |        |                              |      |                                                    |           |
|                                 | PROG. (m)                    | 2.9                                                       | 3.2    | 3                            | 3.2  | 6.1                                                |           |
|                                 | ROCK TYPE                    | Massive Dolomite with some karstic phenomenon and Gravels |        |                              |      |                                                    |           |
| <b>GRAPHIC LOG</b>              | DISTANCE (m. from S. portal) | 588                                                       | 590    | 592                          | 594  | 596                                                | 600       |
|                                 | LOG OF FACE                  |                                                           |        |                              |      |                                                    |           |
|                                 | REMARKS                      |                                                           |        |                              |      |                                                    |           |
|                                 | LOG OF TUNNEL                |                                                           |        |                              |      |                                                    |           |
|                                 | REMARKS                      |                                                           |        |                              |      |                                                    |           |
| <b>DISCONTINUITIES</b>          | SYMBOL                       |                                                           |        |                              |      |                                                    |           |
|                                 | DIP/DIP DIRECTION            | Random                                                    |        |                              |      |                                                    |           |
|                                 | CONTINUITY (m)               | 85°/135°                                                  |        |                              |      |                                                    |           |
|                                 | SEPARATION (cm)              | 6                                                         |        |                              |      |                                                    |           |
|                                 | SPACING (cm)                 | 1 - 2                                                     |        |                              |      |                                                    |           |
|                                 | IN-FILLING                   | Ca                                                        |        |                              |      |                                                    |           |
|                                 | WAVINESS                     | Pl - Un                                                   |        |                              |      |                                                    |           |
|                                 | ROUGHNESS                    | Ro                                                        |        |                              |      |                                                    |           |
|                                 | REMARKS                      |                                                           |        |                              |      |                                                    |           |
|                                 | WATER IN-FLOW                |                                                           | ← Dr → |                              |      |                                                    |           |
| <b>SUPPORT</b>                  | ACTUAL                       | B(tg) at roof & (utg) in walls 3 - 4m + S(mr) 12cm        |        | SA(s = 1m) + S(mr) 30cm + Gr |      | B(tg) at roof & (utg) in walls 3 - 4m + S(mr) 12cm |           |
|                                 | DESIGN BY 'Q'                | 9, 13, 14, 18                                             |        |                              |      |                                                    |           |
|                                 | DESIGN BY 'RMR'              | 1, 2                                                      |        |                              |      |                                                    |           |
| OVER-BREAK                      |                              |                                                           |        |                              |      |                                                    |           |
| STRENGTH UN. / PL. (MPa)        |                              |                                                           |        |                              |      |                                                    |           |
| <b>ROCK MASS CLASSIFICATION</b> | 'Q'                          | 6.7 - 66.7                                                |        |                              |      |                                                    |           |
|                                 | 'RMR'                        | 61 - 93                                                   |        |                              |      |                                                    |           |
| SPECIAL OPERATION               |                              |                                                           |        |                              |      |                                                    |           |

Longitudinal Scale: 100m

# GILO LONG TUNNEL

## Summary of Engineering geological data

Section No. 457 from 606.585 to 626.585 m

| LOCATION          |  | DATE                                                                               | 23/4                                                                                | 21/4 | 20/4 | 19/4     | 18/4 | 18/4 | 17/4/1994 |
|-------------------|--|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------|------|----------|------|------|-----------|
|                   |  | STEEL ARCH NO.                                                                     |                                                                                     |      |      |          |      |      |           |
| GRAPHIC LOG       |  | EXCAVATION                                                                         | ← DB →                                                                              |      |      |          |      |      |           |
|                   |  | METHOD<br>PROG. (m)                                                                | ← 3.1                                                                               | 3    | 3    | 3.2      | 3.2  | 3    | 3         |
| DISCONTINUITIES   |  | ROCK TYPE                                                                          | Massive Dolomite with some karstic phenomenon and Gravels                           |      |      |          |      |      |           |
|                   |  | DISTANCE (m. from S. portal)                                                       | 608                                                                                 | 610  | 612  | 614      | 616  | 618  | 620       |
| LOG OF FACE       |  |   |   |      |      |          |      |      |           |
|                   |  | REMARKS                                                                            |                                                                                     |      |      |          |      |      |           |
| LOG OF TUNNEL     |  |  |  |      |      |          |      |      |           |
|                   |  | REMARKS                                                                            |                                                                                     |      |      |          |      |      |           |
| DISCONTINUITIES   |  | SYMBOL                                                                             | J2                                                                                  |      |      | J2       |      |      |           |
|                   |  | DIP/DIP DIRECTION                                                                  | 80°/230°                                                                            |      |      | 80°/010° |      |      |           |
|                   |  | CONTINUITY (m)                                                                     | 5                                                                                   |      |      | 6        |      |      |           |
|                   |  | SEPARATION (cm)                                                                    | 10-15                                                                               |      |      | 10-15    |      |      |           |
|                   |  | SPACING (cm)                                                                       |                                                                                     |      |      | 300      |      |      |           |
|                   |  | IN-FILLING                                                                         | Cl                                                                                  |      |      | Cl       |      |      |           |
|                   |  | WAVINESS                                                                           | Un                                                                                  |      |      | Un       |      |      |           |
|                   |  | ROUGHNESS                                                                          | Ro                                                                                  |      |      | Ro       |      |      |           |
| SUPPORT           |  | WATER IN-FLOW                                                                      | ← Dr →                                                                              |      |      |          |      |      |           |
|                   |  | ACTUAL                                                                             | B(ltg) at roof & (utg) in walls 3 - 4m + S(mr) 12cm                                 |      |      |          |      |      |           |
|                   |  | DESIGN BY 'Q'                                                                      | 9, 13, 14, 18                                                                       |      |      |          |      |      |           |
| OVER-BREAK        |  | DESIGN BY 'RMR'                                                                    | 1, 2                                                                                |      |      |          |      |      |           |
|                   |  | STRENGTH                                                                           | 7.9 . 8.1 . 6.9                                                                     |      |      |          |      |      |           |
|                   |  | ROCK MASS CLASSIFICATION                                                           | 6.7 - 66.7                                                                          |      |      |          |      |      |           |
| SPECIAL OPERATION |  | 'Q'                                                                                | 61 - 93                                                                             |      |      |          |      |      |           |
|                   |  | 'RMR'                                                                              | 61 - 93                                                                             |      |      |          |      |      |           |

Longitudinal Scale: 

# GILO LONG TUNNEL

## Summary of Engineering geological data

Section No. 458 from 625.585 to 646.585 m

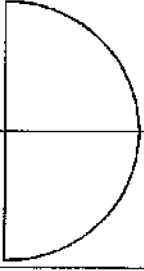
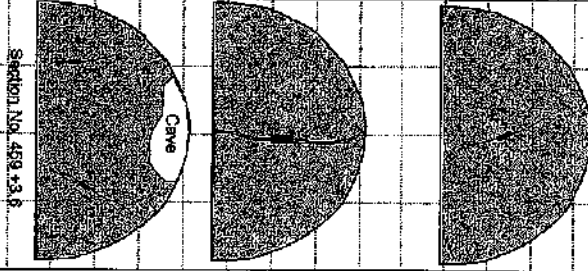
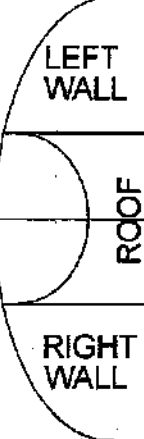
| LOCATION                 |                   | DATE                                                 | 17/4                                                      | 13/4 | 12/4 | 12/4 | 11/4 | 10/4/1994 |       |     |     |
|--------------------------|-------------------|------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|------|------|------|------|-----------|-------|-----|-----|
|                          |                   | STEEL ARCH NO.                                       |                                                           |      |      |      |      |           |       |     |     |
|                          |                   | EXCAVATION METHOD                                    | ← DB →                                                    |      |      |      |      |           |       |     |     |
|                          |                   | PROG. (m)                                            | ← 3.4                                                     | 3.3  | 3    | 3    | 3    | 3         | 3.1 → |     |     |
|                          |                   | ROCK TYPE                                            | Massive Dolomite with some karstic phenomenon and Gravels |      |      |      |      |           |       |     |     |
|                          |                   | DISTANCE (m. from S. portal)                         | 628                                                       | 630  | 632  | 634  | 636  | 638       | 640   | 642 | 644 |
| GRAPHIC LOG              | LOG OF FACE       |                                                      |                                                           |      |      |      |      |           |       |     |     |
|                          | REMARKS           |                                                      |                                                           |      |      |      |      |           |       |     |     |
|                          | LOG OF TUNNEL     |                                                      |                                                           |      |      |      |      |           |       |     |     |
| DISCONTINUITIES          | REMARKS           |                                                      |                                                           |      |      |      |      |           |       |     |     |
|                          | SYMBOL            | J1                                                   |                                                           |      |      |      |      |           |       |     |     |
|                          | DIP/DIP DIRECTION | 90°/260°                                             |                                                           |      |      |      |      |           |       |     |     |
|                          | CONTINUITY (m)    | 2 - 3                                                |                                                           |      |      |      |      |           |       |     |     |
|                          | SEPARATION (cm)   | 10 - 15                                              |                                                           |      |      |      |      |           |       |     |     |
|                          | SPACING (cm)      |                                                      |                                                           |      |      |      |      |           |       |     |     |
|                          | IN-FILLING        | Cl                                                   |                                                           |      |      |      |      |           |       |     |     |
|                          | WAVINESS          | Un                                                   |                                                           |      |      |      |      |           |       |     |     |
|                          | ROUGHNESS         | Ro                                                   |                                                           |      |      |      |      |           |       |     |     |
|                          | REMARKS           |                                                      |                                                           |      |      |      |      |           |       |     |     |
| WATER IN-FLOW            |                   | ← Da →                                               |                                                           |      |      |      |      |           |       |     |     |
| SUPPORT                  | ACTUAL            | B(ttg) at roof & (utg) in walls) 3 - 4m + S(mr) 12cm |                                                           |      |      |      |      |           |       |     |     |
|                          | DESIGN BY 'Q'     | 9, 13, 14, 18                                        |                                                           |      |      |      |      |           |       |     |     |
|                          | DESIGN BY 'RMR'   | 1, 2                                                 |                                                           |      |      |      |      |           |       |     |     |
| OVER-BREAK               |                   |                                                      |                                                           |      |      |      |      |           |       |     |     |
| STRENGTH UN. / PL. (MPa) |                   |                                                      |                                                           |      |      |      |      |           |       |     |     |
| ROCK MASS CLASSIFICATION | 'Q'               | 6.7 - 66.7                                           |                                                           |      |      |      |      |           |       |     |     |
|                          | 'RMR'             | 61 - 93                                              |                                                           |      |      |      |      |           |       |     |     |
| SPECIAL OPERATION        |                   |                                                      |                                                           |      |      |      |      |           |       |     |     |

Longitudinal Scale:

# GILO LONG TUNNEL

## Summary of Engineering geological data

Section No. 459 from 646.585 to 656.585 m

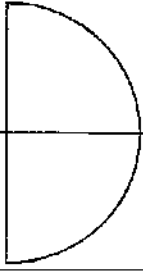
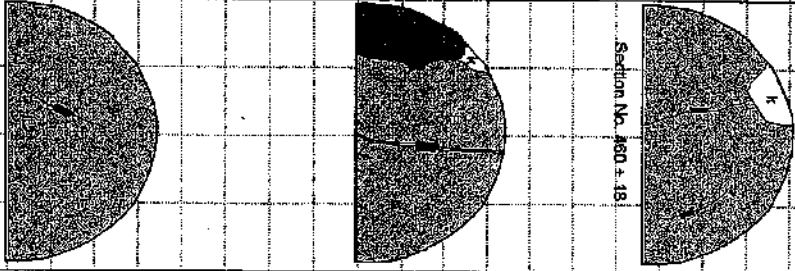
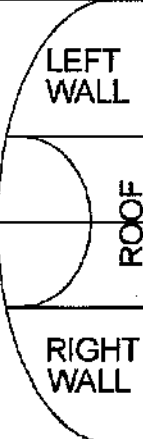
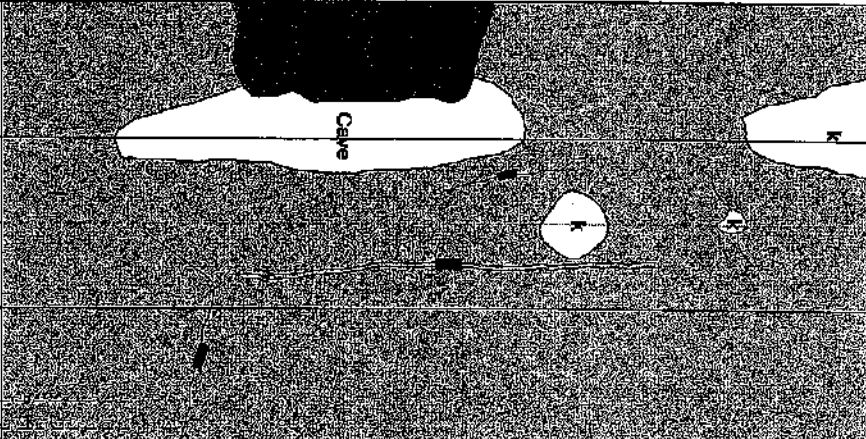
| LOCATION          |  | DATE                                                                              | 8/4                                                                                | 7/4 | 6/4 | 5/4 | 2/4    | 1/4/1994 |     |     |
|-------------------|--|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-----|-----|-----|--------|----------|-----|-----|
|                   |  | STEEL ARCH NO.                                                                    |                                                                                    |     |     |     |        |          |     |     |
| GRAPHIC LOG       |  | EXCAVATION                                                                        | ← DB →                                                                             |     |     |     |        |          |     |     |
|                   |  | METHOD<br>PROG. (m)                                                               | 3                                                                                  | 3   | 3   | 3   | 6.1    | 3        |     |     |
| DISCONTINUITIES   |  | ROCK TYPE                                                                         | Massive Dolomite with some karatic phenomenon and Gravels                          |     |     |     |        |          |     |     |
|                   |  | DISTANCE (m. from S. portal)                                                      | 648                                                                                | 650 | 652 | 654 | 656    | 658      | 660 | 662 |
| LOG OF FACE       |  |  |  |     |     |     |        |          |     |     |
|                   |  | REMARKS                                                                           |                                                                                    |     |     |     |        |          |     |     |
|                   |  | LOG OF TUNNEL                                                                     |  |     |     |     |        |          |     |     |
| DISCONTINUITIES   |  | REMARKS                                                                           |                                                                                    |     |     |     |        |          |     |     |
|                   |  | SYMBOL                                                                            | J2                                                                                 |     |     |     |        |          |     |     |
|                   |  | DIP/DIP DIRECTION                                                                 | 85°/090°                                                                           |     |     |     |        |          |     |     |
|                   |  | CONTINUITY (m)                                                                    | > 11                                                                               |     |     |     |        |          |     |     |
|                   |  | SEPARATION (cm)                                                                   | 10 - 15                                                                            |     |     |     |        |          |     |     |
|                   |  | SPACING (cm)                                                                      |                                                                                    |     |     |     |        |          |     |     |
|                   |  | IN-FILLING                                                                        | Cl                                                                                 |     |     |     |        |          |     |     |
|                   |  | WAVINESS                                                                          | Un                                                                                 |     |     |     |        |          |     |     |
|                   |  | ROUGHNESS                                                                         | Ro                                                                                 |     |     |     |        |          |     |     |
|                   |  | REMARKS                                                                           |                                                                                    |     |     |     |        |          |     |     |
| SUPPORT           |  | WATER IN-FLOW                                                                     | ← Da →                                                                             |     |     |     | ← Dr → |          |     |     |
|                   |  | ACTUAL                                                                            | B(tg) at roof & (ulg) in walls 3 - 4m + S(mr) 12cm                                 |     |     |     |        |          |     |     |
|                   |  | DESIGN BY 'Q'                                                                     | 9, 13, 14, 18                                                                      |     |     |     |        |          |     |     |
| OVER-BREAK        |  | DESIGN BY 'RMR'                                                                   | 1, 2                                                                               |     |     |     |        |          |     |     |
|                   |  | STRENGTH                                                                          | 5.5 - 7.0                                                                          |     |     |     |        |          |     |     |
|                   |  | ROCK MASS CLASSIFICATION                                                          | 6.7 - 66.7                                                                         |     |     |     |        |          |     |     |
| SPECIAL OPERATION |  | 'Q'                                                                               | 61 - 93                                                                            |     |     |     |        |          |     |     |
|                   |  | 'RMR'                                                                             | 61 - 93                                                                            |     |     |     |        |          |     |     |

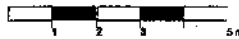
Longitudinal Scale: 

# GILO LONG TUNNEL

## Summary of Engineering geological data

Section No. 460 from 666.585 to 686.585 m

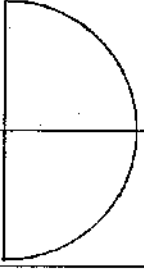
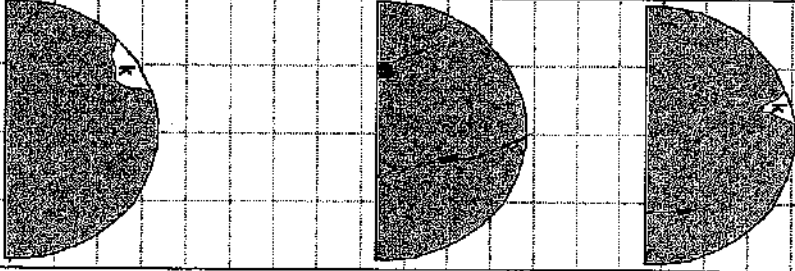
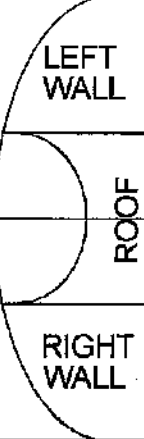
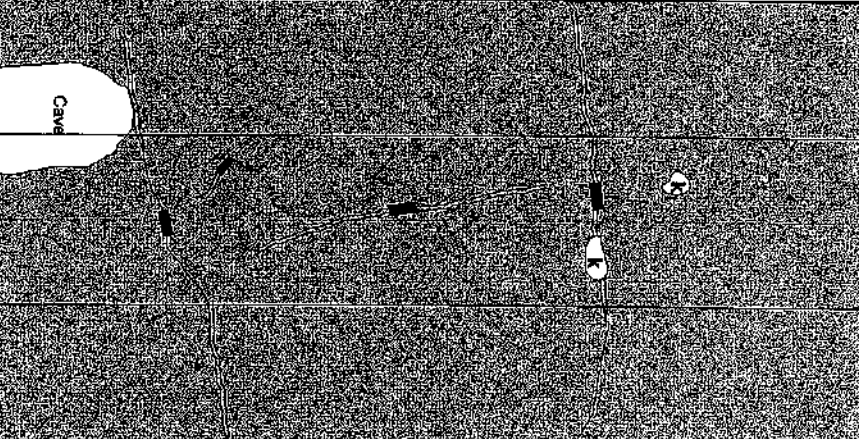
| LOCATION                 |                   | DATE                                                                               | 31/3                                                                                | 30/3 | 29/3 | 28/3 | 25/3     | 24/3 | 20/3/1994 |                             |     |
|--------------------------|-------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------|------|------|----------|------|-----------|-----------------------------|-----|
|                          |                   | STEEL ARCH NO.                                                                     |                                                                                     |      |      |      |          |      |           | 29n 28n 27n                 |     |
|                          |                   | EXCAVATION METHOD                                                                  | ← DB →                                                                              |      |      |      |          |      |           |                             |     |
|                          |                   |                                                                                    | PROG. (m)                                                                           | 3    | 3    | 3    | 2.7      | 3.3  | 3         | 3                           | →   |
|                          |                   | ROCK TYPE                                                                          | Massive Dolomite with some karstic phenomenon and Clay                              |      |      |      |          |      |           |                             |     |
|                          |                   | DISTANCE (m. from S. portal)                                                       | 668                                                                                 | 670  | 672  | 674  | 676      | 678  | 680       | 682                         | 684 |
| GRAPHIC LOG              | LOG OF FACE       |   |   |      |      |      |          |      |           |                             |     |
|                          | REMARKS           |                                                                                    |                                                                                     |      |      |      |          |      |           |                             |     |
|                          | LOG OF TUNNEL     |  |  |      |      |      |          |      |           |                             |     |
| DISCONTINUITIES          | REMARKS           |                                                                                    |                                                                                     |      |      |      |          |      |           |                             |     |
|                          | SYMBOL            |                                                                                    | J3                                                                                  |      |      |      | J2       |      |           |                             |     |
|                          | DIP/DIP DIRECTION |                                                                                    | 80°/300°                                                                            |      |      |      | 90°/010° |      |           |                             |     |
|                          | CONTINUITY (m)    |                                                                                    | 10                                                                                  |      |      |      | 5        |      |           |                             |     |
|                          | SEPARATION (cm)   |                                                                                    | 10 - 15                                                                             |      |      |      | 1 - 3    |      |           |                             |     |
|                          | SPACING (cm)      |                                                                                    |                                                                                     |      |      |      |          |      |           |                             |     |
|                          | IN-FILLING        |                                                                                    | Cl, weathered rock                                                                  |      |      |      | Cl, Ca   |      |           |                             |     |
|                          | WAVINESS          |                                                                                    | St                                                                                  |      |      |      | Un       |      |           |                             |     |
|                          | ROUGHNESS         |                                                                                    | Sl                                                                                  |      |      |      | Ro       |      |           |                             |     |
|                          | REMARKS           |                                                                                    |                                                                                     |      |      |      |          |      |           |                             |     |
| WATER IN-FLOW            |                   | ← Dr →                                                                             |                                                                                     |      |      |      |          |      |           |                             |     |
| SUPPORT                  | ACTUAL            | B(ttg) at roof & (utg) in walls 3 - 4m + S(m) 12cm                                 |                                                                                     |      |      |      |          |      |           | SA(s = 1m) + S(m) 30cm + Gr |     |
|                          | DESIGN BY 'Q'     | 9, 13, 14, 18                                                                      |                                                                                     |      |      |      |          |      |           |                             |     |
|                          | DESIGN BY 'RMR'   | 1, 2                                                                               |                                                                                     |      |      |      |          |      |           |                             |     |
| OVER-BREAK               |                   |                                                                                    |                                                                                     |      |      |      |          |      |           |                             |     |
| STRENGTH                 | UN./PL. (MPa)     |                                                                                    |                                                                                     |      |      |      |          |      |           |                             |     |
| ROCK MASS CLASSIFICATION | 'Q'               | 6.7 - 66.7                                                                         |                                                                                     |      |      |      |          |      |           |                             |     |
|                          | 'RMR'             | 61 - 93                                                                            |                                                                                     |      |      |      |          |      |           |                             |     |
| SPECIAL OPERATION        |                   |                                                                                    |                                                                                     |      |      |      |          |      |           |                             |     |

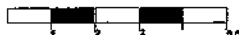
Longitudinal Scale: 

# GILO LONG TUNNEL

## Summary of Engineering geological data

Section No. 461 from 686.585 to 706.585 m

| LOCATION                 |                   | DATE                                                                               | 17/3                                                                                | 18/3   | 15/3 | 14/3               | 13/3     | 11/3 | 10/3/1984 |       |     |
|--------------------------|-------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------|------|--------------------|----------|------|-----------|-------|-----|
|                          |                   | STEEL ARCH NO.                                                                     | 25n                                                                                 | 24n    | 23n  |                    |          |      |           |       |     |
|                          |                   | EXCAVATION                                                                         | METHOD                                                                              | ← DB → |      |                    |          |      |           |       |     |
|                          |                   |                                                                                    | PROG. (m)                                                                           | 2.4    | 3    | 3                  | 3.2      | 3    | 3.1       | 2.3 → |     |
|                          |                   | ROCK TYPE                                                                          | Massive Dolomite with some karstic phenomenon and Clay                              |        |      |                    |          |      |           |       |     |
|                          |                   | DISTANCE (m. from S. portal)                                                       | 688                                                                                 | 690    | 692  | 694                | 696      | 698  | 700       | 702   | 704 |
| GRAPHIC LOG              | LOG OF FACE       |   |   |        |      |                    |          |      |           |       |     |
|                          | REMARKS           |                                                                                    |                                                                                     |        |      |                    |          |      |           |       |     |
|                          | LOG OF TUNNEL     |  |  |        |      |                    |          |      |           |       |     |
| DISCONTINUITIES          | REMARKS           |                                                                                    |                                                                                     |        |      |                    |          |      |           |       |     |
|                          | SYMBOL            | J1                                                                                 |                                                                                     |        |      |                    | J3       |      |           |       |     |
|                          | DIP/DIP DIRECTION | 90°/260°                                                                           |                                                                                     |        |      |                    | 80°/280° |      |           |       |     |
|                          | CONTINUITY (m)    | 2-3                                                                                |                                                                                     |        |      |                    | 6        |      |           |       |     |
|                          | SEPARATION (cm)   | 1                                                                                  |                                                                                     |        |      |                    | 10-15    |      |           |       |     |
|                          | SPACING (cm)      |                                                                                    |                                                                                     |        |      |                    |          |      |           |       |     |
|                          | IN-FILLING        |                                                                                    |                                                                                     |        |      | Cl, weathered rock |          |      |           |       |     |
|                          | WAVINESS          | P1                                                                                 |                                                                                     |        |      |                    | Un       |      |           |       |     |
|                          | ROUGHNESS         | Ro                                                                                 |                                                                                     |        |      |                    | Ro       |      |           |       |     |
|                          | REMARKS           |                                                                                    |                                                                                     |        |      |                    |          |      |           |       |     |
| WATER IN-FLOW            |                   | ← Dr →                                                                             |                                                                                     |        |      |                    |          |      |           |       |     |
| SUPPORT                  | ACTUAL            | SA(s = 1m) + S(mr) 30cm + Gr                                                       | B(ttg) at roof & (utg) in walls 3-4m + S(mr) 12cm                                   |        |      |                    |          |      |           |       |     |
|                          | DESIGN BY 'Q'     | 9, 13, 14, 18                                                                      |                                                                                     |        |      |                    |          |      |           |       |     |
|                          | DESIGN BY 'RMR'   | 1, 2                                                                               |                                                                                     |        |      |                    |          |      |           |       |     |
| OVER-BREAK               |                   |                                                                                    |                                                                                     |        |      |                    |          |      |           |       |     |
| STRENGTH                 | UN. / PL. (MPa)   |                                                                                    |                                                                                     |        |      |                    |          |      |           |       |     |
| ROCK MASS CLASSIFICATION | 'Q'               | 6.7 - 66.7                                                                         |                                                                                     |        |      |                    |          |      |           |       |     |
|                          | 'RMR'             | 61 - 93                                                                            |                                                                                     |        |      |                    |          |      |           |       |     |
| SPECIAL OPERATION        |                   |                                                                                    |                                                                                     |        |      |                    |          |      |           |       |     |

Longitudinal Scale: 

# GILO LONG TUNNEL

## Summary of Engineering geological data

Section No. 462 from 706.585 to 726.585 m

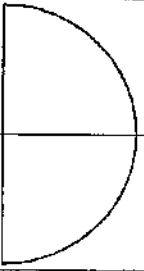
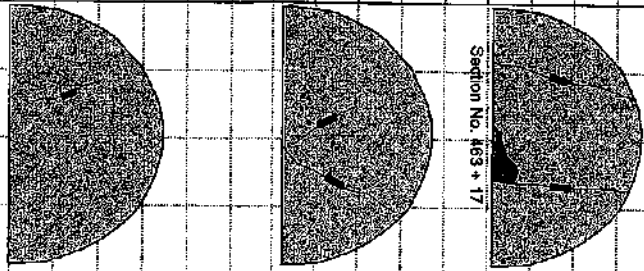
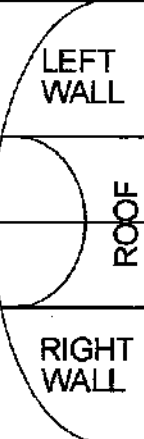
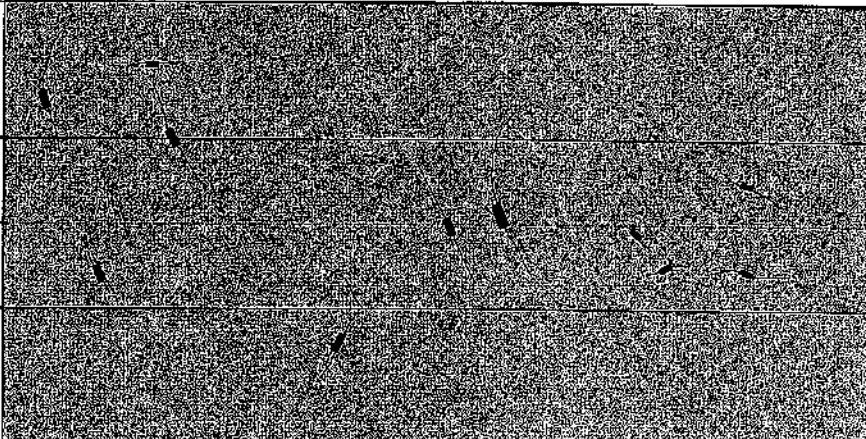
|                          |                              |                                                   |     |            |      |      |      |           |     |     |
|--------------------------|------------------------------|---------------------------------------------------|-----|------------|------|------|------|-----------|-----|-----|
| <b>LOCATION</b>          | DATE                         | 9/3                                               | 8/3 | 1/3        | 27/2 | 25/2 | 24/2 | 23/2/1994 |     |     |
|                          | STEEL ARCH NO.               |                                                   |     |            |      |      |      |           |     |     |
|                          | EXCAVATION METHOD            | ← DB →                                            |     |            |      |      |      |           |     |     |
|                          | PROG. (m)                    | 3                                                 | 3   | 3          | 3    | 3    | 3    |           |     |     |
| <b>GRAPHIC LOG</b>       | ROCK TYPE                    | Massive Dolomite                                  |     |            |      |      |      |           |     |     |
|                          | DISTANCE (m. from S. portal) | 708                                               | 710 | 712        | 714  | 716  | 718  | 720       | 722 | 724 |
|                          | LOG OF FACE                  |                                                   |     |            |      |      |      |           |     |     |
|                          | REMARKS                      |                                                   |     |            |      |      |      |           |     |     |
| <b>DISCONTINUITIES</b>   | LOG OF TUNNEL                |                                                   |     |            |      |      |      |           |     |     |
|                          | REMARKS                      |                                                   |     |            |      |      |      |           |     |     |
|                          | SYMBOL                       | J2                                                |     | J1         |      |      |      |           |     |     |
|                          | DIP/DIP DIRECTION            | 80°/020°                                          |     | 90°/240°   |      |      |      |           |     |     |
| <b>SUPPORT</b>           | CONTINUITY (m)               | 8 - 8                                             |     | 5          |      |      |      |           |     |     |
|                          | SEPARATION (cm)              | 10 - 15                                           |     | 10 - 15    |      |      |      |           |     |     |
|                          | SPACING (cm)                 | 300                                               |     |            |      |      |      |           |     |     |
|                          | IN-FILLING                   | Cl                                                |     | Cl, Ca     |      |      |      |           |     |     |
|                          | WAVINESS                     | Un                                                |     | Un         |      |      |      |           |     |     |
|                          | ROUGHNESS                    | Ro                                                |     | Ro         |      |      |      |           |     |     |
|                          | REMARKS                      |                                                   |     |            |      |      |      |           |     |     |
|                          | WATER IN-FLOW                | ← Dr →                                            |     |            |      |      |      |           |     |     |
| <b>OVER-BREAK</b>        | ACTUAL                       | B(tg) at roof & (utg) in walls 3 - 4m + S(m) 12cm |     |            |      |      |      |           |     |     |
|                          | DESIGN BY 'Q'                | 9, 13, 14, 18                                     |     |            |      |      |      |           |     |     |
|                          | DESIGN BY 'RMR'              | 1, 2                                              |     |            |      |      |      |           |     |     |
| <b>STRENGTH</b>          | UN./PL. (MPa)                |                                                   |     |            |      |      |      |           |     |     |
|                          | ROCK MASS CLASSIFICATION     | 'Q'                                               |     | 6.7 - 68.7 |      |      |      |           |     |     |
| <b>SPECIAL OPERATION</b> |                              | 'RMR'                                             |     | 61 - 93    |      |      |      |           |     |     |
|                          |                              |                                                   |     |            |      |      |      |           |     |     |

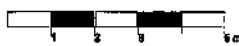
Longitudinal Scale:

# GILO LONG TUNNEL

## Summary of Engineering geological data

Section No. 483 from 726.585 to 746.585 m

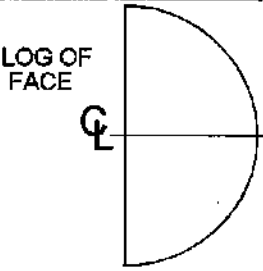
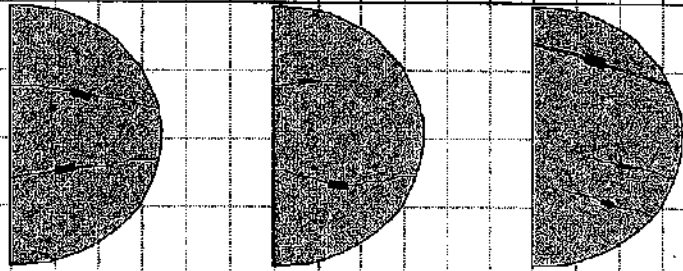
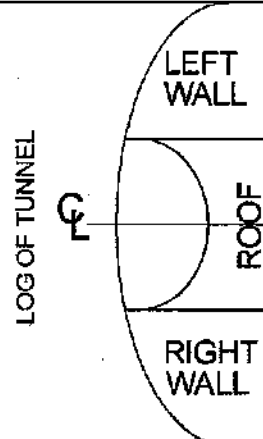
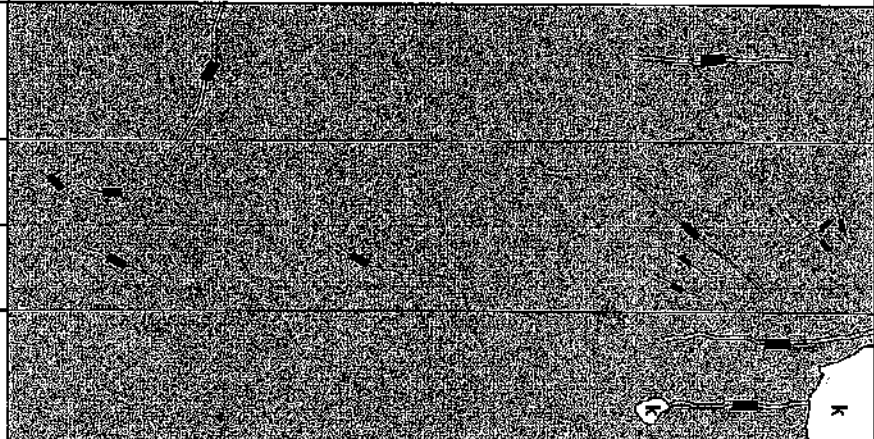
| LOCATION                 |                   | DATE                                                                               | 22/2                                                                                | 21/2 | 20/2 | 17/2 | 16/2      | 15/2/1994 |     |     |     |
|--------------------------|-------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------|------|------|-----------|-----------|-----|-----|-----|
|                          |                   | STEEL ARCH NO.                                                                     |                                                                                     |      |      |      |           |           |     |     |     |
|                          |                   | EXCAVATION METHOD                                                                  | ← DB →                                                                              |      |      |      |           |           |     |     |     |
|                          |                   | PROG. (m)                                                                          | ← 2.6                                                                               | 3.7  | 3    | 3    | 3         | 3         | 3 → |     |     |
|                          |                   | ROCK TYPE                                                                          | Massive Dolomite                                                                    |      |      |      |           |           |     |     |     |
|                          |                   | DISTANCE (m. from S. portal)                                                       | 728                                                                                 | 730  | 732  | 734  | 736       | 738       | 740 | 742 | 744 |
| GRAPHIC LOG              | LOG OF FACE       |   |   |      |      |      |           |           |     |     |     |
|                          | REMARKS           |                                                                                    |                                                                                     |      |      |      |           |           |     |     |     |
|                          | LOG OF TUNNEL     |  |  |      |      |      |           |           |     |     |     |
| DISCONTINUITIES          | REMARKS           |                                                                                    |                                                                                     |      |      |      |           |           |     |     |     |
|                          | SYMBOL            |                                                                                    | J1                                                                                  |      |      |      | J2        |           |     |     |     |
|                          | DIP/DIP DIRECTION |                                                                                    | 90°/242°                                                                            |      |      |      | 90°/10°   |           |     |     |     |
|                          | CONTINUITY (m)    |                                                                                    | 2 - 3                                                                               |      |      |      | 6         |           |     |     |     |
|                          | SEPARATION (cm)   |                                                                                    | 1 - 2                                                                               |      |      |      | 2 - 3     |           |     |     |     |
|                          | SPACING (cm)      |                                                                                    |                                                                                     |      |      |      | 300 - 400 |           |     |     |     |
|                          | IN-FILLING        |                                                                                    | Ca                                                                                  |      |      |      | Cl        |           |     |     |     |
|                          | WAVINESS          |                                                                                    | Un                                                                                  |      |      |      | Un        |           |     |     |     |
|                          | ROUGHNESS         |                                                                                    |                                                                                     |      |      |      | Ro        |           |     |     |     |
|                          | REMARKS           |                                                                                    |                                                                                     |      |      |      |           |           |     |     |     |
| WATER IN-FLOW            |                   |                                                                                    | ← Dr →                                                                              |      |      |      |           |           |     |     |     |
| SUPPORT                  | ACTUAL            |                                                                                    | B(tg) at roof & (utg) in walls 3 - 4m + S(mr) 12cm                                  |      |      |      |           |           |     |     |     |
|                          | DESIGN BY 'Q'     |                                                                                    | 9, 13, 14, 18                                                                       |      |      |      |           |           |     |     |     |
|                          | DESIGN BY 'RMR'   |                                                                                    | 1, 2                                                                                |      |      |      |           |           |     |     |     |
| OVER-BREAK               |                   |                                                                                    |                                                                                     |      |      |      |           |           |     |     |     |
| STRENGTH                 | UN. / PL. (MPa)   |                                                                                    |                                                                                     |      |      |      |           |           |     |     |     |
| ROCK MASS CLASSIFICATION | 'Q'               |                                                                                    | 6.7 - 66.7                                                                          |      |      |      |           |           |     |     |     |
|                          | 'RMR'             |                                                                                    | 61 - 83                                                                             |      |      |      |           |           |     |     |     |
| SPECIAL OPERATION        |                   |                                                                                    |                                                                                     |      |      |      |           |           |     |     |     |

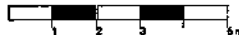
Longitudinal Scale: 

# GILO LONG TUNNEL

## Summary of Engineering geological data

Section No. 464 from 745.585 to 766.585 m

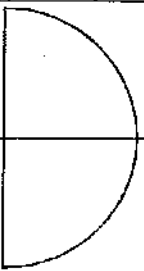
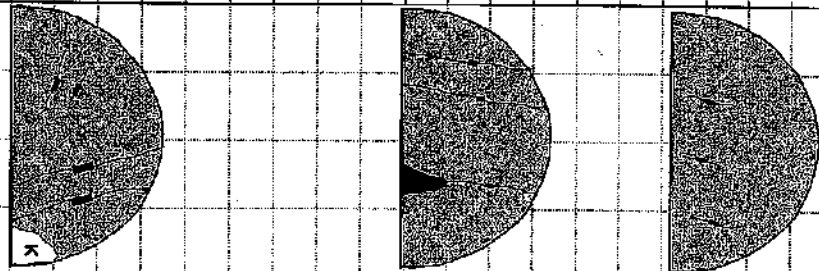
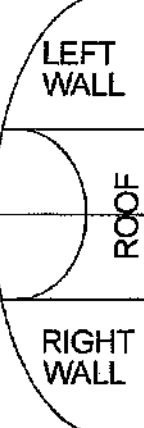
| LOCATION                 |                   | DATE                                                                               | ← 14/2                                                                              |     | 13/2 | 11/2 | 10/2 | 7/2 | 7/2 | 6/2/1994 |     |
|--------------------------|-------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----|------|------|------|-----|-----|----------|-----|
|                          |                   | STEEL ARCH NO.                                                                     |                                                                                     |     |      |      |      |     |     |          |     |
|                          |                   | EXCAVATION METHOD                                                                  | ← DB →                                                                              |     |      |      |      |     |     |          |     |
|                          |                   | PROG. (m)                                                                          | ← 3                                                                                 | 3   | 3    | 3    | 3    | 3   | 3   | → 3      |     |
|                          |                   | ROCK TYPE                                                                          | Massive Dolomite with karstic phenomenon                                            |     |      |      |      |     |     |          |     |
|                          |                   | DISTANCE (m. from S. portal)                                                       | 748                                                                                 | 750 | 752  | 754  | 756  | 758 | 760 | 762      | 764 |
| GRAPHIC LOG              | LOG OF FACE       |   |   |     |      |      |      |     |     |          |     |
|                          | REMARKS           |                                                                                    |                                                                                     |     |      |      |      |     |     |          |     |
|                          | LOG OF TUNNEL     |  |  |     |      |      |      |     |     |          |     |
| DISCONTINUITIES          | SYMBOL            | J2                                                                                 | J3                                                                                  |     |      |      |      |     |     |          |     |
|                          | DIP/DIP DIRECTION | 90°/120°                                                                           | 70°/290°                                                                            |     |      |      |      |     |     |          |     |
|                          | CONTINUITY (m)    | 6                                                                                  | 6                                                                                   |     |      |      |      |     |     |          |     |
|                          | SEPARATION (cm)   | 1 - 2                                                                              | 15                                                                                  |     |      |      |      |     |     |          |     |
|                          | SPACING (cm)      | 200 - 300                                                                          |                                                                                     |     |      |      |      |     |     |          |     |
|                          | IN-FILLING        | Ca                                                                                 | Cl                                                                                  |     |      |      |      |     |     |          |     |
|                          | WAVINESS          | Un                                                                                 | St - Pl                                                                             |     |      |      |      |     |     |          |     |
|                          | ROUGHNESS         |                                                                                    | Ro                                                                                  |     |      |      |      |     |     |          |     |
|                          | REMARKS           |                                                                                    |                                                                                     |     |      |      |      |     |     |          |     |
| WATER IN-FLOW            |                   | ← Dr →                                                                             |                                                                                     |     |      |      |      |     |     |          |     |
| SUPPORT                  | ACTUAL            | B(ttg) at roof & (utg) in walls: 3 - 4m + S(mr) 12cm                               |                                                                                     |     |      |      |      |     |     |          |     |
|                          | DESIGN BY 'Q'     | 9, 13, 14, 18                                                                      |                                                                                     |     |      |      |      |     |     |          |     |
|                          | DESIGN BY 'RMR'   | 1, 2                                                                               |                                                                                     |     |      |      |      |     |     |          |     |
| OVER-BREAK               |                   |                                                                                    |                                                                                     |     |      |      |      |     |     |          |     |
| STRENGTH                 | UN. / PL. (MPa)   |                                                                                    |                                                                                     |     |      |      |      |     |     |          |     |
| ROCK MASS CLASSIFICATION | 'Q'               | 6.7 - 65.7                                                                         |                                                                                     |     |      |      |      |     |     |          |     |
|                          | 'RMR'             | 81 - 93                                                                            |                                                                                     |     |      |      |      |     |     |          |     |
| SPECIAL OPERATION        |                   |                                                                                    |                                                                                     |     |      |      |      |     |     |          |     |

Longitudinal Scale: 

# GILO LONG TUNNEL

## Summary of Engineering geological data

Section No. 485 from 766.565 to 766.565 m

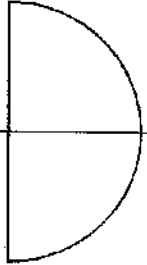
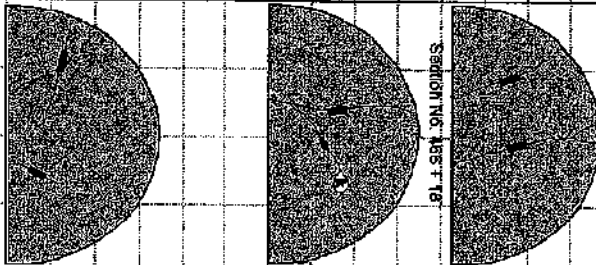
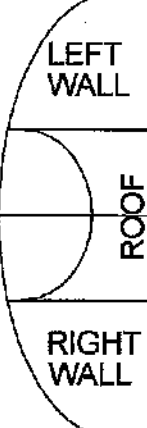
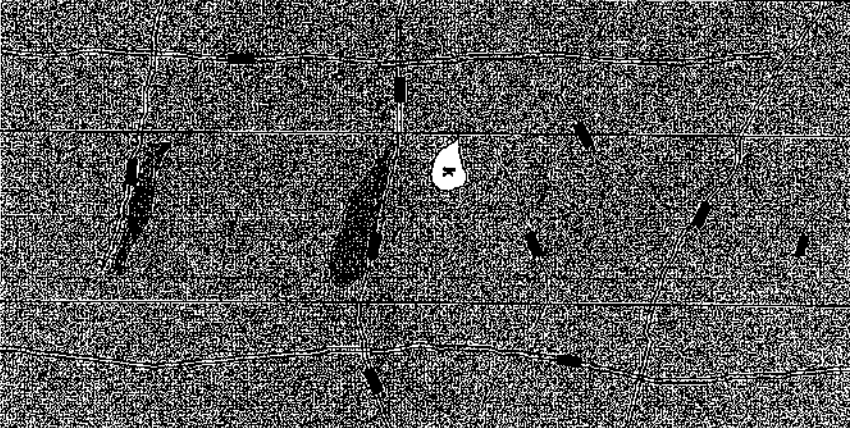
|                                    |                                                                                   |           |                                                                                    |     |     |          |      |           |
|------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------|------------------------------------------------------------------------------------|-----|-----|----------|------|-----------|
| <b>LOCATION</b>                    | DATE                                                                              |           | 4/2                                                                                | 3/2 | 2/2 | 1/2      | 31/1 | 30/1/1984 |
|                                    | STEEL ARCH NO.                                                                    |           |                                                                                    |     |     |          |      |           |
|                                    | EXCAVATION                                                                        | METHOD    | ← DB →                                                                             |     |     |          |      |           |
|                                    |                                                                                   | PROG. (m) | 3                                                                                  | 3   | 3   | 3.2      | 3    | 6.2       |
| <b>GRAPHIC LOG</b>                 | ROCK TYPE                                                                         |           | Massive Dolomite with karstic phenomenon                                           |     |     |          |      |           |
|                                    | DISTANCE (m. from S. portal)                                                      |           | 768                                                                                | 770 | 772 | 774      | 776  | 778       |
| <b>LOG OF FACE</b>                 |  |           |  |     |     |          |      |           |
|                                    |                                                                                   |           | REMARKS                                                                            |     |     |          |      |           |
|                                    |                                                                                   |           |  |     |     |          |      |           |
| REMARKS                            |                                                                                   |           |                                                                                    |     |     |          |      |           |
| <b>DISCONTINUITIES</b>             | SYMBOL                                                                            |           | J2                                                                                 |     |     | J3       |      |           |
|                                    | DIP/DIP DIRECTION                                                                 |           | 86°/020°                                                                           |     |     | 80°/285° |      |           |
|                                    | CONTINUITY (m)                                                                    |           | 6                                                                                  |     |     | 3        |      |           |
|                                    | SEPARATION (cm)                                                                   |           | 5                                                                                  |     |     |          |      |           |
|                                    | SPACING (cm)                                                                      |           | 200 - 300                                                                          |     |     |          |      |           |
|                                    | IN-FILLING                                                                        |           | Cl                                                                                 |     |     |          |      |           |
|                                    | WAVINESS                                                                          |           | Un                                                                                 |     |     | St - Un  |      |           |
|                                    | ROUGHNESS                                                                         |           | Ro                                                                                 |     |     | Sl       |      |           |
|                                    | REMARKS                                                                           |           |                                                                                    |     |     |          |      |           |
|                                    | WATER IN-FLOW                                                                     |           | ← Dr →                                                                             |     |     |          |      |           |
| <b>SUPPORT</b>                     | ACTUAL                                                                            |           | B(tg) at roof & (utg) in walls: 3 - 4m + S(mr) 12cm                                |     |     |          |      |           |
|                                    | DESIGN BY 'Q'                                                                     |           | 9, 13, 14, 18                                                                      |     |     |          |      |           |
|                                    | DESIGN BY 'RMR'                                                                   |           | 1, 2                                                                               |     |     |          |      |           |
| OVER-BREAK                         |                                                                                   |           |                                                                                    |     |     |          |      |           |
| STRENGTH $\sigma_{fc}$ / PL. (MPa) |                                                                                   | 7.8       |                                                                                    |     |     |          |      |           |
| <b>ROCK MASS CLASSIFICATION</b>    | 'Q'                                                                               |           | 6.7 - 66.7                                                                         |     |     |          |      |           |
|                                    | 'RMR'                                                                             |           | 61 - 93                                                                            |     |     |          |      |           |
| SPECIAL OPERATION                  |                                                                                   |           |                                                                                    |     |     |          |      |           |

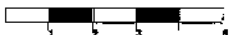
Longitudinal Scale: 

# GILO LONG TUNNEL

## Summary of Engineering geological data

Section No. 465 from 785.585 to 806.585 m

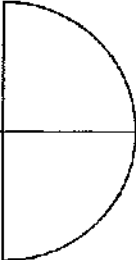
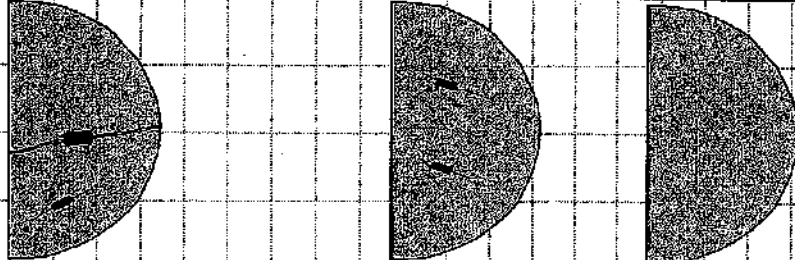
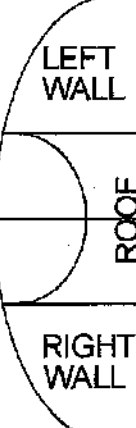
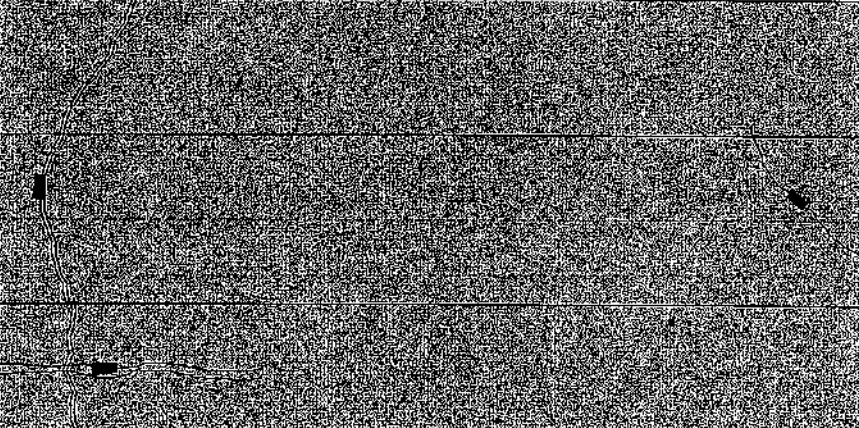
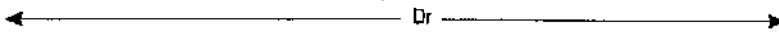
| LOCATION                 |                   | DATE                                                                               | 29/1                                                                                | 28/1 | 26/1 | 25/1               | 25/1 | 23/1/1994 |     |     |     |
|--------------------------|-------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------|------|--------------------|------|-----------|-----|-----|-----|
|                          |                   | STEEL ARCH NO.                                                                     |                                                                                     |      |      |                    |      |           |     |     |     |
|                          |                   | EXCAVATION METHOD                                                                  | ← DB →                                                                              |      |      |                    |      |           |     |     |     |
|                          |                   | PROG. (m)                                                                          | 3                                                                                   | 3    | 3    | 3                  | 3    | 3         |     |     |     |
|                          |                   | ROCK TYPE                                                                          | Massive Dolomite with karstic phenomenon                                            |      |      |                    |      |           |     |     |     |
|                          |                   | DISTANCE (m. from S. portal)                                                       | 788                                                                                 | 790  | 792  | 794                | 796  | 798       | 800 | 802 | 804 |
| GRAPHIC LOG              | LOG OF FACE       |   |   |      |      |                    |      |           |     |     |     |
|                          | REMARKS           |                                                                                    |                                                                                     |      |      |                    |      |           |     |     |     |
|                          | LOG OF TUNNEL     |  |  |      |      |                    |      |           |     |     |     |
| DISCONTINUITIES          | REMARKS           |                                                                                    |                                                                                     |      |      |                    |      |           |     |     |     |
|                          | SYMBOL            | J1                                                                                 | J17, J22                                                                            |      |      | J3                 |      |           |     |     |     |
|                          | DIP/DIP DIRECTION | 80°/240°                                                                           | 85°/240° - 380°                                                                     |      |      | 75°/290°           |      |           |     |     |     |
|                          | CONTINUITY (m)    | > 11                                                                               | 9                                                                                   |      |      | > 20               |      |           |     |     |     |
|                          | SEPARATION (cm)   | 15                                                                                 | 1 - 2                                                                               |      |      | 15 - 20            |      |           |     |     |     |
|                          | SPACING (cm)      | > 300                                                                              | 200                                                                                 |      |      | > 300              |      |           |     |     |     |
|                          | IN-FILLING        | Ca, Cl                                                                             | Ca                                                                                  |      |      | Cl, weathered rock |      |           |     |     |     |
|                          | WAVINESS          | Un                                                                                 | Un                                                                                  |      |      | Un - St            |      |           |     |     |     |
|                          | ROUGHNESS         | Ro                                                                                 | Ro                                                                                  |      |      | Ro - Sl            |      |           |     |     |     |
|                          | REMARKS           |                                                                                    |                                                                                     |      |      |                    |      |           |     |     |     |
| WATER IN-FLOW            |                   | ← Dr →                                                                             |                                                                                     |      |      |                    |      |           |     |     |     |
| SUPPORT                  | ACTUAL            | B(tg) at roof & (utg) in walls: 3 - 4m + S(mr) 12cm                                |                                                                                     |      |      |                    |      |           |     |     |     |
|                          | DESIGN BY 'Q'     | 9, 13, 14, 18                                                                      |                                                                                     |      |      |                    |      |           |     |     |     |
|                          | DESIGN BY 'RMR'   | 1, 2                                                                               |                                                                                     |      |      |                    |      |           |     |     |     |
| OVER-BREAK               |                   |                                                                                    |                                                                                     |      |      |                    |      |           |     |     |     |
| STRENGTH                 | UN. / PL. (MPa)   |                                                                                    |                                                                                     |      |      |                    |      |           |     |     |     |
| ROCK MASS CLASSIFICATION | 'Q'               | 6.7 - 66.7                                                                         |                                                                                     |      |      |                    |      |           |     |     |     |
|                          | 'RMR'             | 61 - 93                                                                            |                                                                                     |      |      |                    |      |           |     |     |     |
| SPECIAL OPERATION        |                   |                                                                                    |                                                                                     |      |      |                    |      |           |     |     |     |

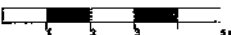
Longitudinal Scale:  0m

# GILO LONG TUNNEL

## Summary of Engineering geological data

Section No. 467 from 806.585 to 826.585 m

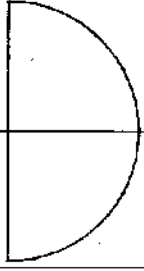
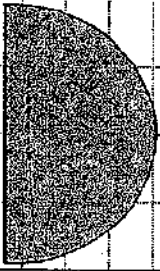
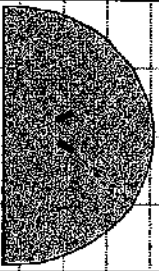
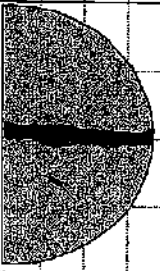
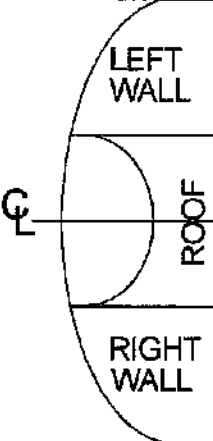
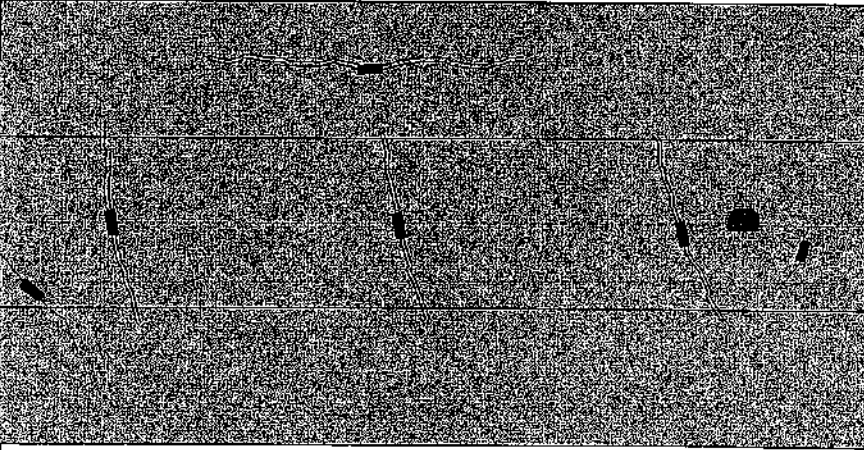
| LOCATION                 |                   | DATE                                                                                 |           | 23/1                                                                                | 21/1 | 20/1 | 18/1 | 17/1 | 16/1 | 14/1/1994 |     |     |
|--------------------------|-------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|-----------|-----|-----|
|                          |                   | STEEL ARCH NO.                                                                       |           |                                                                                     |      |      |      |      |      |           |     |     |
|                          |                   | EXCAVATION                                                                           | METHOD    | DB                                                                                  |      |      |      |      |      |           |     |     |
|                          |                   |                                                                                      | PROG. (m) | 3                                                                                   | 3    | 3    | 3    | 3    | 2.9  |           |     |     |
|                          |                   | ROCK TYPE                                                                            |           | Massive Dolomite                                                                    |      |      |      |      |      |           |     |     |
|                          |                   | DISTANCE (m. from S. portal)                                                         |           | 808                                                                                 | 810  | 812  | 814  | 816  | 818  | 820       | 822 | 824 |
| GRAPHIC LOG              | LOG OF FACE       |     |           |   |      |      |      |      |      |           |     |     |
|                          | REMARKS           |                                                                                      |           |                                                                                     |      |      |      |      |      |           |     |     |
|                          | LOG OF TUNNEL     |    |           |  |      |      |      |      |      |           |     |     |
| DISCONTINUITIES          | REMARKS           |                                                                                      |           |                                                                                     |      |      |      |      |      |           |     |     |
|                          | SYMBOL            | J17, J27                                                                             |           |                                                                                     |      |      |      |      |      |           |     |     |
|                          | DIP/DIP DIRECTION | 85°/030° - 280°                                                                      |           |                                                                                     |      |      |      |      |      |           |     |     |
|                          | CONTINUITY (m)    | >11                                                                                  |           |                                                                                     |      |      |      |      |      |           |     |     |
|                          | SEPARATION (cm)   | 12                                                                                   |           |                                                                                     |      |      |      |      |      |           |     |     |
|                          | SPACING (cm)      | > 300                                                                                |           |                                                                                     |      |      |      |      |      |           |     |     |
|                          | IN-FILLING        | Cl, weathered rock                                                                   |           |                                                                                     |      |      |      |      |      |           |     |     |
|                          | WAVINESS          | Un                                                                                   |           |                                                                                     |      |      |      |      |      |           |     |     |
|                          | ROUGHNESS         | Ro                                                                                   |           |                                                                                     |      |      |      |      |      |           |     |     |
| WATER IN-FLOW            |                   |  |           |                                                                                     |      |      |      |      |      |           |     |     |
| SUPPORT                  | ACTUAL            | B(ttg) at roof & (utg) in walls) 3 - 4m + S(mr) 12cm                                 |           |                                                                                     |      |      |      |      |      |           |     |     |
|                          | DESIGN BY 'Q'     | 9, 13, 14, 18                                                                        |           |                                                                                     |      |      |      |      |      |           |     |     |
|                          | DESIGN BY 'RMR'   | 1, 2                                                                                 |           |                                                                                     |      |      |      |      |      |           |     |     |
| OVER-BREAK               |                   |                                                                                      |           |                                                                                     |      |      |      |      |      |           |     |     |
| STRENGTH UN. / PL. (MPa) |                   |                                                                                      |           |                                                                                     |      |      |      |      |      |           |     |     |
| ROCK MASS CLASSIFICATION | 'Q'               | 6.7 - 66.7                                                                           |           |                                                                                     |      |      |      |      |      |           |     |     |
|                          | 'RMR'             | 61 - 93                                                                              |           |                                                                                     |      |      |      |      |      |           |     |     |
| SPECIAL OPERATION        |                   |                                                                                      |           |                                                                                     |      |      |      |      |      |           |     |     |

Longitudinal Scale: 

# GILO LONG TUNNEL

## Summary of Engineering geological data

Section No. 468 from 826.585 to 846.585 m

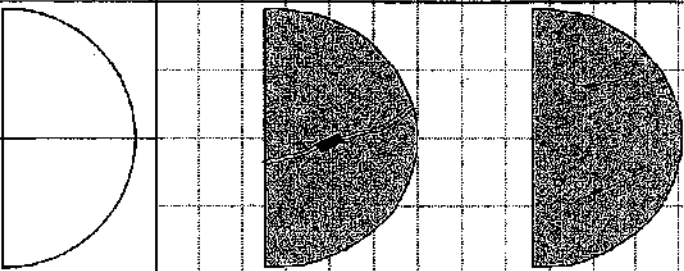
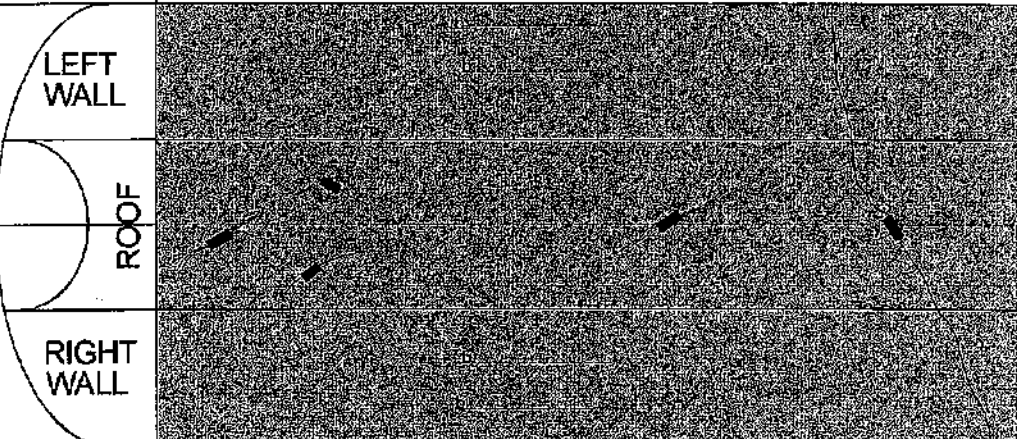
| LOCATION                     |                   | DATE                                                                               | 12/1                                                                                | 11/1 | 10/1                                                                               | 8/1 | 7/1                                                                                 | 6/1 | 4/1/1994 |
|------------------------------|-------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------|------------------------------------------------------------------------------------|-----|-------------------------------------------------------------------------------------|-----|----------|
|                              |                   | STEEL ARCH NO.                                                                     |                                                                                     |      |                                                                                    |     |                                                                                     |     |          |
|                              | EXCAVATION        | METHOD                                                                             | ← DB →                                                                              |      |                                                                                    |     |                                                                                     |     |          |
|                              |                   | PROG. (m)                                                                          | ← 3                                                                                 | 3    | 3                                                                                  | 3   | 3                                                                                   | 3   | 3        |
| ROCK TYPE                    |                   | Massive Dolomite with karstic phenomenon                                           |                                                                                     |      |                                                                                    |     |                                                                                     |     |          |
| DISTANCE (m. from S. portal) |                   | 828                                                                                | 830                                                                                 | 832  | 834                                                                                | 836 | 838                                                                                 | 840 | 842      |
| GRAPHIC LOG                  | LOG OF FACE       |   |    |      |  |     |  |     |          |
|                              | REMARKS           |                                                                                    |                                                                                     |      |                                                                                    |     |                                                                                     |     |          |
|                              | LOG OF TUNNEL     |  |  |      |                                                                                    |     |                                                                                     |     |          |
| REMARKS                      |                   |                                                                                    |                                                                                     |      |                                                                                    |     |                                                                                     |     |          |
| DISCONTINUITIES              | SYMBOL            | J3                                                                                 | J2                                                                                  |      |                                                                                    |     |                                                                                     |     |          |
|                              | DIP/DIP DIRECTION | 75°/280°                                                                           | 85°/016°                                                                            |      |                                                                                    |     |                                                                                     |     |          |
|                              | CONTINUITY (m)    | 8                                                                                  | 10                                                                                  |      |                                                                                    |     |                                                                                     |     |          |
|                              | SEPARATION (cm)   | 15                                                                                 | 15                                                                                  |      |                                                                                    |     |                                                                                     |     |          |
|                              | SPACING (cm)      |                                                                                    | 600                                                                                 |      |                                                                                    |     |                                                                                     |     |          |
|                              | IN-FILLING        | Cl, weathered rock                                                                 | Cl                                                                                  |      |                                                                                    |     |                                                                                     |     |          |
|                              | WAVINESS          | Un                                                                                 | Pl - Un                                                                             |      |                                                                                    |     |                                                                                     |     |          |
|                              | ROUGHNESS         |                                                                                    | Ro                                                                                  |      |                                                                                    |     |                                                                                     |     |          |
| REMARKS                      |                   |                                                                                    |                                                                                     |      |                                                                                    |     |                                                                                     |     |          |
| WATER IN-FLOW                |                   | ← Dr →                                                                             |                                                                                     |      |                                                                                    |     |                                                                                     |     |          |
| SUPPORT                      | ACTUAL            | B(tg) at roof & (utg) in walls 3 - 4m + S(mr) 12cm                                 |                                                                                     |      |                                                                                    |     |                                                                                     |     |          |
|                              | DESIGN BY 'Q'     | 9, 13, 14, 18                                                                      |                                                                                     |      |                                                                                    |     |                                                                                     |     |          |
|                              | DESIGN BY 'RMR'   | 1, 2                                                                               |                                                                                     |      |                                                                                    |     |                                                                                     |     |          |
| OVER-BREAK                   |                   |                                                                                    |                                                                                     |      |                                                                                    |     |                                                                                     |     |          |
| STRENGTH UN / PL (MPa)       |                   |                                                                                    |                                                                                     |      |                                                                                    |     |                                                                                     |     |          |
| ROCK MASS CLASSIFICATION     | 'Q'               | 6.7 - 66.7                                                                         |                                                                                     |      |                                                                                    |     |                                                                                     |     |          |
|                              | 'RMR'             | 61 - 93                                                                            |                                                                                     |      |                                                                                    |     |                                                                                     |     |          |
| SPECIAL OPERATION            |                   |                                                                                    |                                                                                     |      |                                                                                    |     |                                                                                     |     |          |

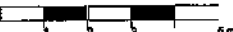
Longitudinal Scale: 

# GILO LONG TUNNEL

## Summary of Engineering geological data

Section No. 469 from 848.585 to 865.585 m

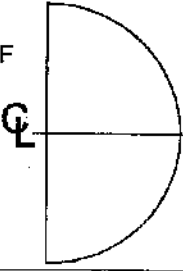
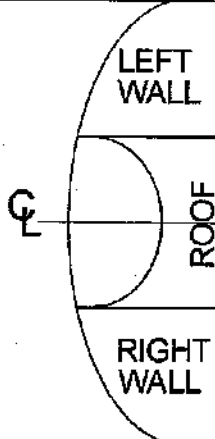
|                                 |                              |           |                                                                                     |          |            |
|---------------------------------|------------------------------|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------|----------|------------|
| <b>LOCATION</b>                 | DATE                         |           | 3/1/84                                                                              | 2/1/1994 | 31/12/1993 |
|                                 | STEEL ARCH NO.               |           |                                                                                     |          |            |
|                                 | EXCAVATION                   | METHOD    | ← DB →                                                                              |          |            |
|                                 |                              | PROG. (m) | ← 3                                                                                 | 3        | 3          |
| <b>GRAPHIC LOG</b>              | ROCK TYPE                    |           | Massive Dolomite                                                                    |          |            |
|                                 | DISTANCE (m. from S. portal) |           | 848                                                                                 | 850      | 852        |
| <b>DISCONTINUITIES</b>          | LOG OF FACE                  |           |   |          |            |
|                                 | REMARKS                      |           |                                                                                     |          |            |
|                                 | LOG OF TUNNEL                |           |  |          |            |
| REMARKS                         |                              |           |                                                                                     |          |            |
| SYMBOL                          |                              | J1        |                                                                                     | J2       |            |
| DIP/DIP DIRECTION               |                              | 81°/270°  |                                                                                     | 85°/010° |            |
| CONTINUITY (m)                  |                              | 3         |                                                                                     | >11      |            |
| SEPARATION (cm)                 |                              | 10 - 15   |                                                                                     | < 1      |            |
| SPACING (cm)                    |                              |           |                                                                                     | > 600    |            |
| IN-FILLING                      |                              | Cl        |                                                                                     | Ca       |            |
| WAVINESS                        |                              | Un        |                                                                                     | Un       |            |
| ROUGHNESS                       |                              | Ro        |                                                                                     | Ro       |            |
| REMARKS                         |                              |           |                                                                                     |          |            |
| WATER IN-FLOW                   |                              | ← Dr →    |                                                                                     |          |            |
| <b>SUPPORT</b>                  | ACTUAL                       |           | B(ltg) at roof & (ulg) in walls 3 - 4m + S(mr) 12cm.                                |          |            |
|                                 | DESIGN BY 'Q'                |           | 9, 13, 14, 18                                                                       |          |            |
|                                 | DESIGN BY 'RMR'              |           | 1, 2                                                                                |          |            |
| OVER-BREAK                      |                              |           |                                                                                     |          |            |
| STRENGTH UN / PL (MPa)          |                              |           |                                                                                     |          |            |
| <b>ROCK MASS CLASSIFICATION</b> | 'Q'                          |           | 6.7 - 66.7                                                                          |          |            |
|                                 | 'RMR'                        |           | 61 - 93                                                                             |          |            |
| SPECIAL OPERATION               |                              |           |                                                                                     |          |            |

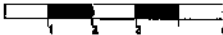
Longitudinal Scale:  4m

# GILO LONG TUNNEL

## Summary of Engineering geological data

Section No. 470 from 888.585 to 896.585 m

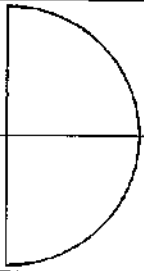
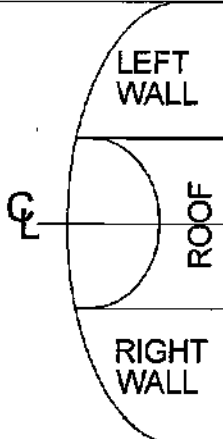
|                                 |                                                                                   |           |                                                                                    |     |     |     |     |     |     |     |  |  |
|---------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------|------------------------------------------------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--|--|
| <b>LOCATION</b>                 | DATE                                                                              |           |                                                                                    |     |     |     |     |     |     |     |  |  |
|                                 | STEEL ARCH NO.                                                                    |           |                                                                                    |     |     |     |     |     |     |     |  |  |
|                                 | EXCAVATION                                                                        | METHOD    | ← DB →                                                                             |     |     |     |     |     |     |     |  |  |
|                                 |                                                                                   | PROG. (m) |                                                                                    |     |     |     |     |     |     |     |  |  |
|                                 | ROCK TYPE                                                                         |           | Massive Dolomite                                                                   |     |     |     |     |     |     |     |  |  |
| DISTANCE (m. from S. portal)    |                                                                                   | 888       | 870                                                                                | 872 | 874 | 876 | 878 | 880 | 882 | 884 |  |  |
| <b>GRAPHIC LOG</b>              | LOG OF FACE                                                                       |           | No data of mapping                                                                 |     |     |     |     |     |     |     |  |  |
|                                 |  |           |                                                                                    |     |     |     |     |     |     |     |  |  |
|                                 | REMARKS                                                                           |           |                                                                                    |     |     |     |     |     |     |     |  |  |
|                                 | LOG OF TUNNEL                                                                     |           |  |     |     |     |     |     |     |     |  |  |
| REMARKS                         |                                                                                   |           |                                                                                    |     |     |     |     |     |     |     |  |  |
| <b>DISCONTINUITIES</b>          | SYMBOL                                                                            |           | J1                                                                                 |     |     |     |     |     |     |     |  |  |
|                                 | DIP/DIP DIRECTION                                                                 |           | 81°/250°                                                                           |     |     |     |     |     |     |     |  |  |
|                                 | CONTINUITY (m)                                                                    |           | >11                                                                                |     |     |     |     |     |     |     |  |  |
|                                 | SEPARATION (cm)                                                                   |           | < 1                                                                                |     |     |     |     |     |     |     |  |  |
|                                 | SPACING (cm)                                                                      |           | > 300                                                                              |     |     |     |     |     |     |     |  |  |
|                                 | IN-FILLING                                                                        |           | Ca                                                                                 |     |     |     |     |     |     |     |  |  |
|                                 | WAVINESS                                                                          |           | Un                                                                                 |     |     |     |     |     |     |     |  |  |
|                                 | ROUGHNESS                                                                         |           | Ro                                                                                 |     |     |     |     |     |     |     |  |  |
|                                 | REMARKS                                                                           |           |                                                                                    |     |     |     |     |     |     |     |  |  |
| WATER IN-FLOW                   |                                                                                   | ← Dr →    |                                                                                    |     |     |     |     |     |     |     |  |  |
| <b>SUPPORT</b>                  | ACTUAL                                                                            |           | $B((lg) \text{ at roof \& (utg) in walls})$<br>$3 - 4m + S(m) 12cm$                |     |     |     |     |     |     |     |  |  |
|                                 | DESIGN BY 'Q'                                                                     |           | $SA(s < 1m) + S(m) 30cm$<br>9, 13, 14, 18                                          |     |     |     |     |     |     |     |  |  |
|                                 | DESIGN BY 'RMR'                                                                   |           | 1, 2                                                                               |     |     |     |     |     |     |     |  |  |
| OVER-BREAK                      |                                                                                   |           |                                                                                    |     |     |     |     |     |     |     |  |  |
| STRENGTH UN. / PL. (MPa)        |                                                                                   |           |                                                                                    |     |     |     |     |     |     |     |  |  |
| <b>ROCK MASS CLASSIFICATION</b> | 'Q'                                                                               |           | 6.7 - 66.7                                                                         |     |     |     |     |     |     |     |  |  |
|                                 | 'RMR'                                                                             |           | 61 - 93                                                                            |     |     |     |     |     |     |     |  |  |
| SPECIAL OPERATION               |                                                                                   |           |                                                                                    |     |     |     |     |     |     |     |  |  |

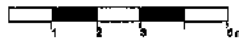
Longitudinal Scale: 

# GILO LONG TUNNEL

## Summary of Engineering geological data

Section No. 471 from 888.555 to 892.265 m

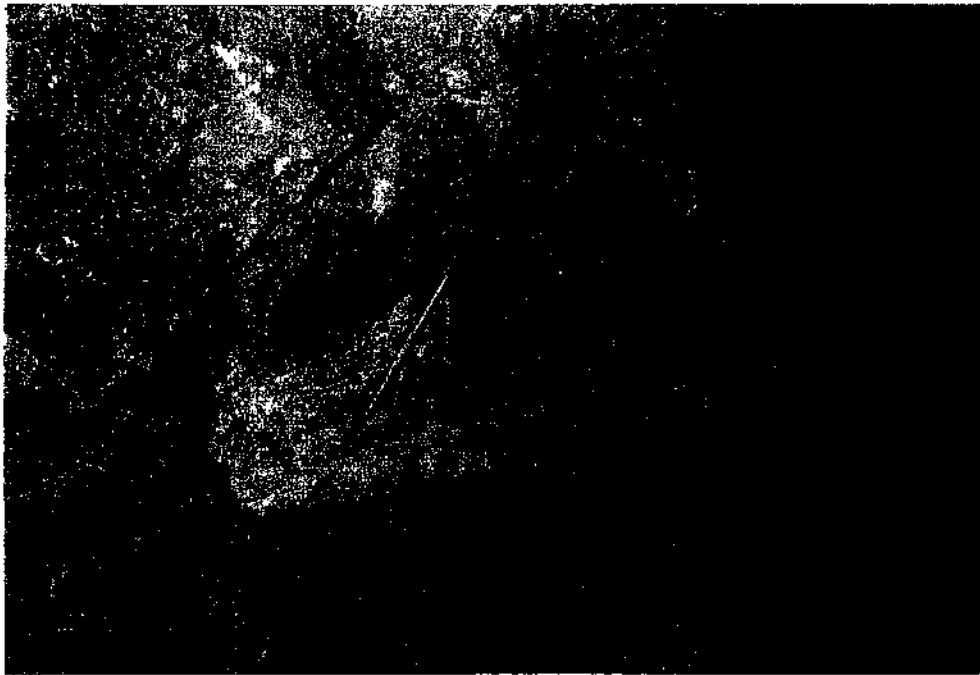
|                                 |                            |                                                                                                                                                                                                                               |                  |
|---------------------------------|----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|
| <b>LOCATION</b>                 | DATE                       |                                                                                                                                                                                                                               |                  |
|                                 | STEEL ARCH NO.             |                                                                                                                                                                                                                               |                  |
|                                 | EXCAVATION                 | METHOD                                                                                                                                                                                                                        | ← DB →           |
|                                 |                            | PROG. (m)                                                                                                                                                                                                                     |                  |
|                                 | ROCK TYPE                  |                                                                                                                                                                                                                               | Massive Dolomite |
| DISTANCE (m. from S. portal)    |                            | 888      890      892                                                                                                                                                                                                         |                  |
| <b>GRAPHIC LOG</b>              | LOG OF FACE                |  <div style="display: inline-block; vertical-align: middle; margin-left: 10px;">No data of mapping</div>                                     |                  |
|                                 | REMARKS                    |                                                                                                                                                                                                                               |                  |
|                                 | LOG OF TUNNEL              |  <div style="display: inline-block; vertical-align: middle; margin-left: 10px;"> <p>Section No. 471 + 5.43</p> <p>← North portal</p> </div> |                  |
| <b>DISCONTINUITIES</b>          | REMARKS                    |                                                                                                                                                                                                                               |                  |
|                                 | SYMBOL                     |                                                                                                                                                                                                                               |                  |
|                                 | DIP/DIP DIRECTION          |                                                                                                                                                                                                                               |                  |
|                                 | CONTINUITY (m)             |                                                                                                                                                                                                                               |                  |
|                                 | SEPARATION (cm)            |                                                                                                                                                                                                                               |                  |
|                                 | SPACING (cm)               |                                                                                                                                                                                                                               |                  |
|                                 | IN-FILLING                 |                                                                                                                                                                                                                               |                  |
|                                 | WAVINESS                   |                                                                                                                                                                                                                               |                  |
|                                 | ROUGHNESS                  |                                                                                                                                                                                                                               |                  |
| REMARKS                         |                            |                                                                                                                                                                                                                               |                  |
| WATER IN-FLOW                   |                            | ← Dr →                                                                                                                                                                                                                        |                  |
| <b>SUPPORT</b>                  | ACTUAL                     | SA(s < 1m) + S(mr) 30cm                                                                                                                                                                                                       |                  |
|                                 | DESIGN BY 'Q'              | 9, 13, 14, 18                                                                                                                                                                                                                 |                  |
|                                 | DESIGN BY 'RMR'            | 1, 2                                                                                                                                                                                                                          |                  |
| OVER-BREAK                      |                            |                                                                                                                                                                                                                               |                  |
| STRENGTH                        | σ <sub>pc</sub> / PL (MPa) | 7.0                                                                                                                                                                                                                           |                  |
| <b>ROCK MASS CLASSIFICATION</b> | 'Q'                        | 6.7 - 66.7                                                                                                                                                                                                                    |                  |
|                                 | 'RMR'                      | 61 - 93                                                                                                                                                                                                                       |                  |
| SPECIAL OPERATION               |                            |                                                                                                                                                                                                                               |                  |

Longitudinal Scale:  0m

### 5.3 בלוקים קריטיים באנליזת Block theory

מאסת הסלע ששימשה לכריית מנהרת גילה הארוכה מאופיינת בשלושה מישורי אי רציפות (ראה תת - פרק 5.1). מניתוח היחס בין שלושת מערכות הסידוק והמישור החופשי של קירות ותקרת המנהרה (ציור מספר 5.7) עולה כי ישנו בלוק קריטי (JP 001) היכול להחליק מן התקרה. בלוק זה הנו בגודל מקסימלי של עשרות מטרים ואם יתפתח בגודלו המקסימלי שלו הוא יכול לחוות סכנה ממשית ליציבות המנהרה (ציור 5.8). בלוק נוסף שלכאורה יכול להחליק מקירות המנהרה הנו JP 110, אך בלוק זה נמצא בתוך מעגל החשלכה (Reference circle) ולכן אינו בר - תזוזה כלפי מטה.

בתצפיות ובמהלך המיפוי שנערך במנהרת גילה לאורך כל שלבי עבודות המנהור לא נצפה בלוק בסדר גודל שכזה. הבלוקים היחידים שנצפו הנם בעלי אורך צלע של 10 עד 20 סנטימטרים (גודל עיפרון) ולא דווקא בתקרת המנהרה כפי שניתן לראות בתמונה 5.1.



*Photo: 5.1 - Small wedge as seen in tunnel wall.*

RESULTANT  
 0.0 0.0 -1.0  
 OIP & OIP OIR.  
 65.0 260.0  
 84.0 10.0  
 70.0 280.0  
 58.0 147.0  
 FOCUS TO CENTER  
 0.0 0.0 1.0

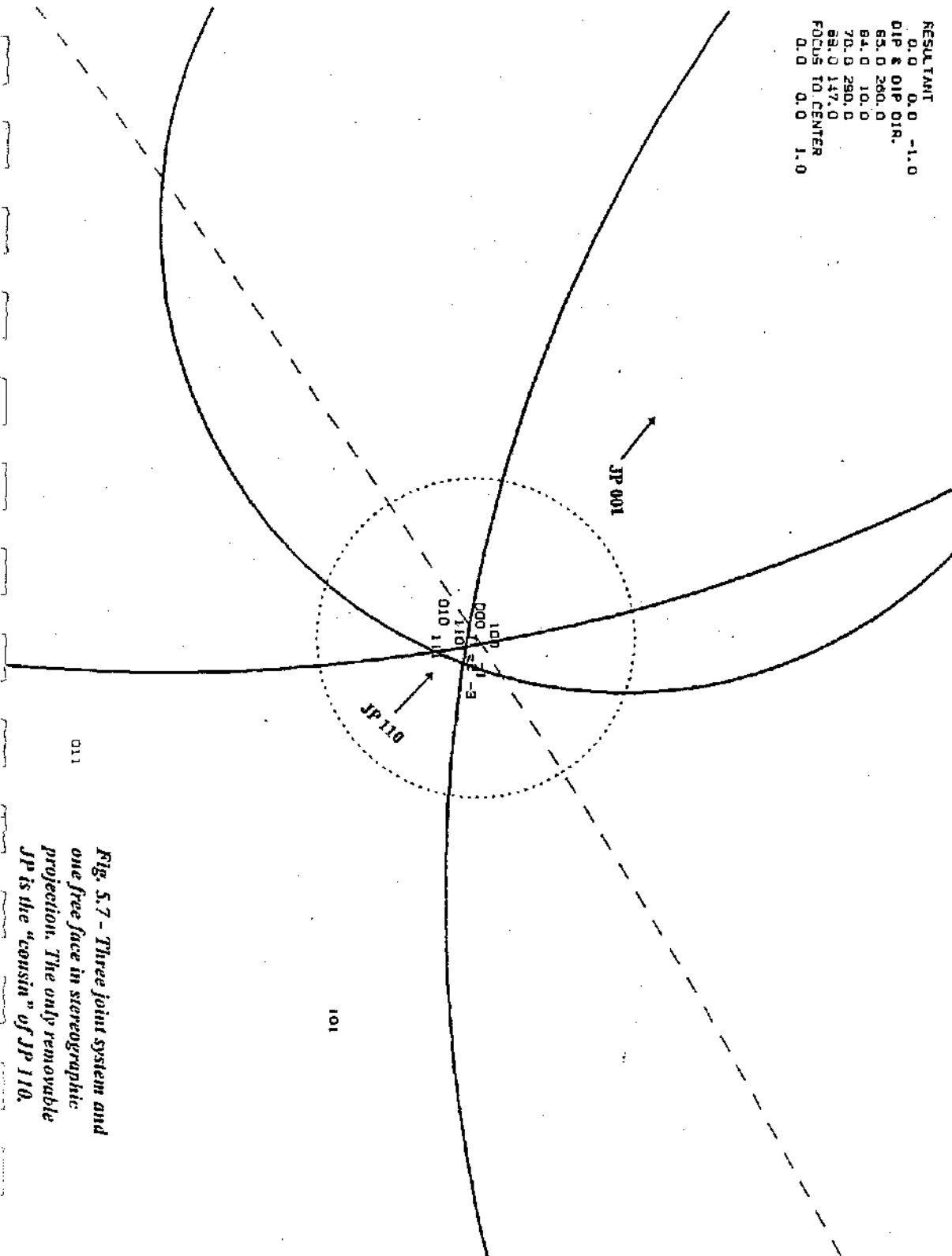
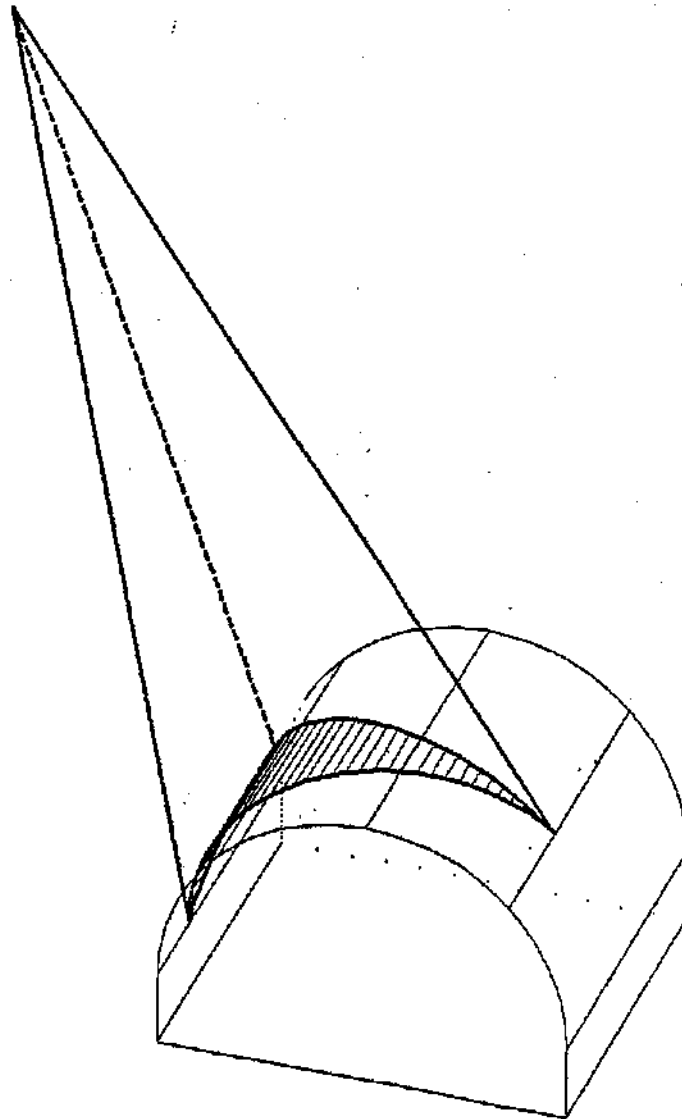


Fig. 5.7 - Three joint system and  
 one free face in stereographic  
 projection. The only removable  
 JP is the "cousin" of JP 110.

TUNNEL SHAPE  
 0.550+01 0.100+01 0.550+01  
 PROJECTIVE DIR.  
 0.100+01 0.200+01 0.300+01  
 TOP VERTEX DIS.  
 0.000+00  
 0.000+00  
 0.000+00  
 TOP DISTANCE  
 0.000+00  
 001



*Fig. 5.8 - Maximum removable key block*

## 6. דיון

### 6.1 תיאוריית הבלוקים - התאמה בין בלוקים קריטיים ורפאי בלוקים

בפרק הדן בתוצאות המחקר ומתייחס לתיאוריית הבלוקים (פרק 5 תת - פרק 5.2) רואים כי על אף התחזית להיווצרותו של בלוק היכול להוות סכנה ליציבות המנהרה לא נוצרה החלקה של בלוק כזה. בטבלה 6.1 ניתן לראות את כיווני הסדקים אשר נמדדו מרפאים של בלוקים שהחליקו, את תוצאות אנליזת שיווי המשקל הגבולי שבוצעו לבלוקים אלו ואת בלוק המפתח המקסימלי היכול להיווצר. ההתנהגות הבלוקית של מאסת הסלע, כפי שנראה בטבלה 6.1 אינה קשורה בהכרח למערכות הסידוק הראשיות. פרט לבלוק מספר 4, אשר נוצר משילוב מערכות הסידוק הראשיות, נוצרו שאר הבלוקים בשיתוף של סידוק אקראי ואילו הבלוקים שנוצרו בהשפעת מערכות הסידוק הראשיות הנם קטנים בהרבה מן הבלוק המקסימלי היכול להתפתח. זווית החיכוך הנדרשת ליציבות הבלוקים התקבלה מאנליזת שיווי משקל גבולי, שנעשתה עבור כל בלוק שמופה, (Goodman & Shi 1985) ונעה מ -  $40^{\circ}$  ועד  $90^{\circ}$  (מספר מספר 3). פרט לבלוקים מספר חמש ותשע נדרשות זוויות חיכוך של מעל  $60^{\circ}$  על מנת למנוע החלקה של שאר הבלוקים. מערכות הסידוק הראשיות במאסת הסלע הן בעלי נטיות הגדולות מ -  $70^{\circ}$ , ולכן ניתן לאמר כי אם אכן התפתחו בלוקים מתוך מערכות הסידוק הראשיות היו צריכים להתקבל יותר מקרים של החלקת בלוקים. העובדה שנצפו מעט רפאי בלוקים מעידה ככל הנראה על כך שבפועל נוצרו מעט בלוקים. בנוסף, הבלוקים אשר נצפו אינם מהווים סכנה הנדסית ליציבות המנהרה וקטנים מבלוק המפתח אשר תיאורטית יכל להתפתח.

אם כן, מדוע לא מתקיים המודל התיאורטי המצביע על היווצרות בלוקים והחלקתם? הסיבות נעוצות באופי הסידוק ובליטולוגיה המקומית.

א. מערכות סידוק בעלות אנדולציות של  $20^{\circ}$  ולעתים אף יותר אינן מתיישבות אם הנחת המפתח של Block Theory המתאייחסת לסדקים שטוחים בעלי רציפות אין סופית יחסית למבנה ההנדסי. האנדולציות של הסידוק למעשה קוטעות את הרציפות של הסדק (ציור מספר 6.1) ומבצעות מעין "נעילה" של הסדק שלא מאפשרת החלקה. אמנם, לאחר הבליה הסידוק פתוח יותר והחלקה יכולה לכאורה להתבצע על חומר המילוי אך עובי המילוי אינו גדול מן האמפליטודה של הסדק. בנוסף, הסידוק האקראי הנרחב, אנדולטורי אף הוא, מקטין במידה ניכרת את גודל הבלוק העלול להיווצר ואף ויוצר בלוקים קטנים ללא תלות מלאה במערכות הסידוק הראשיות.

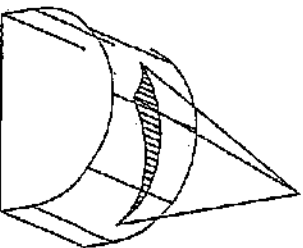
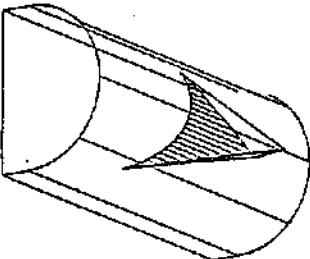
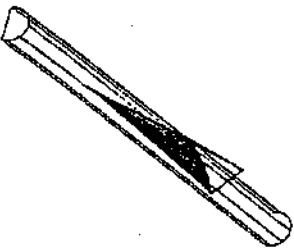
| Mould No. | Joints Dip/Dic.            | Joint System                               | Removable JP | Sliding Mode | Required friction | Maximum key block                                                                    |
|-----------|----------------------------|--------------------------------------------|--------------|--------------|-------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 1         | 90/200<br>50/284<br>90/040 | J <sub>2</sub><br>J <sub>3</sub><br>Random | 111          | 13           | 87°               |  |
| 2         | 65/352<br>90/312<br>40/256 | J <sub>2</sub><br>Random<br>J <sub>1</sub> | 101          | 0            | 90°               |   |
| 3         | 90/328<br>70/320<br>70/350 | Random<br>Random<br>J <sub>2</sub>         | 011          | 0            | 90°               |   |

Table 6.1 - Summary of the Removability and Limit equilibrium analyses

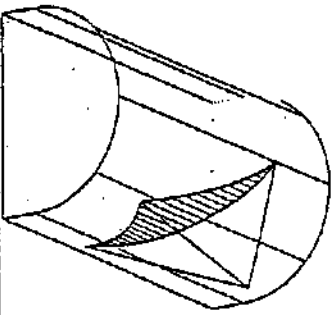
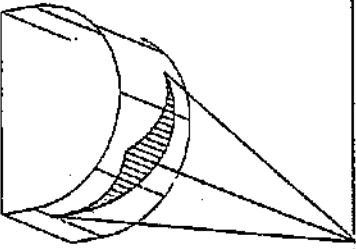
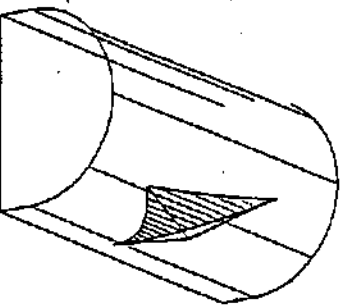
| Mould No. | Joints Dip/Dir.            | Joint System                                       | Removable JP | Sliding Mode | Required friction | Maximum key block                                                                    |
|-----------|----------------------------|----------------------------------------------------|--------------|--------------|-------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 4         | 40/292<br>70/280<br>85/016 | J <sub>3</sub><br>J <sub>1</sub><br>J <sub>2</sub> | 100          | 23           | 62.5°             |  |
| 5         | 45/268<br>70/198<br>60/240 | J <sub>1</sub><br>J <sub>2</sub><br>Random         | 110          | 23           | 50°               |   |
| 6         | 86/300<br>07/270<br>85/360 | J <sub>3</sub><br>Random<br>J <sub>2</sub>         | 010          | 13           | 83.5°             |   |

Table 6.1 - continue...

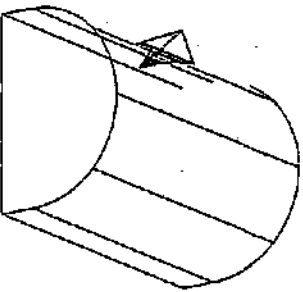
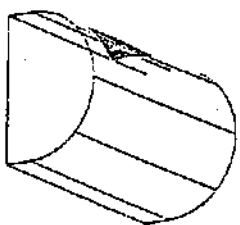
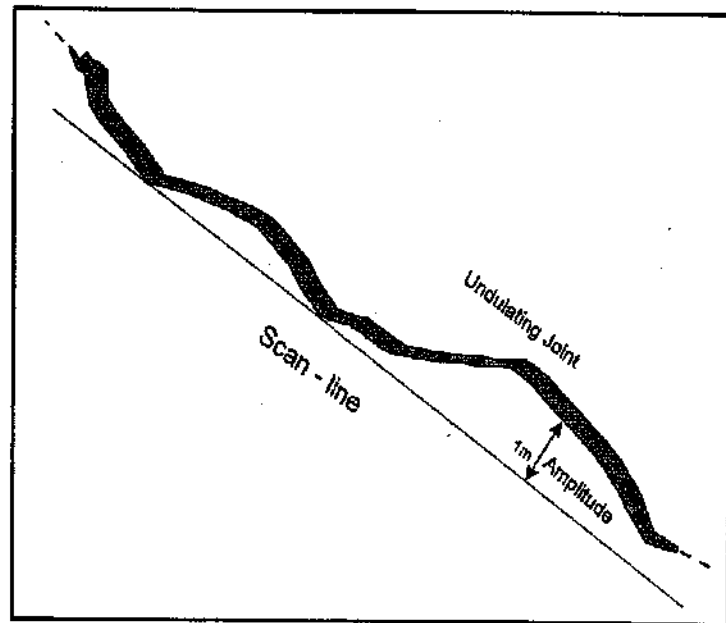
| Mould No. | Joints Dip/Dir.            | Joint System                               | Removable JP | Sliding Mode | Required friction | Maximum key block                                                                    |
|-----------|----------------------------|--------------------------------------------|--------------|--------------|-------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 7         | 70/018<br>75/300<br>30/008 | J <sub>2</sub><br>J <sub>3</sub><br>Random | 110          | No Mode      | ---               |                                                                                      |
| 8         | 90/018<br>65/120<br>14/030 | J <sub>2</sub><br>J <sub>3</sub><br>Random | 101          | 2            | 65°               |  |
| 9         | 40/114<br>90/010<br>60/328 | J <sub>3</sub><br>J <sub>2</sub><br>Random | 011          | 1            | 40°               |   |

Table 6.1 - continue...

Fig. 6.1 - Undulation disturbs the continuity of joint plane



- ב. הנחה נוספת של Block Theory מדברת על חומר קומפטנטי המרכיב את מאסת הסלע. הנחה זו לא מתקיימת לכל אורך המנהרה. יותר ממתצית המסלע חנו מרוסק וסדוק בצפיפות גדולה או בלוי עד כדי אבקה. חומר כזה אינו יכול להתנהג כבלוק אחד ולכן סותר הנחה נוספת מתאוריית הבלוקים.
- ג. גובה הבלוק המרבי שאמור להיווצר גדול מספר פעמים מקוטר מפתח המנהרה ומגיע במספר מקרים עד פני השטח. בנוסף, בליית פני השטח מגיעה לעתים לעומק של עשרות מטרים בתת - הקרקע, כך שהבלוק חמקסימלי האמור להיווצר "נמצא" במאסת סלע הטרזוגנית ובמקומות רבים לא קומפטנטית המקשה על התנהגות בלוקית. יתכן כי בכרייה של חלל תת - קרקעי בעומק גדול יותר, ההתנהגות הבלוקית של מאסת הסלע תהיה משוחררת מהשפעת סעיף זה.

### 6.1.1 אנליזת שיווי משקל גבולי

אנליזת שיווי המשקל הגבולי שנעשתה עבור "רפא" הבלוקים שנמדדו במנהרה הראתה את זוויות החיכוך הנדרשות ליציבות של הבלוקים. היות והמדידות התבצעו על "רפאים" של בלוקים ברור כי הבלוקים החליקו או נפלו. מכאן, זווית החיכוך של מישורי אי הרציפות צריכה להיות קטנה יותר על מנת לאפשר את החלקה. ההגדרה של זווית החיכוך של מישורי אי הרציפות נעשתה בעזרת שיטת הסיווג Q

$$\phi = \tan^{-1} (J_r/J_a) \quad \text{הנוסחה מוערכת בעזרת} \quad \text{(Barton et al. 1974)}$$

(Barton et al. 1974). מישורי אי הרציפות מקבלים מאפיינים שונים לאורך המנהרה ועל מנת להעריך את זווית החיכוך יש להתייחס לכל מישור אי רציפות ולסביבה הליתולוגית בו הוא נמצא. ההגדרות  $J_r/J_a$  בוצעו

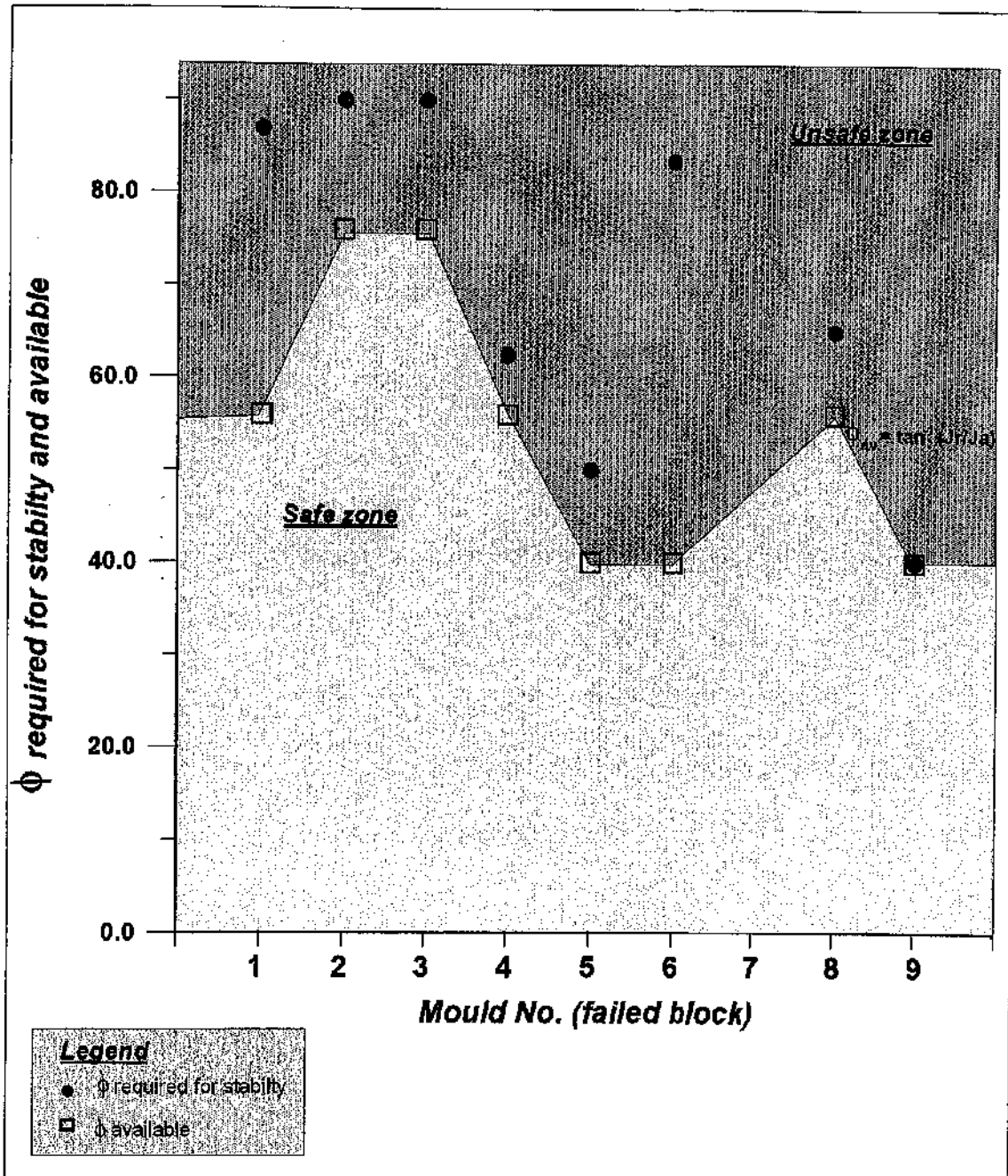


Fig. 8.2 - Relationship between the friction angle required for block stability (Goodman & Shi 1985) and the available friction angle estimated by the Q system (Barton et al. 1974).

למישורי אי הרציפות בצורה נפרדת מתוך תחום התגדרה של מאסת הסלע בה התגלו "רפאיי" הבלוקים שנמדדו. בציר 6.2 מופיע הקו של זוויות החיכוך בפועל מתחת לנקודות המייצגות את זוויות החיכוך הנדרשות לכשל ובנקודה מספר תשע קיימות זהות בין זווית החיכוך הנדרשת לכשל ובין זו הקיימת (עד כדי  $2^{\circ} - 1^{\circ}$ ). מצב זה של שיווי משקל גבולי הסתיים בכשל של בלוק מספר תשע. היחס בין הקו לנקודות מצביע על התאמה בין אנליות שיווי משקל גבולי לבין התנהגות הבלוקים בשטח ומחזקת את היכולת ההנדסית להתמודד עם התנהגות בלוקית, כאשר היא קיימת. נקודה חשובה נוספת היא ההתאמה בין פרמטרים של שיטת ה-Q לבין תיאוריית הבלוקים, התאמה זו יכולה לחזק את נכונות שיטת הסיווג Q למאסת סלע המורכבת מחומר קומפלטני.

נקודה אפשרית למחקר היא שילוב בין שיטת ה-Q ותיאוריית הבלוקים לצרכי חישוב פרמטרים ליציבות במאסת סלע בעלת התנהגות בלוקית. לשם כך יש לבצע מספר מדידות נרחב של בלוקים ו"רפאיי" בלוקים ולבדוק בצורה סטטיסטית את ההתאמה בין ישומי שתי השיטות.

## 6.2 השוואה בין ערכי Q ו-RMR שהתקבלו בסקרים המוקדמים

### לבין אלו שהתגלו תוך כדי כרייה.

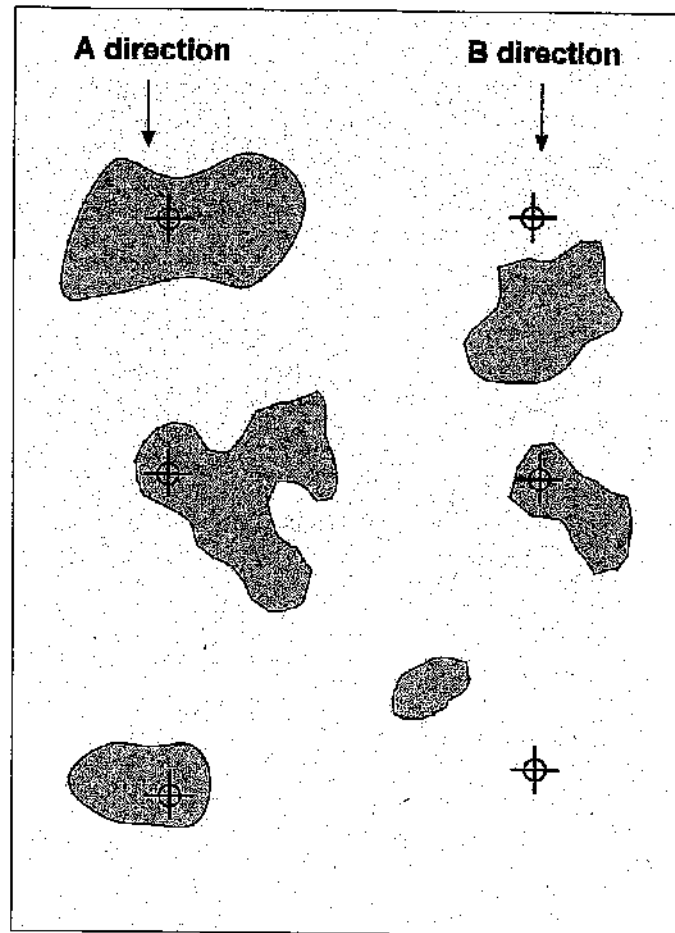
ערכי Q ו-RMR שהתקבלו בפרק הקודם חושבו תוך כדי כרייה המנחרה וחשיפת מאסת הסלע. הגדרת איכות מאסת הסלע בסקרים המוקדמים שנעשו על ידי המכון הגיאולוגי (Arkin & Michaeli 1993) התבססה על קידוחי גלעין ומחשופים באזור העבדה. ערכי Q ו-RMR אשר התקבלו בסקרים אלו היו כלליים, ולא יכלו להתייחס למאסת הסלע בכל צורות הופעתה (ראה פרק 2 ותת-פרק 5.2), ושונים מערכי איכות מאסת הסלע אשר התגלו בפועל (טבלה 6.2).

יחידת המעבר אשר באה לידי ביטוי במהלך הכרייה ומכילה מספר יחידות גיאוטכניות, לא באה לידי ביטוי בקידוחים ובמחשופים. צורת הביטוי ליחידת סלע גרועה מבחינה גיאוטכנית חתבטאה בחוסר החזר מטען. המחשף הראשון של היחידה נתגלה רק במהלך חפירת היסודות לגשר גילה (פרק 2 תמונה 2.2), לכן לא ניתן היה להצביע על המגוון הגיאוטכני אשר מכילה מאסת הסלע לאורך תוואי המנחור. ערכי איכות מאסת הסלע שהתקבלו בסקרים המוקדמים חנם בעלי טווח ערכים מצומצם היות ולא ניתן לקבוע במדויק את כל הפרמטרים המרכיבים את שיטות הסיווג Q ו-RMR על סמך קידוחים בלבד. כאשר מאסת הסלע הנה הומוגנית ומאסיבית, כתצורת עמינדב בחלקה העליון (ראה תת-פרק 5.2 חתך 465), ניתן שניתן להגיע להגדרת איכות מאסת הסלע בצורה טובה, אך במאסת סלע המאפיינת את בסיס תצורת עמינדב (תת-פרק

5.2 חתך 431) קשה להגדיר את מאסת הסלע על סמך קידוחים ספורים בלבד. בציר 6.3 ניתן לראות מבט מפה על מאסת סלע חטרוגנית ושני נתיבי קידוח. מאסת הסלע אשר תוגדר על פי נתיב A תהיה שונה מזו אשר תוגדר על פי הקידוחים מנתיב B.

|                                                  | During Tunneling |                   | Site Investigation                                              |                                                                |
|--------------------------------------------------|------------------|-------------------|-----------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| Rock mass description                            | Actual Q values  | Actual RMR values | Q first estimation                                              | RMR first estimation                                           |
| Massive dolomite                                 | 6.7 - 66.7       | 61 - 93           | 16 - 24                                                         | The range in RMR values range was 56 to 64 for all the tunnel, |
| Dolomite<br>fractured<br>spherical<br>pouches    | 2.2 - 11.7       | 51 - 79           | The range in Q values was 3.5 to 9 for a the rest of the tunnel |                                                                |
| Boundary of massive dolomite with dolomite float | 0.05 - 0.31      | 26 - 49           |                                                                 |                                                                |
| Partially jointed dolomite                       | 0.025 - 0.09     | 26 - 39           |                                                                 |                                                                |
| Dolomite float                                   | 0.006 - 0.05     | 21                |                                                                 |                                                                |

**Fig 6.2 - Comparison of *Q* and *RMR* values based on site investigation borehole and mapping during tunneling**



**Fig. 6.3 - Unpredictable pilot boreholes along tunnel alignment. Green areas are competent rock and the yellow field is soft or weathered rock. Black symbols are boreholes**

בנוסף לעובדה שכמות הקידוחים שנערכה בסקר המוקדם הנה מועטה (5 קידוחים), באזור יחידת המעבר התקבל מידע חלקי בגלל העדר החזר מטען, עובדה זו שויכה לחללים קארסטיים אשר מהווים תופעה נקודתית ולא לרצף סטרוגניפי המכיל יחידת סלע גרועה מבחינה גיאוטכנית.

מכאן ניתן לאמר כי נתוני פני השטח והקידוחים של הסקרים הראשוניים לא תאמו את המציאות באזורים של מאסת סלע הטרוגנית (יחידת המעבר) והערכת מאסת הסלע הייתה גבוהה בהרבה מן המציאות (ציורים 6.4, 6.5, 6.6, 6.7). באזורים מאסיביים ואחידים כחלק העליון של תצורת עמינדב הערכת איכות מאסת הסלע הייתה נמוכה ושמרנית מהערכת איכות מאסת הסלע שהתגלתה עם כריית המנהרה. זאת אומרת כי סקרים מפני השטח של מאסת סלע הטרוגנית ללא מחשוף תואם צריכים להתבסס במידה לא מועטה על הכרת הגיאולוג את היחידה הנחקרת. כמו כן יש צורך במידה רבה יותר של קידוחים לתת הקרקע, כפי שמקובל בעולם (Barton 1994), אשר יאפשרו להגדיר את התטרוגניות של היחידה. השאלה היא האם קידוחים בקנה מידה נרחב אכן יתנו אפשרות להגדיר את ערכי מאסת הסלע ללא הכרה מוקדמת של היחידה? במצב של חוסר במחשופים מונאימים והתבססות על הכרה קודמת של היחידה נפגע עיקרון הכלליות שהוא אחד ממטרות שיטות הסיווג. לכן על מנת לא לחזור למצב של תיאורים איכותיים של מאסת הסלע המבוססים על הכרה מוקדמת של היחידה נראה כי היה צורך בפתיחה מלאכותית של מחשופים על

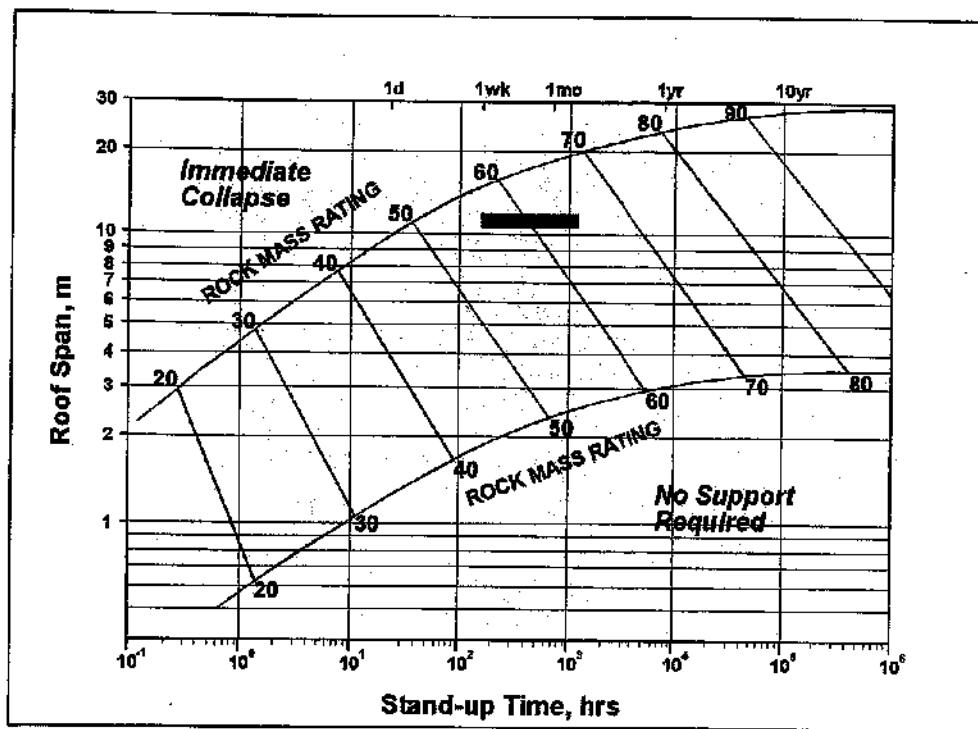


Fig. 6.4 - The range of RMR values from site investigation boreholes

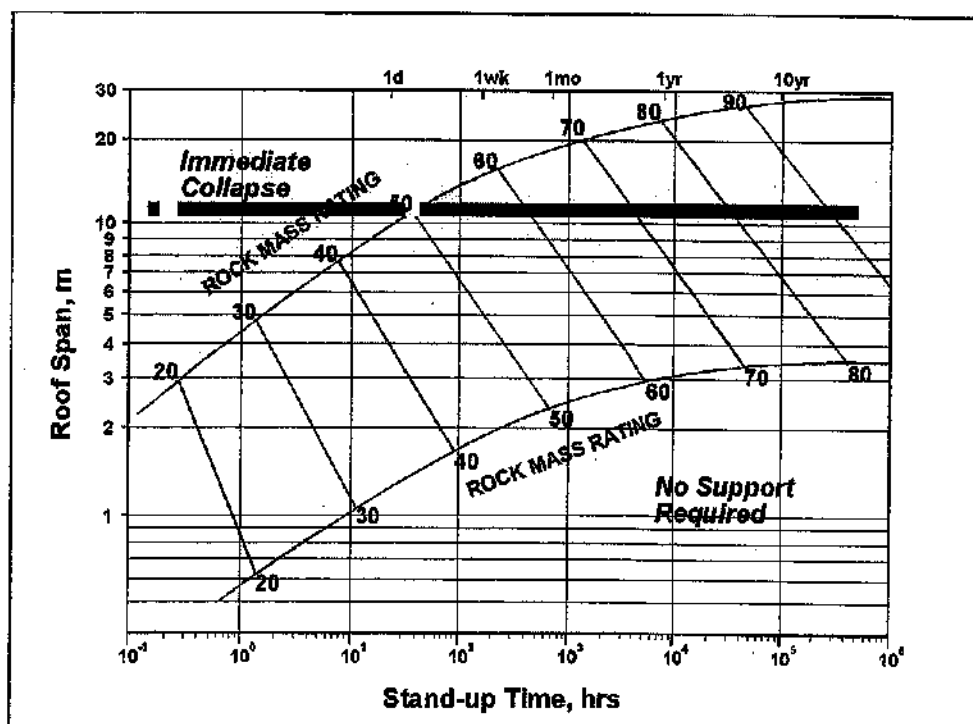


Fig. 6.5 - The range of RMR values determinate during tunneling

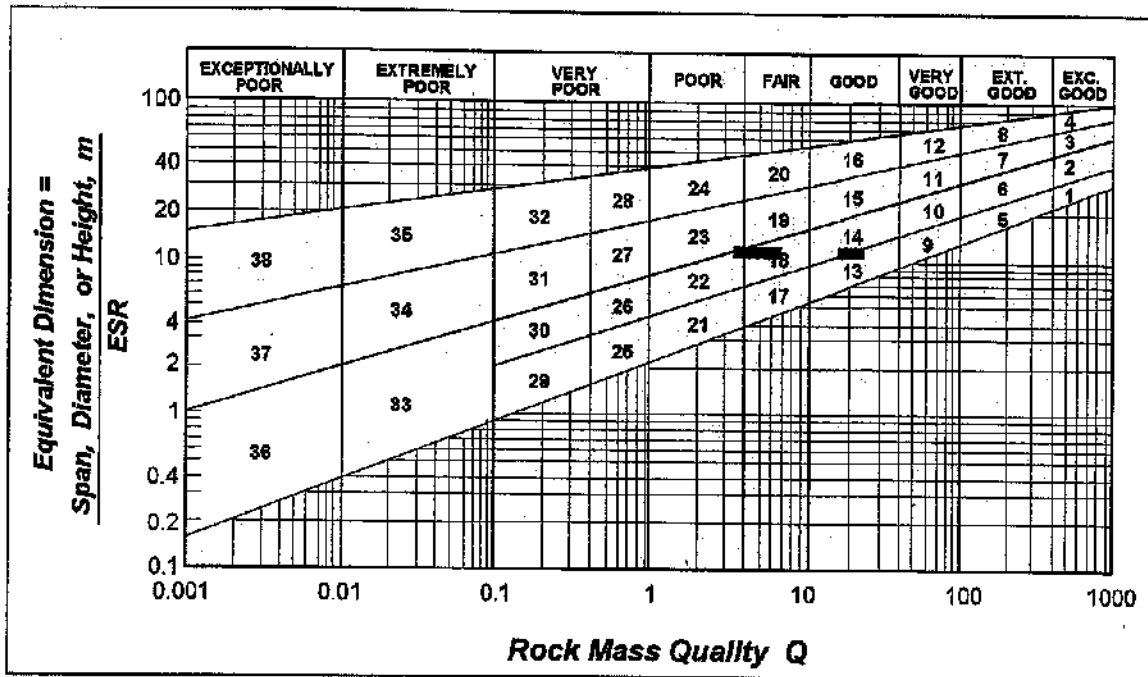


Fig. 6.6 - The range of  $Q$  values from site investigation boreholes

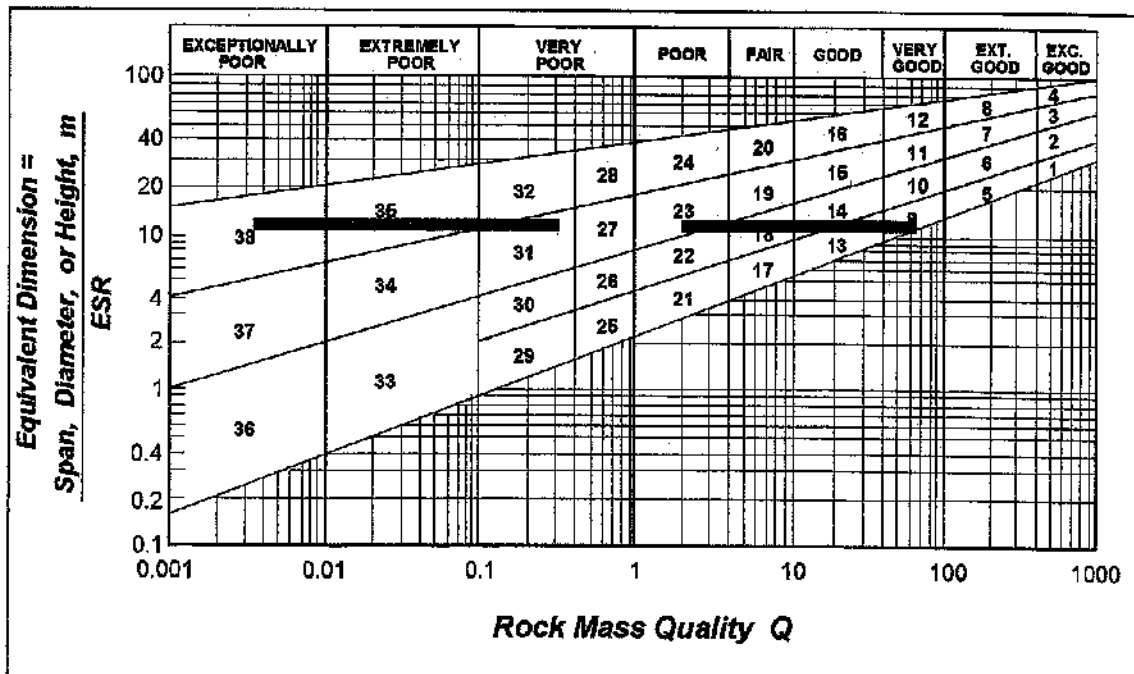


Fig. 6.7 - The range of  $Q$  values determinate during tunneling

ידי חפירות, או מנהרת חלץ על מנת לבצע את המדידות הנדרשות לספק בסיס כמותי לתחילת העבודות ובכך לחסוך את אי הודאות ואת העלויות הכרוכות בה. יש לזכור כי פתיחת מחשופים או לחילופין מנהרת חלץ כרוכים בתקצוב נאות ובעיות הנדסיות ולא תמיד מתאפשרות.

### 6.3 השוואת בין תימוך מומלץ (על ידי שיטות הסיווג) לבין תימוך בפועל.

#### 6.3.1 שיטת ה-Q

שתי שיטות הסיווג מציעות שיטות תימוך לאיכויות השונות של מאסת הסלע. התימוך בפועל שהתבצע כלל קשתות ברזל במרווחים של 0.5 עד 1.5 מטרים, ברגי סלע, דרוכים בחלקם, רשתות זמן ובטון מותו. חתכים  $10 + 426$  עד  $17 + 451$  נתמכו על ידי קשתות ברזל במרווח של עד 1.5 מטרים, ברגי סלע נקודתיים בקשתות בעלי מרווח הגדול ממטר ובטון מותו בעובי ממוצע של 30 סנטימטרים (תת - פרק 5.2). התימוך בפועל התייחס לכל מאסת הסלע בחמש מאות מטרים הדרומיים של המנהרה כאל יחידת תימוך אחת פרט לחלק מחוץ 438, (תת - פרק 5.2). למעשה היחידות הגיאוטכניות השונות, בחלק הדרומי של המנהרה, טופלו כיחידה אחת וההבדל היחיד בתימוך בא לידי ביטוי במרווח בין הקשתות אשר גדל עד 1.5 מטרים באזורים של הדולומיט החצי מאסיבי היוצר דרגשים ורטיקליים. ערכי Q למאסת סלע זו נעים בין 0.006 לדולומיט המפורר ועד 11.7 לדולומיט הסדוק בצורה של דרגשים ורטיקליים. התימוך המומלץ למאסת סלע מסוג זה משתייך לקטגוריות מספר 38 ומשתנה עד לקטגוריה מספר 13 (צור 6.7). שיטת ה-Q ממליצה על קשתות יצוקות בטון מזוין, בעובי של 10 עד 30 סנטימטרים, לאזורים של הדולומיט האבקתי, תימוך דומה אך בעובי של 4 עד 15 סנטימטרים מוצע לדולומיט הסדוק בצורת קוביות ולבולדרים של הדולומיט המאסיבי המופיעים עם הדולומיט האבקתי (ברקציה דולומיטית). בשאר היחידות הגיאוטכניות מספלת שיטת ה-Q באמצעות שילוב של ברגי סלע ובטון מותו במרחקים ובעוביים משתנים. בפועל, לא ניתן לשנות תימוך כל מספר מטרים ולכן הוחלט על תימוך אחיד, בטכניקת הביצוע, ליחידות הבעייתיות מבחינה גיאוטכנית. ההבדל בין התימוך בפועל לתימוך המומלץ נובע בעיקרו מהתבססות על שיטת תימוך שונה, שיטת ה-Q מסתמכת בעיקרה על שילוב של ברגי סלע ובטון מותו ואילו התימוך בפועל התבסס על קשתות ברזל. ההבדל בין השיטות ניכר רק באזורים של דולומיט היוצר דרגשים ורטיקליים. התימוך, הכבד ביותר, המומלץ על ידי שיטת ה-Q כולל ברגי סלע לא דרוכים במרחקים של מטר עד מטר וחצי, רשת זמן ובטון מותו בעובי של חמשה עד עשרה סנטימטרים. התימוך בפועל שהתבצע היה הרבה יותר כבד, כפי שצוין בפתיחה של פרק זה. בשאר היחידות קבע Barton ב-1994 כי התימוך בקשתות בטון המומלץ

זהה לתימוך בקשתות ברזל שחנבצע. נושא זה זקוק לבדיקה ויש לבדוק את הזחחות ההנדסית בין קשתות בטון מזוין בעובי של מטר עד שלושה מטרים לקשתות ברזל עם בטון מותז מקסימלי של 30 סנטימטרים. בנוסף, ישנו הבדל כספי ניכר בין תימוך בקשתות בטון (אשר יקר יותר) לבין תימוך בקשתות ברזל ובטון מותז.

הדולומיט המאסיבי נתמך בפועל על ידי ברגי סלע באורך 4 - 3 מטרים דרוכים בתקרה במרווח ממוצע של 2 מטרים, רשת זיון ובטון מותז בעובי ממוצע של 12 סנטימטרים. שיטת ה-Q ממליצה על תימוך הכולל ברגים דרוכים במרחק ממוצע של 1.5 - 1 מטרים ורשת זיון וזאת כאשר ערכי ה-Q יורדים מתחת ל-10 ואילו לערכי ה-Q העולים על 10 מומלץ לבצע תימוך של ברגי סלע כלל לא דרוכים בלבד ועד המלצה על אי צורך בתימוך לערך Q של 67.

התימוך המומלץ על ידי שיטת ה-Q חנו נמוך מזה שבוצע בפועל לאיכות מאסת הסלע אשר ערכי ה-Q שלה עולים על 2 וזהה (לפי דברי Barton 1994) במקרה של ערכי Q הנמוכים מ-0.5.

### 6.3.2 שיטת RMR

שיטת RMR מכילה טבלאות תימוך שונות בהתאם לצורת המנחרה, צורת הכרייה, המאמץ האנכי ועובי הכיסוי מעל המנחרה. ליחידות הגיאוסטכניות שקבלו סיווג של סלע גרוע ( $RMR < 40$ ) ממליצה שיטת ה-RMR על תימוך הכולל קשתות ברזל מקומיות, במרווחים של 1.5 מטרים, ברגי סלע באורך 5 - 4 מטרים במרווח ממוצע של 1.5 - 1 מטרים, רשת זיון ובטון מותז בעובי של 15 - 10 סנטימטרים בקשת (תקרה) ו-10 סנטימטרים בקירות (Bieniawski 1989). למקרים מסוימים של הדולומיט האבקתי בהם ערך RMR חנו קטן מ-21, ממליצה השיטה על קשתות ברזל מאסיביות יותר במרווח של 0.75 מטרים, ברגי סלע באורך 6 - 5 מטרים, רשת זיון ובטון מותז עבה יותר ב-5 סנטימטרים לתקרה ולקירות וגם 5 סנטימטרים של בטון מותז בחזית (Face) הכרייה. התימוך שבוצע בפועל דמה לתימוך המומלץ אם כי ברגי סלע שימשו רק בקשתות בעלות מרווח של 1.5 מטרים ועובי הבטון המותז היה גדול יותר ב-15 - 10 סנטימטרים.

במאסת הסלע האיכותית יותר ( $RMR > 40$ ) התימוך שהומלץ כלל החל מברגי סלע באורך 4 מטרים במרווחים של 2 - 1.5 מטרים, רשת זיון ובטון מותז מקסימלי בעובי של 10 סנטימטרים ועד חוסר צורך בתימוך פרט לברגי סלע נקודתיים. התימוך שבוצע בפועל היה "כבד" יותר והשתמש בבטון מותז

בעובי 12 סנטימטרים בברגיי סלע במרווח ממוצע של 2 מטרים וברשת זמן גם לחלקים שהומלצו להישאר ללא תימוך.

שיטת ה- RMR הציע תימוך דומה (מעט פחות "כבד") לזה שבוצע ביחידות הגיאוטכניות הגרועות (דולומיט מפורר, דולומיט סדוק מאוד וברקציה דולומיטית) ותימוך "קל" יותר ליחידות הגיאוטכניות שכללו דולומיט מאסיבי ודולומיט סדוק בצורת דרגשים ורטיקליים.

ההשוואה בין שתי שיטות הסיווג Q ו- RMR והתימוך המומלץ מעלה כי קיימת זהות בין התימוך שהומלץ בשתי השיטות לסלע בעל ערכי Q הגדולים מ- 2 וערכי RMR הגדולים מ- 41.

בערכים נמוכים מאלו נעוץ ההבדל בסוג הקשתות המומלץ לתימוך. בנוסף ממליצה שיטת ה- RMR על שימוש בנוסף לקשתות ברזל גם בברגיי סלע ואילו ה- Q פותרת את הבעייתיות הנובעת מערכי סיווג נמוכים בתמיכה מאסיבית של קשתות יצוקות בטון מזוין.

#### 6.4 יישום שיטת ה- Q וה- RMR

סיווג מאסת הסלע בשיטת ה- Q לאזורים בהם מאסת הסלע הייתה איכותית (דולומיט מאסיבי) נתן טווח ערכים של 6.7 - 66.7 וזאת בהתאם למצב הסדקים. האפשרות לחשב את זווית החיכוך הפנימית למאסת הסלע התגלתה כתואמת את המציאות ונמצא כי יש התאמה בין זווית החיכוך שחושבה למישורי אי הרציפות לבין זו שדרושה ליציבות על ידי תיאוריית הבלוקים (אנליזת שיווי משקל גבול). הפרמטרים שמרכיבים את השיטה אפשרו סיווג של מאסת הסלע בטווח ערכים גדול שנבע בעיקר ממקדם ה- RQD. המקדמים  $J_a$ ,  $J_r$  ו-  $J_a$  הראו אף הם טווח ערכים אך הרבה יותר מצומצם. המקדמים  $J_w$  ו- SRF נשארו קבועים לכל אורך הסיווג למאסת הסלע שכללה דולומיט מאסיבי ודולומיט היוצר דרגשים ורטיקליים.

סיווג מאסת הסלע בשיטת ה- RMR נתן אף הוא טווח ערכים גדול שנע בין 61 ל- 93 וזמן היציבות ללא תימוך המוגדר לסלע כזה הנו חודש עד יותר מ- 10 שנים. הכרייה מן הכניסה הצפונית לא לוותה בתימוך מידי והסלע נשאר חשוף לעתים אף יותר מחודש, ניתן לאמר כי אכן לא התרחשה התמוטטות אך פרק זמן זה אינו מספיק על מנת לבסס את נכונות השיטה. טווח הערכים נבע בעיקר מהפרמטר המגדיר את מצב הסדקים. פרמטר זה הוא תיאורי והיה צורך להכליל בו את כל מאפייני מישורי אי הרציפות למרות שחלקם הופיע נקודתית בלבד (כיסוי חרסית לאורך סידוק ומערכות קארסטיות) ולא אפיין את מאסת הסלע בצורה סיסטמטית. הפרמטר המתאמת למי התהום נשאר קבוע לכל אורך המנהרה.

סיווג מאסת הסלע שהורכבה מסלע בלוי וסדוק עד כדי דולומיט אבקתי היה מורכב יותר.

פרמטר ה - Ja אשר אמור לתת הגדרה למצב הבליה של קירות הסדק ולמילוי הסדק, אינו מאפשר התמודדות ברורה עם המצב של זולומיט אבקתי. מאסת הסלע שנבדקה לא הכילה מישורי אי רציפות ברורים ולכן ההגדרה של מאסת הסלע האבקתית עוברת לסעיף של חוסר מגע בין קירות מישורי אי הרציפות. בתוך סעיף זה מתייחס פרמטר ה - Ja בעיקר למצב החרסיות בתוך הסדקים כך שהאפשרות מצטמצמת לסעיף K בלבד אשר מתייחס לסלע מרוסק ומפורר ועם נוכחות חרסיות. כמו כן מספקת טבלת הסיווג (Barton et al. 1974) זווית חיכוך פנימית משוערת לסלע הנבדק, זווית החיכוך שמתקבלת מסעיף K היא  $24^{\circ}$  -  $6^{\circ}$  בעוד זווית החיכוך של הזולומיט האבקתי הנה  $36^{\circ}$  -  $33^{\circ}$  (ראה ניסוי גזירה ישירה). ניסיון לחשב את זווית החיכוך הפנימית כתלות במקדמים  $J_r/J_a$  (ראה נוסחה פרק 3.3) נותן זווית חיכוך מקסימלית של  $20^{\circ}$ , דבר נכון כאשר מתייחסים לחרסיות (ראה ניסוי גזירה ישירה) אך לא תואם את הזולומיט המפורר. אפשרות נוספת לסיווג של Ja הוא סעיף F המתאים מבחינה תאורית ואף מבחינה זווית החיכוך הפנימית המוצעת אך עונה לקטגוריה של מגע בין קירות הסדק לפני התרחשויות גזירה של 10 סנטימטרים. הגדרה זו אינה מתאימה לאזורי חולשה שלא מציגים מישורי חולשה ברורים אלא מתאימים יותר למערכת קארסטית. יתכן שאם היה מוכנס פרמטר המגדיר את חוזק הסלע ללחיצה חד צירית או נקודתית התמונה המתקבלת הייתה אמינה יותר ואף מדויקה בצורה כמותית. בשיטת RMR אכן קיים פרמטר של חוזק הסלע ופרמטר זה מקבל את הערך אפס כאשר הסלע אינו מלוכד ואינו יכול להציג כלל דוגמה לבדיקה או במקרים מסוימים נתקבל הערך 1 עבור פרמטר זה. הערך הנמוך שמתקבל בבדיקת החוזק עוזר במידה רבה לעלות על הבעייתיות במאסת סלע שאינה קומפטנטית ומאפשר נתינת ערכים נמוכים ובהתאם לכך תימוך. הבעיה של שיטת RMR בסיווג מאסת הסלע בעלת ערכי RMR הקטנים מ - 40 הוא מצב המים. היות ומנהרת גילה עוברת באזור יבש לחלוטין ללא השפעה של מים ויצירת לחצים או התנזלות מקבל פרמטר מי - התחום ערך מקסימלי של 15, ערך זה מקפיץ את איכות מאסת הסלע ומציב את הזולומיט האבקתי כבעל ערך של 23. התימוך המומלץ למאסת הסלע לפיכך הנו "קלי" יותר מן הנדרש בפועל. כאשר מבצעים תיקון לפי האוריינטציה של מישורי אי הרציפות יורד הערך ל - 21 אך נמצא עדיין בקטגוריה של תימוך לא מתאים. הערך 21 הוא ערך גבולי ומספיק לחורידו ל - 20 על מנת לעבור לתימוך מומלץ מאסיבי יותר, האוריינטציה של מישורי אי הרציפות ביחס למנהרה אינה מוחלטת, ביחוד באזור הדרומי בו מערכות הסידוק אינן ברורות, ולכן כאשר מכירים את השטח ניתן לבצע תיקון גדול יותר.

זמן היציבות של מפתח לא תמוך למאסת הסלע בעלת ערכי RMR הקטנים מ - 50 שואף לאפס ומראה על התמוטטות מיידית. במעל החוזק המפתח מספר שעות ללא תימוך ולכן ניתן להראות על חוסר התאמה בין תחזית זמן היציבות לבין זמן היציבות בפועל.

פרמטרים לא מדידים כמותית אלא תיאוריים כגון  $J_r$ ,  $Ja$  ו-  $SRF$  בשיטת ה-  $Q$  ותיאור מצב

הסדקים בשיטת ה-  $RMR$  גורמים לסיווג מאסת הסלע בצורה סובייקטיבית בעיקר כאשר הפרמטרים התיאוריים אינם עונים להגדרת המצב בשטח, וכך יכולים להתקבל ערכי  $Q$  או  $RMR$  שונים לאותה יחידה גיאוסטכנית. מקדם התיקון הנובע מאוריינטציה מישורי אי הרציפות ויחסה למנהרה סובל גם הוא מתחוס ביניים. מערכות הסידוק אינם תמיד מקבילות או ניצבות לציר המנהרה ויש להתחיל, לדוגמא, כיצד לדרג זווית של  $50^\circ$  בין סטרייק מערכת הסידוק לציר המנהרה?

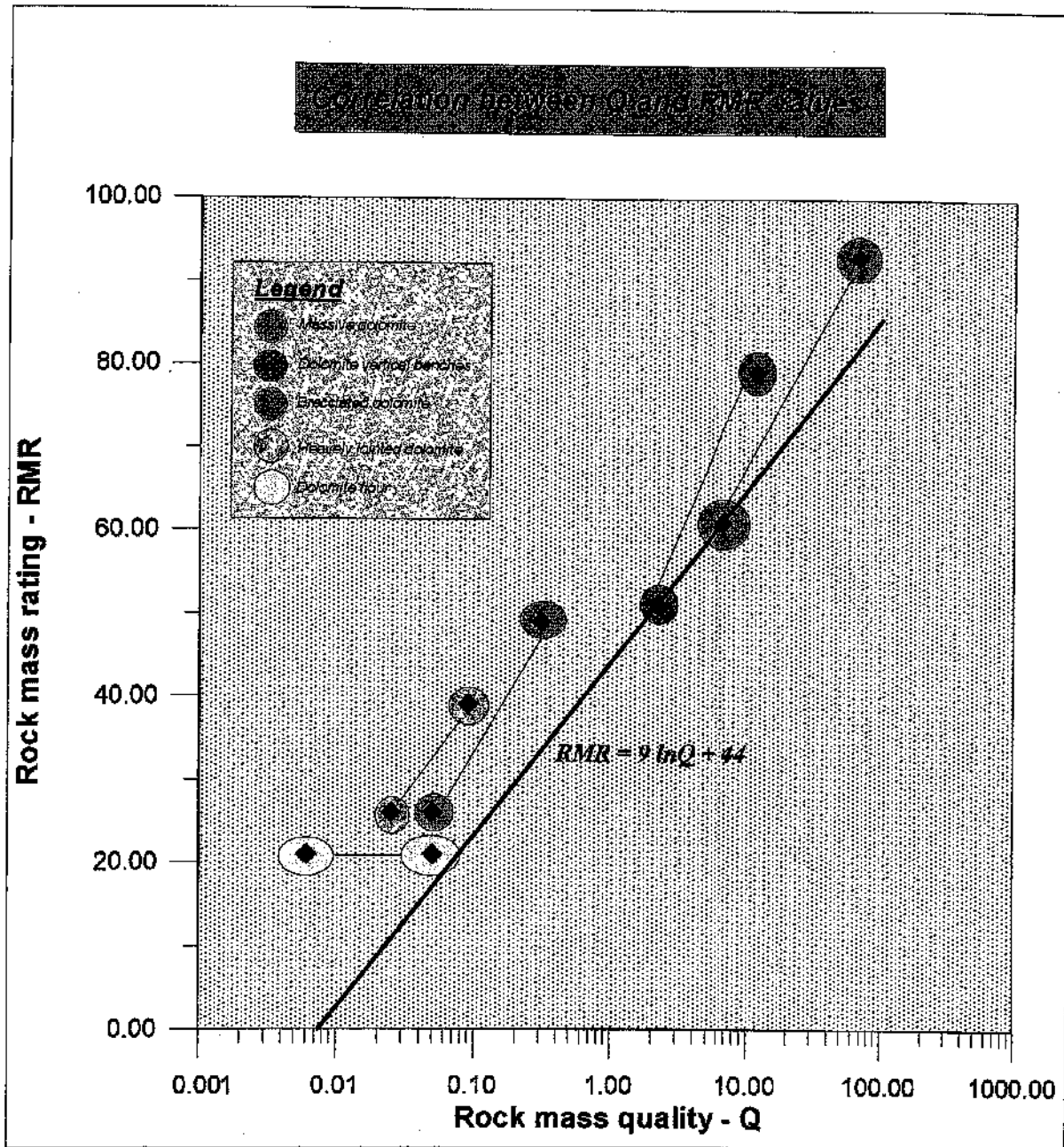
היכולת לסווג את מאסת הסלע בשיטת ה-  $Q$  על סמך קידוחים בסקר ראשוני הנה מוגבלת. האופי המורכב של הפרמטרים (פרט ל-  $RQD$ ) מצריך בחינה מעמיקה יותר של תנאי השטח ולא יכול להסתפק בקידוחים מעטים, או בקידוחים בכלל. גילוי אזורי חולשה לצורך הגדרת פרמטר ה-  $SRF$  דורש למעשה מיפוי של שברים ואזורי גזירה. הגדרת כמות ואופי מערכות מישורי אי הרציפות תהיה מדויקת כאשר תתבצע מדידה מסודרת של מערכות הסידוק. ימודד פרופיל החספוס שלהם ותתקבל תמונה על אופי המילוי ועל דרגת תבליה של הסדקים. באזורים רווי מים צריכה להיעשות גם בדיקה של קצב השפיעה של המים. המצב דומה בשיטת ה-  $RMR$  אם כי בשיטה זו ניתן למדוד את חוזק הסלע גם מדוגמאות גלעיני קידוח עדין יש צורך במיפוי מדויק של מישורי אי הרציפות על מנת להגדיר את המרווח הממוצע, להגדיר את היחס בין אוריינטציה מישורי אי הרציפות לחלל חותך - קרקעי, להגדיר את מצב הסידוק ולמדוד את שפיעת המים. לכן סיווג מאסת הסלע במנהרת גילה שנעשה לאחר פתיחת המנהרה לא יכל היה להיעשות בכמות הנתונים שעמדה לרשות הסקר הראשוני.

התימוך שהוצע על ידי שיטת ה-  $Q$  לסלע המאסיבי היה "קל" יותר מן התימוך שבוצע בפועל. יתכן כי לבעיית היציבות הכללית תימוך זה אכן היה מספיק אך ההטרונגיות הרבה, גם של הסלע המאסיבי, אופיינה בנוכחות כיסי חרסית וקארסט ואילצה את המבצעים לעבור לכיסוי כללי של קירות המנהרה על מנת למנוע התמוטטויות. Barton ב- 1994 נתן לדולומיט המאסיבי ערכים של 54 - 13, מינימום טווח ערכים

זה הנו גבוה מן הסיווג שנקבע בעבודה זו למאסת הסלע המאסיבית. לפיכך, התימוך היה צריך להיות מופחת אך הבעיה היא אותן תופעות מקומיות ולא סיסטמיות השוברות את אחידות מאסת הסלע ולא נכללות בפרמטרים השונים של השיטה בצורה תיאורית או כמותית. התימוך שהוצע בשיטת ה-  $RMR$  לסלע המאסיבי היה "קל" יותר מזה שבוצע בפועל גם בסלע המאסיבי וגם במאסת הסלע בעלת הערכים הנמוכים. יש לציין כי הפער בין המומלץ למצוי אינו גדול וישנה גם התאמה בין שיטת התימוך המומלצת הכוללת

קשתות ברזל (ולא בטון כמו בשיטת ה-Q) לאזורים בעייתיים (התאמה בין חמלצת שיטת ה-Q ושיטת ה-RMR לתימוך הסלע המאסיבי).

קורלציה בין ערכי Q לערכי RMR נעשתה באמצעות משוואת הקורלציה (נוסחה 3.6) לאחר תהליך ההגדרה של מאסת הסלע, הנוצאות הראו על התאמה בין ערכי Q ו-RMR המינימליים לסלע המאסיבי ולדולמיט הסדוק בצורת דרגשים ורטיקליים. שאר הנוצאות נתנו סטייה של 10 - 15 נקודות דירוג בין ה-Q ל-RMR (בשיטת RMR) ולדולמיט האבקתי אף התקבלו ערכי RMR שליליים, דבר שלא יתכן (ציור 6.8).



**Fig. 6.8 - Correlation between Q system and RMR.**

## 7. מסקנות

1. מיקום תוואי המנהרה בבסיס יחידה אקויפריית כתצורת עמידה המונחת על גבי אקויקלוד (תוואר מוצא) אינו מאפשר התבססות על מערך הנתונים הגיאוטכניים שנאגרו בסקר הראשוני, לגבי תצורת עמידה, ומאלץ התמודדות עם יחידת מעבר המאופיינת בפרמטרים גיאוטכניים עצמאיים שונים בתכלית מאלו של תצורת עמידה בחלקה העליון. לכן, מיקום כרייה של חלל תת - קרקעי ביחידות קרבונטיות כגיר ודולומיט חייב להתחשב בהיסטוריה הגיאולוגית של מאסת הסלע המארחת. יש להתכונן לאפשרות של תופעות קארסט ולא למקם את החלל התת - קרקעי המתוכנן בגבול אקויפר אקויקלוד הנתון למשטר של בליית והמסה קארסטית באופן מרוכז וממועד.

2. א. ממצאי הסקר הראשוני לא תאמו את המצב בתת - הקרקע. הגדרת ערכי  $Q$  ו-  $RMR$  אינה יכולה להתבסס על מספר קידוחים מועט ויש להגדיל את מספר הקידוחים, בייחוד כאשר מדובר על מאסת סלע הטרוגנית כבסיס עמידה. במקביל, כאשר אין מחשופים יש לבצע חפירה או לכרות מנהרת חלוץ קטנה בקוטר לצורך איסוף מידע, הגדרת איכות מאסת הסלע והקטנת חוסר הודאות.

3. פרמטר ה-  $RQD$  הנו פרמטר נקודתי ואין לו יכולת להציג תמונת מצב על איכות מאסת הסלע ללא תפרוסת מרחבית של קידוחים שתאפשר ראיית מצב מדויקת יותר.

3. א. שיטת הסיווג  $Q$  מתבססת על אפיון מישורי אי הרציפות וכאשר מישורי אי הרציפות אינם ברורים ואזורי החולשה נובעים ממערכת קארסטית וחומר המילוי אינו חרסיתי קיימת בעיית הגדרה של הפרמטר  $Ja$ . שיטת הסיווג  $Q$  מתייחסת בעיקר לחרסיות (כתומר מילוי בסדקים) ומקשה על סיווג מאסת סלע הטרוגנית כבסיס עמידה.

3. הפרמטרים המשמשים להערכת זווית החיכוך הפנימית של מישורי אי הרציפות ( $Jr/Ja$ ) מתאימים לדולומיט המאסיבי של תצורת עמידה אך לא לדולומיט האבקתי המצוי ביחידת המעבר.

4. א. הדירוג של הדולומיט האבקתי ביחידת המעבר בשיטת  $RMR$  מקבל ערך של מעל 21 וממליץ על קטגוריית תימוך "קלה" יותר, היות והפרמטר המתמייחס למי התחום מאלץ לבצע דירוג גבוה יותר מזה הקיים במציאות.

3. פרמטר החוזק לחיצה חד צירית או נקודתית (בשיטת  $RMR$ ) מעלה את כמות המידע שניתן לחוציא מן הקידוחים ומאפשר הורדת דירוג למאסת סלע לא קומפלטית, ללא תלות במישורי אי הרציפות, וזאת בניגוד לשיטת ה-  $Q$ .

5. במאסת סלע מאסיבית כתצורת עמינדב מאפשרות שיטות הסיווג  $Q$  ו-  $RMR$  את הגדרת איכות מאסת הסלע בצורה טובה יותר מאשר במאסת סלע כיחידת המעבר. עם זאת עדיין קיימת בעיה בשיטות הסיווג לבטא כמותית את ההטרוגניות של סלעים קרבונטים המכילים מישורי אי רציפות ותופעות של בליה וקארסט. לכן, התימוך בפועל הנו מאסיבי יותר מן התימוך המומלץ עקב הצורך להתמודד עם תופעות מקומיות.

6. א. במאסת סלע כיחידת המעבר בבסיס עמינדב הגדרת איכות מאסת הסלע בשתי השיטות ( $Q$ ,  $RMR$ ) סובייקטיבית ומתונה לשיקול דעת ולניסיון של הגיאולוג. הפרמטרים התיאוריים משאירים טווח שאינו מאפשר דיוק בתגדרה.

ג. משוואת הקורלציה מאפשרת מעבר מקורב בין ערכי  $Q$  לערכי  $RMR$  במאסת סלע האיכותית אך אינה מאפשרת מעבר דומה, במאסת הסלע של יחידת המעבר (בעיקר דולומיט אבקוני). דבר המחזק את הבעייתיות בהגדרת מאסת הסלע של יחידת המעבר. בנוסף, מדגיש גרף הקורלציה את חוסר הרגישות, של שיטת  $RMR$ , לערכים נמוכים של איכות מאסת הסלע בתנאים יבשים אשר "מקפיץ" את דירוג איכות מאסת הסלע. יש לשקול אפשרות של התאמת פרמטר מי התנהום לתנאים יבשים כפי ששררו באתר המחקר.

7. מאסת הסלע המארכת את מנהרת גילה הארוכה ומאסות סלע הדומות לה אינן מתאימות לניתוח בעזרת Block Theory. ההטרוגניות של מאסת הסלע והסידוק האנזולטורי מקשים על היווצרות בלוקים. הבלוקים היחידים שנוצרים חנם קטנים וחטרי משמעות הנדסית. עם זאת כדאי להקפיד ולבצע את אנליזת הבלוקים היות ויתכן כי בסיטואציה של מערכות סידוק בכמות גדולה יותר בעלות כיוונים אחרים, או זזמים, וביחס למבנה הנדסי שונה (בייחוד בחללים תת - קרקעיים גדולים וארוכים יותר) ובעומק כרייה שונה ייווצרו בלוקים העלולים לחוות סכנה מהותית ליציבות המבנה וכדאי יהיה לאתרם מבעוד מועד.

8. אנליזת הזזה ואנליזת שיווי משקל גבולי שבוצעו על "רפא"י בלוקים, מאמתות את היווצרותם והחלקתם של בלוקים קטנים אשר נמדדו לאורך המנהרה, ויכולות לשמש כלי יעיל לניתוח יציבות של בלוקים גדולים יותר אם וכאשר אלה ייווצרו.

## **נספח מספר 1**

**תוצאות בדיקות החוזק ללחיצה נקודתית**

| Sample No. ANP-2 |           |           |           |             |         |        |       |             |
|------------------|-----------|-----------|-----------|-------------|---------|--------|-------|-------------|
| Plug No.         | Test type | Weight gr | Height cm | Diameter cm | Load kN | Is MPa | Range | Average MPa |
| 1                | Diametral | 153.88    | 5.41      | 3.74        | 17.50   | 12.80  | 5.20  |             |
| 2                | Diametral | 159.56    | 5.66      | 3.74        | 17.00   | 12.40  |       |             |
| 3                | Diametral | 157.79    | 5.55      | 3.75        | 17.00   | 12.40  |       | 11.00       |
| 4                | Axial     | 130.74    | 4.58      | 3.73        | 14.30   | 6.90   |       |             |
| 5                | Axial     | 132.01    | 4.83      | 3.77        | 12.00   | 5.20   |       |             |
| 6                | Axial     | 110.86    | 4.07      | 3.73        | 26.80   | 16.50  | 16.50 |             |

| Sample No. ANP-3 |           |           |           |             |         |        |       |             |
|------------------|-----------|-----------|-----------|-------------|---------|--------|-------|-------------|
| Plug No.         | Test type | Weight gr | Height cm | Diameter cm | Load kN | Is MPa | Range | Average MPa |
| 1                | Diametral | 132.37    | 5.55      | 3.73        | 9.30    | 6.80   | 6.30  |             |
| 2                | Diametral | 138.73    | 5.67      | 3.73        | 10.20   | 7.50   |       |             |
| 3                | Diametral | 144.51    | 5.97      | 3.72        | 9.20    | 6.80   |       | 7.20        |
| 4                | Axial     | 110.77    | 4.07      | 3.71        | 12.50   | 7.70   |       |             |
| 5                | Axial     | 116.80    | 4.41      | 3.73        | 12.00   | 6.30   |       |             |
| 6                | Axial     | 97.57     | 3.48      | 3.75        | 9.80    | 8.20   | 8.20  |             |

| Sample No. ANP-4 |           |           |           |             |         |        |       |             |
|------------------|-----------|-----------|-----------|-------------|---------|--------|-------|-------------|
| Plug No.         | Test type | Weight gr | Height cm | Diameter cm | Load kN | Is MPa | Range | Average MPa |
| 1                | Diametral | 159.80    | 6.02      | 3.73        | 10.00   | 7.30   | 3.30  |             |
| 2                | Diametral | 141.20    | 5.44      | 3.73        | 12.50   | 9.20   |       |             |
| 3                | Axial     | 118.02    | 4.66      | 3.75        | 7.00    | 3.30   |       | 5.90        |
| 4                | Axial     | 97.99     | 3.86      | 3.73        | 5.50    | 3.80   | 9.20  |             |

| Sample No. 1 |           |           |           |             |         |        |       |             |
|--------------|-----------|-----------|-----------|-------------|---------|--------|-------|-------------|
| Plug No.     | Test type | Weight gr | Height cm | Diameter cm | Load kN | Is MPa | Range | Average MPa |
| 1            | Diametral | 161.30    | 5.92      | 3.74        | 11.00   | 7.86   | 4.47  |             |
| 2            | Diametral | 158.05    | 5.64      | 3.74        | 13.00   | 9.30   |       |             |
| 3            | Diametral | 162.14    | 5.90      | 3.73        | 13.80   | 9.92   |       |             |
| 4            | Diametral | 158.46    | 5.98      | 3.72        | 10.00   | 7.21   |       |             |
| 5            | Axial     | 106.57    | 4.04      | 3.73        | 7.3     | 4.47   |       | 7.68        |
| 6            | Axial     | 110.6     | 3.95      | 3.75        | 14      | 8.98   |       |             |
| 7            | Axial     | 111.84    | 4.09      | 3.73        | 10      | 5.99   | 9.92  |             |

GEOLOGICAL SURVEY OF ISRAEL  
Geotechnical Laboratory

| Sample No. 2 |           |           |           |             |         |        |       |             |
|--------------|-----------|-----------|-----------|-------------|---------|--------|-------|-------------|
| Plug No.     | Test type | Weight gr | Height cm | Diameter cm | Load kN | Is MPa | Range | Average MPa |
| 1            | Diametral | 166.68    | 5.79      | 3.73        | 11.80   | 8.48   | 6.64  |             |
| 2            | Diametral | 171.69    | 5.77      | 3.74        | 17.30   | 12.40  |       |             |
| 3            | Axial     | 109.56    | 4.27      | 3.73        | 12.10   | 6.64   |       | 8.83        |
| 4            | Axial     | 122.01    | 4.13      | 3.74        | 16.90   | 9.93   |       |             |
| 5            | Axial     | 106.02    | 4.07      | 3.72        | 11.10   | 6.71   | 12.40 |             |

| Sample No. 3 |           |           |           |             |         |        |       |             |
|--------------|-----------|-----------|-----------|-------------|---------|--------|-------|-------------|
| Plug No.     | Test type | Weight gr | Height cm | Diameter cm | Load kN | Is MPa | Range | Average MPa |
| 1            | Diametral | 154.60    | 5.37      | 3.74        | 10.80   | 7.74   | 7.74  |             |
| 2            | Diametral | 159.14    | 5.55      | 3.73        | 15.00   | 10.76  |       |             |
| 3            | Axial     | 117.22    | 4.14      | 3.74        | 15.10   | 8.83   |       | 8.97        |
| 4            | Axial     | 113.72    | 4.06      | 3.73        | 14.20   | 8.60   |       |             |
| 5            | Axial     | 115.82    | 4.11      | 3.74        | 15.00   | 8.90   | 10.76 |             |

| Sample No. 4 |           |           |           |             |         |        |       |             |
|--------------|-----------|-----------|-----------|-------------|---------|--------|-------|-------------|
| Plug No.     | Test type | Weight gr | Height cm | Diameter cm | Load kN | Is MPa | Range | Average MPa |
| 1            | Diametral | 154.21    | 5.46      | 3.74        | 15.00   | 10.75  | 7.89  |             |
| 2            | Diametral | 164.07    | 5.68      | 3.74        | 11.10   | 7.94   |       |             |
| 3            | Diametral | 163.37    | 5.61      | 3.74        | 14.80   | 10.61  |       |             |
| 4            | Axial     | 131.46    | 4.53      | 3.75        | 16.2    | 7.89   |       |             |
| 5            | Axial     | 120.82    | 4.19      | 3.73        | 17.8    | 10.12  |       | 9.5         |
| 6            | Axial     | 126.5     | 4.46      | 3.76        | 16.8    | 8.45   |       |             |
| 7            | Axial     | 117.47    | 4.09      | 3.74        | 16      | 10.75  | 10.75 |             |

| Sample No. 5 |           |           |           |             |         |        |       |             |
|--------------|-----------|-----------|-----------|-------------|---------|--------|-------|-------------|
| Plug No.     | Test type | Weight gr | Height cm | Diameter cm | Load kN | Is MPa | Range | Average MPa |
| 1            | Diametral | 148.48    | 5.31      | 3.73        | 12.50   | 8.97   | 4.94  |             |
| 2            | Diametral | 151.94    | 5.36      | 3.73        | 11.50   | 8.27   |       |             |
| 3            | Diametral | 157.19    | 5.73      | 3.74        | 13.00   | 9.32   |       |             |
| 4            | Axial     | 110.80    | 4.09      | 3.73        | 14.00   | 8.39   |       |             |
| 5            | Axial     | 111.82    | 4.22      | 3.74        | 8.80    | 4.94   |       |             |
| 6            | Axial     | 107.61    | 3.89      | 3.74        | 12.20   | 8.08   |       | 8.20        |
| 7            | Axial     | 103.54    | 3.89      | 3.73        | 14.20   | 9.40   |       |             |
| 8            | Axial     | 108.88    | 3.95      | 3.74        | 14.00   | 8.96   | 9.32  |             |

| Sample No. 6 |           |           |           |             |         |        |       |             |
|--------------|-----------|-----------|-----------|-------------|---------|--------|-------|-------------|
| Plug No.     | Test type | Weight gr | Height cm | Diameter cm | Load kN | Is MPa | Range | Average MPa |
| 1            | Diametral | 173.95    | 5.97      | 3.74        | 18.00   | 12.90  | 6.79  |             |
| 2            | Diametral | 173.92    | 5.97      | 3.74        | 12.00   | 9.23   |       |             |
| 3            | Diametral | 160.24    | 5.55      | 3.73        | 17.00   | 12.23  |       |             |
| 4            | Axial     | 134.88    | 4.66      | 3.73        | 21.30   | 9.80   |       | 9.92        |
| 5            | Axial     | 128.51    | 4.46      | 3.74        | 13.50   | 6.79   |       |             |
| 6            | Axial     | 128.88    | 4.45      | 3.74        | 16.80   | 8.49   |       |             |
| 7            | Axial     | 130.30    | 4.50      | 3.73        | 20.30   | 10.02  |       |             |
| 8            | Axial     | 130.33    | 4.51      | 3.78        | 19.80   | 9.72   | 12.90 |             |

| Sample No. R-6 |           |           |           |             |         |        |       |             |
|----------------|-----------|-----------|-----------|-------------|---------|--------|-------|-------------|
| Plug No.       | Test type | Weight gr | Height cm | Diameter cm | Load kN | Is MPa | Range | Average MPa |
| 1              | Diametral | 158.51    | 5.77      | 3.73        | 14.50   | 10.44  | 6.64  |             |
| 2              | Axial     | 121.50    | 4.36      | 3.73        | 12.00   | 6.31   |       |             |
| 3              | Axial     | 140.67    | 5.03      | 3.72        | 15.20   | 6.01   | 6.01  | 8.37        |

| Sample No. R-8 |           |           |           |             |         |        |       |             |
|----------------|-----------|-----------|-----------|-------------|---------|--------|-------|-------------|
| Plug No.       | Test type | Weight gr | Height cm | Diameter cm | Load kN | Is MPa | Range | Average MPa |
| 1              | Diametral | 153.57    | 5.90      | 3.73        | 8.50    | 6.11   | 4.33  |             |
| 2              | Axial     | 141.09    | 5.04      | 3.75        | 11.00   | 4.33   |       |             |
| 3              | Axial     | 137.59    | 5.03      | 3.74        | 15.00   | 5.93   | 6.11  | 5.50        |

| Sample No. I-1a |           |           |           |             |         |        |       |             |
|-----------------|-----------|-----------|-----------|-------------|---------|--------|-------|-------------|
| Plug No.        | Test type | Weight gr | Height cm | Diameter cm | Load kN | Is MPa | Range | Average MPa |
| 1               | Diametral | 146.17    | 5.31      | 3.73        | 12.00   | 8.60   | 7.90  |             |
| 2               | Diametral | 159.52    | 5.73      | 3.74        | 14.00   | 10.00  |       |             |
| 3               | Axial     | 127.26    | 4.50      | 3.73        | 16.10   | 7.90   |       | 9.23        |
| 4               | Axial     | 118.07    | 4.19      | 3.72        | 18.20   | 10.03  | 10.03 |             |

GEOLOGICAL SURVEY OF SPAIN  
Geotechnical Laboratory

| Sample No. |           | I-1b      |           |             |         |        |       |             |
|------------|-----------|-----------|-----------|-------------|---------|--------|-------|-------------|
| Plug No.   | Test type | Weight gr | Height cm | Diameter cm | Load kN | Is MPa | Range | Average MPa |
| 1          | Diametral | 161.88    | 5.93      | 3.73        | 11.20   | 8.04   | 7.05  |             |
| 2          | Diametral | 141.91    | 5.20      | 3.72        | 15.00   | 10.85  |       |             |
| 3          | Diametral | 164.40    | 6.03      | 3.72        | 13.00   | 9.40   |       | 9.25        |
| 4          | Diametral | 151.42    | 5.55      | 3.72        | 13.50   | 9.76   |       |             |
| 5          | Diametral | 165.51    | 6.12      | 3.73        | 12.90   | 9.26   |       |             |
| 6          | Diametral | 157.63    | 5.81      | 3.71        | 12.30   | 8.96   |       |             |
| 7          | Axial     | 117.29    | 4.38      | 3.72        | 13.50   | 7.05   |       |             |
| 8          | Axial     | 111.57    | 4.11      | 3.72        | 18.00   | 10.67  | 10.85 |             |

| Sample No. |           | I-1c      |           |             |         |        |       |             |
|------------|-----------|-----------|-----------|-------------|---------|--------|-------|-------------|
| Plug No.   | Test type | Weight gr | Height cm | Diameter cm | Load kN | Is MPa | Range | Average MPa |
| 1          | Diametral | 158.83    | 5.78      | 3.73        | 14.00   | 10.01  | 3.30  |             |
| 2          | Diametral | 141.48    | 5.44      | 3.73        | 12.50   | 8.99   |       |             |
| 3          | Axial     | 108.58    | 4.01      | 3.71        | 15.50   | 9.62   |       | 5.90        |
| 4          | Axial     | 103.22    | 3.85      | 3.72        | 13.90   | 9.36   | 9.20  |             |

| Sample No. |           | I-2a      |           |             |         |        |       |             |
|------------|-----------|-----------|-----------|-------------|---------|--------|-------|-------------|
| Plug No.   | Test type | Weight gr | Height cm | Diameter cm | Load kN | Is MPa | Range | Average MPa |
| 1          | Diametral | 147.23    | 5.74      | 3.72        | 8.50    | 6.15   | 6.15  |             |
| 2          | Axial     | 120.20    | 4.37      | 3.72        | 19.10   | 10.02  | 10.02 | 8.09        |

| Sample No. |           | I-2b      |           |             |         |        |       |             |
|------------|-----------|-----------|-----------|-------------|---------|--------|-------|-------------|
| Plug No.   | Test type | Weight gr | Height cm | Diameter cm | Load kN | Is MPa | Range | Average MPa |
| 1          | Diametral | 168.84    | 6.02      | 3.74        | 15.00   | 10.74  | 9.34  |             |
| 2          | Diametral | 168.58    | 6.00      | 3.74        | 15.90   | 11.35  |       | 10.47       |
| 3          | Axial     | 122.66    | 4.39      | 3.72        | 18.00   | 9.34   | 11.35 |             |

| Sample No. I-3a |           |           |           |             |         |        |       |             |
|-----------------|-----------|-----------|-----------|-------------|---------|--------|-------|-------------|
| Plug No.        | Test type | Weight gr | Height cm | Diameter cm | Load kN | Is MPa | Range | Average MPa |
| 1               | Diametral | 151.77    | 5.88      | 3.71        | 10.00   | 7.27   | 6.06  |             |
| 2               | Diametral | 151.12    | 5.72      | 3.72        | 12.80   | 9.23   |       |             |
| 3               | Diametral | 141.30    | 5.28      | 3.72        | 12.00   | 8.66   |       |             |
| 4               | Axial     | 120.86    | 4.54      | 3.71        | 16.10   | 7.80   |       |             |
| 5               | Axial     | 117.53    | 4.39      | 3.73        | 16.90   | 8.79   |       |             |
| 6               | Axial     | 116.02    | 4.32      | 3.73        | 16.90   | 9.08   |       | 8.35        |
| 7               | Axial     | 115.02    | 4.28      | 3.74        | 18.00   | 9.83   |       |             |
| 8               | Axial     | 109.36    | 4.26      | 3.73        | 11.00   | 6.06   |       |             |
| 9               | Axial     | 112.01    | 4.23      | 3.70        | 15.20   | 8.51   |       |             |
| 10              | Axial     | 113.51    | 4.26      | 3.74        | 15.00   | 8.28   | 9.83  |             |

| Sample No. I-3b |           |           |           |             |         |        |       |             |
|-----------------|-----------|-----------|-----------|-------------|---------|--------|-------|-------------|
| Plug No.        | Test type | Weight gr | Height cm | Diameter cm | Load kN | Is MPa | Range | Average MPa |
| 1               | Diametral | 148.90    | 5.56      | 3.72        | 12.20   | 8.83   | 6.73  |             |
| 2               | Diametral | 146.28    | 5.50      | 3.73        | 13.50   | 9.73   |       |             |
| 3               | Axial     | 108.20    | 4.08      | 3.74        | 13.50   | 8.11   |       | 8.05        |
| 4               | Axial     | 115.17    | 4.40      | 3.72        | 13.00   | 6.73   |       |             |
| 5               | Axial     | 114.95    | 4.83      | 3.72        | 16.00   | 6.85   | 9.73  |             |

| Sample No. I-3c |           |           |           |             |         |        |       |             |
|-----------------|-----------|-----------|-----------|-------------|---------|--------|-------|-------------|
| Plug No.        | Test type | Weight gr | Height cm | Diameter cm | Load kN | Is MPa | Range | Average MPa |
| 1               | Diametral | 159.00    | 5.98      | 3.72        | 13.10   | 9.48   | 6.73  |             |
| 2               | Axial     | 108.85    | 4.08      | 3.73        | 16.30   | 9.81   |       |             |
| 3               | Axial     | 122.61    | 4.67      | 3.71        | 14.90   | 6.83   |       | 8.44        |
| 4               | Axial     | 122.17    | 4.81      | 3.72        | 15.60   | 6.73   |       |             |
| 5               | Axial     | 114.59    | 4.29      | 3.74        | 17.50   | 9.53   |       |             |
| 6               | Axial     | 116.40    | 4.40      | 3.73        | 16.00   | 8.28   | 9.81  |             |

| Sample No. NB-1 |           |           |           |             |         |        |       |             |
|-----------------|-----------|-----------|-----------|-------------|---------|--------|-------|-------------|
| Plug No.        | Test type | Weight gr | Height cm | Diameter cm | Load kN | Is MPa | Range | Average MPa |
| 1               | Diametral | 163.98    | 5.89      | 3.75        | 12.80   | 9.11   | 6.49  |             |
| 2               | Diametral | 162.44    | 5.96      | 3.73        | 10.00   | 7.19   |       | 7.60        |
| 3               | Axial     | 129.29    | 4.73      | 3.73        | 14.50   | 6.49   | 9.11  |             |

| Sample No. NB-3 |           |           |           |             |         |        |       |             |
|-----------------|-----------|-----------|-----------|-------------|---------|--------|-------|-------------|
| Plug No.        | Test type | Weight gr | Height cm | Diameter cm | Load kN | Is MPa | Range | Average MPa |
| 1               | Diametral | 153.13    | 5.46      | 3.74        | 15.20   | 10.88  | 3.45  |             |
| 2               | Diametral | 178.84    | 6.34      | 3.73        | 15.20   | 10.91  |       |             |
| 3               | Diametral | 169.22    | 6.03      | 3.74        | 12.90   | 9.25   |       | 8.29        |
| 4               | Axial     | 118.07    | 4.36      | 3.72        | 8.00    | 4.20   |       |             |
| 5               | Axial     | 119.77    | 4.38      | 3.74        | 11.90   | 6.21   |       |             |
| 6               | Axial     | 123.75    | 4.75      | 3.73        | 7.80    | 3.45   | 10.91 |             |

| Sample No. 20 |           |           |           |             |         |        |       |             |
|---------------|-----------|-----------|-----------|-------------|---------|--------|-------|-------------|
| Plug No.      | Test type | Weight gr | Height cm | Diameter cm | Load kN | Is MPa | Range | Average MPa |
| 1             | Diametral | 175.54    | 6.22      | 3.73        | 13.00   | 9.35   | 5.45  |             |
| 2             | Axial     | 124.96    | 4.49      | 3.73        | 12.80   | 5.45   |       |             |
| 3             | Axial     | 121.84    | 4.33      | 3.72        | 15.50   | 6.82   |       | 6.94        |
| 4             | Axial     | 144.02    | 5.04      | 3.71        | 13.90   | 6.14   | 9.35  |             |

| Sample No. 21 |           |           |           |             |         |        |       |             |
|---------------|-----------|-----------|-----------|-------------|---------|--------|-------|-------------|
| Plug No.      | Test type | Weight gr | Height cm | Diameter cm | Load kN | Is MPa | Range | Average MPa |
| 1             | Axial     | 122.81    | 4.53      | 3.73        | 12.80   | 6.23   | 6.23  |             |
| 2             | Axial     | 121.88    | 4.66      | 3.73        | ---     | ---    |       | 6.23        |
| 3             | Axial     | 129.08    | 4.74      | 3.73        | ---     | ---    |       |             |

| Sample No. 23 |           |           |           |             |         |        |       |             |
|---------------|-----------|-----------|-----------|-------------|---------|--------|-------|-------------|
| Plug No.      | Test type | Weight gr | Height cm | Diameter cm | Load kN | Is MPa | Range | Average MPa |
| 1             | Diametral | 168.60    | 4.51      | 3.73        | 12.80   | 9.20   | 3.77  |             |
| 2             | Axial     | 129.04    | 5.10      | 3.73        | 12.50   | 6.14   |       |             |
| 3             | Axial     | 141.06    | 4.24      | 3.73        | 9.80    | 3.77   |       | 5.90        |
| 4             | Axial     | 114.56    | 5.91      | 3.73        | 8.20    | 4.50   | 9.20  |             |

| Sample No. SB-10 |           |           |           |             |         |        |       |             |
|------------------|-----------|-----------|-----------|-------------|---------|--------|-------|-------------|
| Plug No.         | Test type | Weight gr | Height cm | Diameter cm | Load kN | Is MPa | Range | Average MPa |
| 1                | Diametral | 156.61    | 5.55      | 3.73        | 14.90   | 10.73  | 7.59  |             |
| 2                | Diametral | 143.54    | 5.12      | 3.71        | 14.50   | 10.53  |       |             |
| 3                | Diametral | 172.73    | 6.15      | 3.73        | 13.20   | 9.50   |       | 9.58        |
| 4                | Axial     | 130.41    | 4.60      | 3.74        | 18.50   | 8.76   |       |             |
| 5                | Axial     | 122.40    | 4.30      | 3.73        | 14.00   | 7.59   |       |             |
| 6                | Axial     | 130.87    | 4.54      | 3.72        | 20.80   | 10.09  | 10.73 |             |

| Sample No. SB-12 |           |           |           |             |         |        |       |             |
|------------------|-----------|-----------|-----------|-------------|---------|--------|-------|-------------|
| Plug No.         | Test type | Weight gr | Height cm | Diameter cm | Load kN | Is MPa | Range | Average MPa |
| 1                | Diametral | 167.09    | 6.03      | 3.74        | 13.00   | 9.30   | 2.62  |             |
| 2                | Diametral | 174.30    | 6.05      | 3.73        | 11.20   | 8.04   |       |             |
| 3                | Diametral | 163.36    | 5.57      | 3.74        | 13.30   | 9.53   |       | 7.32        |
| 4                | Axial     | 118.23    | 4.15      | 3.75        | 13.90   | 8.07   |       |             |
| 5                | Axial     | 133.07    | 4.79      | 3.73        | 6.00    | 2.62   |       |             |
| 6                | Axial     | 130.40    | 4.70      | 3.73        | 14.10   | 6.37   | 9.53  |             |

| Sample No. SB-13 |           |           |           |             |         |        |       |             |
|------------------|-----------|-----------|-----------|-------------|---------|--------|-------|-------------|
| Plug No.         | Test type | Weight gr | Height cm | Diameter cm | Load kN | Is MPa | Range | Average MPa |
| 1                | Diametral | 140.23    | 6.07      | 3.70        | 3.20    | 2.34   | 1.78  |             |
| 2                | Diametral | 141.53    | 6.15      | 3.72        | 2.50    | 1.81   |       |             |
| 3                | Diametral | 135.52    | 5.91      | 3.72        | 3.00    | 2.17   |       | 1.97        |
| 4                | Axial     | 96.32     | 4.24      | 3.72        | 3.20    | 1.78   |       |             |
| 5                | Axial     | 115.59    | 5.07      | 3.70        | 4.80    | 1.87   |       |             |
| 6                | Axial     | 104.89    | 4.53      | 3.72        | 3.80    | 1.85   | 2.34  |             |

| Sample No. SB-1 |           |           |           |             |         |        |       |             |
|-----------------|-----------|-----------|-----------|-------------|---------|--------|-------|-------------|
| Plug No.        | Test type | Weight gr | Height cm | Diameter cm | Load kN | Is MPa | Range | Average MPa |
| 1               | Diametral | 159.48    | 6.05      | 3.73        | 5.00    | 3.60   | 3.77  |             |
| 2               | Diametral | 181.22    | 6.92      | 3.73        | 5.10    | 3.67   |       |             |
| 3               | Axial     | 130.67    | 5.00      | 3.73        | 5.00    | 2.00   | 3.67  | 3.09        |
| 4               | Axial     | 137.59    | 5.03      | 3.74        | ---     | ---    |       |             |

| Sample No. SB-2 |           |           |           |             |         |        |       |             |
|-----------------|-----------|-----------|-----------|-------------|---------|--------|-------|-------------|
| Plug No.        | Test type | Weight gr | Height cm | Diameter cm | Load kN | Is MPa | Range | Average MPa |
| 1               | Diametral | 142.31    | 6.46      | 3.72        | 2.20    | 0.53   | 0.25  |             |
| 2               | Diametral | 146.67    | 6.89      | 3.72        | 1.20    | 0.25   |       |             |
| 3               | Axial     | 106.15    | 5.07      | 3.72        | 1.50    | 0.58   |       | 0.75        |
| 4               | Axial     | 102.77    | 4.65      | 3.73        | 1.60    | 0.74   |       |             |
| 5               | Axial     | 96.85     | 4.27      | 3.73        | 2.20    | 1.21   |       |             |
| 6               | Axial     | 88.25     | 4.36      | 3.72        | 1.00    | 0.53   |       |             |
| 7               | Axial     | 106.18    | 4.70      | 3.73        | 3.10    | 1.40   | 1.40  |             |

| Sample No. 7 |           |           |           |             |         |        |       |             |
|--------------|-----------|-----------|-----------|-------------|---------|--------|-------|-------------|
| Plug No.     | Test type | Weight gr | Height cm | Diameter cm | Load kN | Is MPa | Range | Average MPa |
| 1            | Diametral | 154.72    | 5.73      | 3.73        | 12.80   | 3.90   | 3.57  |             |
| 2            | Diametral | 159.82    | 5.99      | 3.72        | 12.80   | 3.57   |       |             |
| 3            | Axial     | 125.06    | 4.79      | 3.72        | 12.50   | 5.44   |       | 4.26        |
| 4            | Axial     | 120.62    | 4.58      | 3.73        | 9.80    | 4.68   |       |             |
| 5            | Axial     | 102.88    | 4.41      | 3.73        | 8.20    | 4.22   |       |             |
| 6            | Axial     | 106.83    | 3.92      | 3.72        | 8.20    | 5.34   | 5.34  |             |

GEOTECHNICAL SURVEY OF SRAG  
 GEOTECHNICAL SURVEY OF SRAG

## **נספח מספר 2**

**תוצאות בדיקות תכולת הרטיבות והגזירה הישירה**

# **DETERMINATION OF THE NATURAL MOISTURE CONTENT (w%)**

**PROJECT No. :** 30116

**DATE:** Jun-94

**SITE:** GILO

**OPERATOR:** Udi

**SAMPLE:** D - 3 (0.3kg/cm<sup>2</sup>)

**DESCRIPTION:** Dolomite flour

| CALCULATION                                      | UNITS | Container No. |       |       |
|--------------------------------------------------|-------|---------------|-------|-------|
|                                                  |       | 4             | 5     | 6     |
| Weight of wet sample + container (W1)            | gr.   | 40.40         | 40.44 | 40.61 |
| Weight of dry sample + container (W2)            | gr.   | 39.98         | 40.15 | 40.33 |
| Weight of container (W3)                         | gr.   | 27.72         | 28.14 | 28.43 |
| Moisture content (W) =<br>(W1 - W2)(W2 - W3)*100 | %     | 3.43          | 2.41  | 2.35  |
| MEAN (W)                                         | %     | 2.73          |       |       |

GEOLOGICAL SURVEY OF ISRAEL  
Geotechnical Laboratory

תכולת הרטיבות של הדלומיט האבקתי מניסוי הגזירה הישירה (ציור 2.6)

# **DETERMINATION OF THE NATURAL MOISTURE CONTENT (w%)**

**PROJECT No. :** 30118

**DATE:** May-94

**SITE:** GILO

**OPERATOR:** Udi

**SAMPLE:** D - 3 (0.5kg/cm2)

**DESCRIPTION:** Dolomite flour

| CALCULATION                                              | UNITS | Container No. |       |       |
|----------------------------------------------------------|-------|---------------|-------|-------|
|                                                          |       | 7             | 8     | 9     |
| Weight of wet sample + container (W1)                    | gr.   | 40.51         | 40.46 | 40.53 |
| Weight of dry sample + container (W2)                    | gr.   | 40.28         | 40.19 | 40.10 |
| Weight of container (W3)                                 | gr.   | 28.60         | 28.83 | 28.10 |
| Moisture content (W) =<br>$(W1 - W2)(W2 - W3) \cdot 100$ | %     | 2.14          | 2.34  | 3.91  |
| MEAN (W)                                                 | %     | 2.80          |       |       |

GEOLOGICAL SURVEY OF ISRAEL  
Geotechnical Laboratory

תכולת הרטיבות של חדולומיט האבקתי מניסוי הגזירה הישירה (ציור 2.6)

# DETERMINATION OF THE NATURAL MOISTURE CONTENT (w%)

PROJECT No. : 30116

DATE: May-94

SITE: GILO

OPERATOR: Udi

SAMPLE: D - 3 (0.8kg/cm<sup>2</sup>)

DESCRIPTION: Dolomite flour

| CALCULATION                                      | UNITS | Container No. |       |       |
|--------------------------------------------------|-------|---------------|-------|-------|
|                                                  |       | 1             | 2     | 3     |
| Weight of wet sample + container (W1)            | gr.   | 40.14         | 40.34 | 40.08 |
| Weight of dry sample + container (W2)            | gr.   | 39.84         | 40.04 | 39.78 |
| Weight of container (W3)                         | gr.   | 28.18         | 28.80 | 27.74 |
| Moisture content (W) =<br>(W1 - W2)(W2 - W3)*100 | %     | 2.57          | 2.67  | 2.49  |
| MEAN (W)                                         | %     | 2.58          |       |       |

GEOLOGICAL SURVEY OF ISRAEL  
Geotechnical Laboratory

תכולת הרטיבות של הדלומיט האבקתי מניסוי הגזירה הישירה (ציור 2.6)

# **DETERMINATION OF THE NATURAL MOISTURE CONTENT (w%)**

**PROJECT No. :** 30116

**DATE:** May-95

**SITE:** GILO

**OPERATOR:** Udi

**SAMPLE:** D - 3 (0.2kg/cm2)

**DESCRIPTION:** Dolomite flour

| CALCULATION                                                | UNITS | Container No. |       |       |
|------------------------------------------------------------|-------|---------------|-------|-------|
|                                                            |       | 1             | 2     | 3     |
| Weight of wet sample + container (W1)                      | gr.   | 58.27         | 53.80 | 54.10 |
| Weight of dry sample + container (W2)                      | gr.   | 55.83         | 53.35 | 53.60 |
| Weight of container (W3)                                   | gr.   | 28.18         | 28.80 | 27.74 |
| Moisture content (W) =<br>$(W1 - W2)/(W2 - W3) \times 100$ | %     | 1.59          | 1.83  | 1.93  |
| MEAN (W)                                                   | %     | 1.78          |       |       |

GEOLOGICAL SURVEY OF ISRAEL  
Geotechnical Laboratory

תכולת חרטיבות של החרסית מניסוי הגזירה הישירה (ציור 2.7)

# **DETERMINATION OF THE NATURAL MOISTURE CONTENT (w%)**

**PROJECT No. :** 30116

**DATE:** May-95

**SITE:** GILO

**OPERATOR:** Udi

**SAMPLE:** D - 3 (0.5kg/cm<sup>2</sup>)

**DESCRIPTION:** Dolomite flour

| CALCULATION                                      | UNITS | Container No. |       |       |
|--------------------------------------------------|-------|---------------|-------|-------|
|                                                  |       | 4             | 5     | 6     |
| Weight of wet sample + container (W1)            | gr.   | 45.08         | 47.54 | 47.38 |
| Weight of dry sample + container (W2)            | gr.   | 44.74         | 47.08 | 46.98 |
| Weight of container (W3)                         | gr.   | 27.72         | 28.14 | 28.43 |
| Moisture content (W) =<br>(W1 - W2)(W2 - W3)*100 | %     | 1.99          | 2.43  | 2.16  |
| MEAN (W)                                         | %     | 2.19          |       |       |

GEOLOGICAL SURVEY OF ISRAEL  
Geotechnical Laboratory

תכולת הרטיבות של החרסית מניסוי הגזירה הישירה (ציור 2.7)

# **DETERMINATION OF THE NATURAL MOISTURE CONTENT (w%)**

**PROJECT No. :** 30116

**DATE:** May-95

**SITE:** GILO

**OPERATOR:** Udi

**SAMPLE:** D - 3 (0.8kg/cm2)

**DESCRIPTION:** Dolomite flour

| CALCULATION                                             | UNITS | Container No. |       |       |
|---------------------------------------------------------|-------|---------------|-------|-------|
|                                                         |       | 7             | 8     | 9     |
| Weight of wet sample + container (W1)                   | gr.   | 45.26         | 48.18 | 49.74 |
| Weight of dry sample + container (W2)                   | gr.   | 44.89         | 47.76 | 49.24 |
| Weight of container (W3)                                | gr.   | 28.60         | 28.63 | 29.10 |
| Moisture content (W) =<br>$(W1 - W2) / (W2 - W3) * 100$ | %     | 2.27          | 2.20  | 2.48  |
| MEAN (W)                                                | %     | 2.32          |       |       |

GEOLOGICAL SURVEY OF ISRAEL  
Geotechnical Laboratory

תכולת הרטיבות של חחרסית מניסוי הגזירה הישירה (ציור 2.7)

**DETERMINATION OF THE NATURAL MOISTURE CONTENT (w%)****PROJECT No. :** 30116**DATE:** May-95**SITE:** GILO**OPERATOR:** Udi**SAMPLE:** D - 3 (1.1kg/cm<sup>2</sup>)**DESCRIPTION:** Dolomite flour

| CALCULATION                                      | UNITS | Container No. |       |       |
|--------------------------------------------------|-------|---------------|-------|-------|
|                                                  |       | 10            | 11    | 12    |
| Weight of wet sample + container (W1)            | gr.   | 47.17         | 51.51 | 46.48 |
| Weight of dry sample + container (W2)            | gr.   | 46.74         | 50.94 | 46.04 |
| Weight of container (W3)                         | gr.   | 28.78         | 28.01 | 28.55 |
| Moisture content (W) =<br>(W1 - W2)(W2 - W3)*100 | %     | 2.39          | 2.49  | 2.52  |
| MEAN (W)                                         | %     | 2.46          |       |       |

GEOLOGICAL SURVEY OF ISRAEL  
Geotechnical Laboratory

תכולת הרטיבות של הדולומיט האבקתי מניסוי הגזירה הישירה (ציור 2.7)

# **DETERMINATION OF THE NATURAL MOISTURE CONTENT (w%)**

**PROJECT No. :** 30118

**DATE:** Jun-95

**SITE:** GILO

**OPERATOR:** Udi

**SAMPLE:** D - 3 (0.3kg/cm2)

**DESCRIPTION:** Dolomite flour

| CALCULATION                                       | UNITS | Container No. |       |       |
|---------------------------------------------------|-------|---------------|-------|-------|
|                                                   |       | 1             | 2     | 3     |
| Weight of wet sample + container (W1)             | gr.   | 49.62         | 54.18 | 52.74 |
| Weight of dry sample + container (W2)             | gr.   | 45.31         | 49.16 | 47.77 |
| Weight of container (W3)                          | gr.   | 28.18         | 28.80 | 27.74 |
| Moisture content (W) =<br>(W1 - W2)/(W2 - W3)*100 | %     | 25.16         | 24.86 | 24.81 |
| MEAN (W)                                          | %     | 24.88         |       |       |

GEOLOGICAL SURVEY OF ISRAEL  
Geotechnical Laboratory

תכולת הרטיבות של הדולומיט האבקתי מניסוי הגזירה הישירה (ציור 2.8)

**DETERMINATION OF THE NATURAL MOISTURE CONTENT (w%)****PROJECT No. :** 30116**DATE:** Jun-95**SITE:** GILO**OPERATOR:** Udi**SAMPLE:** D - 3 (0.5kg/cm<sup>2</sup>)**DESCRIPTION:** Dolomite flour

| CALCULATION                                      | UNITS | Container No. |       |       |
|--------------------------------------------------|-------|---------------|-------|-------|
|                                                  |       | 4             | 5     | 6     |
| Weight of wet sample + container (W1)            | gr.   | 49.95         | 53.04 | 54.84 |
| Weight of dry sample + container (W2)            | gr.   | 45.49         | 48.06 | 49.50 |
| Weight of container (W3)                         | gr.   | 27.72         | 28.14 | 28.43 |
| Moisture content (W) =<br>(W1 - W2)(W2 - W3)*100 | %     | 25.10         | 25.00 | 25.34 |
| MEAN (W)                                         | %     | 25.15         |       |       |

GEOLOGICAL SURVEY OF ISRAEL  
Geotechnical Laboratory

תכולת הרטיבות של הדלומיט האבקתי מניסוי הגזירה הישירה (ציור 2.8)

# **DETERMINATION OF THE NATURAL MOISTURE CONTENT (w%)**

**PROJECT No. :** 30116

**DATE:** Jun-95

**SITE:** GILO

**OPERATOR:** Udi

**SAMPLE:** D - 3 (0.8kg/cm2)

**DESCRIPTION:** Dolomite flour

| CALCULATION                                       | UNITS | Container No. |       |       |
|---------------------------------------------------|-------|---------------|-------|-------|
|                                                   |       | 7             | 8     | 9     |
| Weight of wet sample + container (W1)             | gr.   | 62.77         | 59.51 | 71.35 |
| Weight of dry sample + container (W2)             | gr.   | 55.65         | 53.20 | 62.72 |
| Weight of container (W3)                          | gr.   | 28.60         | 28.63 | 29.10 |
| Moisture content (W) =<br>(W1 - W2)/(W2 - W3)*100 | %     | 26.32         | 25.68 | 25.67 |
| MEAN (W)                                          | %     | 25.89         |       |       |

GEOLOGICAL SURVEY OF ISRAEL  
Geotechnical Laboratory

תכולת הרטיבות של הדלומיט האבקתי מניסוי תגזירה הישירה (ציור 2.8)

# **DETERMINATION OF THE NATURAL MOISTURE CONTENT (w%)**

**PROJECT No. :** 30116

**DATE:** May-94

**SITE:** GILO

**OPERATOR:** Udi

**SAMPLE:** M - 1 (0.2kg/cm2)

**DESCRIPTION:** Terra Rosa

| CALCULATION                                      | UNITS | Container No. |       |       |
|--------------------------------------------------|-------|---------------|-------|-------|
|                                                  |       | 4             | 5     | 6     |
| Weight of wet sample + container (W1)            | gr.   | 44.78         | 39.98 | 45.36 |
| Weight of dry sample + container (W2)            | gr.   | 37.57         | 34.95 | 38.05 |
| Weight of container (W3)                         | gr.   | 27.72         | 28.14 | 28.43 |
| Moisture content (W) =<br>(W1 - W2)(W2 - W3)*100 | %     | 72.99         | 73.57 | 75.99 |
| MEAN (W)                                         | %     | 74.18         |       |       |

GEOLOGICAL SURVEY OF ISRAEL  
Geotechnical Laboratory

תכולת הרטיבות של חרסית מניסוי הגזירה הישירה (ציור 2.15)

# **DETERMINATION OF THE NATURAL MOISTURE CONTENT (w%)**

**PROJECT No. :** 30116

**DATE:** May-94

**SITE:** GILO

**OPERATOR:** Udi

**SAMPLE:** M - 1 (0.5kg/cm<sup>2</sup>)

**DESCRIPTION:** Terra Rosa

| CALCULATION                                      | UNITS | Container No. |       |       |
|--------------------------------------------------|-------|---------------|-------|-------|
|                                                  |       | 7             | 8     | 9     |
| Weight of wet sample + container (W1)            | gr.   | 40.42         | 46.63 | 48.45 |
| Weight of dry sample + container (W2)            | gr.   | 35.48         | 39.07 | 40.24 |
| Weight of container (W3)                         | gr.   | 28.60         | 28.63 | 29.10 |
| Moisture content (W) =<br>(W1 - W2)(W2 - W3)*100 | %     | 71.80         | 72.41 | 73.70 |
| MEAN (W)                                         | %     | 72.64         |       |       |

GEOLOGICAL SURVEY OF ISRAEL  
Geotechnical Laboratory

תכולת הרטיבות של החרסית מניסוי הגזירה הישירה (ציור 2.15)

# DETERMINATION OF THE NATURAL MOISTURE CONTENT (w%)

PROJECT No. : 30116

DATE: May-94

SITE: GILO

OPERATOR: Udi

SAMPLE: M - 1 (0.8kg/cm2)

DESCRIPTION: Terra Rosa

| CALCULATION                                              | UNITS | Container No. |       |       |
|----------------------------------------------------------|-------|---------------|-------|-------|
|                                                          |       | 10            | 11    | 12    |
| Weight of wet sample + container (W1)                    | gr.   | 48.06         | 48.96 | 44.33 |
| Weight of dry sample + container (W2)                    | gr.   | 39.98         | 40.12 | 37.75 |
| Weight of container (W3)                                 | gr.   | 28.78         | 28.01 | 28.55 |
| Moisture content (W) =<br>$(W1 - W2)(W2 - W3) \cdot 100$ | %     | 72.14         | 73.00 | 71.52 |
| MEAN (W)                                                 | %     | 72.22         |       |       |

GEOLOGICAL SURVEY OF ISRAEL  
Geotechnical Laboratory

תכולת הרטיבות של החרסית מניסוי הגזירה הישירה (ציור 2.15)



**נספח מספר 3**

**תיאוריית הבלוקים - אנליזת הזזה ואנליזת שיווי משקל גבולי**

# DRAINED/UNDRAINED SHEAR TEST

Geotechnical Laboratory, Israel Geological Survey.

Shear Stress = Shearing Resistance/100 kN/m<sup>2</sup>

Water content w%:

Bulk density  $\rho_b$ :

Specific gravity  $G_s$ :

Sample No.

Location:

Date:

Formation:

Friction Angle:  $\phi^\circ$

Cohesion: c kN/m<sup>2</sup>

Normal Stress

I - load 50 kN/m<sup>2</sup>

II - load 100 kN/m<sup>2</sup>

III - load 150 kN/m<sup>2</sup>

2.50

1.25

kN.

2.00

1.00

Resistance

1.50

Shearing

1.00

displacement, mm.

0.50

2.0

Vertical

0

Consolidation

I - Load 50 kN/m<sup>2</sup>

II - Load 100 kN/m<sup>2</sup>

III - Load 150 kN/m<sup>2</sup>

Consolidation

5 (time in minutes)

10

Consolidation

5 (time in minutes)

10

Consolidation

5 (time in minutes)

10

Consolidation

5 (time in minutes)

10

Consolidation

5 (time in minutes)

10

Consolidation

5 (time in minutes)

10

Consolidation

5 (time in minutes)

10

Consolidation

5 (time in minutes)

10

Consolidation

5 (time in minutes)

10

Consolidation

I - Load 50 kN/m<sup>2</sup>

II - Load 100 kN/m<sup>2</sup>

III - Load 150 kN/m<sup>2</sup>

Consolidation

5 (time in minutes)

10

Consolidation

5 (time in minutes)

10

Consolidation

5 (time in minutes)

10

Consolidation

5 (time in minutes)

10

Consolidation

5 (time in minutes)

10

Consolidation

5 (time in minutes)

10

Consolidation

5 (time in minutes)

10

Consolidation

5 (time in minutes)

10

Consolidation

5 (time in minutes)

10

Consolidation

I - Load 50 kN/m<sup>2</sup>

II - Load 100 kN/m<sup>2</sup>

III - Load 150 kN/m<sup>2</sup>

Consolidation

5 (time in minutes)

10

Consolidation

5 (time in minutes)

10

Consolidation

5 (time in minutes)

10

Consolidation

5 (time in minutes)

10

Consolidation

5 (time in minutes)

10

Consolidation

5 (time in minutes)

10

Consolidation

5 (time in minutes)

10

Consolidation

5 (time in minutes)

10

Consolidation

5 (time in minutes)

10

Consolidation

I - Load 50 kN/m<sup>2</sup>

II - Load 100 kN/m<sup>2</sup>

III - Load 150 kN/m<sup>2</sup>

Consolidation

5 (time in minutes)

10

Consolidation

5 (time in minutes)

10

Consolidation

5 (time in minutes)

10

Consolidation

5 (time in minutes)

10

Consolidation

5 (time in minutes)

10

Consolidation

5 (time in minutes)

10

Consolidation

5 (time in minutes)

10

Consolidation

5 (time in minutes)

10

Consolidation

5 (time in minutes)

10

Consolidation

I - Load 50 kN/m<sup>2</sup>

II - Load 100 kN/m<sup>2</sup>

III - Load 150 kN/m<sup>2</sup>

Consolidation

5 (time in minutes)

10

Consolidation

5 (time in minutes)

10

Consolidation

5 (time in minutes)

10

Consolidation

5 (time in minutes)

10

Consolidation

5 (time in minutes)

10

Consolidation

5 (time in minutes)

10

Consolidation

5 (time in minutes)

10

Consolidation

5 (time in minutes)

10

Consolidation

5 (time in minutes)

10

Consolidation

I - Load 50 kN/m<sup>2</sup>

II - Load 100 kN/m<sup>2</sup>

III - Load 150 kN/m<sup>2</sup>

Consolidation

5 (time in minutes)

10

Consolidation

5 (time in minutes)

10

Consolidation

5 (time in minutes)

10

Consolidation

5 (time in minutes)

10

Consolidation

5 (time in minutes)

10

Consolidation

5 (time in minutes)

10

Consolidation

5 (time in minutes)

10

Consolidation

5 (time in minutes)

10

Consolidation

5 (time in minutes)

10

# DRAINED/UNDRAINED SHEAR TEST

Normal Stress

I- load 50 kN/m<sup>2</sup>

II- load 100 kN/m<sup>2</sup>

III- load 150 kN/m<sup>2</sup>

Shear Stress = Shearing Resistance/100 kN/m<sup>2</sup>

Max. Shear Stress I-

II-

III-

Water content w%:

Bulk density  $\gamma_b$ :

Specific gravity  $G_s$ :

Geotechnical laboratory, Israel Geological Survey.

Sample No.

Location:

Date:

Formation:

Friction Angle:  $\phi^\circ = 33^\circ$

Cohesion:  $c = 27$

kN/m<sup>2</sup>

2.50  
1.25

kN.

2.00  
1.00

Resistance

1.50  
0.75

Shearing

1.00  
0.50

displacement, mm.  
4.0  
3.5  
3.0  
2.5  
2.0  
1.5  
1.0  
0.5  
0

Vertical

0

Consolidation

5 (time in minutes) 10

II- Load 100 kN/m<sup>2</sup>

III- Load 150 kN/m<sup>2</sup>

150  
100  
50  
0

Shear Stress

0

50 Normal Stress 100 kN/m<sup>2</sup> 150

מהלך ניסוי הגזירה הישירה לדולומיט האבקתי (ראה ציור 2.7)

# DRAINED/UNDRAINED SHEAR TEST

Geotechnical laboratory, Israel Geological Survey.

Normal Stress

Shear Stress = Shearing Resistance/100 kN/m<sup>2</sup>

Water content w%:

Bulk density  $\gamma_b$ :

Specific gravity  $G_s$ :

I- load 50 kN/m<sup>2</sup>

Max. Shear Stress I-

II-

II- load 100 kN/m<sup>2</sup>

III- load 150 kN/m<sup>2</sup>

III-

Sample No.

Location:

Date:

Formation:

Friction Angle:  $\phi^\circ$

Cohesion:  $c$  kN/m<sup>2</sup>

2.50  
1.25  
kN

2.00  
1.00

Resistance

1.50  
0.75

Shearing

1.00  
0.50

displacement mm.

4.0  
3.5  
3.0  
2.5  
2.0  
1.5  
1.0  
0.5  
0

Vertical

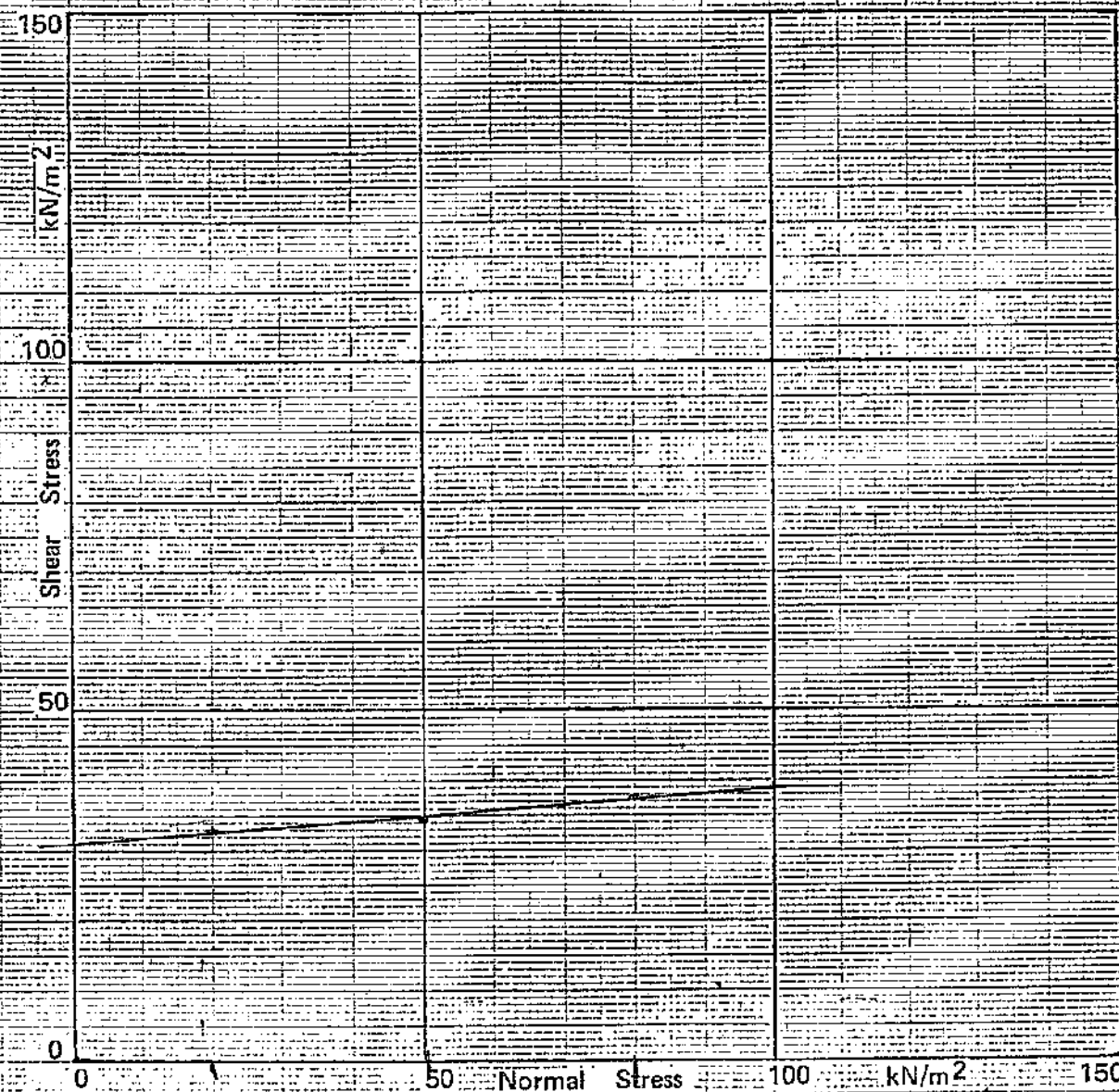
0.50  
0.25

1.0  
1.5  
2.0  
2.5  
3.0  
3.5  
4.0

I- Load 50 kN/m<sup>2</sup>

II- Load 100 kN/m<sup>2</sup>

III- Load 150 kN/m<sup>2</sup>



מחלק ניסוי הגזירה הישירה לחומר מילוי חרסיתי (ראה ציור 2.15)

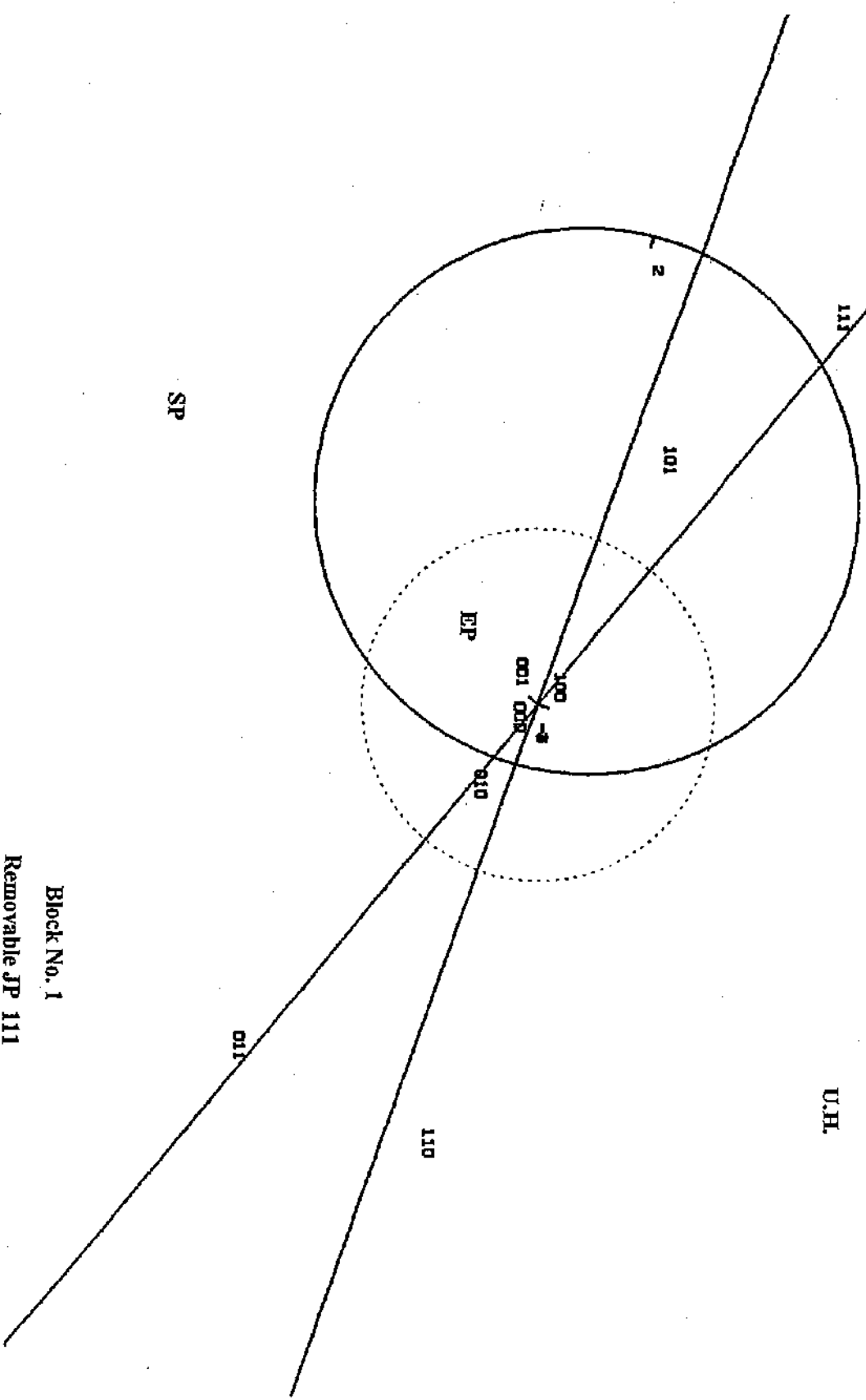
31.36

28.6

31.36  
28.6

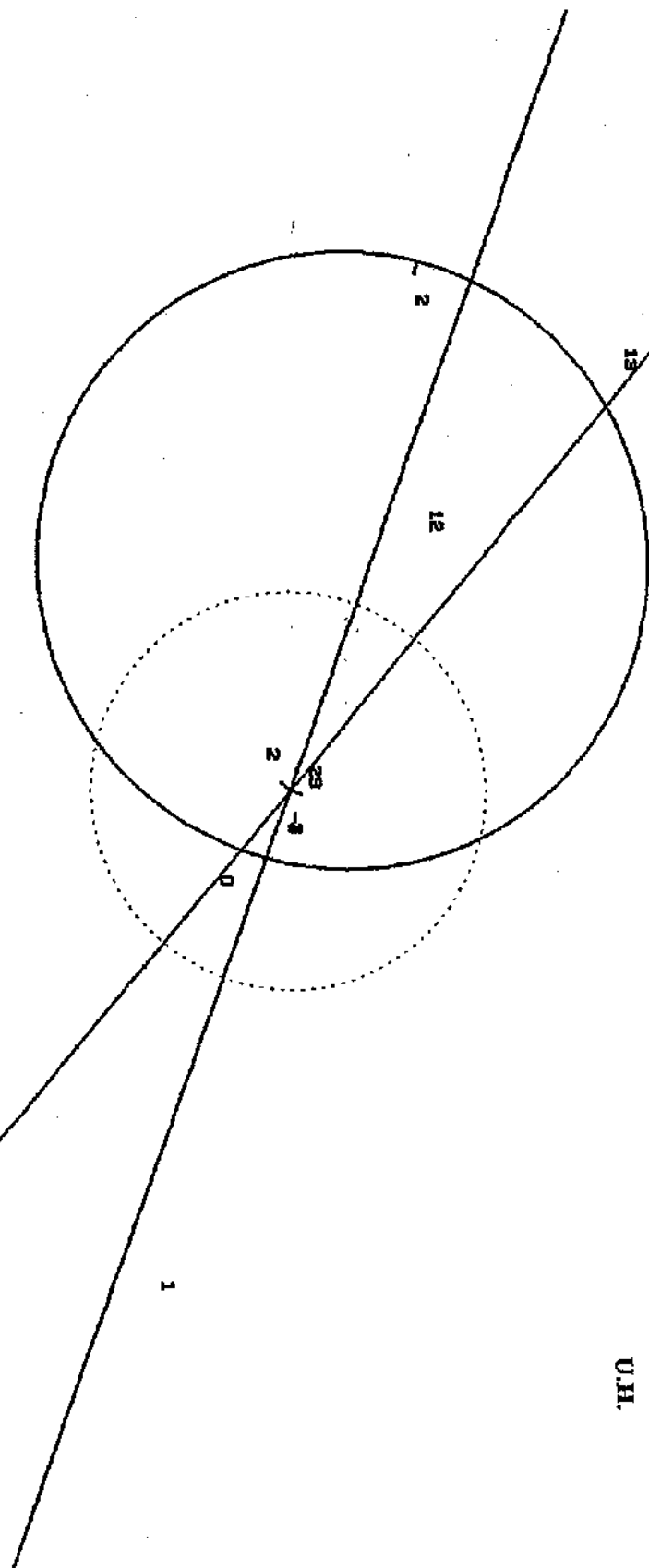
1068

RESULTANT  
 0.0 0.0 -1.0  
 DIP & DIP DIR.  
 90.0 200.0  
 50.0 284.0  
 90.0 40.0  
 FOCUS TO CENTER  
 0.0 0.0 1.0



Block No. 1  
 Removable JP 111

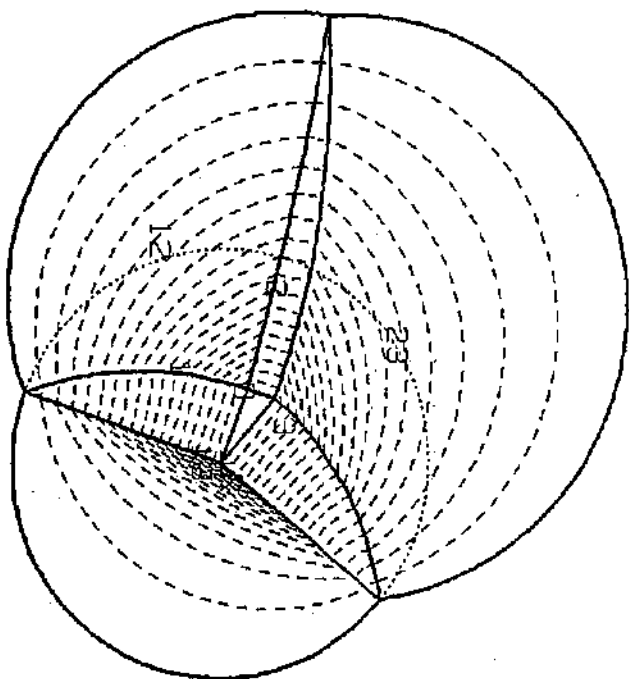
RESULTANT  
 0.0 0.0 -1.0  
 DIP & DIP DIR.  
 90.0 200.0  
 50.0 284.0  
 90.0 40.0  
 FOCUS TO CENTER  
 0.0 0.0 1.0



Block No. 1

ending mode 13

P. LONDE PICTURE  
 RESULTANT  
 0.000+00 0.000+00 0.100+01  
 DIP DIP D. SIDE  
 90.0 200.0 1.0  
 50.0 284.0 1.0  
 90.0 40.0 1.0  
 FOCUS  
 0.0 0.0 -1.0  
 STEP  
 5.00

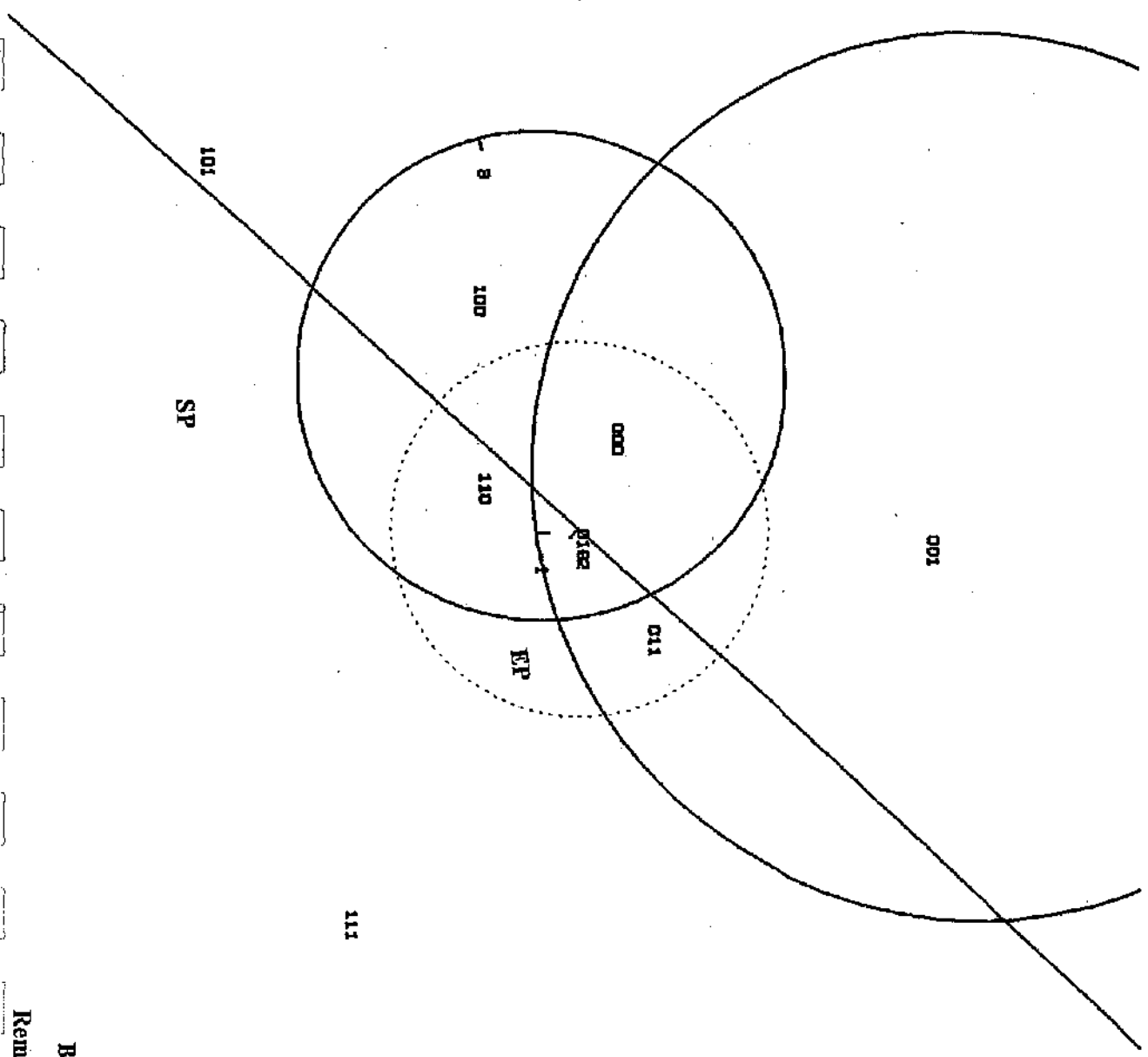


SAFE

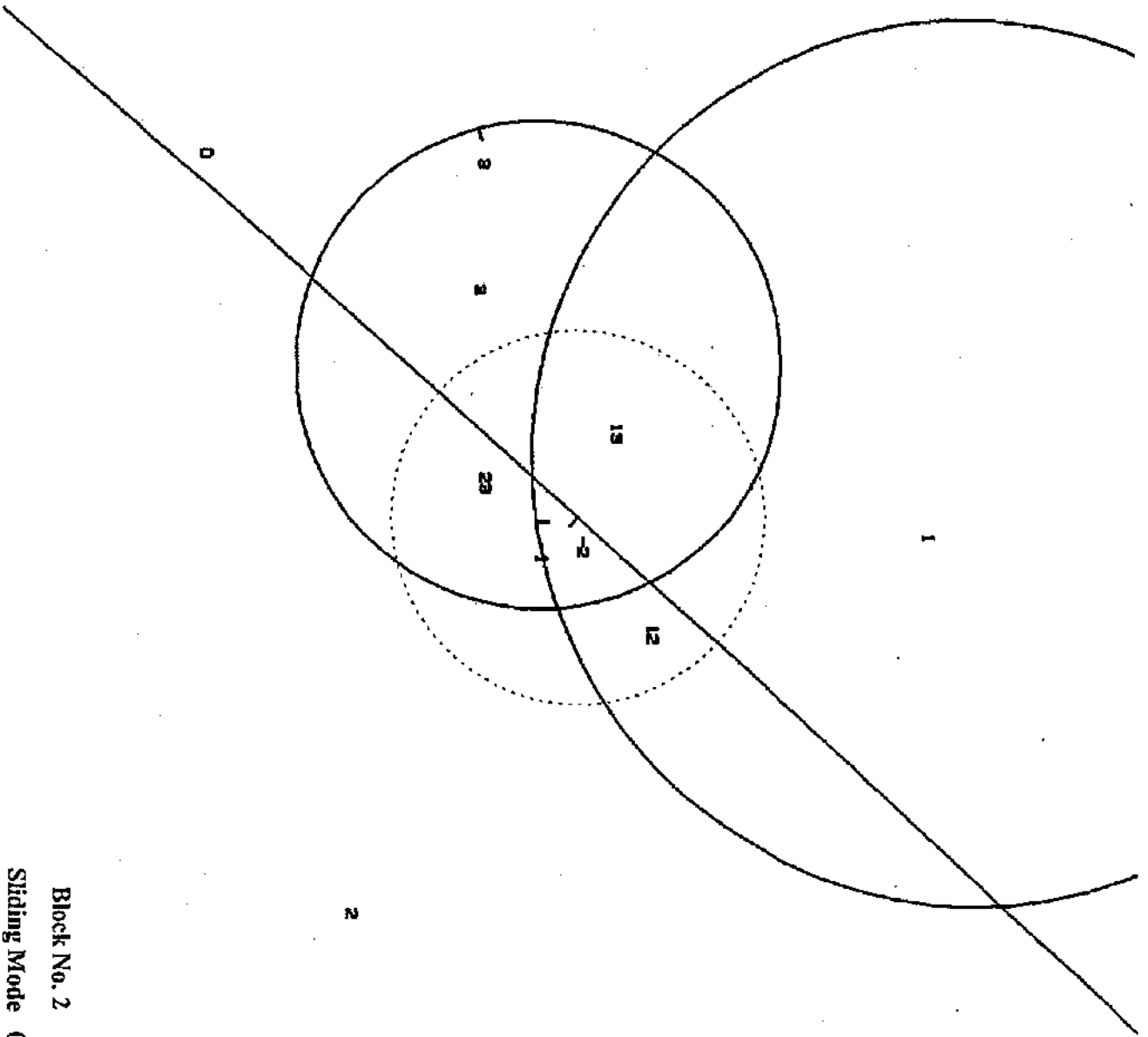
L.H.

Block No. 1  
 $\phi$  Required 87°

RESULTANT  
 0.0 0.0 -1.0  
 DIP & DIP DIR.  
 05.0 352.0  
 90.0 312.0  
 40.0 256.0  
 FOCUS TO CENTER  
 0.0 0.0 1.0



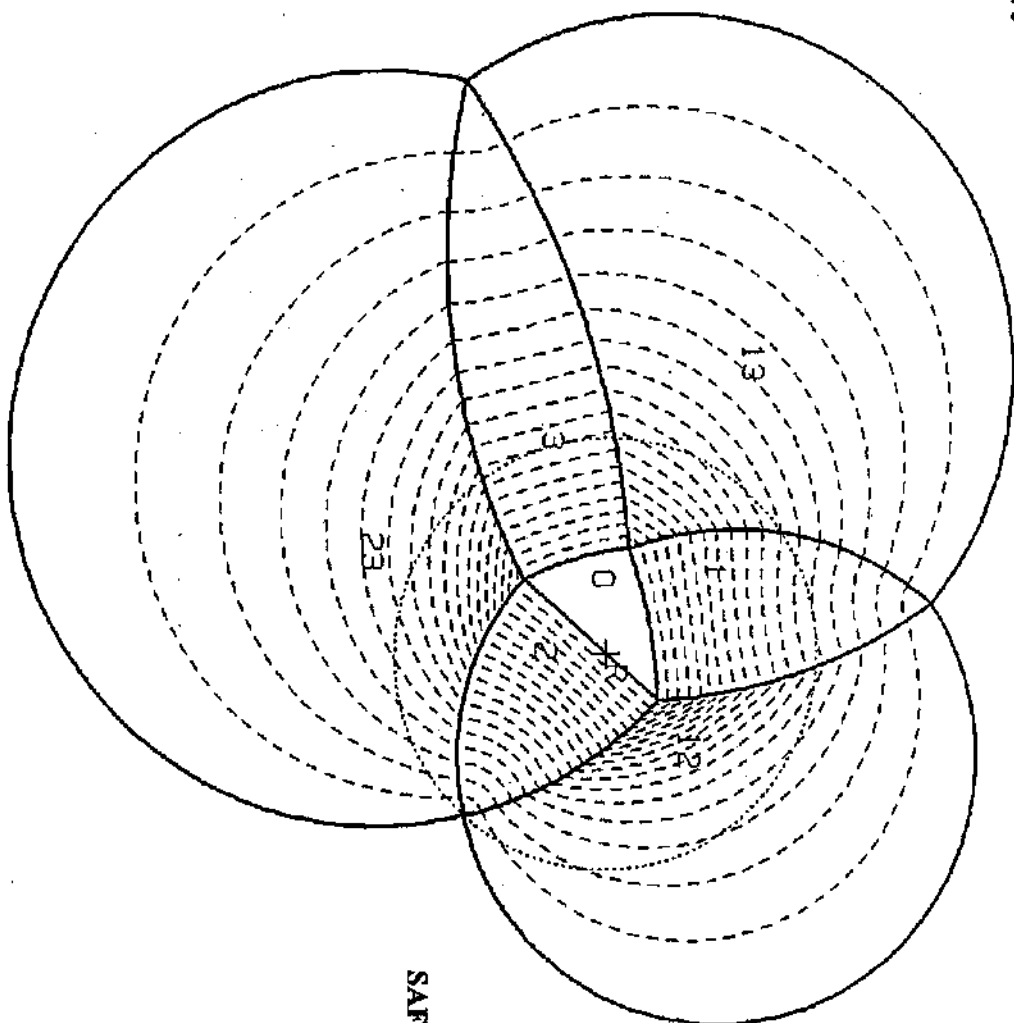
RESULTANT  
 0.0 0.0 -1.0  
 DIP & DIP DIR.  
 65.0 352.0  
 90.0 312.0  
 40.0 256.0  
 FOCUS TO CENTER  
 0.0 0.0 1.0



U.H.

Block No. 2  
 Sliding Mode 0

P. LONDE PICTURE  
 RESULTANT  
 0.000+00 0.000+00 0.100+01  
 DIP DIP 0. SIDE  
 65.0 352.0 1.0  
 90.0 312.0 0.0  
 40.0 256.0 1.0  
 FOCUS  
 0.0 0.0 -1.0  
 STEP  
 5.00



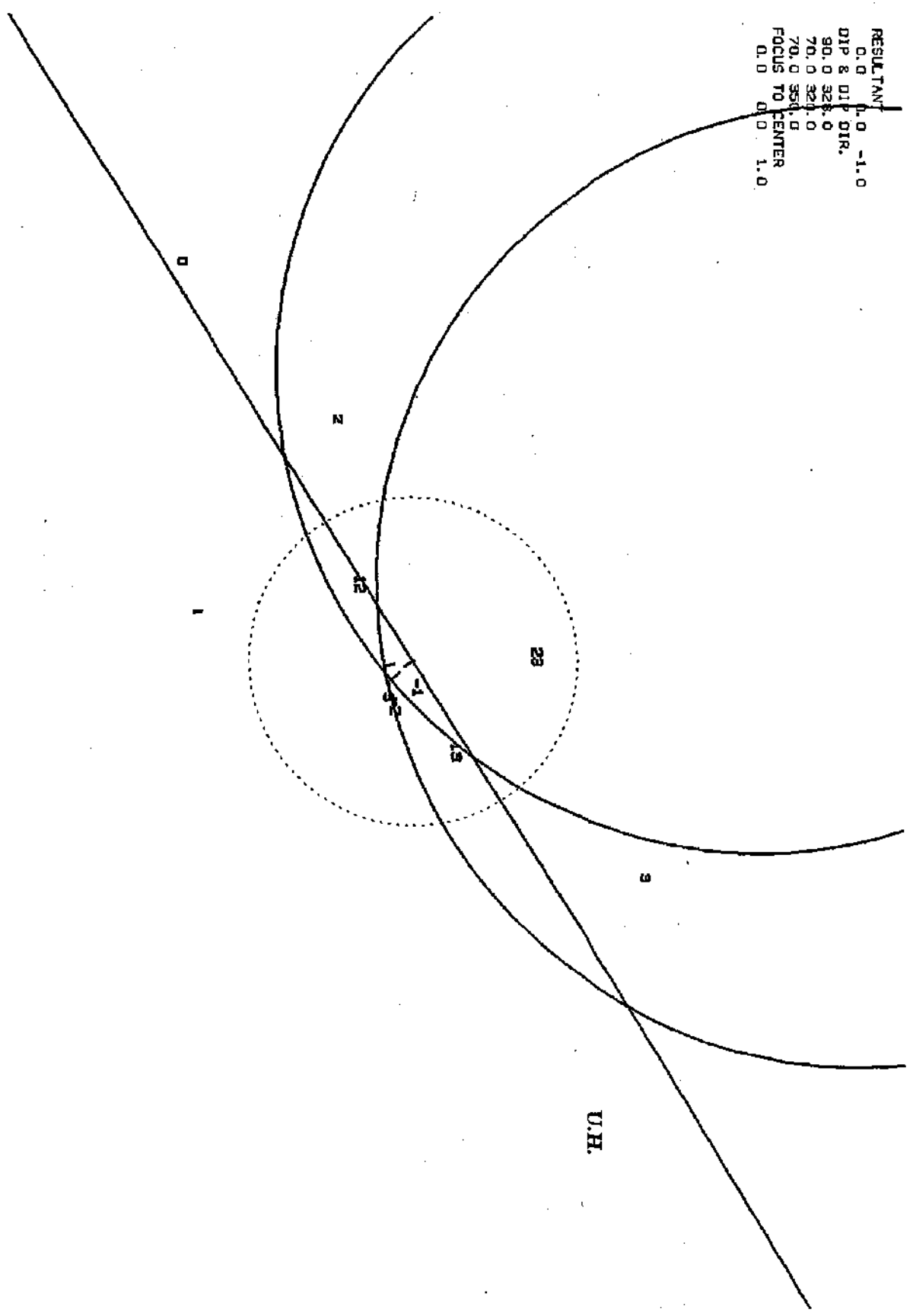
L.H.

Block No. 2  
 $\phi$  Required 90°

[illegible]

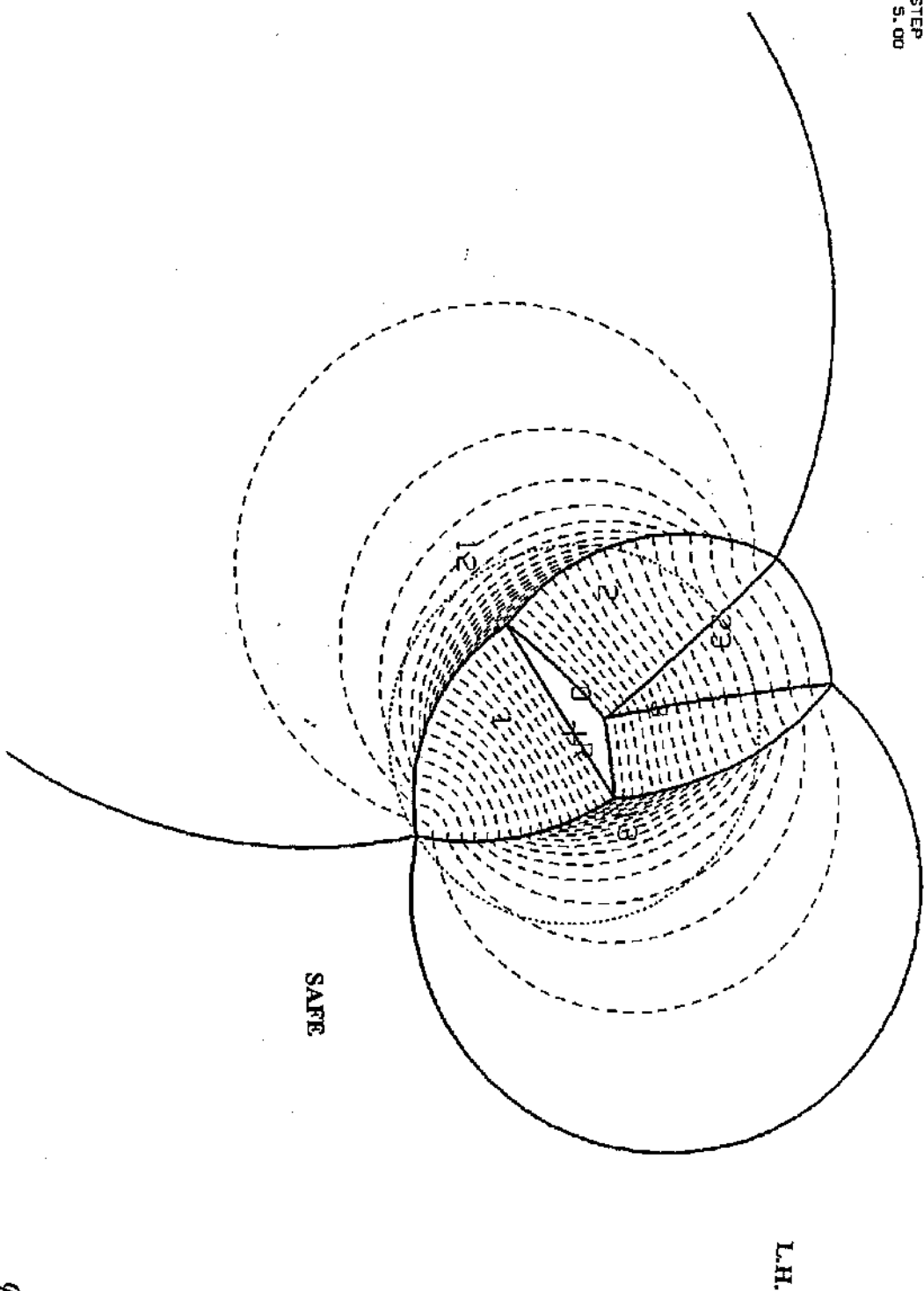
**Block No. 3**

RESULTANT  
 0.0 0.0 -1.0  
 DIP & DIP DIR.  
 90.0 328.0  
 70.0 320.0  
 70.0 350.0  
 FOCUS TO CENTER  
 0.0 0.0 1.0



Block No. 3  
 Sliding Mode 0

P. LONDE PICTURE  
 RESULTANT  
 0.000+00 0.000+00 0.100+01  
 DIP DIP D. SIDE  
 90.0 328.0 0.0  
 70.0 320.0 1.0  
 70.0 350.0 1.0  
 FOCUS  
 0.0 0.0 -1.0  
 STEP  
 5.00

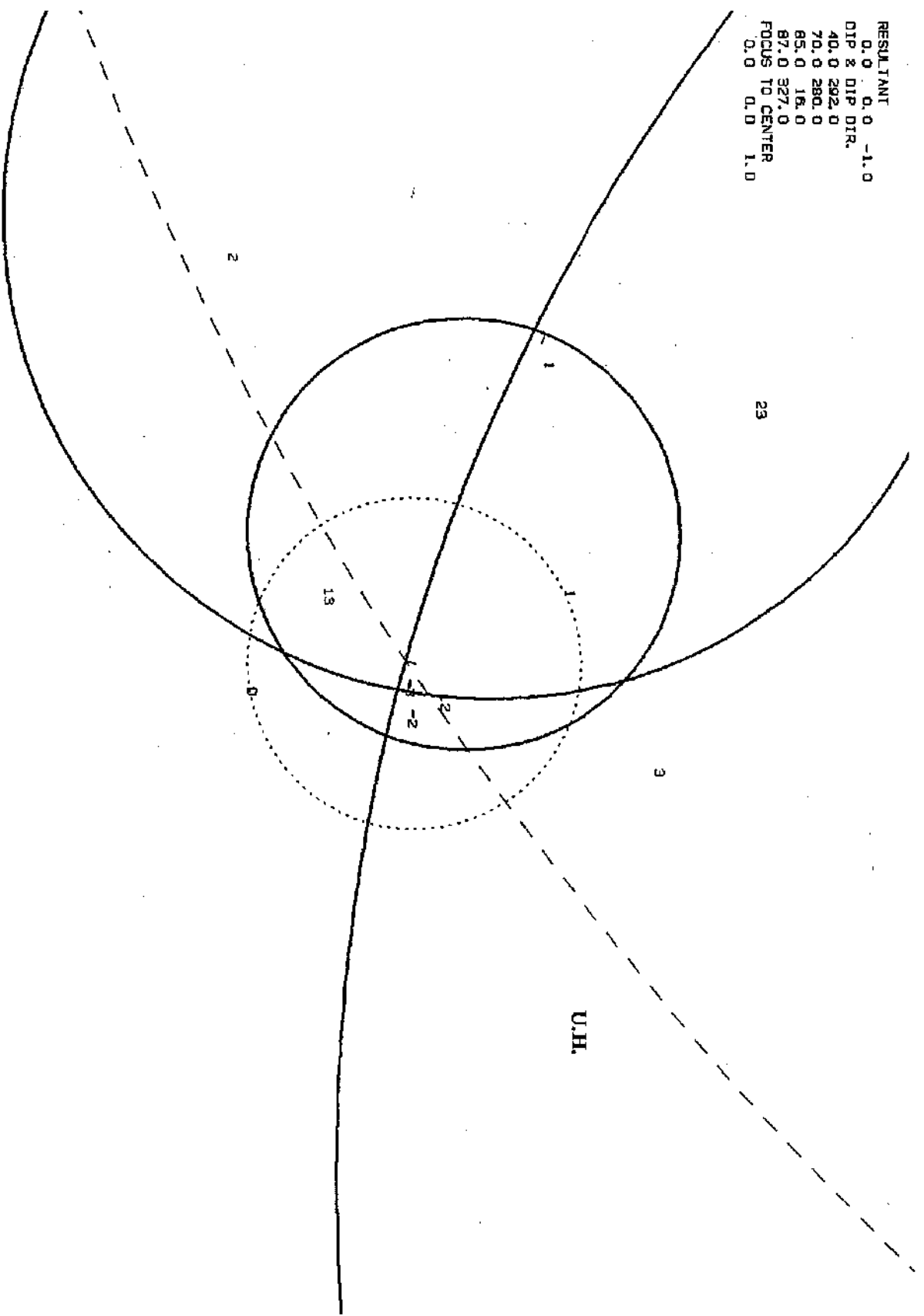


Block No. 3  
 $\phi$  Required 90°

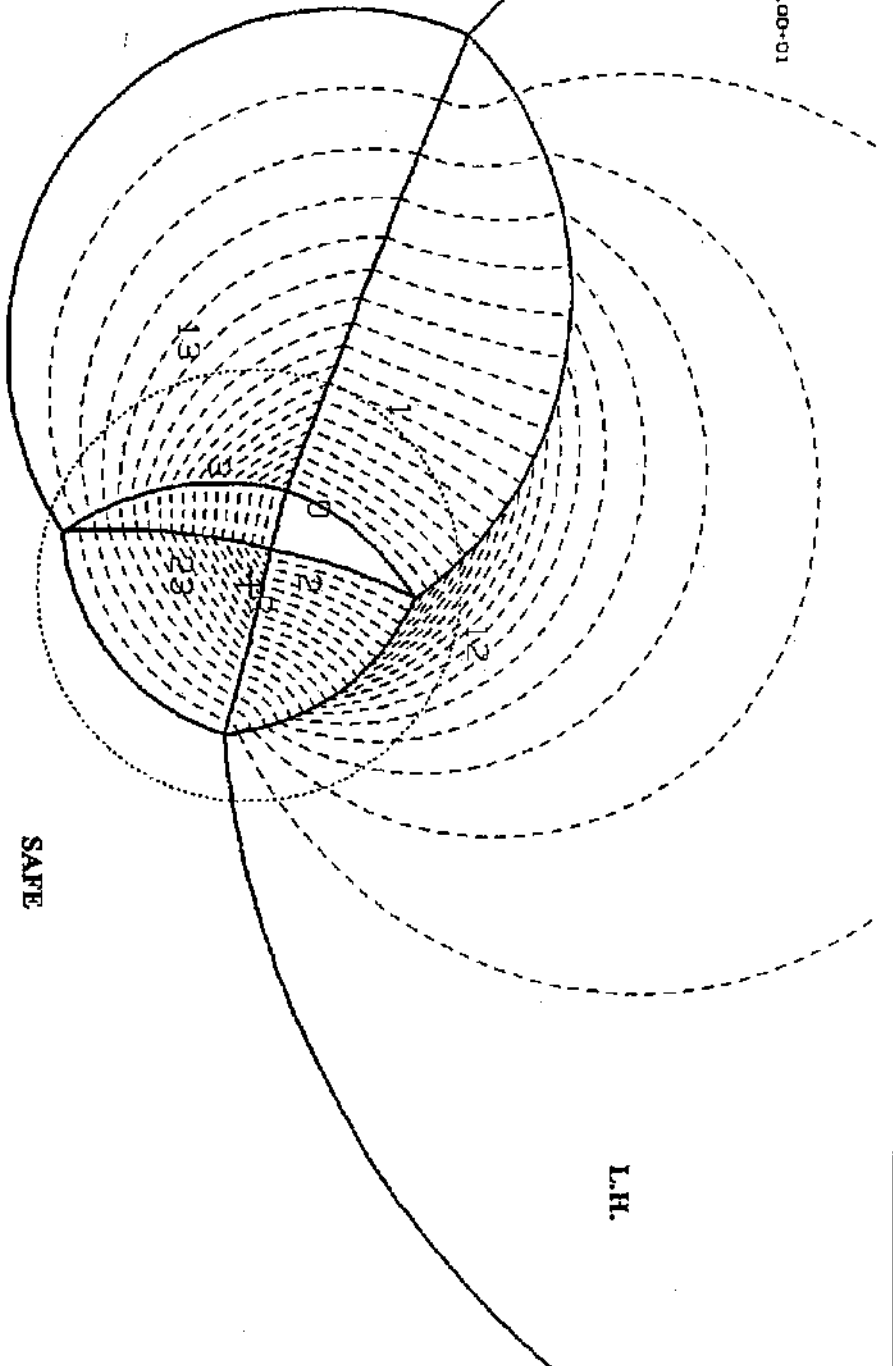
[illegible]

## Removable JP 100

RESULTANT  
 0.0 0.0 -1.0  
 DIP & DIP DIR.  
 40.0 292.0  
 70.0 280.0  
 85.0 16.0  
 87.0 327.0  
 FOCUS TO CENTER  
 0.0 0.0 1.0

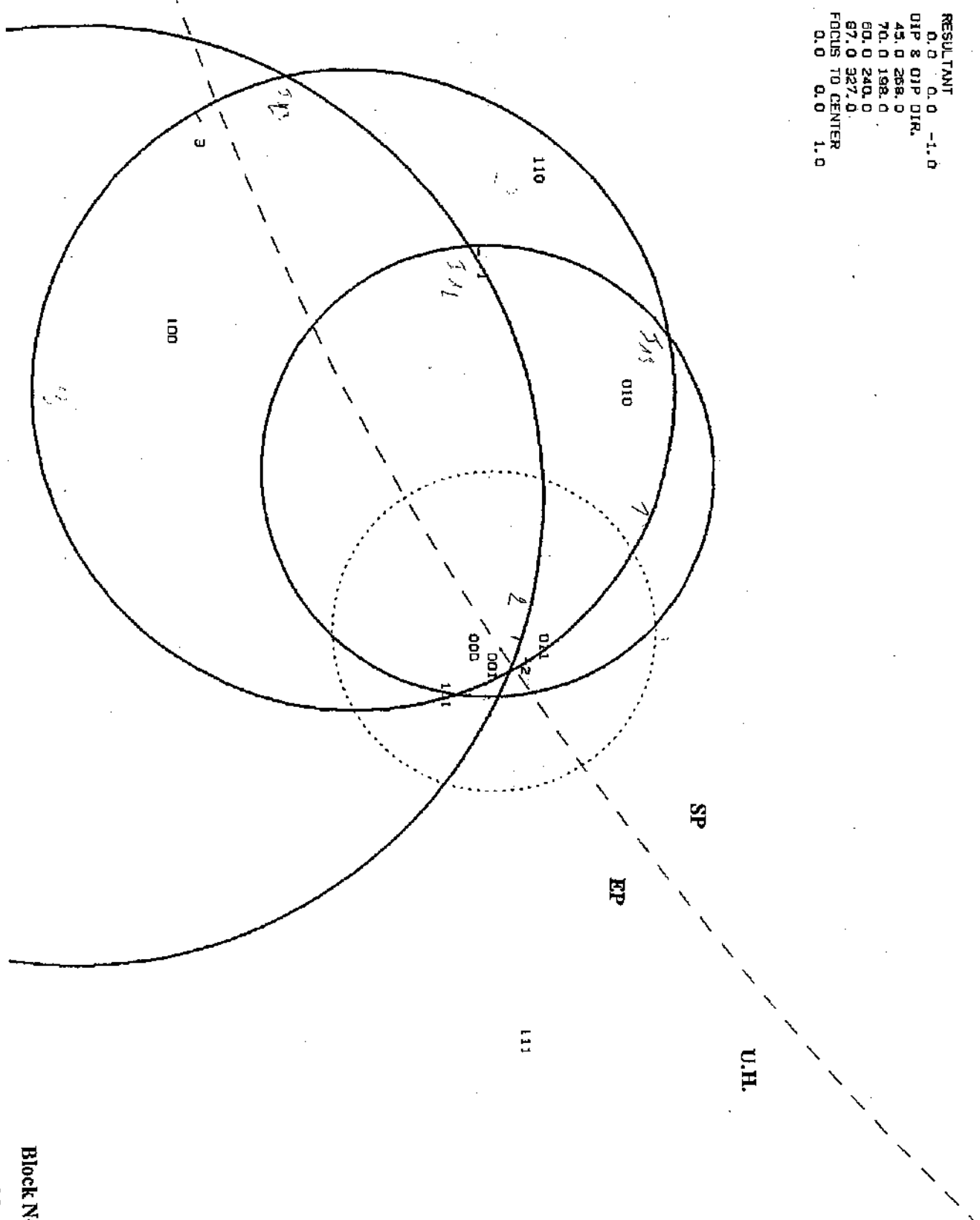


P. LONDE PICTURE  
 RESULTANT  
 0.000+00 0.000+00 0.100+01  
 DIP DIP 0. 510E  
 40.0 292.0 1.0  
 70.0 280.0 0.0  
 85.0 16.0 0.0  
 FOCUS  
 0.0 -1.0  
 STEP  
 5.00



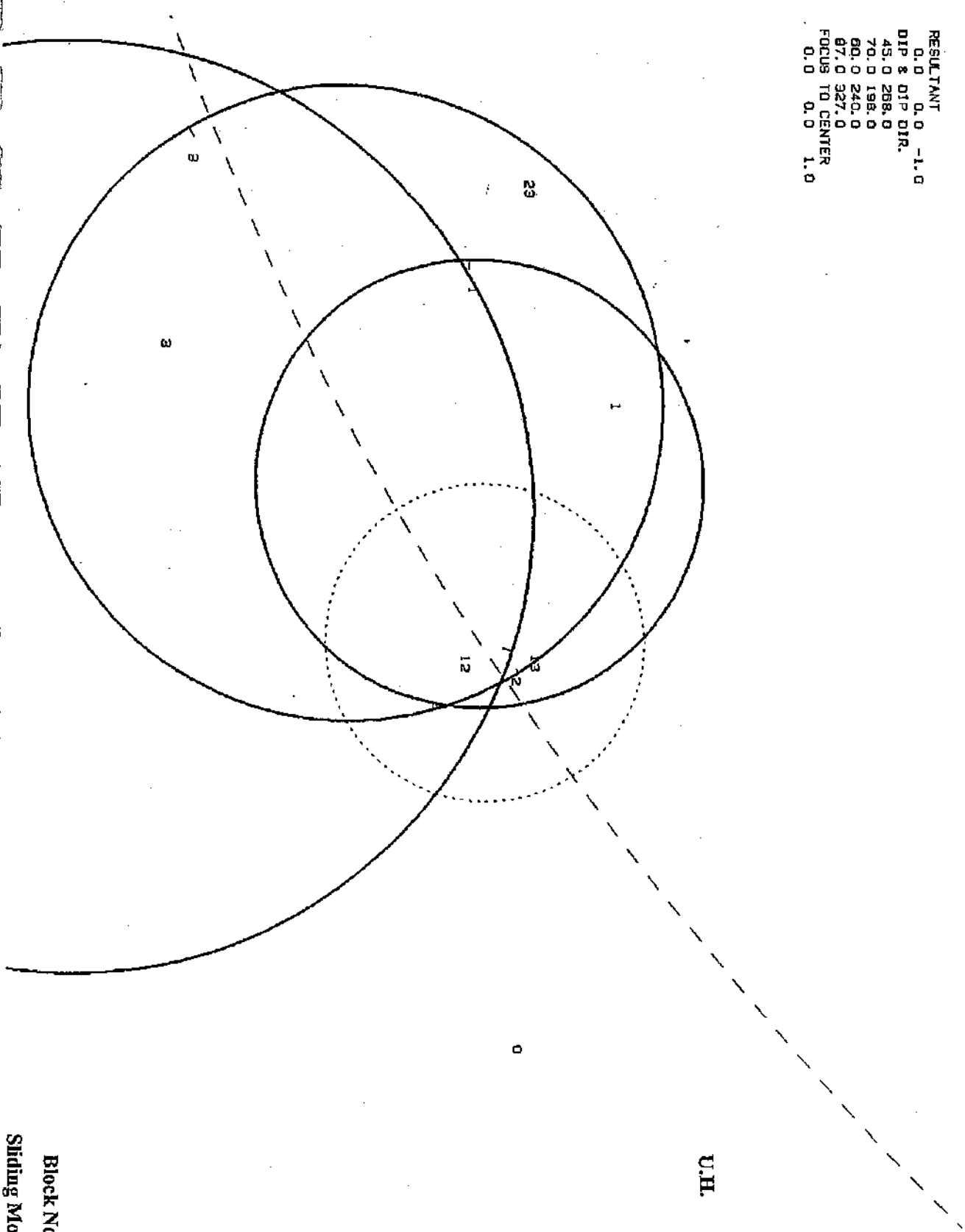
Block No. 4  
 $\phi$  Required 62.5°

RESULTANT  
 0.0 0.0 -1.0  
 DIP & DIP DIR.  
 45.0 268.0  
 70.0 198.0  
 80.0 240.0  
 87.0 327.0  
 FOCUS TO CENTER  
 0.0 0.0 1.0



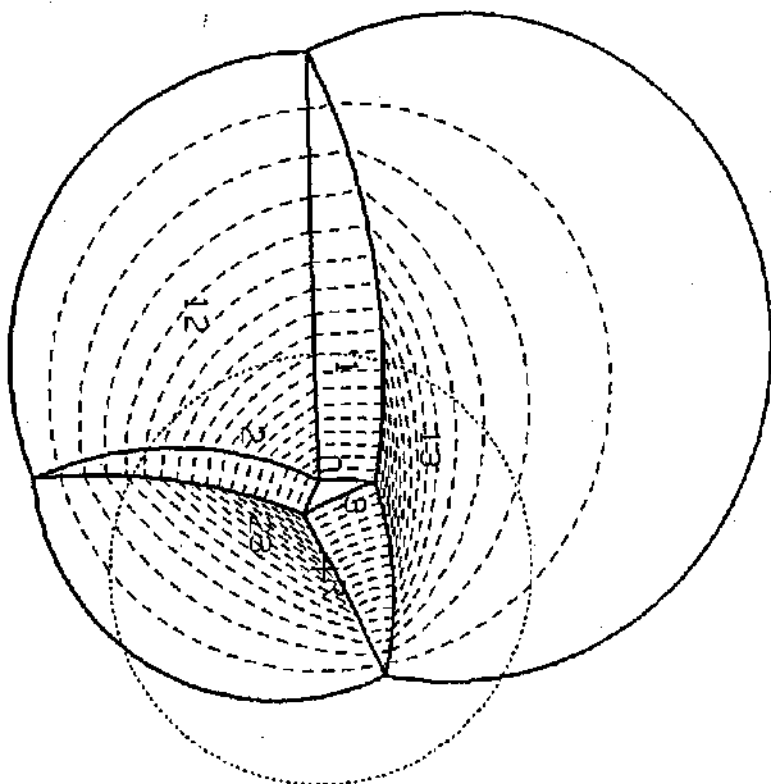
Block No. 5  
 Removable JP 110

RESULTANT  
 0.0 0.0 -1.0  
 DIP & DIP DIR.  
 45.0 268.0  
 70.0 198.0  
 80.0 240.0  
 87.0 327.0  
 FOCUS TO CENTER  
 0.0 0.0 1.0



Block No. 5  
 Sliding Mode 23

P. LONDE PICTURE  
 RESULTANT  
 0.000+00 0.000+00 0.100-01  
 DIP 01P 0. SIDE  
 45.0 258.0 1.0  
 70.0 198.0 1.0  
 60.0 240.0 0.0  
 FOCUS  
 0.0 0.0 -1.0  
 STEP  
 5.00

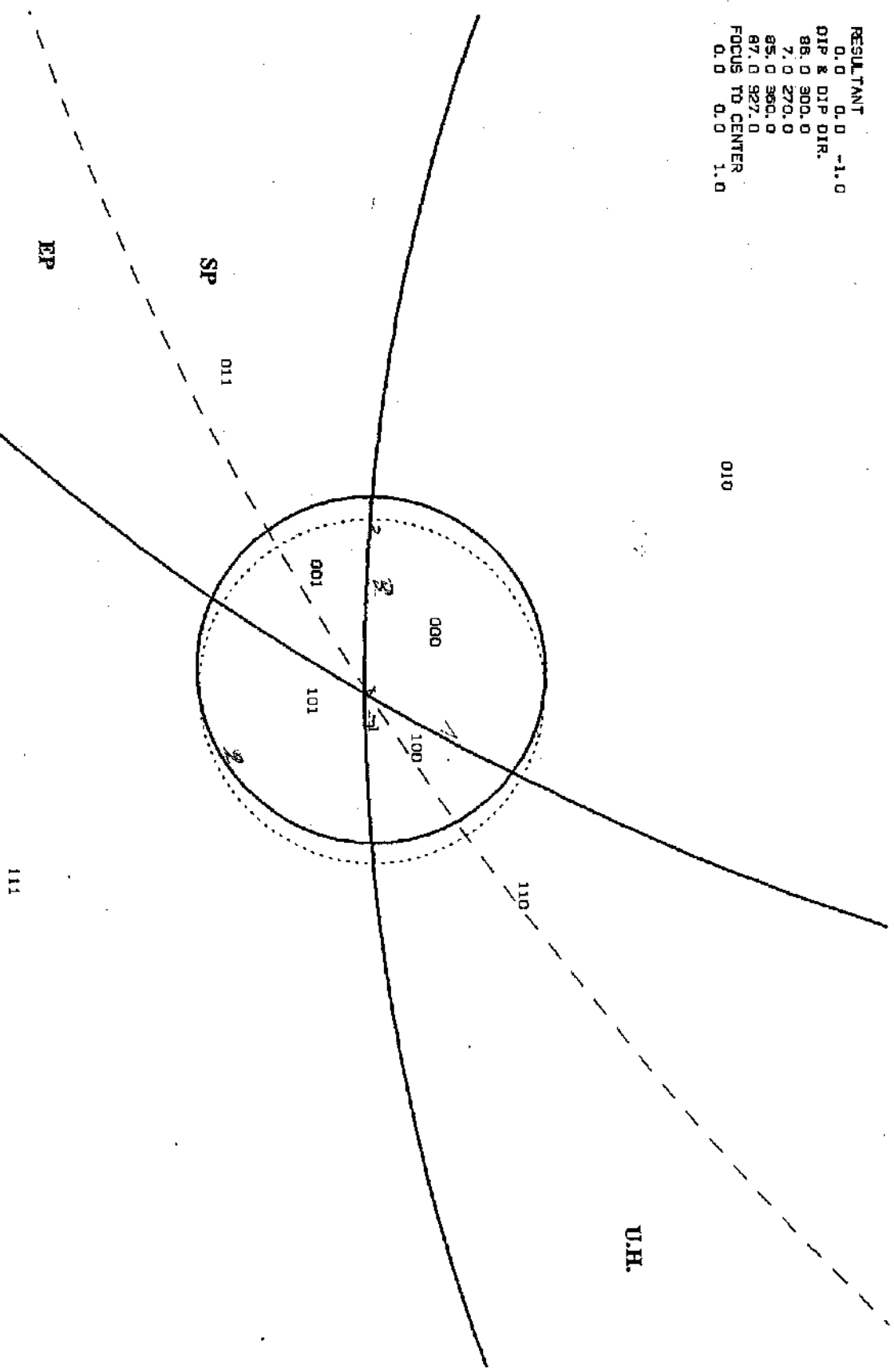


SAFE

L.H.

Block No. 5  
 $\phi$  Required 50°

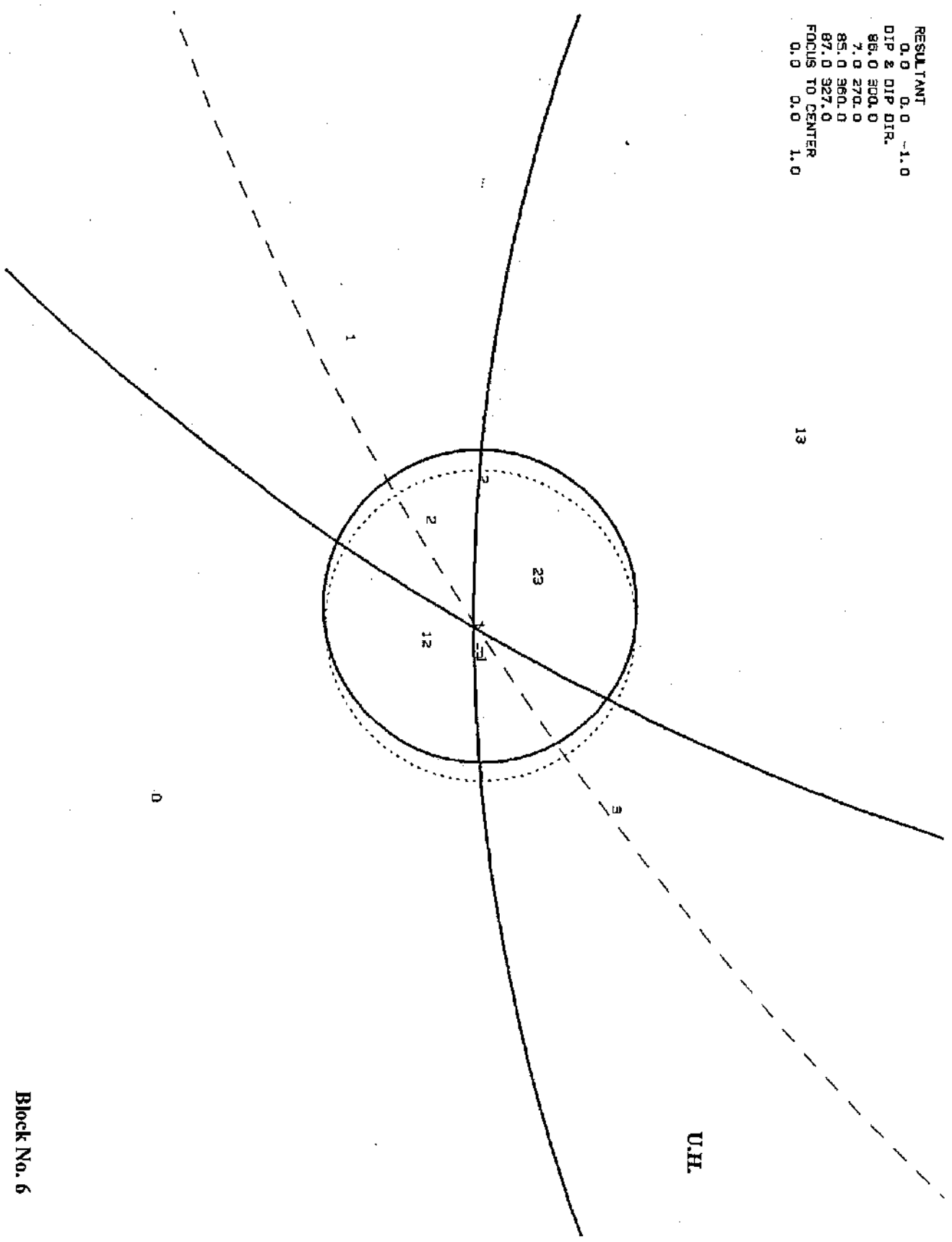
RESULTANT 0.0 0.0 -1.0  
 DIP & DIP DIR.  
 86.0 300.0  
 7.0 270.0  
 85.0 300.0  
 87.0 927.0  
 FOCUS TO CENTER  
 0.0 0.0 1.0



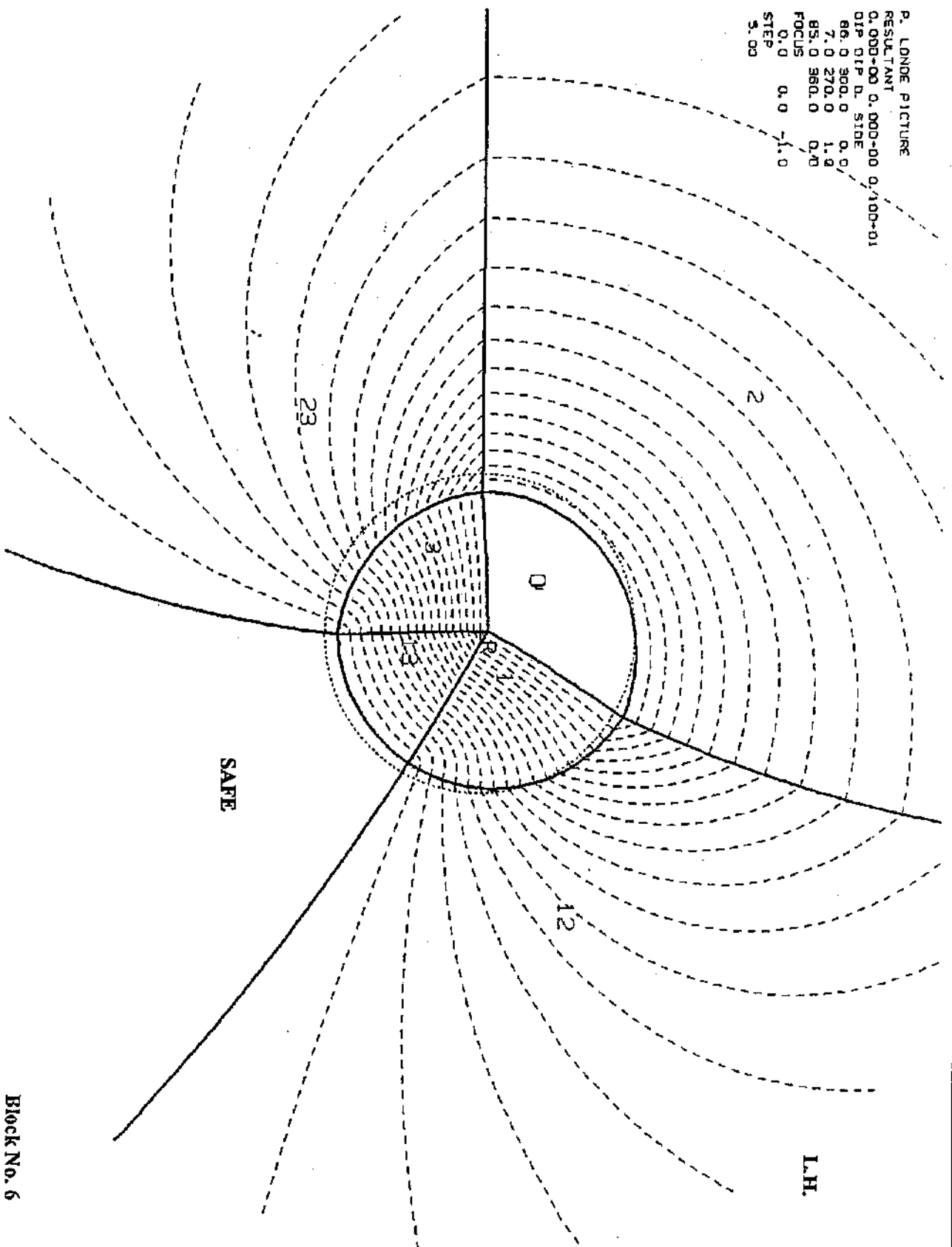
RESULTANT  
 0.0 0.0 -1.0  
 DIP & DIP DIR.  
 86.0 300.0  
 7.0 270.0  
 85.0 360.0  
 87.0 327.0  
 FOCUS TO CENTER  
 0.0 0.0 1.0

13

U.H.



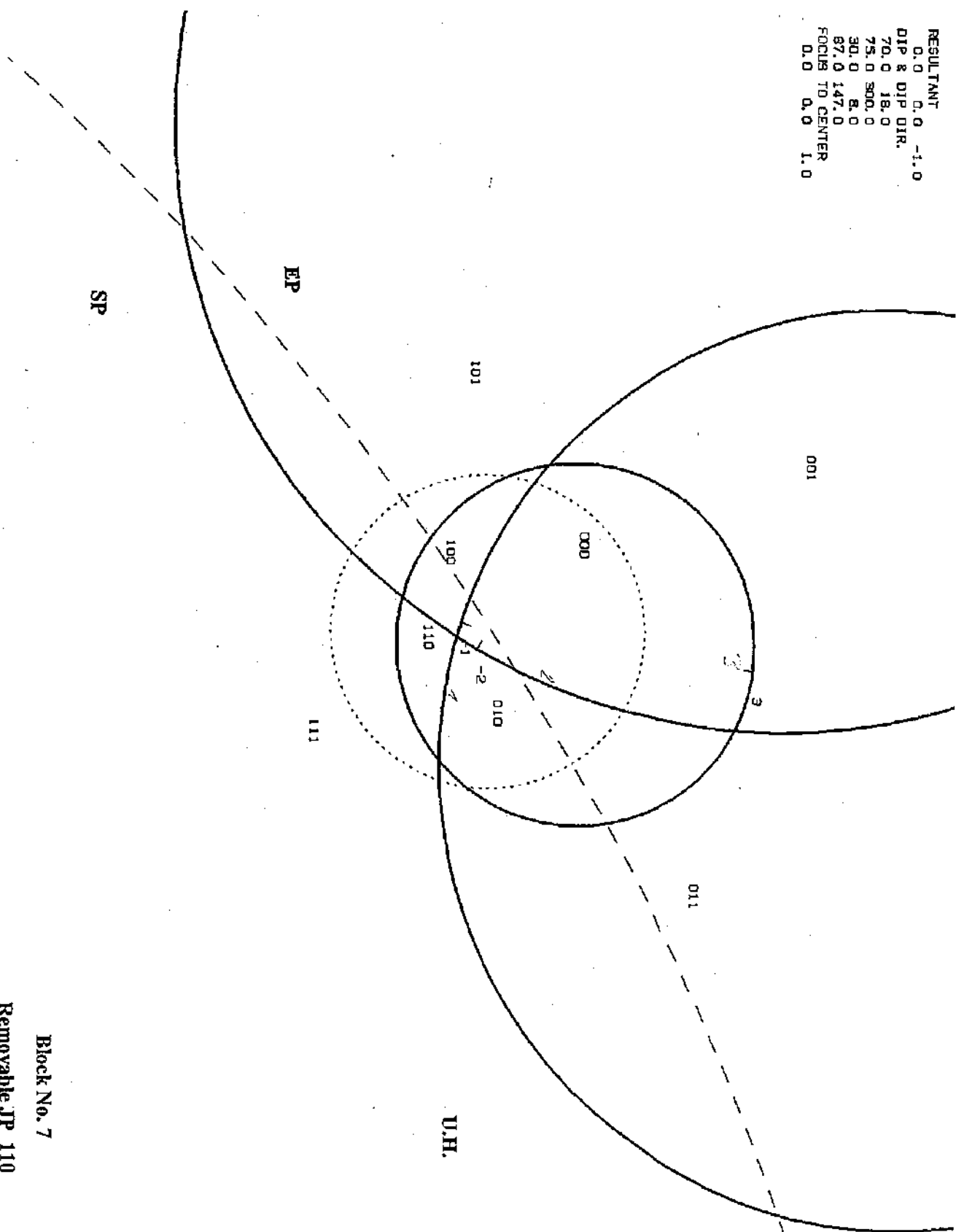
P. LONDE PICTURE  
 RESULTANT  
 0.000-00 0.000-00 0.100-01  
 DIP DIP D. SIDE  
 86.0 300.0 0.0  
 7.0 270.0 1.0  
 85.0 360.0 0.0  
 FOCUS  
 0.0 0.0 -1.0  
 STEP  
 5.00



L.H.

Block No. 6  
 $\phi$  Required 83.5°

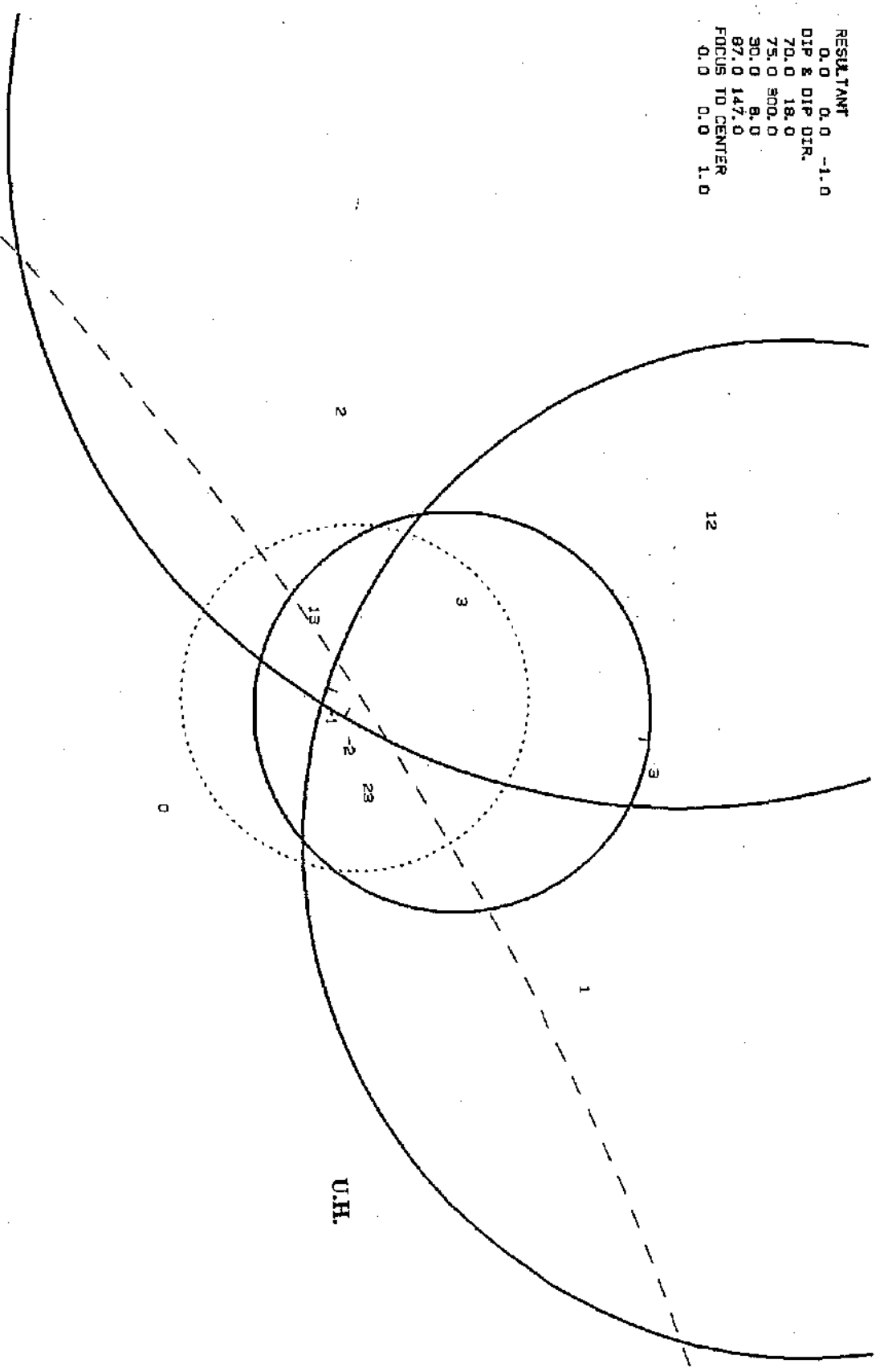
RESULTANT  
 0.0 0.0 -1.0  
 DIP & DIP DIR.  
 70.0 18.0  
 75.0 300.0  
 30.0 8.0  
 87.0 147.0  
 FOCUS TO CENTER  
 0.0 0.0 1.0



Block No. 7

Removable JP 110

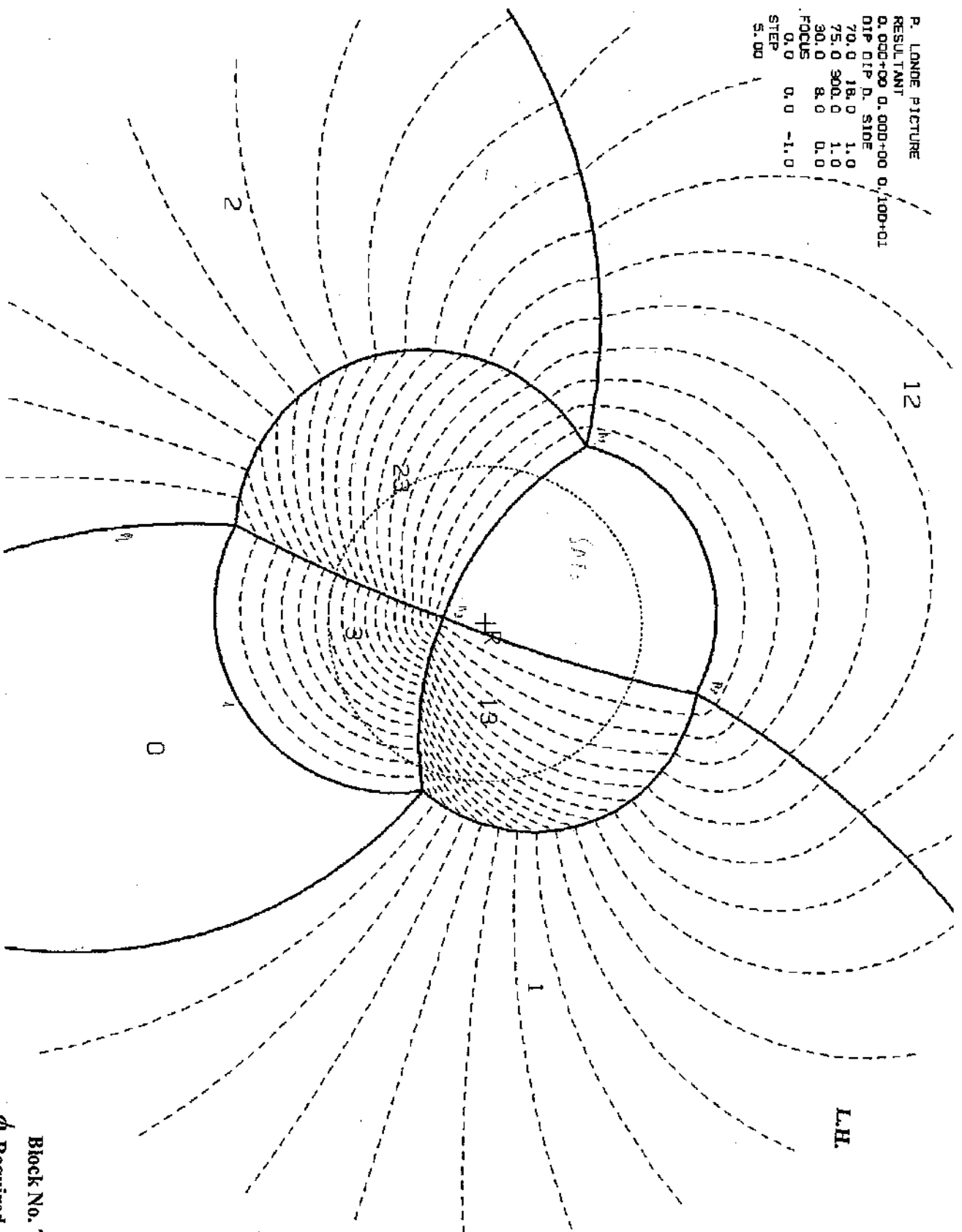
RESULTANT 0.0 0.0 -1.0  
 DIP & DIP DIR.  
 70.0 18.0  
 75.0 800.0  
 30.0 8.0  
 87.0 147.0  
 FOCUS TO CENTER  
 0.0 0.0 1.0



Block No. 7

Engineering - N. J. de

P. LONDE PICTURE  
 RESULTANT  
 0.000+00 0.000+00 0.100+01  
 DIP DIP D. SIDE  
 70.0 18.0 1.0  
 75.0 300.0 1.0  
 30.0 8.0 0.0  
 FOCUS  
 0.0 0.0 -1.0  
 STEP  
 5.00



RESULTANT  
 0.0 0.0 -1.0  
 DIP & DIP DIR.  
 90.0 18.0  
 65.0 120.0  
 14.0 30.0  
 87.0 147.0  
 FOCUS TO CENTER  
 0.0 0.0 1.0

011

U.H.

EP

SP

101

111

110

100

010

001

000

-1

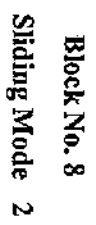
-2

1/4

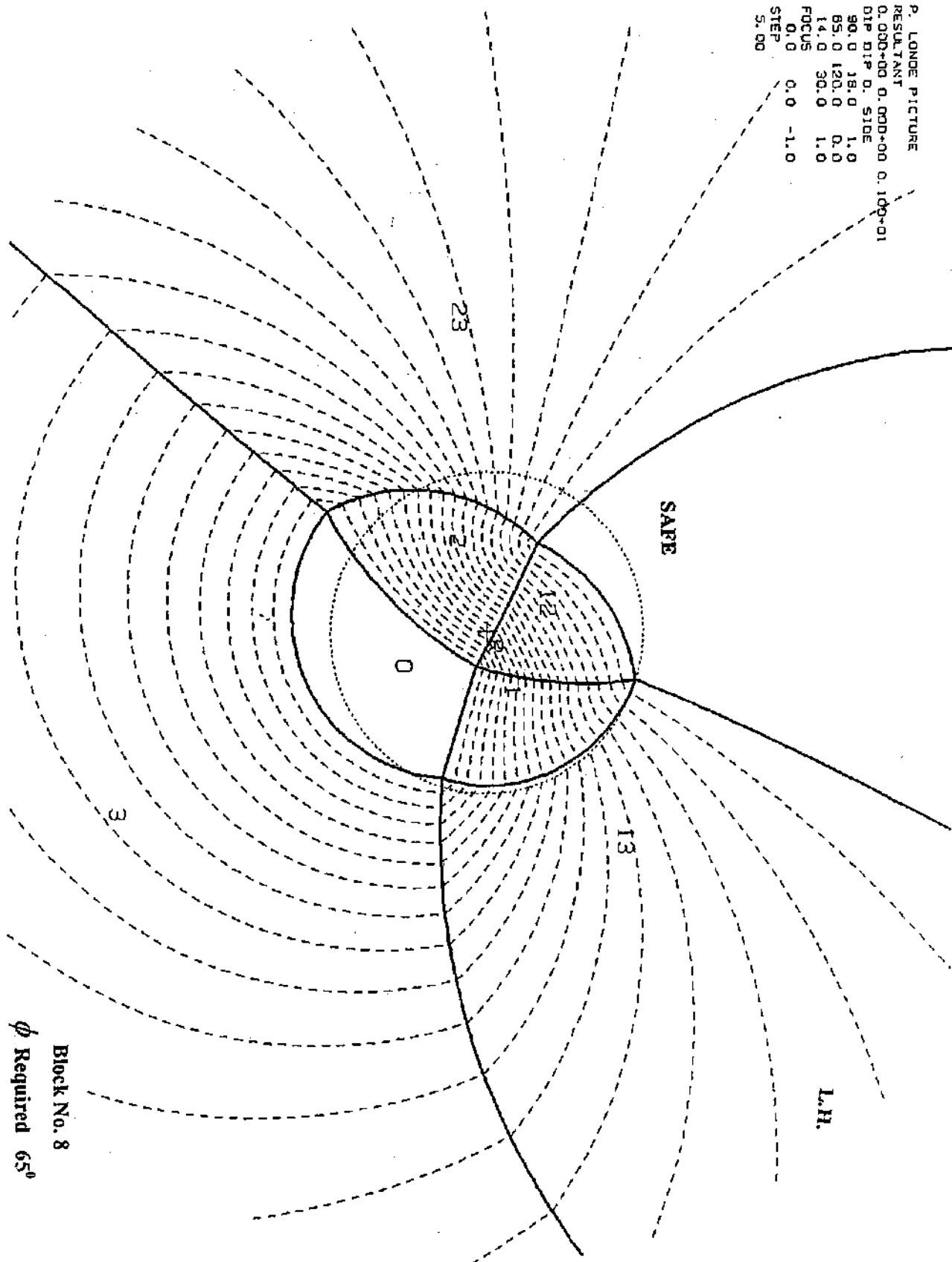
3

1/2

Block No. 8  
 Removable JP 101

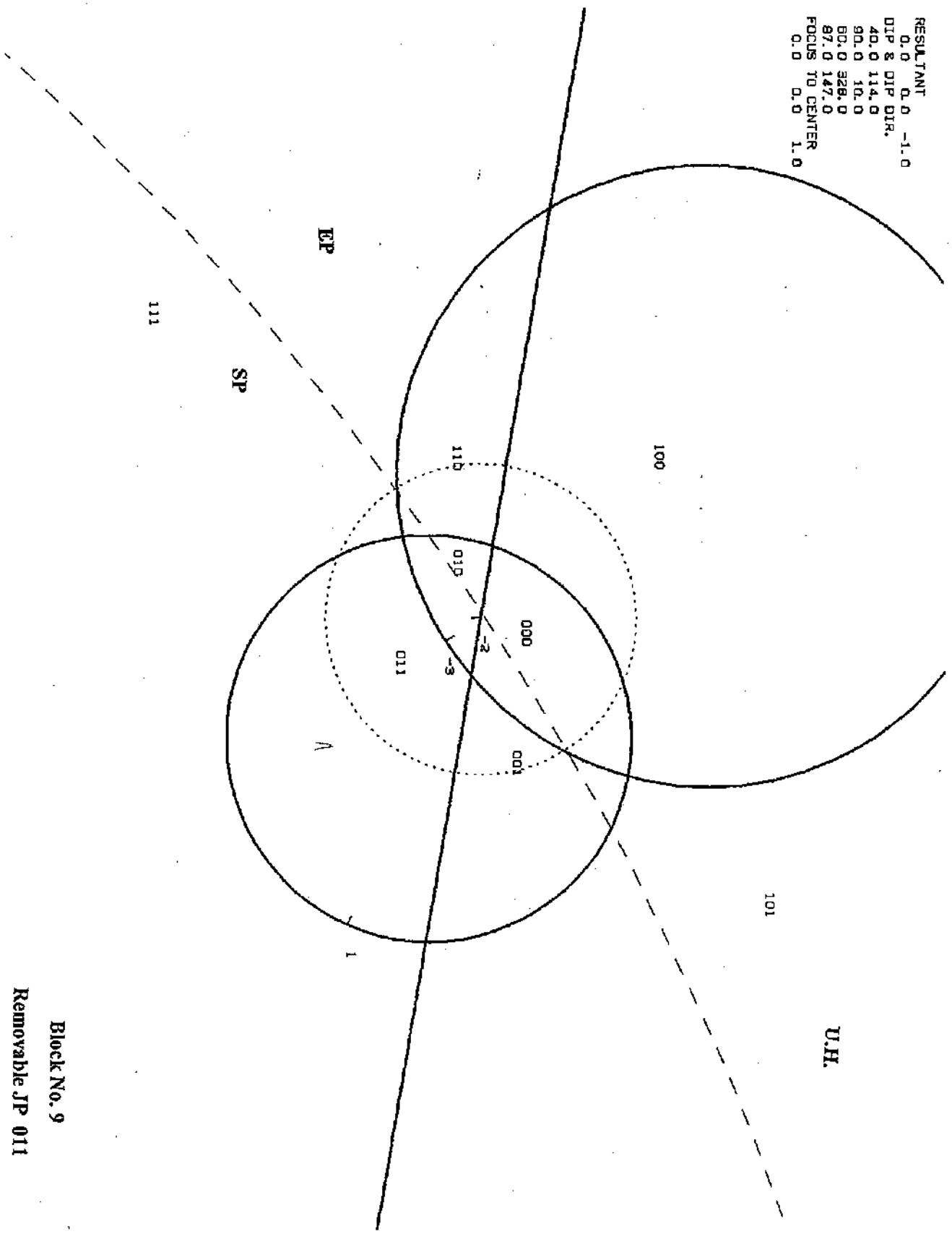


P. LONDE PICTURE  
 RESULTANT  
 0.000+00 0.000+00 0.100+01  
 DIP DIP 0. SIDE  
 90.0 18.0 1.0  
 85.0 120.0 0.0  
 14.0 30.0 1.0  
 FOCUS  
 0.0 0.0 -1.0  
 STEP  
 5.00



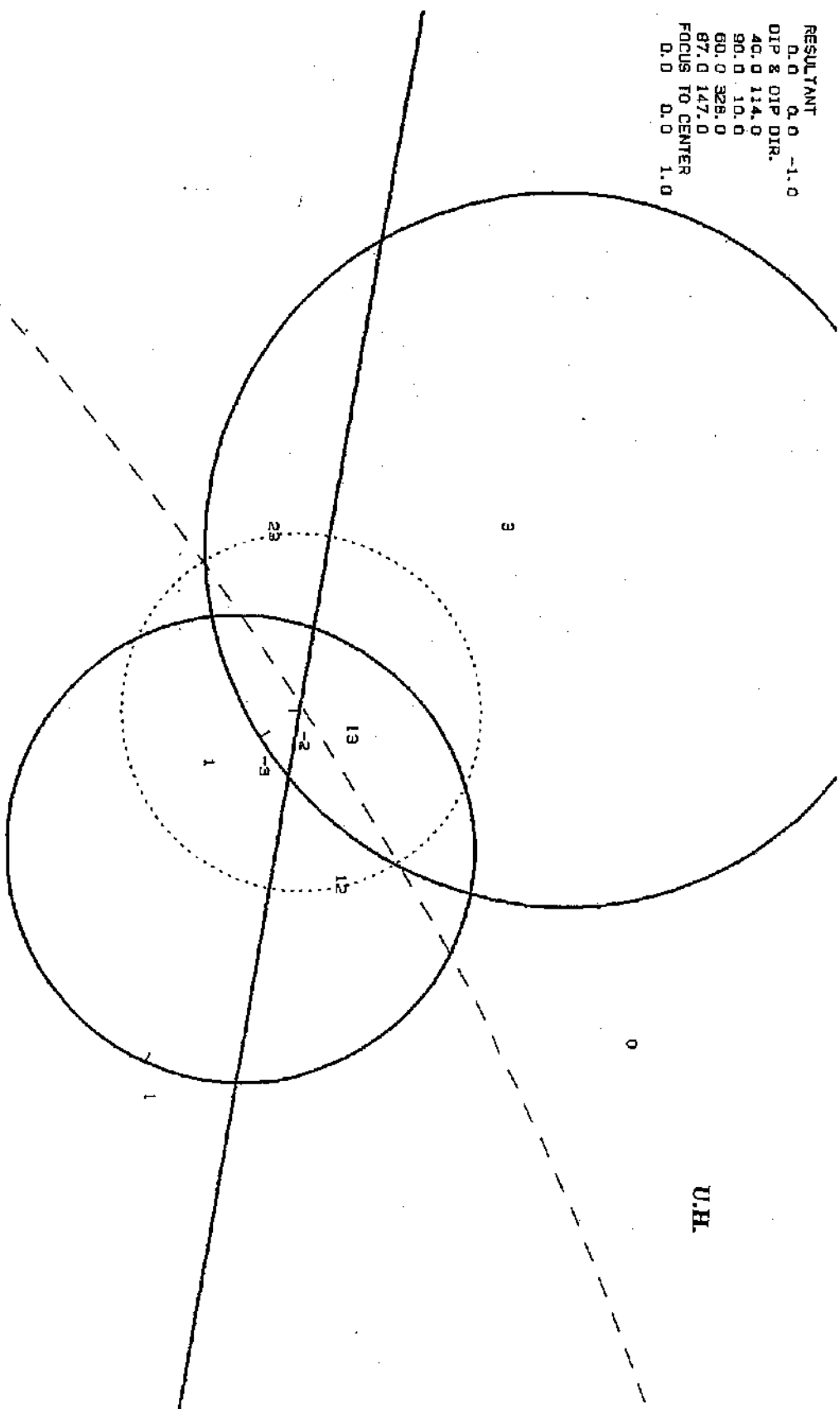
Block No. 8  
 $\phi$  Required 65°

RESULTANT  
 0.0 0.0 -1.0  
 DIP & DIP DIR.  
 40.0 114.0  
 90.0 10.0  
 80.0 326.0  
 87.0 147.0  
 FOCUS TO CENTER  
 0.0 0.0 1.0



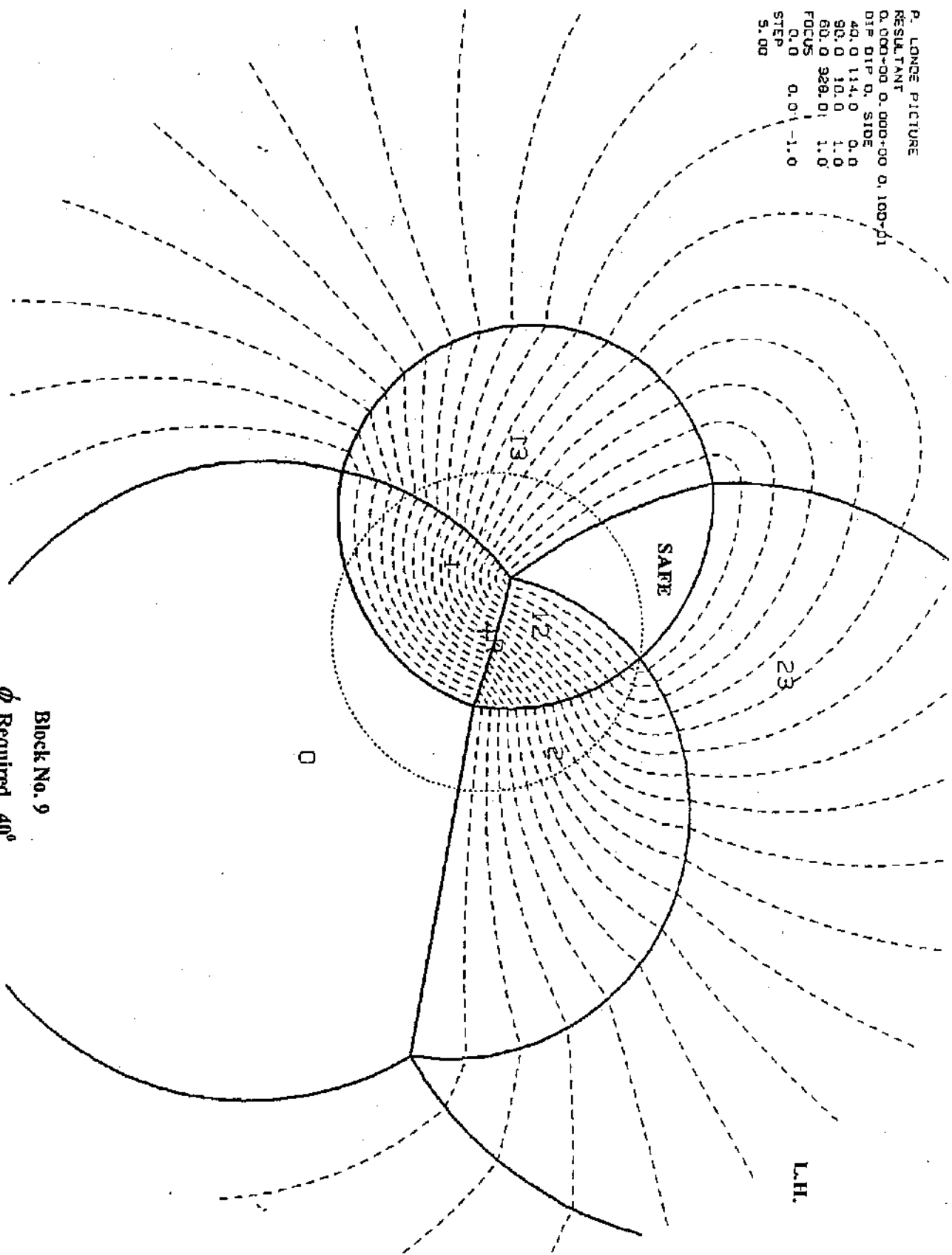
Block No. 9  
 Removable JP 011

RESULTANT  
 0.0 0.0 -1.0  
 DIP & DIP DIR.  
 40.0 114.0  
 90.0 10.0  
 60.0 328.0  
 87.0 147.0  
 FOCUS TO CENTER  
 0.0 0.0 1.0



Block No. 9  
 Sliding Mode 1

P. LONGE PICTURE  
 RESULTANT  
 0.000-00 0.000-00 0.100-01  
 DIP DIP 0. SIDE  
 40.0 114.0 0.0  
 80.0 10.0 1.0  
 60.0 328.01 1.0  
 FOCUS  
 0.0 0.01 -1.0  
 STEP  
 5.00



Block No. 9  
 $\phi$  Required 40°

## References

## רשימת ספרות

- גבסי, א., ליברמן, א., מיכאלי, ל., ארקין, י., 1994. קידוח גישוש - מנהרת גילה הארוכה, דו"ח טכני, TR - GSI/18/94, המכון הגאולוגי, ירושלים.
- גביש, א., ליברמן, א., מיכאלי, ל., 1994. קידוח גישוש - מפרץ תניה במנהרת גילה הארוכה. דו"ח התקדמות טכני TR - GSI/21/94, המכון הגאולוגי, ירושלים.
- חצור, י., מימרן, י., פלציק, י., 1995. חקר עקומת המאמץ - מעוות המלאה וחגדרת קריטריון כשל אמפירי עבור סלעי תבורת יהודה, דו"ח התקדמות טכני TR - GSI/6/95, המכון הגאולוגי, ירושלים.
- ארקין, י., כפרי, א., מיכאלי, ל., מימרן, י., 1987. סקר גאולוגי וגאוטכני לאורך כביש מספר 4 (60), ירושלים-גוש עציון, קטע הר גילה, דו"ח המכון מספר GSI/5/87, המכון הגאולוגי, ירושלים.
- ארקין, י., מיכאלי, ל., 1988. קידוחי מחקר וסיווג גאואהנדסי של מאסת סלע באתרי המנהרות כביש מספר 60, ירושלים-גוש עציון, קטע הר גילה. דו"ח מספר GSI/40/88, המכון הגאולוגי, ירושלים.
- ארקין, י., מיכאלי, ל., 1989. קידוחי מחקר לתכנון מפורט, מנהרת גילה ג6, ג7, ג8, כביש מספר 60 ירושלים-גוש עציון, דו"ח מספר GSI/46/89, המכון הגאולוגי, ירושלים.
- ישראלי, ע., 1973. חקר התכונות הגאולוגיות הנדסיות של התשתית הסלעית באזור ירושלים, מפה גאוטכנית 1 : 100,000, חיבור לצורך קבלת תואר מגיסטר, האוניברסיטה העברית, ירושלים.

Arkin, Y., Braun, M., Starinsky, A., Hamaoui, M. and Raab, M., 1965. Type sections of

Cretaceous formation in Jerusalem - Bet Shemesh Area. Isr. Geol. Surv.

Arkin, Y. and Michaeli, L., 1993. Gilo long tunnel site investigation summary of

geotechnical data. Isr. Geol. Surv., Rep. TR/GSI/2/93

Arkin, Y. and Michaeli, L., 1994. Geology and geotechnology of the Gilo short tunnel.

Isr. Geol. Surv., Current Research, Vol. 9, pp. 11 - 15,

- Barton, N., Lien, R., and Lunde, J., 1974. Engineering classification of rock masses for design of tunnel support. *Rock Mechanics*, Vol. 6, pp. 189 - 236.
- Barton, N., 1994. Har Gilo Tunnel South of Jerusalem, Comparison of Actual and Predicted Rock Qualities based on Q system. Commercial report, prepared for PeBeKa Lubin, Poland.
- Bieniawski, Z. T., 1974. Geomechanics classification of rock masses and its application in tunneling. *Proceeding of Third Congress, ISRM, Denver*, Vol. 2, Part A, pp. 27 - 32.
- Bieniawski, Z. T., 1976. Rock Mass Classification in Rock Engineering. *Exploration for Rock Engineering*, ed. Z. T. Bieniawski, A. A. Balkema, Johannesburg, pp. 97 - 106.
- Bieniawski, Z. T., 1989. *Engineering Rock Mass Classification*, John Wiley & Sons, pp. 251.
- Broch, E. and Franklin, J. A., 1972. The point load strength test, *Int. J. Rock Mech. Mining Sci.* 9, pp. 669 - 697.
- Cecil, O. S., 1970. Correlation of Rockbolts - Shotcrete Support and Rock Quality Parameters in Scandinavian Tunnels, Ph. D. thesis, University of Illinois, Urbana, pp. 414.
- Deere, D. U., 1967. Discussion. *Procd. 1st cong. of ISRM. Lisbon*, pp 156 - 158
- Goodman, R. E. and Gen - hua shi., 1985. *Block theory and its application to rock Engineering*. Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, New Jersey. pp.338.
- Goodman, R. E., 1989. *Introduction to Rock Mechanics*, Second Edition, John Wiley & Sons, pp. 562.

- Hatzor, Y. and Goodman, R. E., 1993. Determination of the design block for tunnel supports in highly rock. in: J. A. Hudson (ed.), *Comprehensive Rock Engineering*, Vol. 2, ch.11. Pergamon Press, Oxford.
- Hatzor, Y., 1993. The block failure likelihood: a contribution to rock engineering in blocky rock masses. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr.* Vol 30, No. 7, pp. 1591 - 1597
- Hatzor, Y., 1995. Application of block theory to rock slope stability studies. *Proceeding of the 35th U.S. symposium of Rock mechanics*, Nevada, pp. 71 - 77
- ISRM (International Society for Rock Mechanics), 1972. Commission on standardization of laboratory and field tests, suggested method for determining the uniaxial compressive strength of rock materials and the point load strength index, committee on laboratory tests document no. 1.
- ISRM (International Society for Rock Mechanics), 1972. Commission on standardization of laboratory and field tests, suggested method for determining water content, porosity, density, absorption and related properties and suggested method for determining swelling and slake - durability index properties, committee on laboratory tests document no. 2.
- ISRM (International Society for Rock Mechanics), 1978. Commission on standardization of laboratory and field tests, suggested method for the quantitative description of discontinuities in rock masses, *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr.* Vol. 15, pp. 319 - 368.
- ISRM (International Society for Rock Mechanics), 1981. Basic Geotechnical Description of rock masses quality. *Bull. Int. Assoc. Eng. Geol.*, no. 18, pp. 139 - 142
- Lauffer, H., 1958. Gebrigsklassifizierung für den Stollenbau. *Geol. Bauwesen* 74, pp. 46 - 51.
- Merrit, A. H., 1972. Geologic prediction for underground excavation, *Proc. Rapid Excav. Tunneling Conf.*, AIME, New - York, pp. 115 - 132.
- Priest, S. D., 1985. Hemispherical projection methods in rock mechanics. *George Allen & Unwin*, pp. 124.

Rabcewicz, L., 1964. The New Austrian Tunneling Method. *Water Power*, Nov., pp. 453 - 457

Stini, I., 1950. *Tunnulbaugologie*. Springer - verlag, Vienna, pp. 336

Terzaghi, K., 1946. Rock Defects and Loads on Tunnel Support. *Rock Tunneling with Steel Supports*, ed. R. V. Proctor and T. White, Commercial Shearing Co., Youngstown, OH, pp. 15 - 99.

Terzaghi, R., 1965. Sources of error in joint surveys. *Geotechnique*, 15, pp. 287 - 304

Unal, E., 1938. Design Guidelines and Roof Control Standards for Coal Mine roofs, Ph. D. thesis, Pennsylvania State University, University Park, pp. 355.

Wickham, G. E., 1972. Tiedemann, H. R., and Skinner, E. H., Support Determination Based on Geologic Predictions, *Proc. Rapid Excav. Tunneling Conf.*, AIME, New - York, pp. 43 - 64.

|                                                                                         |            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 5.1.9 Summary of 'Q' and 'RMR' value.....                                               | 80         |
| 5.2 Geotechnical Mapping.....                                                           | 82         |
| 5.3 Critical blocks in block theory analysis.....                                       | 130        |
| <b>6. Discussion.....</b>                                                               | <b>134</b> |
| 6.1 Block theory - correlation between blocks mould<br>and critical block.....          | 134        |
| 6.1.1 Limit equilibrium analysis.....                                                   | 138        |
| 6.2 Comparison of predicted and actual 'Q' and 'RMR' values.....                        | 140        |
| 6.3 Comparison of design support and actual support.....                                | 145        |
| 6.3.1 The 'Q' system.....                                                               | 145        |
| 6.3.2 The 'RMR' system.....                                                             | 146        |
| 6.4 Application of 'Q' and 'RMR' classification method.....                             | 147        |
| <b>7. Conclusion.....</b>                                                               | <b>152</b> |
| <b>8. Appendix</b>                                                                      |            |
| 8.1 Appendix No. 1 - Point load strength tests results.....                             | 155        |
| 8.2 Appendix No. 2 - Water content and Direct shear test results.....                   | 163        |
| 8.3 Appendix No. 3 - Block Theory - Removabilit and<br>Limit equilibrium analysis ..... | 180        |
| <b>10. References.....</b>                                                              | <b>207</b> |



|                                                                           |           |
|---------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 4.1.2 Geological mapping of the long Tunnel.....                          | 50        |
| 4.1.3 Mapping of discontinuities system.....                              | 52        |
| 4.1.4 Determination of 'Q' and 'RMR' values.....                          | 53        |
| 4.2 Laboratory Testing.....                                               | 60        |
| 4.2.1 Point load strength.....                                            | 60        |
| 4.2.2 Water content.....                                                  | 62        |
| 4.2.3 Direct shear test.....                                              | 63        |
| 4.2.4 Granulometric analysis.....                                         | 64        |
| 4.3 Block Theory.....                                                     | 65        |
| 4.3.1 General background.....                                             | 65        |
| 4.3.2 Blocks types.....                                                   | 65        |
| 4.3.3 Removability analyses.....                                          | 67        |
| 4.3.4 Determination of critical block by<br>stereographic projection..... | 67        |
| <b>5. Research results.....</b>                                           | <b>71</b> |
| 5.1 Determination of 'Q' and 'RMR' values.....                            | 71        |
| 5.1.1 Point load strength.....                                            | 71        |
| 5.1.2 Joint.....                                                          | 71        |
| 5.1.3 Roughness profile.....                                              | 75        |
| 5.1.4 Joint alteration rate.....                                          | 79        |
| 5.1.5 Spacing between the joints.....                                     | 79        |
| 5.1.6 Ground water.....                                                   | 79        |
| 5.1.7 SRF (Stress Reduction Factor).....                                  | 80        |
| 5.1.8 RQD.....                                                            | 80        |



## CONTENTS

|                                                             | Page No.  |
|-------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1. Introduction.....</b>                                 | <b>1</b>  |
| 1.1 General background.....                                 | 1         |
| 1.2 Empirical classification methods.....                   | 1         |
| 1.3 Analytical methods.....                                 | 2         |
| 1.4 Research aims.....                                      | 3         |
| <b>2. Engineering Geology.....</b>                          | <b>5</b>  |
| 2.1 Lithology.....                                          | 5         |
| 2.2 Moza Formation.....                                     | 5         |
| 2.3 Transition Zone .....                                   | 7         |
| 2.4 Aminadav Formation.....                                 | 15        |
| 2.5 Karstic phenomena.....                                  | 19        |
| 2.6 Dolomite flour.....                                     | 23        |
| <b>3. Empirical classification methods.....</b>             | <b>27</b> |
| 3.1 Historical background.....                              | 27        |
| 3.2 The 'RMR' (Rock Mass Rating) classification method..... | 30        |
| 3.2.1 Description of the RMR parameters.....                | 34        |
| 3.3 The 'Q' (Quality) classification.....                   | 41        |
| 3.4 Correlation between the Q and RMR.....                  | 49        |
| <b>4. Research method.....</b>                              | <b>50</b> |
| 4.1 Field work.....                                         | 50        |
| 4.1.1 Field work aims.....                                  | 50        |



## II

For rock mass quality rating, it is necessary to determine and qualify the discontinuity systems, the infilling material, extent of weathering and changing in strain condition due to faults and shearing zone. Site investigation can not based on boreholes which provide only local and not satisfy data . The diversity of "Q" and "RMR" values that range from a very good rock to an extremely poor rock mass emphasize these difference. This diverse range could not be determined on the base of a few boreholes.

Discontinuity planes were measured at the surface and within tunnel. This data was used to determine potential unstable block using Block Theory (Goodman and Shi 1985). The mapping during tunneling showed only small block (20 to 30 cm) formed due to random and systematic discontinuity planes which would not cause stability problems. Although Block Theory removability analyses showed potentially a large key block, this did not fall due to the undulating nature of the fractured plane and the heterogeneity of the rock mass.



## Abstract

The excavation of Gilo long tunnel is used as a case study for the adaptation of the "Q" (Barton 1974) and "RMR" (Bieniawski 1974) classification methods for layered carbonate and heterogeneous rock mass. The tunnel was excavated in limestone, dolomite and marl of the Upper Cretaceous Judea Group at a site in the southern part of Jerusalem. The results of preliminary site investigation, which included geological mapping and five boreholes, provided a range of data which only in part conformed to the reality in tunnel excavation.

The main problem arose from the phenomena of intervening transition zone between the Moza Formation and the overlying Amminadav Formation, consisting of massive competent dolomite blocks surrounded by soft dolomite "flour" of silt and fine sand size. The geomechanic property of the dolomite "flour" and massive dolomite differ significantly in cohesion (27 kPa & 32 MPa) and uniaxial compressive strength. The combination of massive dolomite and dolomite "flour" together with weathering phenomena associated with open fractures, karst and clay, caused problems in the "Q" and "RMR" classification of the transition zone. Drilling at the site did not disclose the heterogeneity of the transition zone. The classification values from the southern part of the tunnel (transition zone) were generally higher than the real values while, The "Q" and "RMR" values in the massive dolomite were generally more conservative than those determined during excavation.

Rock mass classification was carried out during tunneling operation by detailed geological mapping and revealed the difficulties of classification of the transition zone, especially in determine the descriptive parameters of the classification methods. This was also emphasized by the correlation equation between "Q" and "RMR", which could not be applied to the transition zone but give a good correlation between the two classification methods, for the massive dolomite values.



***Evaluated of empirical classification methods  
(Q, RMR) for tunneling in bedded rock.  
Lessons from the Gilo Tunnel, Jerusalem.***

**This theses submitted for M.Sc. degree**

**Faculty of Natural science**

**By: Ehud Gavish**

**Supervisors: Dr. Yossef Hodara Hatzor, Ben-Gurion University of the Negev**

**Dr. Yaacov Arkin, Geological Survey of Israel, Jerusalem**

**Department: Geology and Mineralogy**

**Faculty of Natural science**

**Ben-Gurion University of the Negev**

**Signature of the author:** \_\_\_\_\_

**Date :** 05/01/002

**Signature of the supervisors:** \_\_\_\_\_

**Date :** 5/1/97

**Date :** 26/1/97

**Signature of the department committee chairman :** \_\_\_\_\_

**Date :** 5.1.97



**Ben-Gurion university of the Negev**

**Faculty of natural science**

**Department of Geology and Mineralogy**

***Evaluated of empirical classification  
methods (Q, RMR) for tunneling in bedded rock.  
Lessons from the Gilo Tunnel, Jerusalem.***

**This theses submitted for M.Sc. degree**

**By: Ehud Gavish**

**01.01.1997**