

**אמצעי הגנה
לחוף המערבי של בריכה 5
לאזור עין בוקק
סוללות הגנה, יציבות, כוחות עילוי וחומרי בניה**

דוח גיאוטכני

**תורגם ממסמך של: ד"ר ישראל קיסר
32-2011-18R
מ - 02.01.14**

תוכן עניינים

1	מבוא	1
1	פרופילי הקרקע	2
1	2.1 כללי	2.1
2	2.2 מלח בבריכה	2.2
2	2.2.1 חתך סכמטי	2.2.1
3	2.2.2 תכונות שכבות המלח	2.2.2
7	2.3 פרופיל הקרקע במלונות עין בוקק ובחוף הציבורי	2.3
7	2.3.1 נתונים קיימים	2.3.1
8	2.3.2 פרופיל הקרקע	2.3.2
19	3. חומרי בניה	3
19	3.1 חציץ	3.1
20	3.2 מילוי הסוללה	3.2
22	4. נתוני קרקע מומלצים לתכנון	4
22	5. סיסמולוגיה	5
30	7. יציבות מדרון הסוללה	7
30	7.1 מבוא	7.1
32	7.2 יציבות הסוללה בעין בוקק	7.2
35	8. שקיעות צפויות בסוללות עקב עבודות עפר מתוכננות	8
35	8.1 שקיעות מיידיות	8.1
37	8.2 התמוככויות	8.2
38	9. סיכון להיווצרות בולענים	9

רשימת תרשימים ותמונות

5	תרשים 1: חתך סכמטי של הסוללה המערבית של בריכה 5 ושלבי ביצוע אפשריים
6	תרשים 2: מבחני SPT שבוצעו בשכבות מלח של בריכה 5
9	תמונה 1: גלעין מלח מקידוח BH16, עומק 26.1 – 27.1 מ'
9	תמונה 2: גלעין מלח מקידוח BH18.1, עומק 29 – 30.5 מ'
10	תרשים 3: מיקום הקידוחים הקיימים
11	תרשים 4: החוף הציבורי בעין בוקק (אתר 3) – פרופיל קרקע לאורך מקטע 0+240
12	תרשים 5: אזור המלונות (אתר 2), עין בוקק – פרופיל קרקע לאורך מקטע 0+760
13	תרשים 6: אזור המלונות לאורך נחל בוקק (אתר 1) – פרופיל קרקע לאורך מקטע 1+000
14	תרשים 7: מלון ישרוטל – פרופיל קרקע לאורך מקטע 0+080
15	תרשים 8: עין בוקק – פרופיל קרקע לאורך הסוללה של בריכה 5, כיוון דרום-צפון
16	תרשים 9: עין בוקק – סיכום וניתוח מבחני SPT
17	תרשים 10: עין בוקק – התפלגות גרגרים לפי גודל בקידוחי SMET
18	תרשים 11: עין בוקק – תוצאות מבחני חדירות בשדה
21	תרשים 28: התפלגות גודל הגרגרים במילוי גרנולרי ששימש את מפעלי ים המלח
29	תרשים 29: מפת אירועים סיסמיים עם $ML > 3$ ל-80 השנים האחרונות סלומון א. (2004) "תופעות קרקע מושפעות-סיסמיות מרעידת האדמה בצפון-מזרח ים המלח, $ML=5.2$, מפברואר 2004", המכון הגיאולוגי, GSI/30/2004
24	תרשים 30: התפלגות אירועים סיסמיים באזור ים המלח, 1985 – 2010 (קטלוג המכון הגיאופיזי)
25	תרשים 31: קטע מ"מפת העתקים פעילים ופעילים בפוטנציה בישראל" העתקים פעילים

25	מסומנים באדום. העתקים פעילים בפוטנציה מסומנים בירוק (המכון הגיאולוגי)	תרשים 32
26	קטע מ"מפת אזורים בעלי פוטנציאל חריג להגברת עוצמת רעידת האדמה"	
27	(המכון הגיאולוגי, המכון הגיאופיזי, 2009)	
27	מפת העתקים שהוכנה ע"י די"ר שמיר בעין בוקק, יוני 2011	תרשים 33
28	מפת העתקים שהוכנה ע"י די"ר שמיר בנוה זוהר, יוני 2011	תרשים 34
28	גג שכבת המלח המסיבית (מפת זמן של גג שכבת המלח המסיבית מהסקר	תרשים 35
29	הגיאופיזי שנערך ע"י די"ר ג. שמיר, יוני 2011)	
31	לוח תזוזות סיסמיות קבועות (Franklin ו-Hynes, 1984)	תרשים 42
31	לוח תזוזות סיסמיות קבועות (Seed ו-Makdisi, 1984)	תרשים 43
33	עין בוקק. מודל נומרי דו-מימדי ופרופיל הקרקע לצורך חישובי יציבות המדרונות	תרשים 44
33	עין בוקק. משטח החלקה קריטי בתום ביצוע, מפלס תמלחת +13.9 מ'	תרשים 45
34	עין בוקק. משטח החלקה קריטי בתום ביצוע, מפלס תמלחת +15.1 מ'	תרשים 46
34	עין בוקק. משטח החלקה קריטי למקדם פסידו-סטטי קריטי $ky=0.13g$	תרשים 47
36	סוללת עין בוקק. אפיק תזוזה לאחר ביצוע	תרשים 56
36	סוללת מלון מוריה. אפיק תזוזה לאחר ביצוע	תרשים 57
36	סוללת מלון נירוונה. אפיק תזוזה לאחר ביצוע	תרשים 58
38	סוללת מלון מוריה: התפלגויות לחיצת השכבת	תרשים 59
39	מפות GSI: סיכונים להיווצרות בולענים באזור עין בוקק ונוה זוהר	תרשים 60

רשימת לוחות

2	רשימת קידוחים שנקדחו בתוך בריכה 5	לוח 1
3	תוצאות בדיקות צפיפות בגבישי מלח מגורענים בלתי-דבוקים	לוח 2
4	מקדמי חדירות של שכבות מלח (ג.י.א. 2002)	לוח 3
8	פרופיל קרקע לאורך הסוללה באזור המלונות	לוח 4
19	תוצאות בדיקות תלת-ציריות במדגמי חרסית מהודקת	לוח 9
20	סיכום התוצאות של בדיקות הידרומטר והידרומטר כפול	לוח 10
22	נתוני קרקע מוצעים לתכנון	לוח 11
23	איפיונים סיסמיים של ההעתקים ל-10% הסתברות לתקופת חזרה של 50 שנה	לוח 12
32	סוללת עין בוקק - תוצאות חישובי יציבות המדרונות	לוח 13
32	סוללת עין בוקק: תזוזות עקב רעידת אדמה $M_w = 6.5 - 7.5$	לוח 14
37	סיכום נתוני האישוש של שכבת ה-LC (סוללה 5/8)	לוח 19

1. מבוא

דוח זה הינו דוח גיאוטכני בנושא סוללות ההגנה באזורי בתי המלון – עין בוקק, החוף הציבורי, מוריה ונירוונה – כאמצעי נגד עלית פני המים בבריכה 5.

הדוח כולל את הנושאים הבאים:

- ? פרופילי קרקע בכל אחד מהאתרים.
- ? פרמטרים מומלצים לתכנון.
- ? חישובי יציבות של הסוללות.
- ? חישובים למקדם הביטחון של החציץ החרסיתי כנגד כוחות עילוי.
- ? חומרי בניה.

הדוח מבוסס על הדוחות והנתונים הבאים:

- ? תכניות וחתכים של האתר, אשר נמסרו ע"י המתכנן, תהל.
- ? נתונים גיאוטכניים קיימים, כולל קידוחים, מבחני שדה, בדיקות מעבדה ודוחות גיאוטכניים שנערכו ע"י גורמים אחרים (WBI, Geotech, Royal Haskoning, SMET וכ"ו).
- ? דוח גיאוטכני בנושא יצירת בולענים, GSI/34/2009, שהוכן ע"י המכון הגיאולוגי.
- ? דוחות שונים בנושא תכנון גיאוטכני לאתרים: WBI, Royal Haskoning, SMET, וכ"ו).
- ? דוחות גיאוטכניים בנושא סיכונים סיסמיים באתר.

הרומים המוצגים בדוח זה מבוססים על נקודת הציון של DSW : $0.0 = -404.05$ מעל פני הים.

2. פרופילי הקרקע

2.1 כללי

בממוצע פרופיל הקרקע מורכב משלוש שכבות עיקריות:

- ? צרורות נחל.
- ? CaCO_3 (קרקע בעלת גרגרים דקים, תצורת הלשון, LC).
- ? סלע מלח.

בדרך-כלל, צרורות נחל מופיעים בשכבות העליונות, ושכבות LC נמצאות בעומק רב יותר. שכבות מלח מצויות בעיקר בתוך שכבות LC. למרות זאת, קיימים ערבוב ושיכוב בין שכבות עיקריות אלה. הסוללות הקיימות מורכבות מקרקעות גרנולריות.

קיימות שכבות מלח משוקעות בדופן המזרחית של הסוללה בבריכה 5. הפרמטרים המומלצים לתכנון מוצגים בסעיף 4.

הפסקאות הבאות מציגות ריבוד הקרקע בכל חלקי האתר, בהתבסס על הקידוחים הקיימים.

מפלס מי תהום:

מפלס מי התהום נשלט בעיקר ע"י מפלס התמלחת בבריכה 5 וקידוחי השאיבה בחצרות בתי המלון. לפי הדיווחים מפלסי מי התהום בקידוחים נמצאים בתנודה.

סקר מפורט בנושא מפלסי מי תהום מוצג בדוח ההידרולוגי.

2.2 מלח בבריכה

2.2.1 חתך סכמטי

שכבות משוקעות של מלח נמצאות בדופן המזרחית של הסוללה ובתוך בריכה 5.

התאור הנוכחי מבוסס על הדוחות הבאים:

- WBI (2009): "Dead Sea Works Ltd. – Hotel Moriah – Protection Measures for Pan Level 15 m DSW – Preliminary Design", November 2009 ?
- WBI (2009): "Dikes around Pan 5 – Remedial Works and Heightening Dike 3/5 Part II-3: Existing Situation and Results of Explorations", April 2009. ?
- WBI (2008): "Dikes around Pan 5 – Remedial Works and Heightening Dikes 4/8 and 5/8 Part II-1: Existing Situation and Results of Explorations", July 2008. ?
- DHV/Deltares (2010): "Conceptual Design Report Phase 1 Feasibility Study Dead Sea Lagoon Project", May 2010. ?
- GYA (2003): "Compaction of the Salt Layers at a Floor of Pan 5 – Summarizing Report of the Activities Done During the Study", 05.01.2003. ?

רשימת הקידוחים שנקדחו בתוך בריכה 5 מוצגת בלוח 1. כפי שניתן לראות, עובי המלח המשוקע הוא 8 עד 10 מ'.

תרשים 1 מציג חתך סכמטי של הסוללה המקורית, כולל שלבי ביצוע (מקור: דוחות WBI).

בריכה 5 משמשת כבריכת אידוי מזה 42 שנים. שיעור שיקוע המלח בתוך בריכה 5 הוא 0.2 מ' לשנה בקירוב, כך שהעובי הכולל המוערך של שכבות המלח בבריכה 5 הוא $42 \times 0.2 = 8.4$ מ'. ערך זה נמצא בהתאמה עם עובי שכבת נמלח המצוי בקידוחים שנקדחו בבריכה 5 (ראה לוח 1).

לוח 1: רשימת קידוחים שנקדחו בתוך בריכה 5

בדיקת שדה	שכבת המלח בבריכה		נקודות ציון		קידוח	
	עובי (מ')	רום עליון	צפון	מזרח		
ג.י.א. 2002	7.12	+9.52	566794	239541	155/3-1	
	8.31	+10.4	566421	237600	155/3-2	
	8.07	+10.55	566366	235569	155/3-3	
	8.91	+11.47			155/2-5	
	7.75	+10.15	565514	238386	155/2-6	
	8	+10.5	564527	238274	155/1-8a	
					155/1-9	
	8	+10.6	564300	236196	155/1-10	
	DHV 2010	10	+12.7	566675	236100	DHV-1
		8	+12.3	564535	236099	DHV-2
8		+11.8	563397	235480	DHV-3	
8.1		+10.5	561225	237600	DHV-4	
11		+11.5	569250	237475	DHV-5	
7.3		+9.5	568917	235361	DHV-6	
7.5		+10.3	568525	236100	DHV-7	

2.2.2 תכונות שכבות המלח

הפסקה הבאה מצוטטת מדוח ג.י.א. 2003.

בדיקות מעבדה:

משקל סגולי של התמלחת: 1.254
משקל סגולי של גבישי המלח: 2.14 עד 2.17

לוח 2 מסכם את תוצאות בדיקות המעבדה, שבוצעו בדגימות של גבישי מלח מגורענים בלתי-דבוקים.

לוח 2: תוצאות בדיקות צפיפות בגבישי מלח מגורענים בלתי-דבוקים

ממוצע	דגימה 3	דגימה 2	דגימה 1	יחידה	בדיקה
10	10.34	9.73	9.77	kN/m ²	צפיפות מינימום "מוטבעת"
16	15.90	18.17	15.26	kN/m ²	צפיפות מקסימום "מוטבעת"
3.4	3.4	5.2	1.6	%	תכולת תמיסה חופשית
9.6	10.00	9.25	9.62	kN/m ²	צפיפות מינימום "מנוקזת"
15.9	15.38	17.27	15.02	kN/m ²	צפיפות מקסימום "מנוקזת"
55	53	56	55	%	יחס חללים ריקים – צפיפות מינימום
26	28	30	30	%	יחס חללים ריקים – צפיפות מקסימום
29	25	25	25	%	כושר הידוק

מבחי חדירה סטנדרטיים (SPT):

תרשים 2 מסכם את תוצאות ה-SPT. על אף הפיזור, ניתן לראות כי שכבת המלח ניתנת לחלוקה לארבע תת-שכבות:

- ? שכבה עליונה: מתחתית הבריכה עד +8, מלח בריכה רך (גבישי מלח בלתי-דבוקים), בעל התנגדות נמוכה לחדירה.
- ? שכבה אמצעית 1: מ- +8 עד +6, מלח בריכה קשה (גבישי מלח דבוקים), בעל התנגדות גבוהה לחדירה.
- ? שכבה אמצעית 2: מ- +6 עד +4, מלח בריכה רך (גבישי מלח בלתי-דבוקים), בעל התנגדות נמוכה לחדירה.
- ? שכבה תחתונה: מ- +4 עד +0.0, מלח בריכה קשה (מלח משוקע דבוק), בעל התנגדות גבוהה לחדירה.

מבחי חדירות בשדה:

בוצעו מבחי חדירות בעומד קבוע בקידוח כדי לבדוק את שכבות המלח בבריכה 5 (ג.י.א., 2002). הוחדר צינור מגן לתוך שכבת המלח בתחתית הקדח. הבדיקה בעומד קבוע בוצעה בשכבת המלח שחדרה לתוך צינור המגן, בעזרת תמלחת הבריכה.

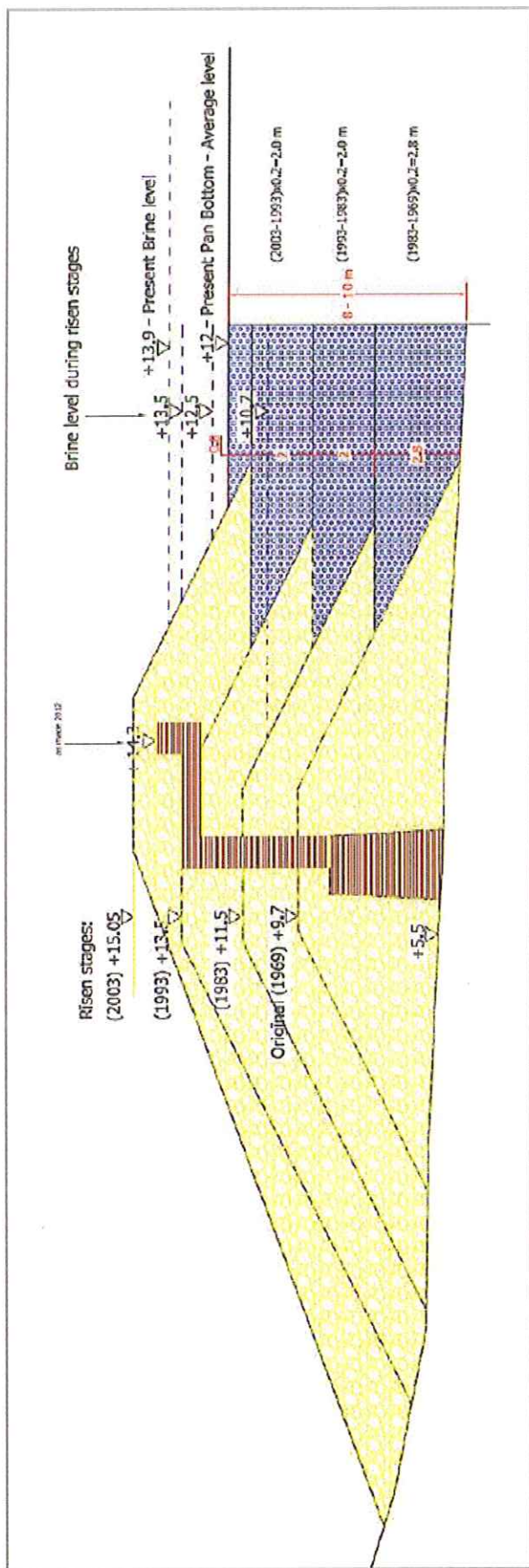
סיכום תוצאות הבדיקות מוצג בלוח 3.

לוח 3: מקדמי חדירות של שכבות מלח
(ג.י.א. 2002)

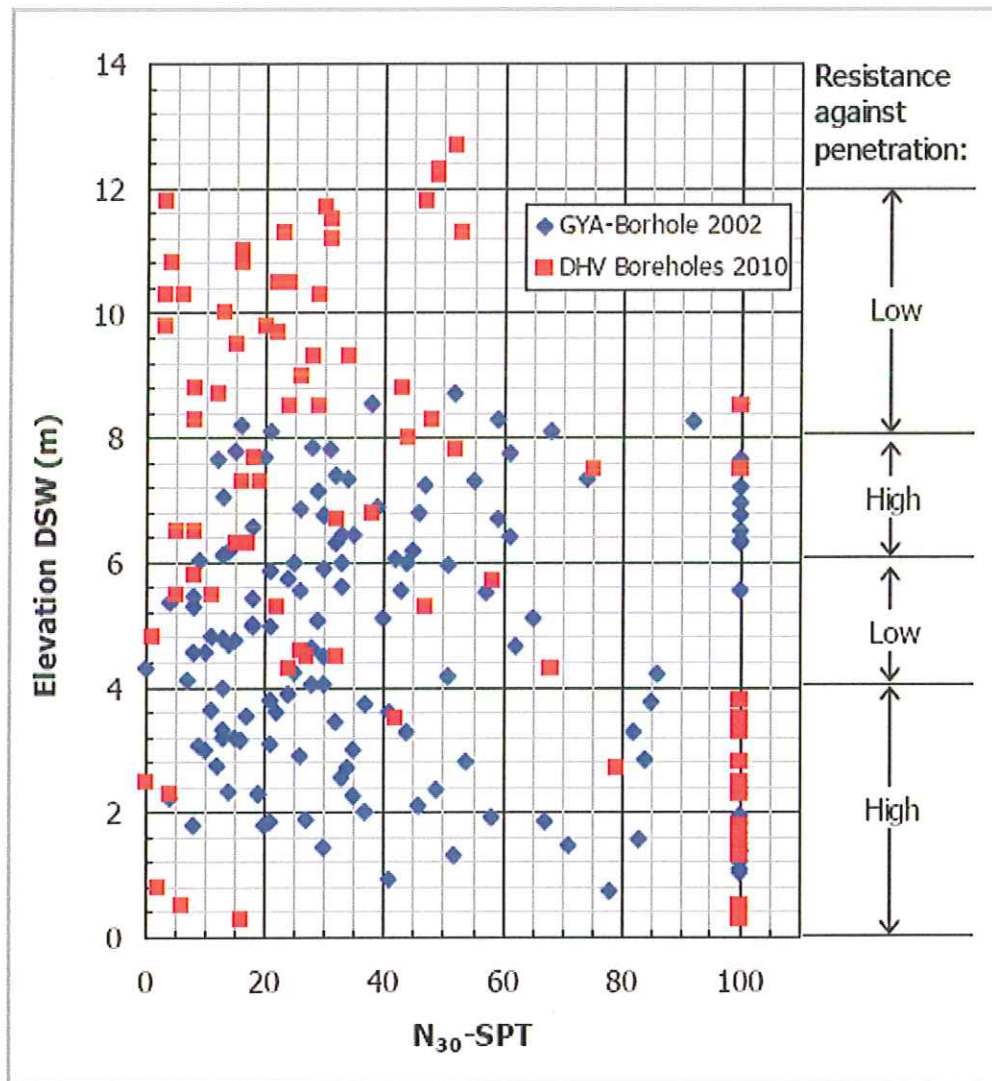
חדירות (סמ"/שניה)	רום DSW (מ')	קידוח
$1.0 \cdot 10^{-3}$	10.4 – 9.5	155/1-9
$2.8 \cdot 10^{-3}$	8.9 – 8.1	
$4.0 \cdot 10^{-3}$	8.6 – 7.1	
$3.3 \cdot 10^{-4}$	6.8 – 6.2	
$2.3 \cdot 10^{-3}$	6 – 5.2	
$1.3 \cdot 10^{-4}$	4.9 – 4.3	
$2.8 \cdot 10^{-4}$	4 – 3.3	

הערה: דיוק מבחני החדירות הנ"ל הוא כחצי סדר גודל.

הפרמטרים המומלצים לתכנון מוצגים בסעיף 4.



תרשים 1: חתך סכמטי של הסוללה המערבית של בריכה 5 ושלבי ביצוע אפשריים
(פענוח ע"י ג.י.א.)



תרשים 2: מבחני SPT שבוצעו בשכבות מלח של בריכה 5

2.3 פרופיל הקרקע במלונות עין בוקק ובחוף הציבורי

2.3.1 נתונים קיימים

קידוחים שנקדחו:

- ? דוח מעבדת הקרקע של הטכניון (1993): BH9, BH10, BH16, BH17, BH18, BH101, BH102, BH103, BH104, BH105, BH106.
? David David (1994): 6 קידוחים שנקדחו לעומק 10 עד 30 מ' באתר Crowne Plaza.
? דוחות SMET: 1NE20, 1E20, 1E40, 1E80, 2W40, 2W10, 2S40, 2S10, 2E10, 2E20, 2E40, AS1, AS2, 127, 3W10, 3N10, 3E10, 3E20, 3E40.
? שני קידוחי מחקר: EB1 ו-EB2, שנקדחו לעומק 75 ו-80 מ'.
? Building and Infrastructure Testing Lab Ltd. (2011): BH16, BH17.2, BH18.1.

סיכום הלוגים והממצאים מקידוחים אלה מוצג בדוחות של WBI (2008) ו-GEOTECH (2011).
מיקום הקידוחים מוצג בתרשים 3.

מבחני שדה:

SPT

סיכום תוצאות ה-SPT מוצג בתרשים 9. התוצאות חולקו ל-3 קטגוריות לפי סוג הקרקע:
(א) שכבות גרנולריות, הכוללות צרורות נחל וחולות; (ב) CaCO_3 ; (ג) מלח.

תוצאות ה-SPT שבוצעו בשכבות גרנולריות נותחו לפי מתאמים שהוצעו ע"י Stroud (1989).
שיטת Stroud פותחה עבור קרקעות חוליות, כך שיש להשתמש במתאמים המוצגים בתרשים 9 בזהירות הדרושה.

כפי שניתן לראות מתרשים 9, השכבות הגרנולריות מראות ערכי צפיפות סגולית (DR) וזווית חיכוך פנימית (ϕ) גבוהים.

מבחני חדירות בשדה:

מבחני חדירות בוצעו בשכבות גרנולריות בקידוחים (דוח מעבדה, הטכניון), GP, GP-GC, GC, SP, SP-SC, SC.

5 עקומה של חדירות ביחס לעומק מוצגת בתרשים 11; חדירות השכבות הגרנולריות נעה בין 10^{-3} ל- 10^{-6} מ"שניה. החדירות יורדת ככל שתכולת הדקים עולה.

בדיקות מעבדה – אנליזה מכנית:

בדיקות מעבדה בכלל, ואנליזה מכנית בפרט, בוצעו בדגימות שנלקחו מאותם הקידוחים.

קידוחי SMET נקדחו ב-3 אתרים לאורך הסוללה המערבית של בריכה 5 (ראה תרשים 3):

- ? לאורך נחל בוקק בגדה הצפונית.
? בסמוך למלון Crowne Plaza, בין מלונות עין בוקק.
? בחלק הדרומי של החוף הציבורי.

תרשים 10 מציג את תוצאות האנליזה המכנית. התוצאות בתרשים זה ובתרשים 9 מראות שבסמוך לאזור המלוונות (אתרים 1 ו-2) לאורך הסוללה, פרופיל הקרקע עד לעומק 25 מ' בקירוב מורכב בעיקר משכבות גרנולריות בעלות דקים בשיעור של 5 עד 25%.

פרופיל הקרקע בחוף הציבורי ובמלון ישרוטל מורכב בעיקר משכבות גרנולריות בעובי 8 מ' בקירוב. שכבות אלה נמצאות מעל שכבות גרנולריות ושכבות CaCO_3 , המופיעות לסירוגין ומגיעות לעומק של 25 מ'. תכולת הדקים בחוף הציבורי גדולה יותר מזאת באזור המלוונות (קידוחים: BH16, BH18, BH104, BH105, BH106 וקידוחי SMET שנקדחו באתר 3).

2.3.2 פרופיל הקרקע

הלוחות הבאים מסכמים את פרופילי הקרקע הממוצעים מתחת לסוללת בריכה 5 בעין בוקק. כמו-כן, פרופילי הקרקע מוצגים בתרשימים כדלקמן:

- ? תרשים 4: פרופיל קרקע לאורך מקטע 0+240, המייצג את החוף הציבורי (אתר 3).
- ? תרשים 5: פרופיל קרקע לאורך מקטע 0+760, המייצג את אזור המלוונות (אתר 2).
- ? תרשים 6: פרופיל קרקע לאורך מקטע 1+000, המייצג אזור המלוונות לאורך נחל בוקק (אתר 1).
- ? תרשים 7: מלון ישרוטל. פרופיל קרקע לאורך מקטע 0+080.
- ? תרשים 8: פרופיל קרקע לאורך הסוללה, בכיוון דרום-צפון.

לוח 4: פרופיל קרקע לאורך הסוללה באזור המלוונות

שכבה	עובי	תאור
גרנולרית	25-35 מ'	צרורות נחל עם חול חרסיתי דק עד גס (SC) או חול עם חרסיתי (-SC) SP או (SW-SC), לעיתים עם חלוקים. כן נמצאות שכבות דקות של CaCO_3 (עובי 0.5 עד 1.5 מ', חרסית רזה בצבע צהבהב עד אפרפר, עם מעט חול)
מלח		לפי קידוחים EB1, EB2, BH16, BH17.2, BH18.1, שכבות מלח נמצאות בעומק 25 עד 35 מ' – ראה תמונות 1 ו-2. שכבות מלח אלה נמצאו בכל הקידוחים הנ"ל.

לוח 5: פרופיל קרקע לאורך הסוללה בחוף הציבורי ובמלון ישרוטל

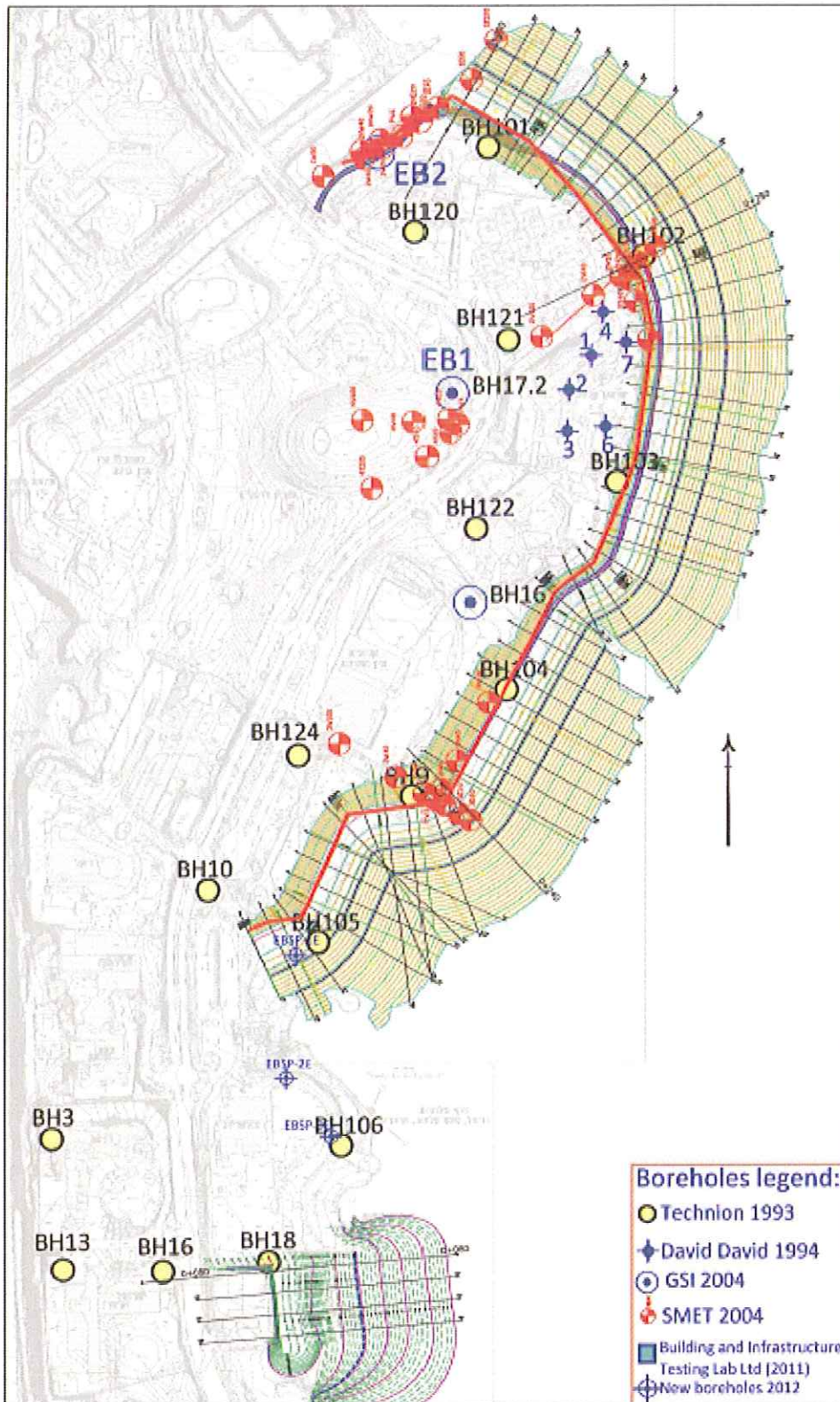
שכבה	עובי	תאור
גרנולרית	8-10 מ'	צרורות נחל עם חול חרסיתי דק עד גס (SC) או חול עם חרסיתי (-SC) SP או (SW-SC), לעיתים עם חלוקים. כן נמצאות שכבות דקות של CaCO_3 (עובי 0.5 עד 1.5 מ', חרסית רזה בצבע צהבהב עד אפרפר, עם מעט חול)
גרנולרי ו-LC	~ 15 מ'	שכבות גרנולריות ושכבות CaCO_3 , המופיעות לסירוגין ומגיעות לעומק 25 מ'
מלח	??	ניתן לצפות להמצאות שכבות מלח בעומק מעל 25 מ'



תמונה 1: גלעין מלח מקידוח BH16, עומק 26.1 – 27.1 מ'

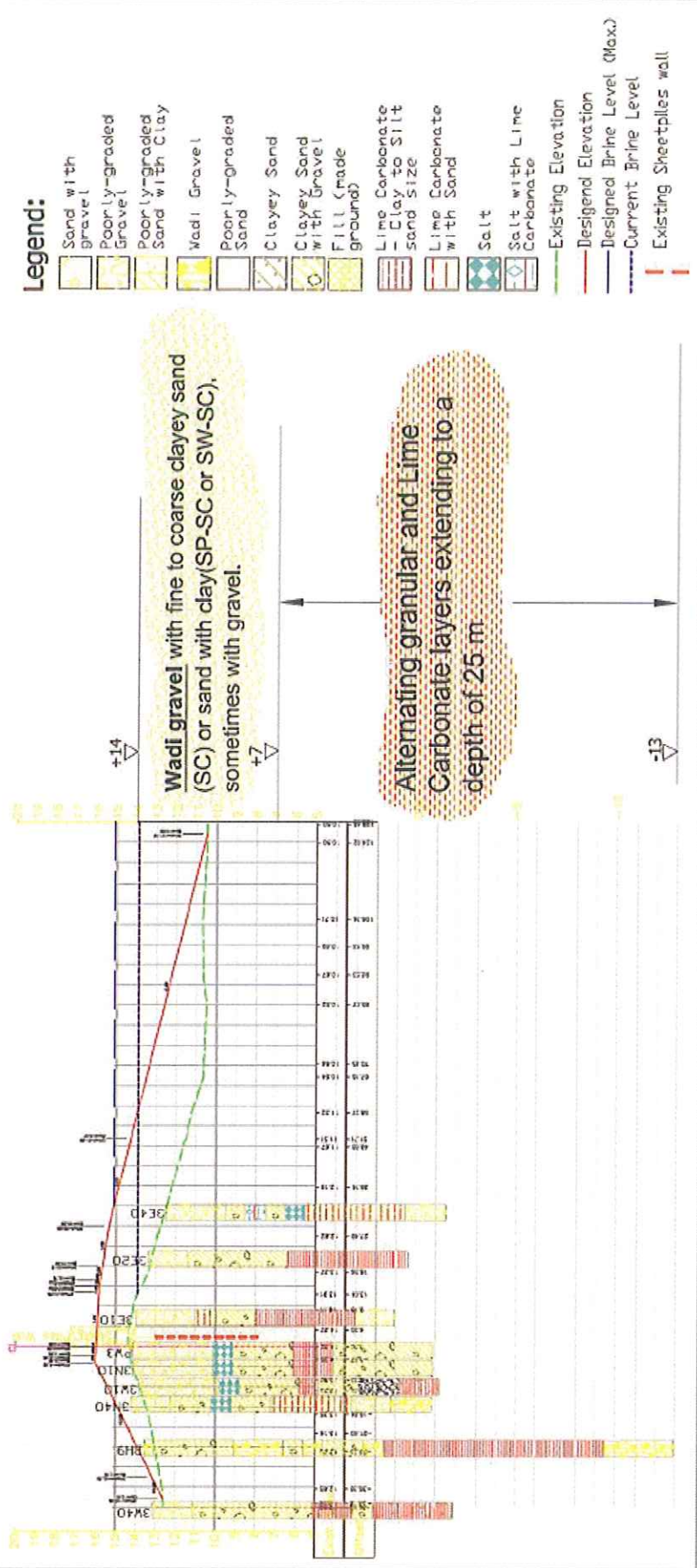


תמונה 2: גלעין מלח מקידוח BH18.1, עומק 29 – 30.5 מ'



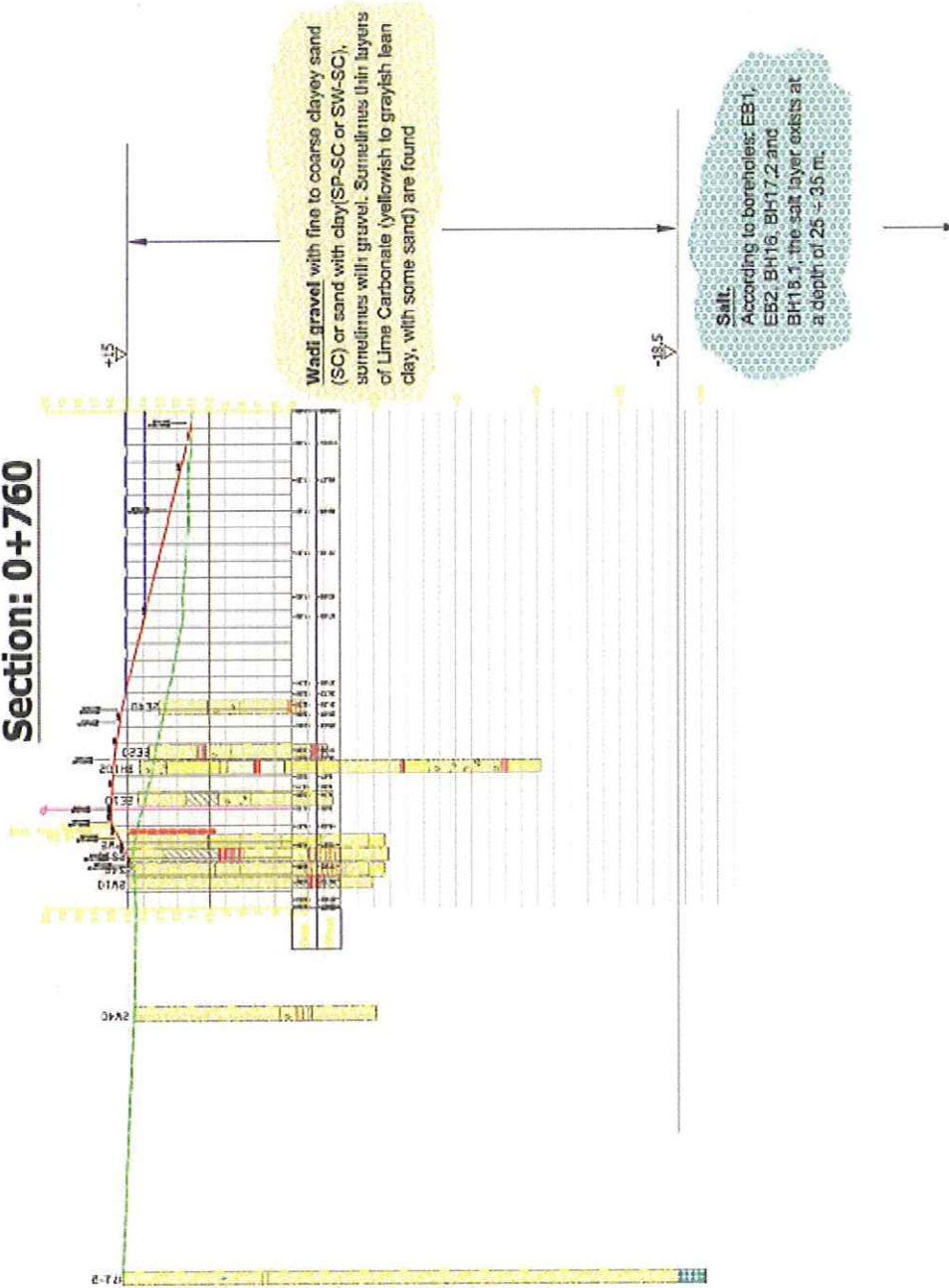
תרשים 3: מיקום הקידוחים הקיימים

Section: 0+240

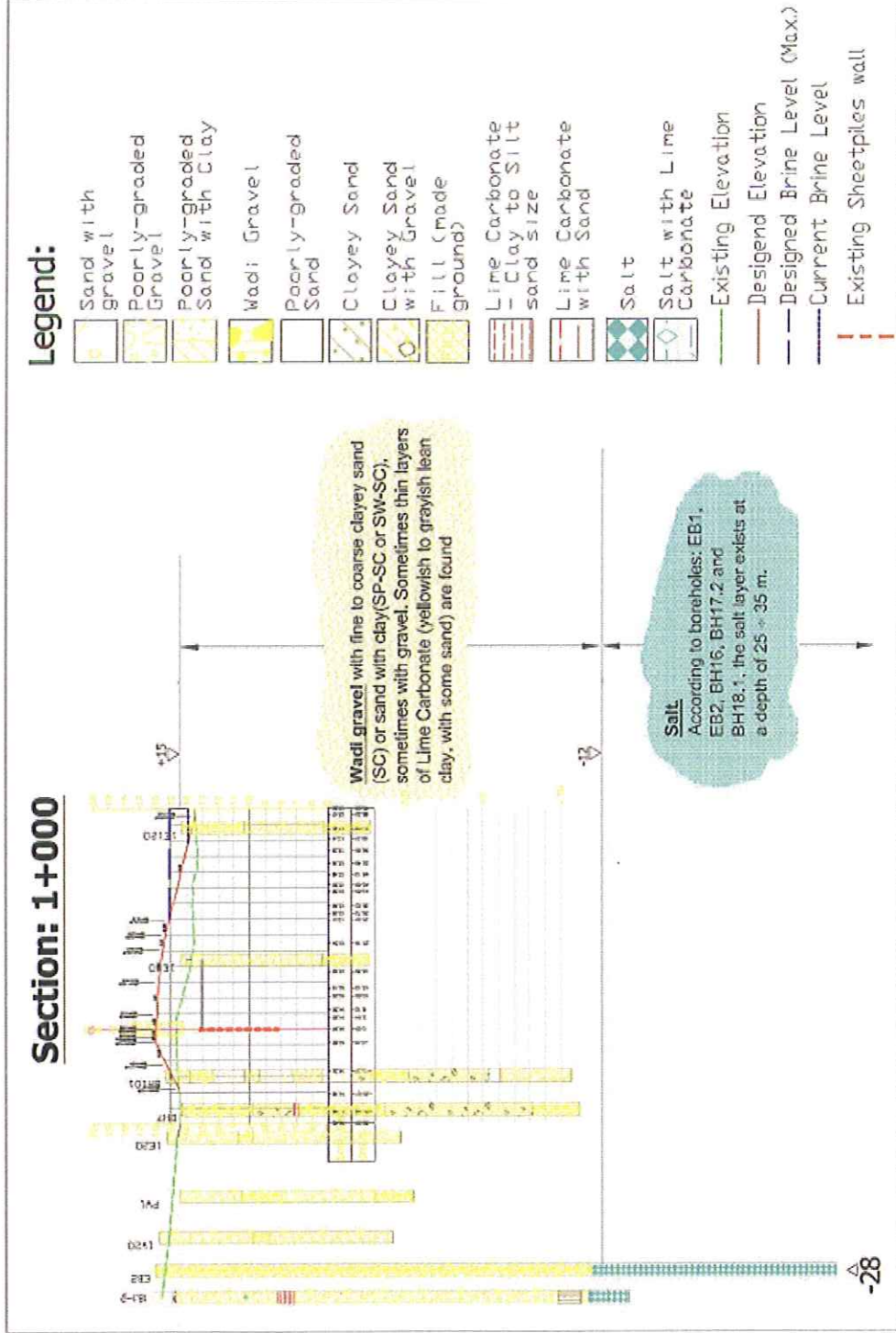


תריסים 4: החוף הציבורי בעין בוקק (אתר 3) – פרופיל קרקע לאורך מקטע 0+240

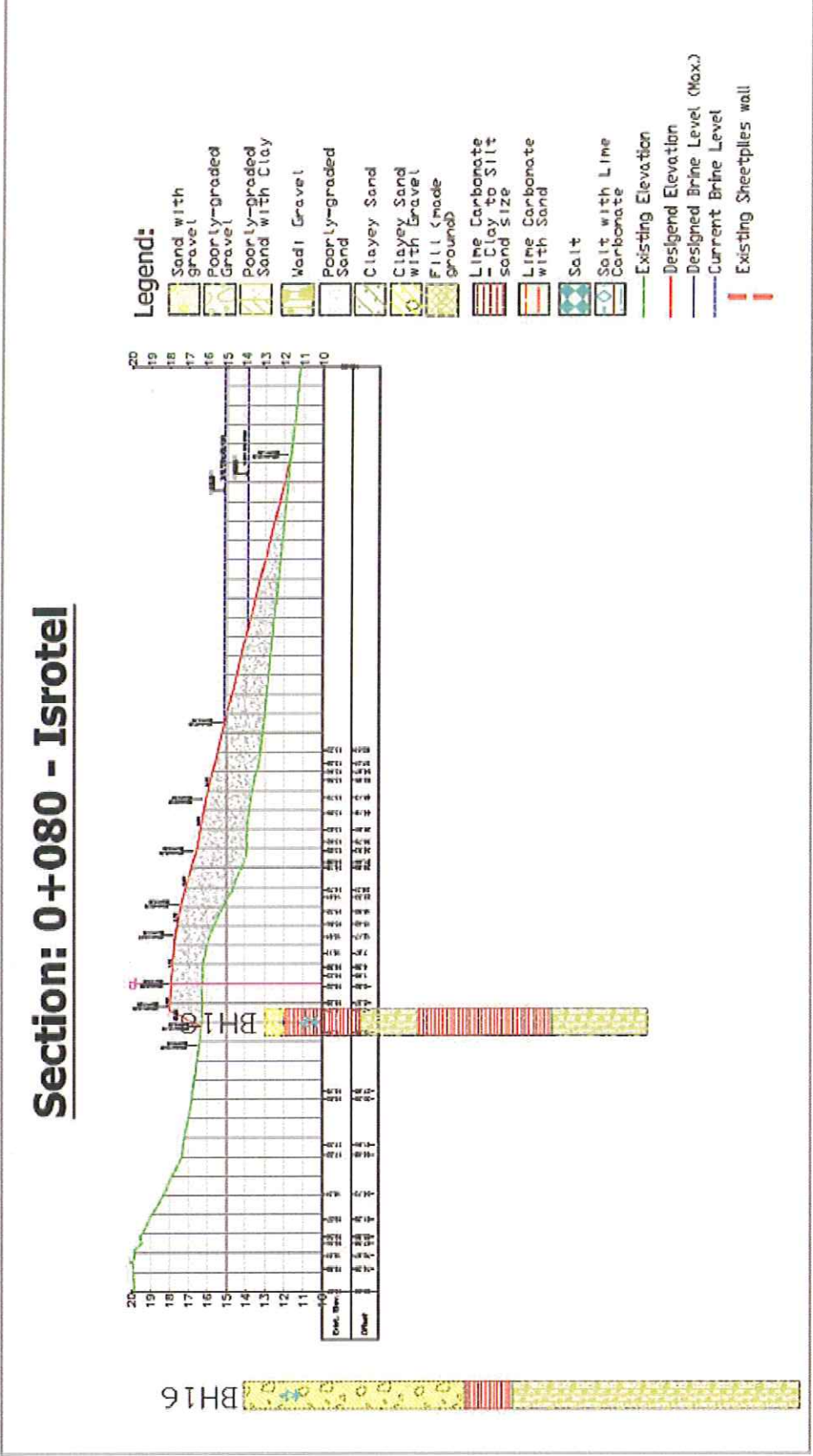
Section: 0+760



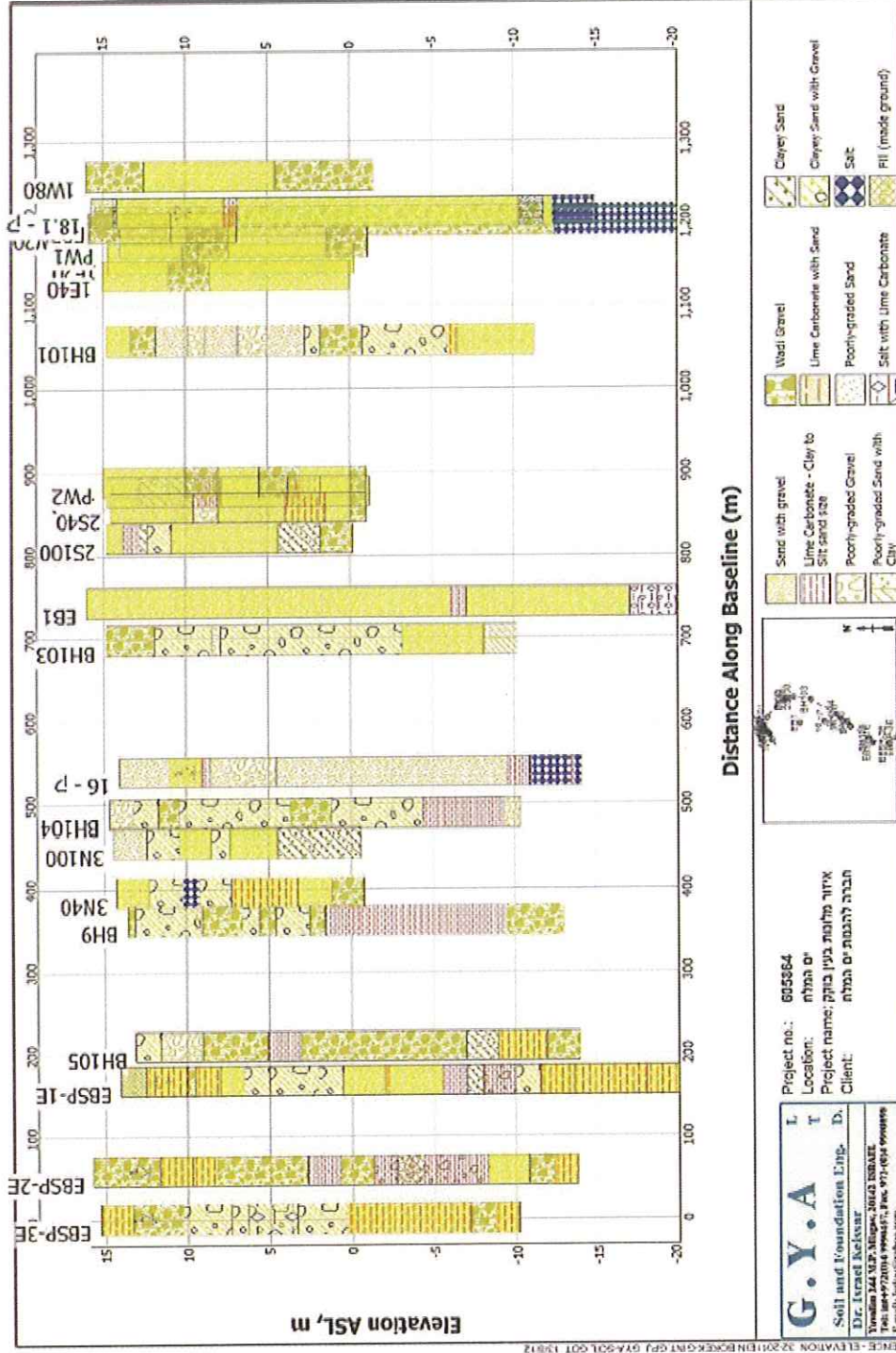
תרשים 5: אזור המלונות (אתר 2), עין בוקק – פרופיל קרקע לאורך מקטע 0+760



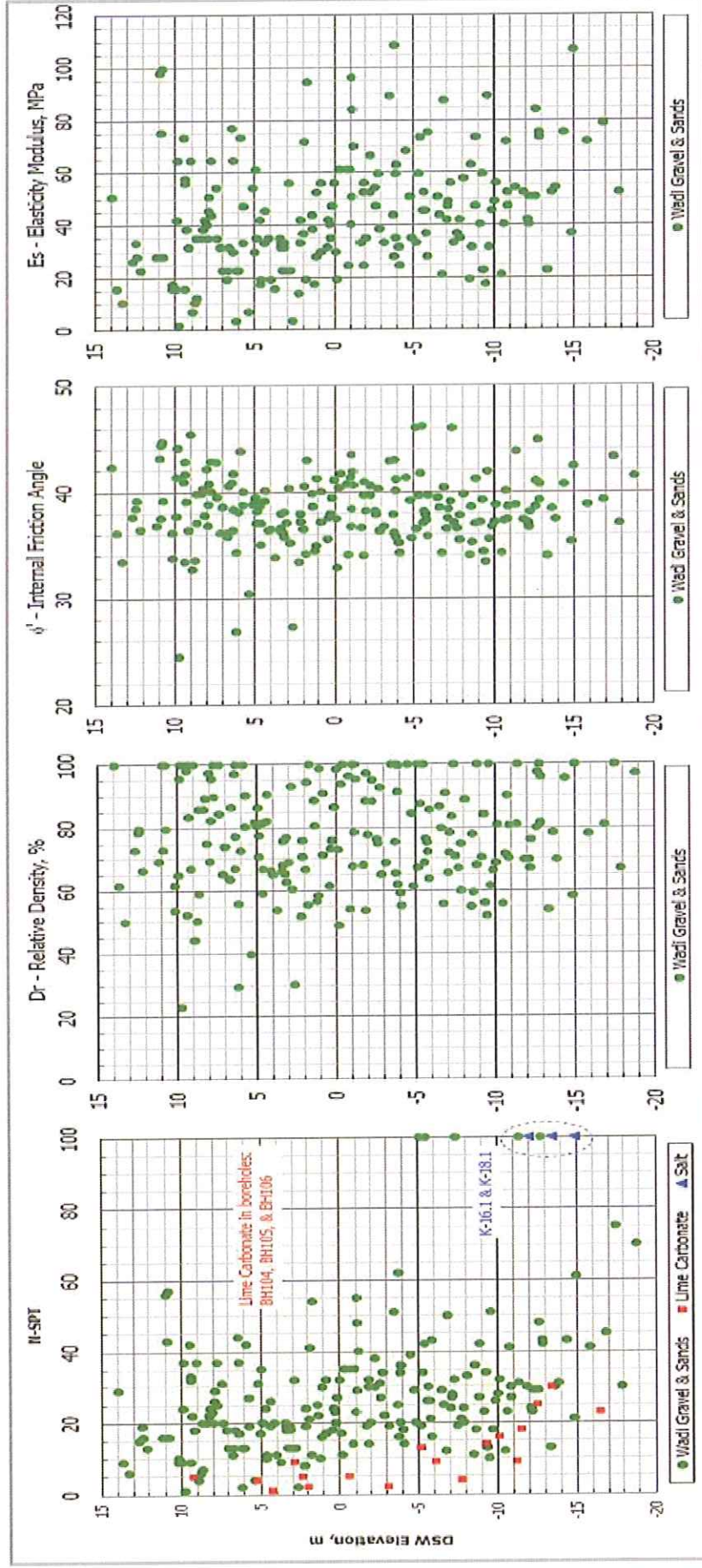
תרשים 6: אזור המלונות לאורך נחל בוקק (אזור 1) – פרופיל קרקע לאורך מקטע 1+000



תרשים 7: מלון ישרוטל – פרופיל קרקע לאורך מקטע 0+080

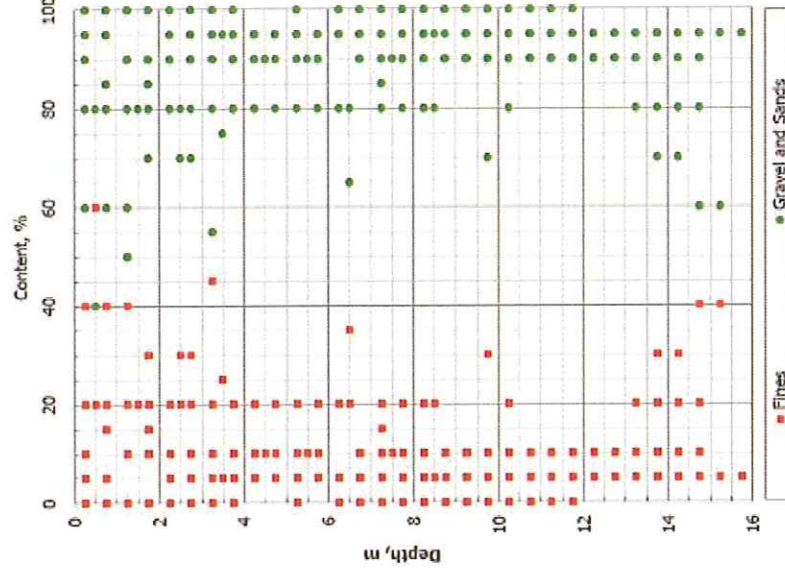


תרשים 8: עין בוקק – פרופיל קרקע לאורך הסוללה של בריכה 5, כיוון דרום-צפון

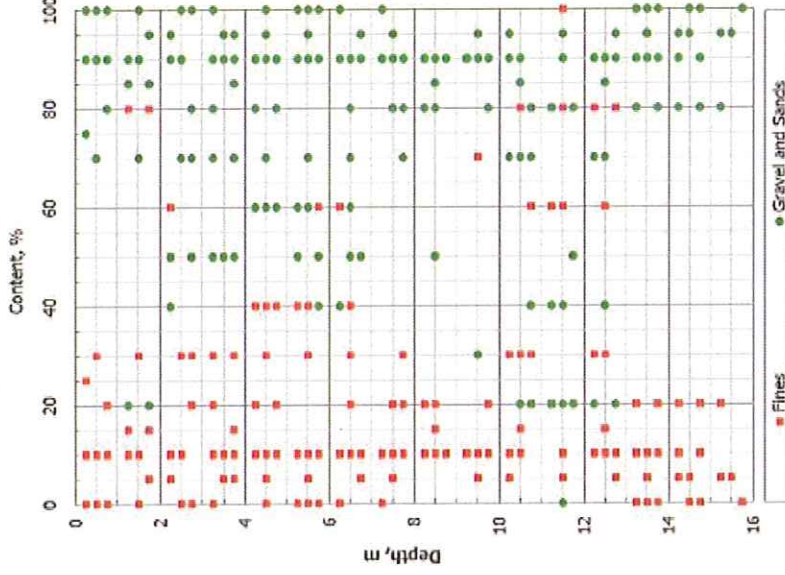


תרשים 9: עין בוקק – סיכום וניתוח מבחינת SPT

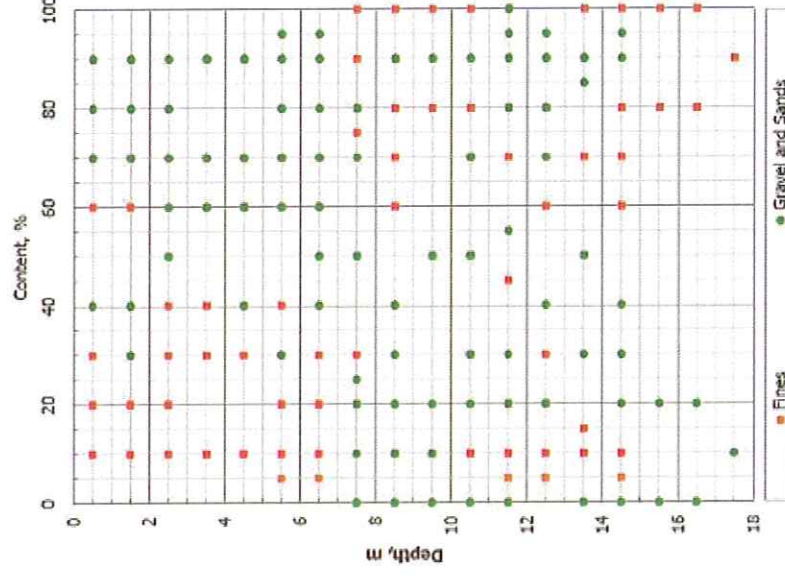
Site 1 - Ein Boker stream - north side



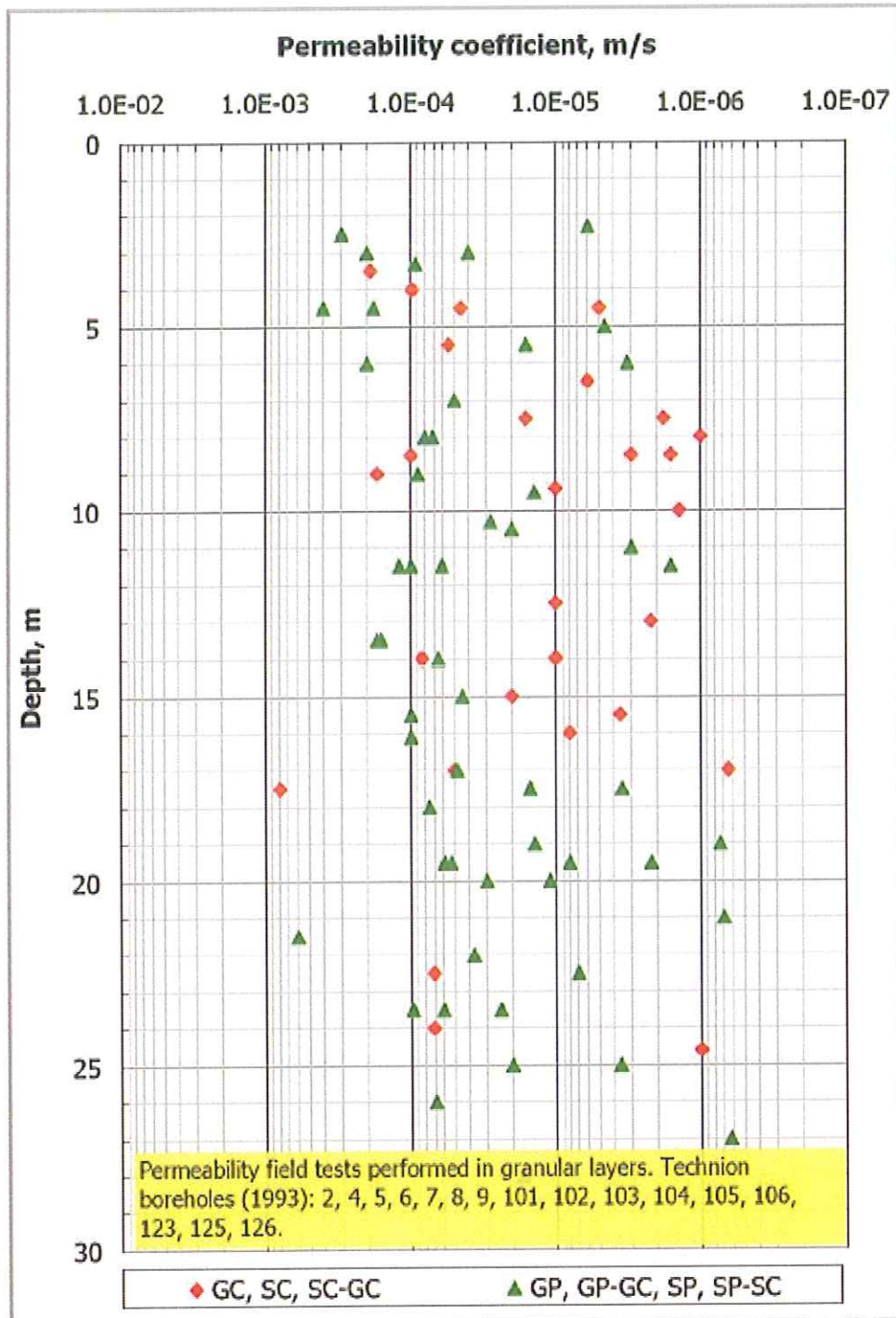
Site 2 - Crown Plaza - middle



Site 3 - Public Beach - south side



תרשים 10: עין בוקק – התפלגות גורמים לפי גודל בקידוחי SMET



תרשים 11: עין בוקק – תוצאות מבחני חדירות בשדה

3. חומרי בניה

3.1 חציץ

לפי התכנון החציץ ייבנה מקרקע חרסיתית.

להלן תכונות המילוי החרסיתי ששימש למפעלי ים המלח כחומר בניה עבור גרעין סכר אשלים:

מיון והידוק:

84%	תכולת הדקים
27%	גבול הנזילות
11%	גבול הפלסטיות
CL	USCS
17.6 kN/m^3	צפיפות יבשה מירבית - צפיפות מודיפייד פרוקטור
15%	תכולת מים מיטבית

יש לבצע את כל עבודות ההידוק עם תמלחות בריכה 5.

כח גזירה:

בוצעו שתי בדיקות תלת-ציריות בדגימות שעברו הידוק לצפיפות של 92% מהצפיפות היבשה המירבית.

הבדיקות בוצעו בתנאי אישוש, בלי ניקוז ומדידת לחץ מי נקבובים עודף.

לחצי האישוש הם: 50, 100 ו-200 kN/m^2 .

תוצאות בדיקות אלה מוצגות בלוח 9

לוח 9: תוצאות בדיקות תלת-ציריות במדגמי חרסית מהודקת

סה"כ פרמטרים		פרמטרים אפקטיביים		מדגם
$c \text{ (kN/m}^2\text{)}$	φ	$c' \text{ (kN/m}^2\text{)}$	φ'	
10	19°	8	27°	1
10	19°	5	29°	2

חדירות:

בוצעו שתי בדיקות חדירות במדגמים בעברו הידוק לצפיפות של 92% מהצפיפות היבשה המירבית.

הבדיקות בוצעו בעומד קבוע של 12 מ' בתא מרחבי.

מקדמי החדירות המתקבלים הם: 3.4×10^{-9} ו- 5.6×10^{-9} מ"שניה.

ניתן לצפות שהחדירות בשטח תהיה גדולה בסדר גודל אחד או שניים.

דרגת פיזור:

דרגת הפיזור הפוטנציאלית נבדקה כדלהלן:

- ? מבחני חריר בשתי דגימות מהודקות. הדגימות הוגדרו כ"בעלי פיזור ברמה נמוכה".
? בדיקות הידרומטר והידרומטר כפול בשתי דגימות – ראה תוצאות בלוח 10.

לוח 10: סיכום התוצאות של בדיקות הידרומטר והידרומטר כפול

דרגת פיזור	הידרומטר	הידרומטר כפול	מדגם
	עובר 0.005 (%)		
0%	49	0	1
0%	49	0	2

על סמך התוצאות הנ"ל ניתן להסיק כי דרגת הפיזור הפוטנציאלית של החרסית ששימשה למפעלי ים המלח כחומר לגרעין הסכר - נמוכה.

סיכום:

לאור הדיון לעיל, החרסית ששימשה למפעלי ים המלח למילוי הגרעין יכולה לשמש כחומר בניה לחציץ, דהיינו לסינר החרסיתי ולגרעין.

התכונות הדרושות של הקרקע בגרעין הן:

$\geq 80\%$	תכולת הדקים
USCS	CL, CH
$< 2\%$	תכולה אורגנית (%)
$\geq 96\%$	שיעור הידוק (מודיפייד פרוקטור)
$\geq 21 \text{ kN/m}^3$	צפיפות כוללת
OWC + 2%	תכולת מים
$\leq 20 \text{ סמ"י}$	עובי השכבה המהודקת
ללא פיזור	דרגת פיזור
$10^{-8} \text{ מ"שניה} <$	חדירות השכבה המהודקת

יש לבצע את כל עבודות ההידוק עם תמלחות בריכה 5.

מילוי הסוללה

3.2

הסוללה המערבית של בריכה 5, אשר מגינה על המלונות מפני פני המים העולים בבריכה 5, תוכננה להגבהה באמצעות עבודות עפר מהמפלס הקיים של +15 מ' בקירוב למפלס +16.2 מ'. מרבית עבודות העפר תבוצע במדרונות המזרחיים של הסוללה הקיימת בבריכה 5.

החלק העיקרי של המילוי יישפך לתוך התמלחות של בריכה 5. מעל פני המים, עבודות העפר יבוצעו בתנאים יבשים (ראה חתכים בתרשימים 29, 36 ועוד).

להלן פרטי המילוי הדרושים:

מתחת לפני המים - פרטי המילוי הדרושים

< 25%	תכולת הדקים
3"	גודל גרגרים מירבי
40 סמ"י	עובי השכבה המהודקת
תרשים 28	ישור

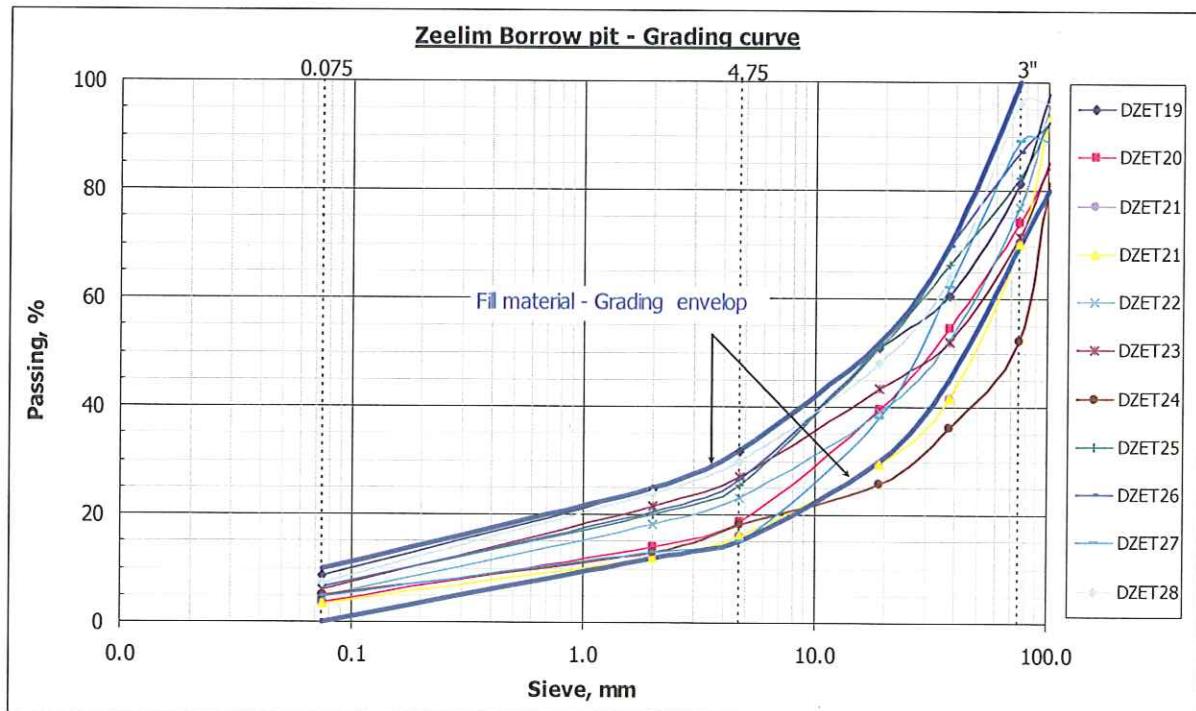
מעל פני המים - פרטי המילוי הדרושים, מילוי בתנאים יבשים

< 25%	תכולת הדקים
3"	גודל גרגרים מירבי
≥ 98%	שיעור הידוק (מודיפייד פרוקטור)
20 סמ"י	עובי השכבה המהודקת
תרשים 28	ישור

תרשים 28 מציג את התפלגות גודל הגרגרים במילוי גרנולרי ממחפרת בפשט צאליס, וכן את מעטפת הישור של המילוי הדרוש. ניתן להשתמש במילוי גרנולרי כחומר מילוי בתנאים יבשים ומתחת לפני המים.

איפיוני התפלגות גודל הגרגרים הם:

- ? תכולת הדקים (העוברים נפה #200): 4%–9%
- ? חול (#4–#200): 15%–25%
- ? צרורות (גדולים מ- #4): 70%–85%



תרשים 28: התפלגות גודל הגרגרים במילוי גרנולרי ששימש את מפעלי ים המלח

4. נתוני קרקע מומלצים לתכנון

על סמך הנתונים שהתקבלו מסקרי השדה וההמלצות שהוצגו בדוחות שונים (WBI, DHV/Deltares, Geotech), לוח 11 מסכם את נתוני הקרקע המוצעים לתכנון ולחישובי יציבות המדרונות.

לוח 11: נתוני קרקע מוצעים לתכנון

K (מ"שניה)	Es (kN/m ²)	φ'	c' (kN/m ²)	Cu (kN/m ²)	γ _t (kN/m ³)	USCS	קרקע
שכבות קיימות, קרקעות טבעיות ומשקעי מלח							
10 ⁻⁴ – 10 ⁻⁶	10,000 + 3,000 Z	35°	0	-	20	GP, GP-GC, GC, SP, SP- SC, SC	גרנולרי – צרורות נחל
10 ⁻⁶ – 10 ⁻⁷	35,000	30°	5	90	19	CL, CH, ML, MH	(LC) CaCO ₃
10 ⁻¹ – 10 ⁻³	10,000	32°	0	-	14	GP – SP	מלח בריכה
מילוי חדש							
10 ⁻² – 10 ⁻⁴	40,000	36°	0	-	21	GW, GW-GC, SW, SW-SC	מילוי גרנולרי מהודק יבש
10 ⁻² – 10 ⁻³	20,000	30°	0	-	20	GP	מילוי גרנולרי מהודק מתחת לפני המים
10 ⁻⁸ – 10 ⁻⁹	20,000	27°	5	60	17	CH, CL	חרסית מהודקת
כאשר: ? – צפיפות כוללת; Cu – כח גזירה ללא ניקוז ? – זווית חיכוך פנימית אפקטיבית; c' – קוהזיה אפקטיבית; Es – מודול אלסטיות K – מקדם חדירות; Z – עומק מרום +15							

5. סיסמולוגיה

מפות GSI ו-GII

אזור ים המלח ובקעת הירדן נחשב אזור סיסמי פעיל. לפי התקן הישראלי לרעידות אדמה, IS 413, תאוצת הקרקע האופקית המירבית במסלע (PGA) לאזור עין בוקק – נוה זוהר היא 0.23g (הסתברות של 10% ב-50 שנה). הקרקע באתר מסווגת כ-"Type E" או "Type F" – ראה דיון בהמשך.

תרשים 20 מציג את מיקום רעידות האדמה בעוצמה גדולה מ-3, אשר התרחשו בים המלח במשך 80 השנים האחרונות.

תרשים 30 מציג את התפלגות האירועים הסימיים באזור ים המלח בתקופה 1985 – 2010.

תרשים 31 מציג את המקטע הרלוונטי של "מפת ההעתקים הפעילים והפעילים בפוטנציה בישראל". כפי שניתן לראות, העתקים פעילים בפוטנציה קיימים באתר עין בוקק – נוה זוהר.

סקר גיאופיזי:

נערך סקר גיאופיזי ע"י די"ר גדי שמיר עבור DSPGC (תאריך הדוח: יוני 2011).

הסקר נערך לאורך החוף המערבי של בריכה 5 באזור המלונות והוא מבוסס על 18 קווי החזרה ברזולוציה גבוהה עם עומק יעד של 200 עד 300 מ' ועל 7 קווי שבירה.

סיכום הממצאים כדלהלן:

- ? תרשימים 33 ו-34 מציגים מפות העתקים בהתבסס על פענוח הסקר הגיאופיזי. העתקים F1a, F1b, Fy1z ו-F5 מוגדרים כהעתקי בריכה 5, אשר סווגו כהעתקי משנה של ההעתק הפעיל הראשי של בקעת ים המלח. כיוון ההעתקים האלה הוא דרום מערב – צפון מזרח.
- ? העתקים Feb1, Feb2 ו-Feb3 בעין בוקק מוגדרים כהעתקים מקומיים קצרים. העתקים Fhz1 – Fhz10 במלונות מוריה ונירוונה מוגדרים כהעתקים מקומיים קצרים.
- ? פעילות בהעתק הפעיל הראשי של בקעת ים המלח תגרום לפעילות סיסמית בהעתקים הנ"ל.
- ? האיפיונים הסיסמיים של העתקים אלה מוצגים בלוח 12.
- ? מפה של שכבת המלח המסיבית מוצגת בתרשים 35.

לוח 12: איפיונים סיסמיים של ההעתקים ל-10% הסתברות לתקופת חזרה של 50 שנה

העתקים	עוצמת רעידת האדמה	תזוזה צפויה בהעתק (מ')
F1a, F1b, Fy1z, F5 : העתקי משנה	6.4 – 6.7	0.42 – 0.5
Feb1, Feb2, Feb3 ו-Fhz1 – Fhz10 : העתקים מקומיים קצרים	5 – 5.5	~0.15

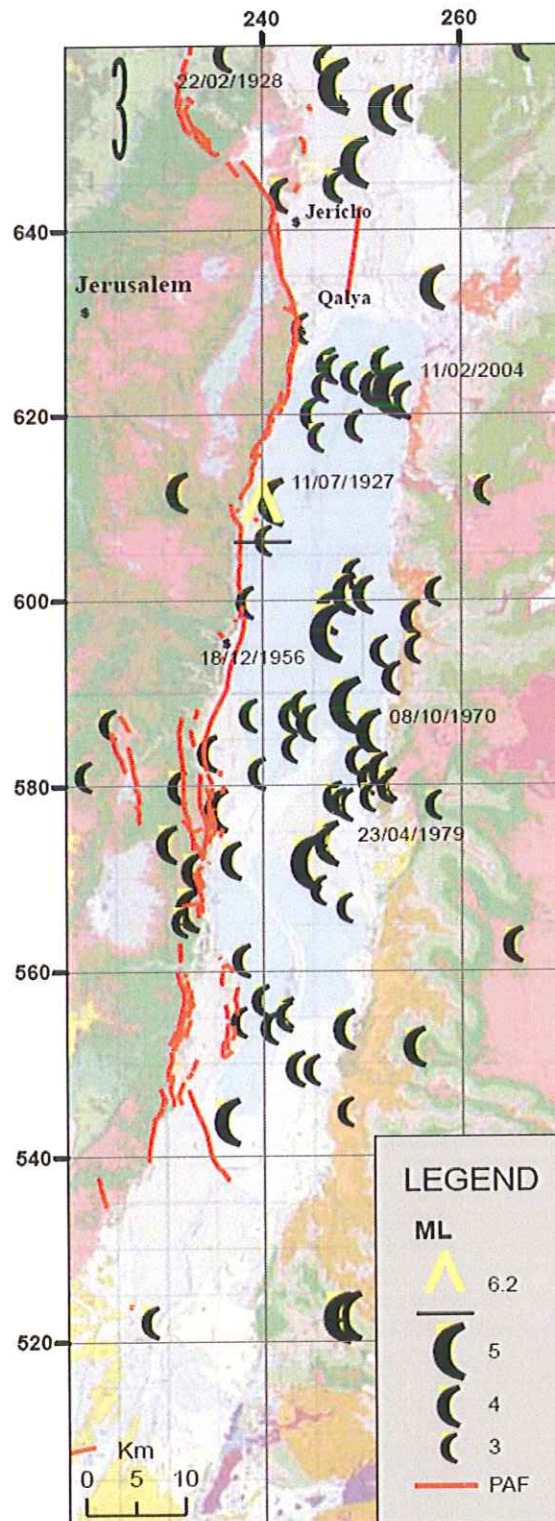
הגברת עוצמת רעידת האדמה:

לפי מפת האזורים שהם בעלי פוטנציאל חריג להגברת עוצמת רעידת האדמה (GSI ו-GII), האתר נמצא באזור החשוד להשפעות הגברה באתר. מאחר והקרקעות המקומיות יוגדרו ככל הנראה כ-Type F, לפי סעיף 202.2.1 של IS 413 עדכון 3, דרוש ניתוח תגובה של תזוזת קרקע ספציפית לאתר.

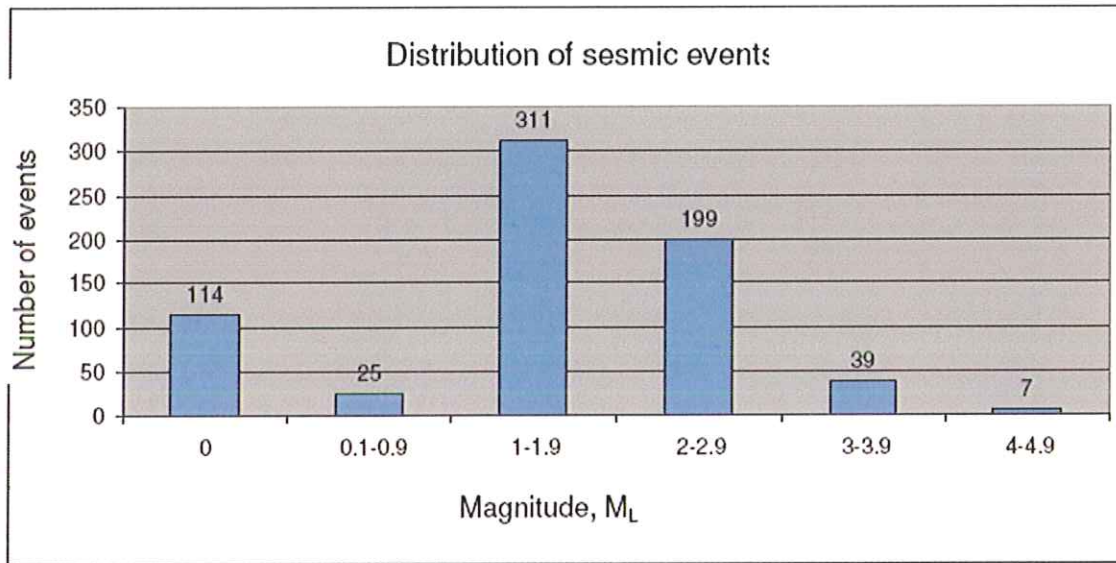
ניתוחים אלה בוצעו ע"י די"ר סם פרידמן – Geotech (מאי 2012). ממוצע התאוצות האופקיות המירביות על פני הקרקע כפי שדווח היה 0.36g.

התנזלות:

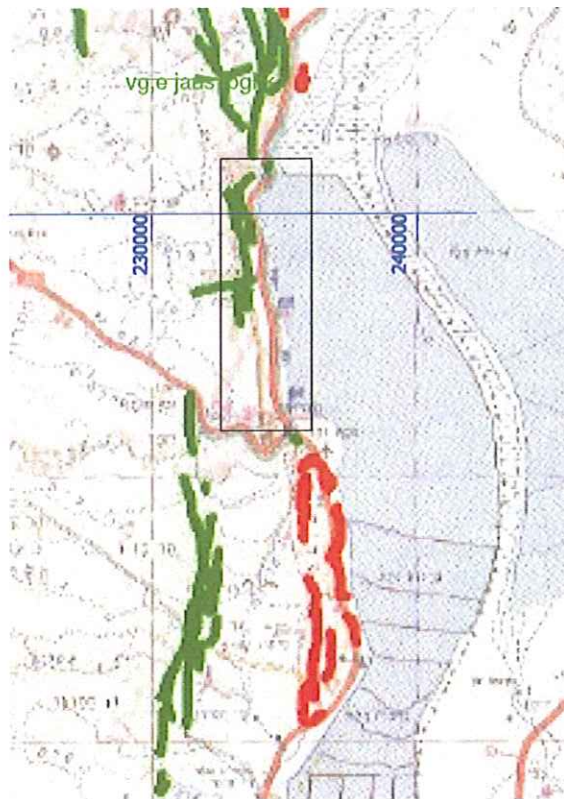
בוצע ניתוח של פוטנציאל התנזלות באזור מלונות עין בוקק ע"י Geotech (מאי 2012). הניתוח מצביע על "סכנה גדולה להתנזלות באתר, בעומקים מתחת ל 5 – 10 מ', בהשפעת רעידות אדמה עם 10% הסתברות לתקופת חזרה של 50 שנה."



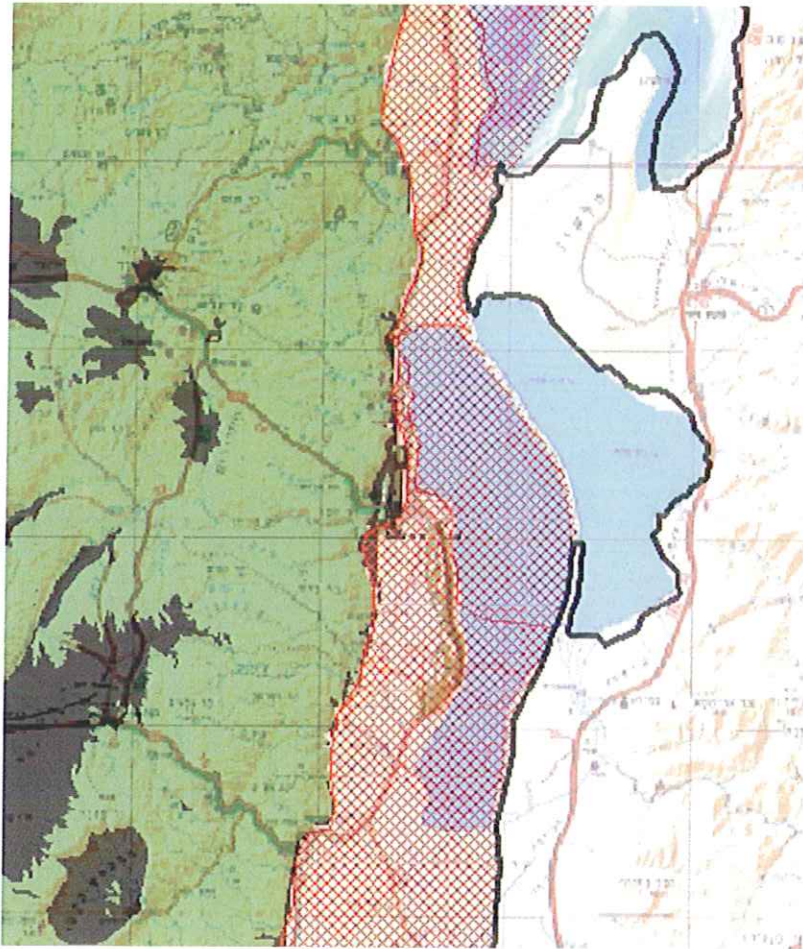
תרשים 29: מפת אירועים סיסמיים עם $ML > 3$ ל-80 השנים האחרונות שלומון א. (2004) "תופעות קרקע מושפעות-סיסמיות מרעידת האדמה בצפון-מזרח ים המלח, $ML=5.2$, מפברואר 2004", המכון הגיאולוגי, GSI/30/2004.



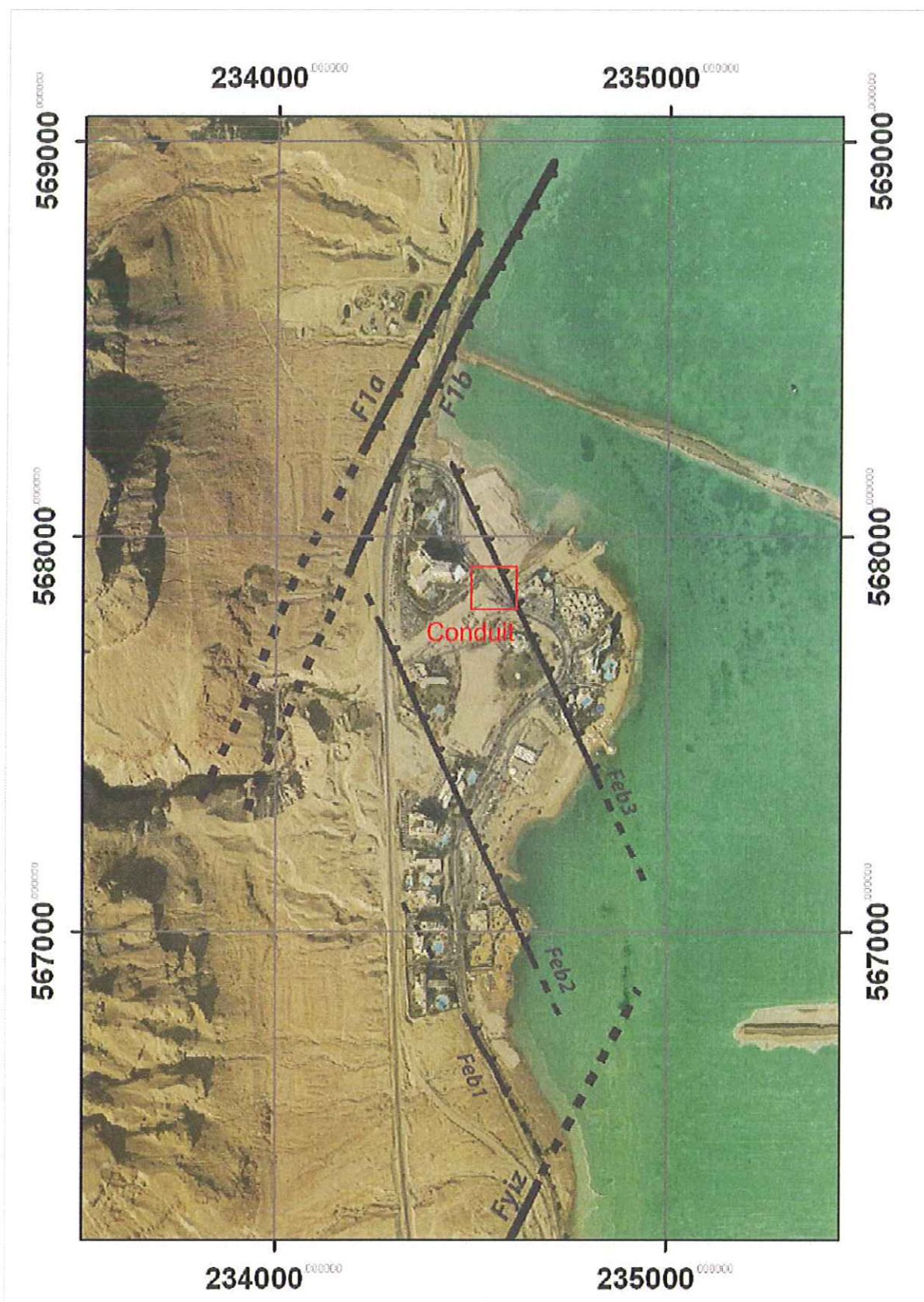
תרשים 30: התפלגות אירועים סיסמיים באזור ים המלח, 1985 – 2010
(קטלוג המכון הגיאופיזי)



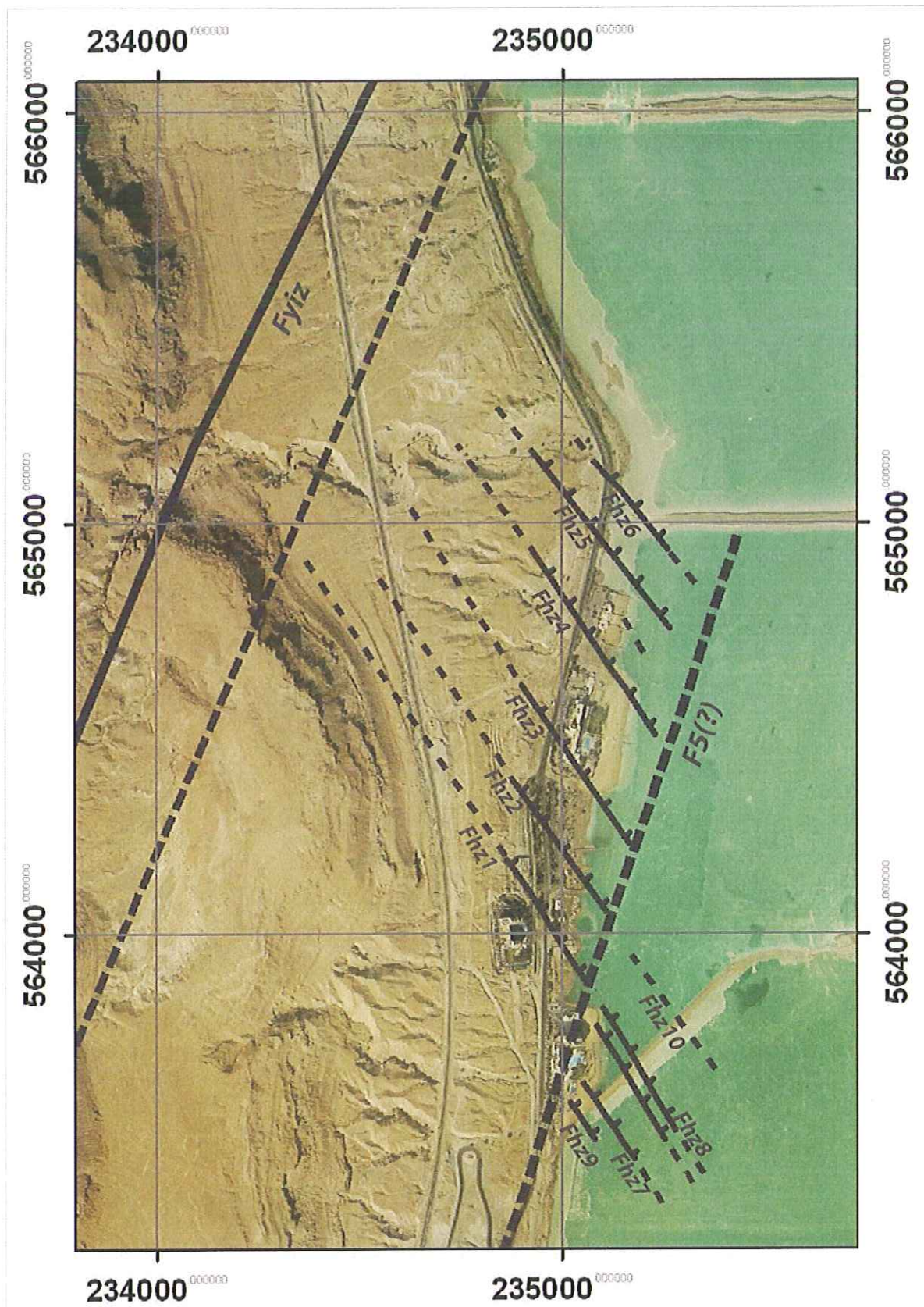
תרשים 31: קטע מ"מפת העתקים פעילים ופעילים בפוטנציה בישראל". העתקים פעילים מסומנים באדום. העתקים פעילים בפוטנציה מסומנים בירוק (המכון הגיאולוגי)



תרשים 32: קטע מ"מפת אזורים בעלי פוטנציאל חריג להגברת עוצמת רעידת האדמה"
(המכון הגיאולוגי, המכון הגיאופיזי, 2009)



תרשים 33: מפת העתקים שהוכנה ע"י ד"ר שמיר בעין בוקק, יוני 2011



תרשים 34: מפת העתקים שהוכנה ע"י ד"ר שמיר בנוה זוהר, יוני 2011



תרשים 35: גג שכבת המלח המסיבית (מפת זמן של גג שכבת המלח המסיבית מהסקר הגיאופיזי שנערך ע"י ד"ר ג. שמיר, יוני 2011)

7. יציבות מדרון הסוללה

7.1 מבוא

נערכו חישובים ליציבות מדרונות עבור חתכים אופייניים בסוללות המערביות שתוכננו לבריכה 5. הניתוחים בוצעו בהתבסס על ההנחות והנתונים הבאים:

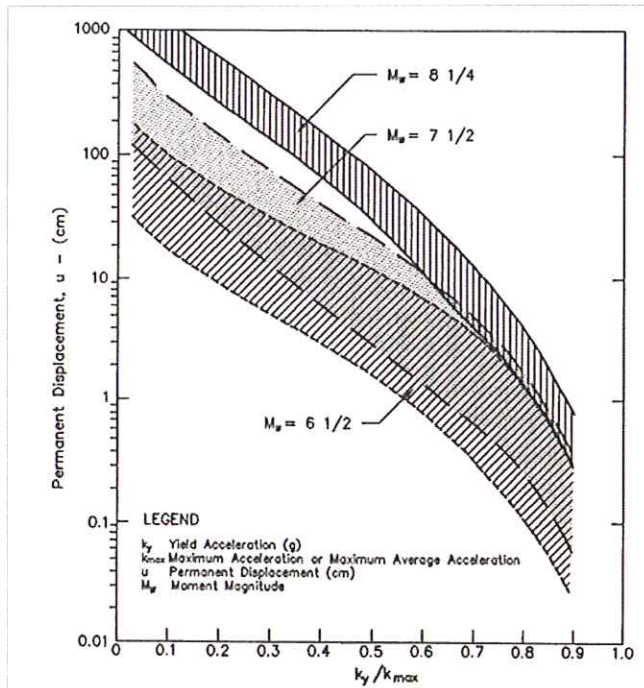
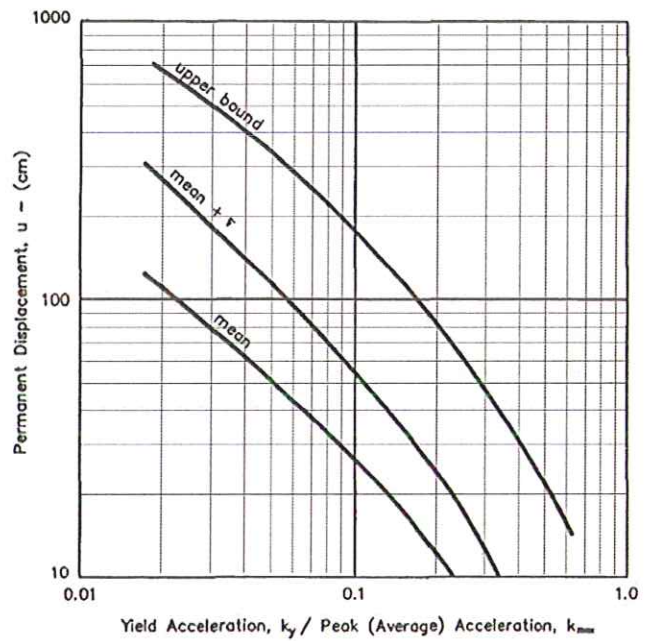
- ? החישובים נעשו לפי שיטת האלמנטים הסופיים הדו-מימדית באמצעות PLAXIS 2D, גרסה 10. מקדם המינימום לבטיחות ומשטח ההחלקה הקריטי נקבעו לפי שיטת "הפחתת החוזק".
- ? כמו-כן החישובים נעשו באמצעות פתרונות אנליטיים בצורה סגורה.
- ? שכבות הקרקע הוגדרו כחומר אלסטי-פלסטי עם מעטפת כח גזירה של Mohr-Coulomb.
- ? המילוי הקיים, הנמצא מזרחית לקיר השיגומים, הוגדר כ"מילוי גרנולרי מהודק מתחת לפני המים".
- ? שכבות מלח בעלות עובי כולל של 8 עד 10 מ' קיימות בבריכה 5 בצד המזרחי של הסוללה. קיימות לסירוגין שכבות של מלח גבישי, דבוק, קוהזי, קשה ושכבות מלח גבישי, לא דבוק, נטול קוהזיה, רפה. כהנחה מחמירה, שכבות המלח נחשבות כנטולי קוהזיה.
- ? החתכים האופייניים כוללים שכבה מעורבת של מלח ומילוי גרנולרי מזרחית לגרעין החרסיתי. שכבה זו מייצגת את השכבות המעורבות של מלח בבריכה 5 והמילוי הגרנולרי המונח עליו בשלבי הביצוע של הסוללה הקיימת (ראה חתך סכמטי בתרשים 1).
- ? נתוני הקרקע לצורך הניתוח מוצגים בלוח 11.
- ? נערכו חישובים ליציבות המדרונות לתנאים הבאים:
- ? תום ביצוע. מפלס התמלחת בבריכה 5 הוא +13.9.
- ? מפלס התמלחת הסופי בבריכה 5 הוא +15.1.
- ? תנאי רעידת אדמה. התזוזות הצפויות בסוללה הוערכו באמצעות לוחות התזוזות שהוצגו ע"י Hynes ו-Franklin (1984) ו-Makdisi ו-Seed (1978) – ראה לוחות בתרשימים 42 ו-43.
- התזוזה תלויה ביחס (k_y/k_{max}) ובעוצמת רעידת האדמה, כאשר:
- ? k_y הינו המקדם הפסידו-סטטי הקריטי המניב מקדם בטיחות של 1.0. עבור כל חתך k_y נקבע ע"י ניתוח נומרי.
- ? k_{max} הינו התאוצה האופקית המירבית לפי התקן הישראלי ולפי ההגברה המחושבת (ראה דוח Geotech ממאי 2012).

הערות:

המשקל הסגולי של התמלחת בבריכה 5 גבוה (1.3). על כן, לחיצת השכבות האפקטיבית של השכבות המוטבעות היא יחסית נמוכה. בשכבות נטולות קוהזיה כח הגזירה האפקטיבית נמוך מאוד. זו הסיבה מדוע היציבות של הסוללה המתוכננת, הרדודה והשטוחה מאד, מראה מקדמי בטיחות יחסית נמוכים בהעמסה בעת רעידת אדמה.

יציבות הסוללה המתוכננת בעת רעידות אדמה, בהתחשב בהיבטי התנולות, נדונה בדוח Geotech (מאי 2012).

תרשים 42: לוח תזוזות סיסמיות
קבועות (Franklin ו- Hynes, 1984)



תרשים 43: לוח תזוזות סיסמיות קבועות
(Seed ו- Makdisi, 1978)

7.2 יציבות הסוללה בעין בוקק

תרשים 44 מציג את המודל הנומרי. התוצאות של חישובי יציבות המדרונות מוצגות הלוח הבא.

לוח 13: סוללת עין בוקק - תוצאות חישובי יציבות המדרונות

משטח החלקה קריטי	מקדם בטיחות מחושב	מפלס תמלחת בבריכה 5	
תרשים 45	5.1	+13.9	לאחר ביצוע
תרשים 46	7.1	+15.1	
תרשים 47	1.0	+15.1	רעידת אדמה - $k_y = 0.13g$

התזוזות הצפויות עקב העמסה בעת רעידת אדמה בעלת עוצמה של 6.5 – 7.5 מוצגות בלוח הבא.

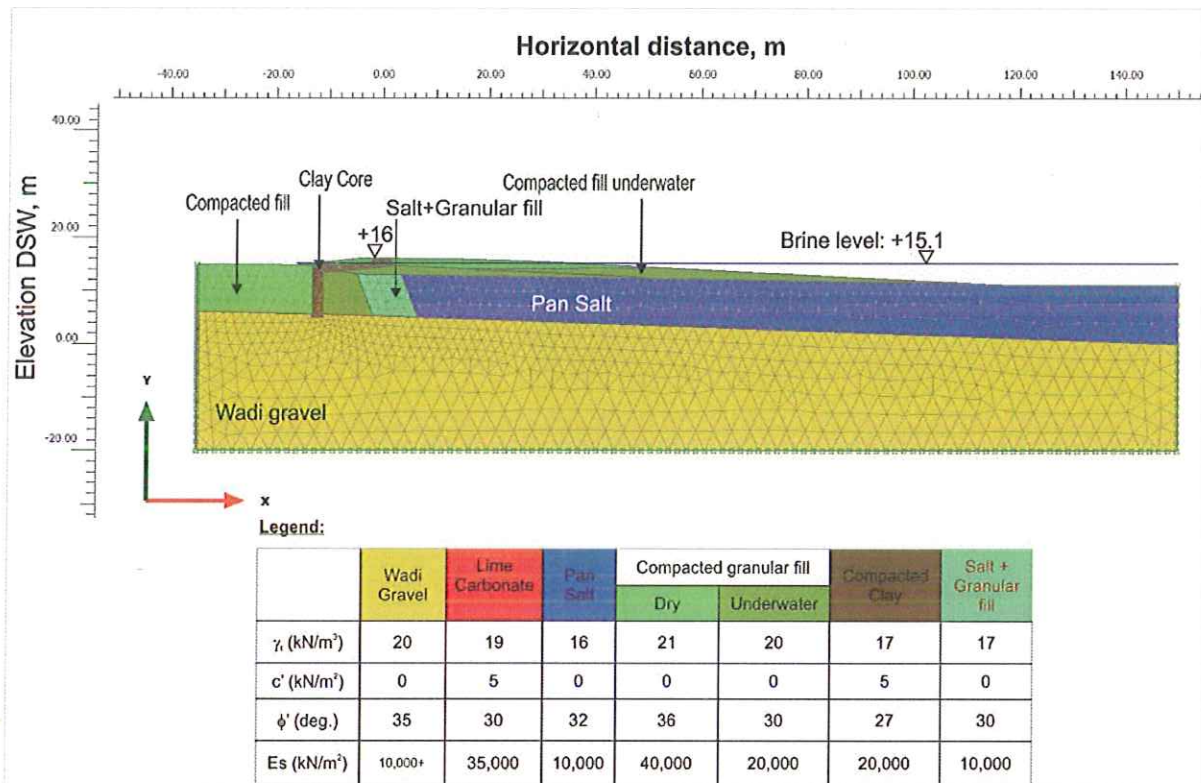
לוח 14: סוללת עין בוקק: תזוזות עקב רעידת אדמה $M_w = 6.5 - 7.5$

תזוזה צפויה (סמ')		$k_y/k_{max} = 0.13g/k_{max}$	k_{max}
$7.5 = M_w$	$6.5 = M_w$		
1 – 10	1 – 5	0.65	0.20 g
3 – 20	1 – 10	0.52	0.25 g
5 – 30	3 – 20	0.43	0.30 g
10 – 50	3 – 25	0.37	0.36 g

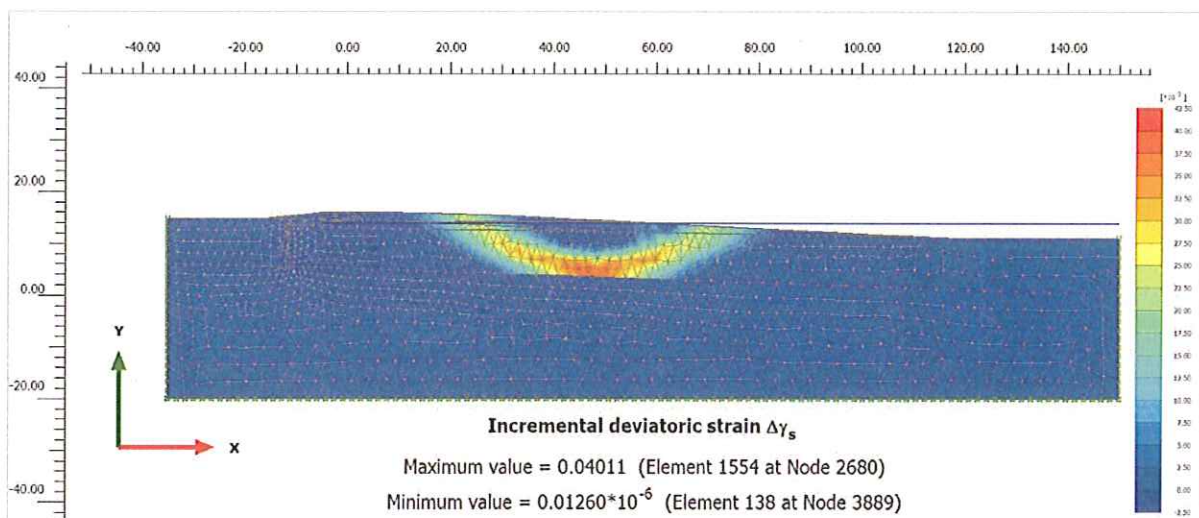
ניתן להסיק כי מקדמי הבטיחות מספיקים.

ממוצע התאוצות האופקיות המירביות בקרקע הוא 0.22g עד 0.36g, לפי ההערכה של Geotech (מאי 2012).

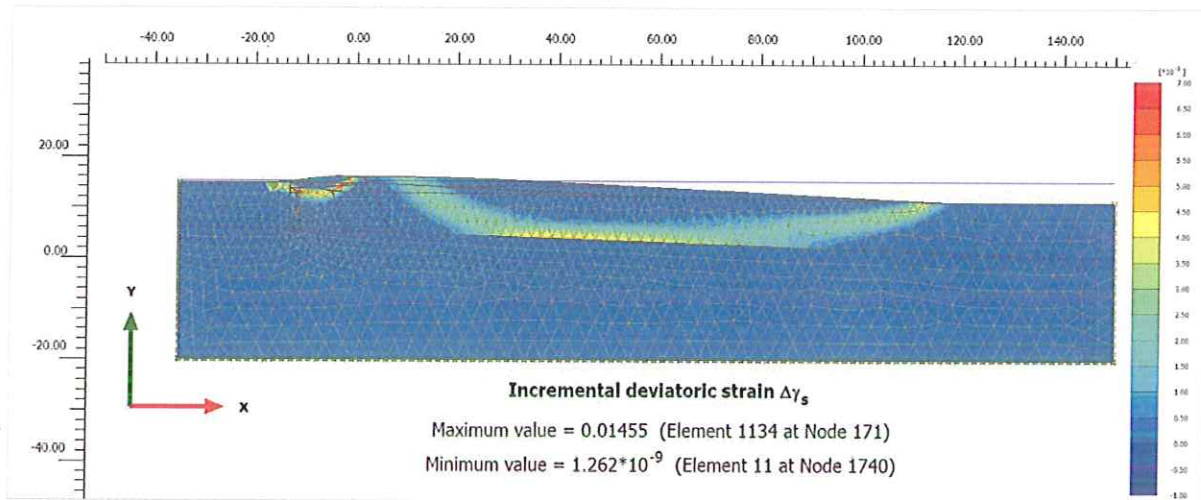
התזוזות הצפויות עקב העמסה בעת רעידת אדמה הן בסדר גודל 5 עד 50 סמ'.



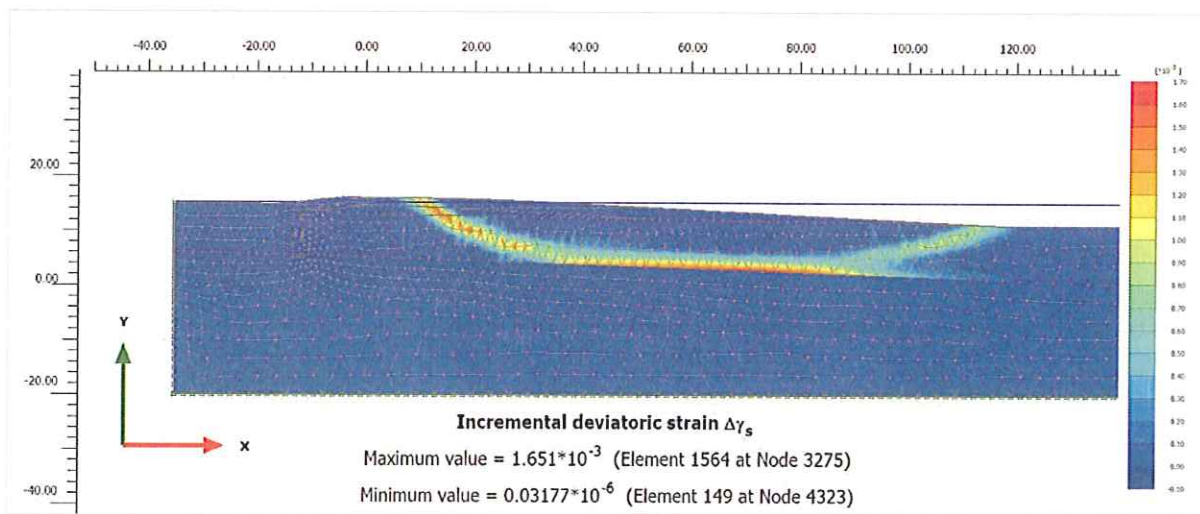
תרשים 44: עין בוקק. מודל נומרי דו-מימדי ופרופיל הקרקע לצורך חישובי יציבות המדרונות



תרשים 45: עין בוקק. משטח החלקה קריטי בתום ביצוע, מפלס תמלחת +13.9 מ'



תרשים 46: עין בוקק. משטח החלקה קריטי בתום ביצוע, מפלס תמלחת +15.1 מ'



תרשים 47: עין בוקק. משטח החלקה קריטי למקדם פסידו-סטטי קריטי $k_y=0.13g$

8. שקיעות צפויות בסוללות עקב עבודות עפר מתוכננות

יתרחשו שקיעות עקב עבודות העפר הצפויות להגבהת הסוללות. יתפתחו שקיעות מהירות (מידיות) בשכבות גרנולריות ובשכבות מלח. תתפתח שקיעת קונסולידציה (אישוש) איטית בהמצאות שכבות LC עבות.

8.1 שקיעות מידיות

חושבו השקיעות המידיות לחתך סוללות אופייני.

הניתוח בוצע לפי שיטת האלמנטים הסופיים, באמצעות PLAXIS 2D, גרסה 10. אותם המודלים ששימשו לחישובי יציבות המדרונות שימשו גם להערכת השקיעות.

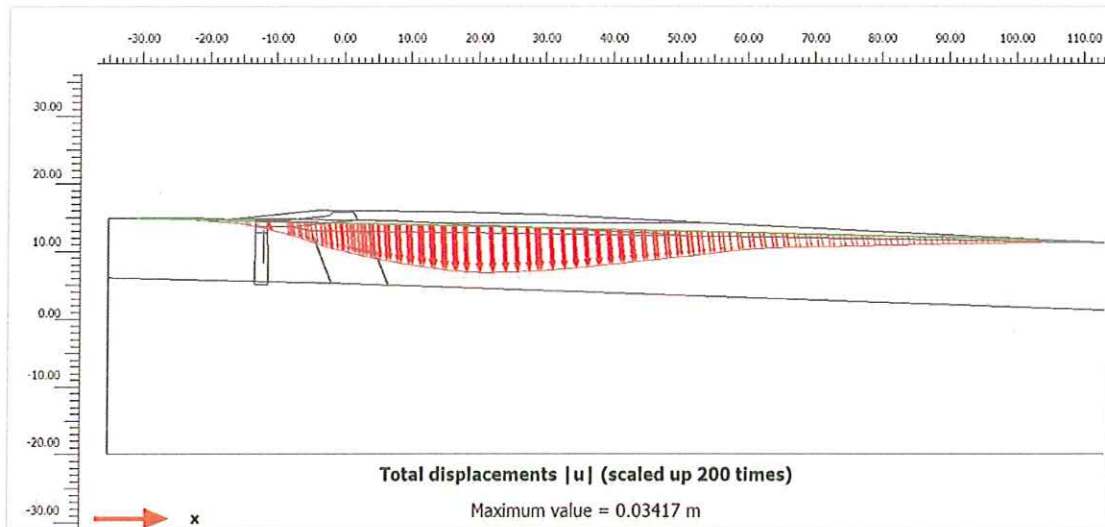
הנתונים וההנחות מוצגים בסעיף 7.1.

אפיקי התזוזה לאורך הסוללות של עין בוקק, מוריה ונירוונה מוצגים בתרשימים 56, 57 ו-58, בהתאמה.

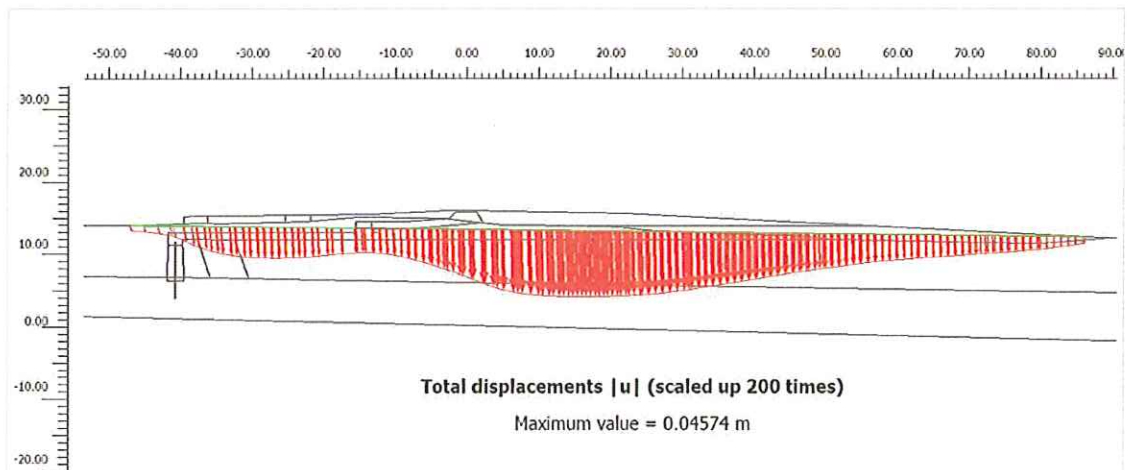
השקיעות המירביות הן מ-3 עד 6 סמ'.

השקיעות מרוכזות במקומות בהם המילוי הוא הגבוה ביותר ומצוי מעל שכבת המלח.

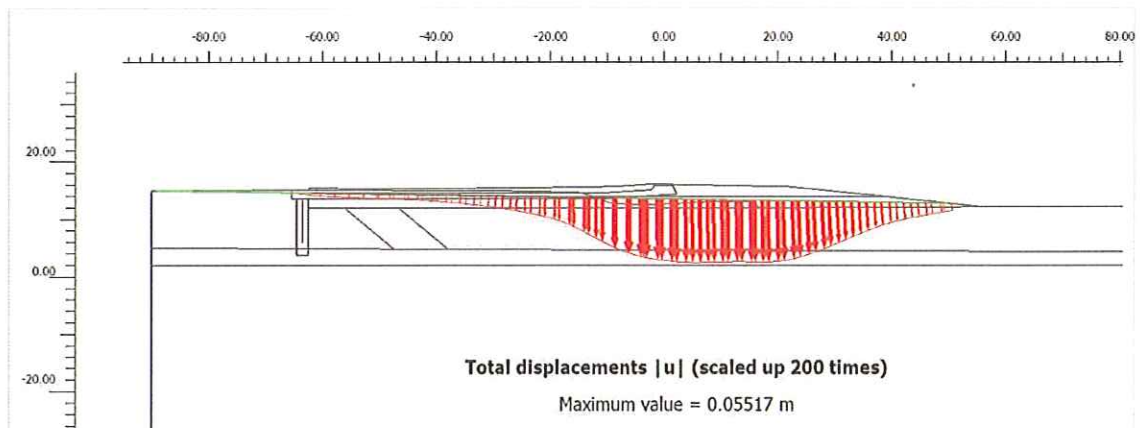
כמצוין לעיל, החישובים הנוכחיים נערכו עבור שכבת מלח הומוגני נטול קוהזיה (הנחה מחמירה).



תרשים 56: סוללת עין בוקק. אפיק תזוזה לאחר ביצוע



תרשים 57: סוללת מלון מוריה. אפיק תזוזה לאחר ביצוע



תרשים 58: סוללת מלון נירוונה. אפיק תזוזה לאחר ביצוע

8.2 שקיעת קונסולידציה (אישוש)

לפי ממצאי הבדיקות באתר, קיימות שכבות LC עבות מתחת לסוללה במלון מוריה. באתרים אחרים (עין בוקק ונירוונה) פרופיל הקרקע מורכב בעיקר מקרקעות גרנולריות ולכן ההתמוככויות צפויות להיות קטנות. עובי שכבת ה-LC מתחת לסוללת מלון מוריה הוא 20 מ' בקירוב.

הלוח הבא מציג סיכום של תוצאות מבחן האישוש שבוצע במדגמים בלתי מופרים שנלקחו מקידוחים שנקדחו לאורך סוללה 5/8.

תרשים 59 מציג את ההתפלגויות של לחיצת השכבת האפקטיבית בשלב ההתחלתי ובתום ביצוע הסוללה החדשה.

הלחץ הנוסף האפקטיבי בשכבת ה-LC מיד לאחר ביצוע הסוללה החדשה הוא 25 kPa. לחיצת השכבת בשכבת ה-LC תרד ל- 10kPa כאשר מפלס התמלחת בבריכה 5 יגיע לרום המתוכנן של +15.1.

לוח 19: סיכום נתוני שקיעת קונסולידציה (אישוש) של שכבת ה-LC (סוללה 5/8)

Cv	Cc	e ₀	γ _t	W	γ _d	
מק' /שנה	-	-	kN/m ³	%	kN/m ³	
1	0.13	0.6	12.7	7	10.2	מינימום
25	1	1.97	23.5	51	20.6	מקסימום
6.6	0.28	1	19.5	19.4	16.4	ממוצע

כאשר: γ_d - צפיפות יבשה; γ_t - צפיפות כוללת; W - תכולת מים; e₀ - חחליות; Cc - מדד לחיצה; Cv - מקדם אישוש

חישובי השקיעות נערכו בהתבסס על הנתונים וההנחות הבאים:

- ? עובי שכבת ה-LC המועמסת הוא 20 סמ'.
?
- ? גג שכבת ה-LC נמצא בעומק 15 מ'.
?
- ? הלחצים הנוספים האפקטיביים הפועלים על שכבת ה-LC בעקבות המילוי החדש בסוללה הם 10 עד 25 kPa.
?
- ? הונח שהאישוש הוא חד-מימדי.
?
- ? נתוני האישוש הינם הערכים הממוצעים המוצגים בלוח 19.
?
- ? לשכבת ה-LC ניקוז כפול.

שקיעות ה קונסולידציה (אישוש) הצפויות הן:

*65	25	10	לחץ נוסף אפקטיבי (kPa)
45	17	7	סה"כ שקיעות

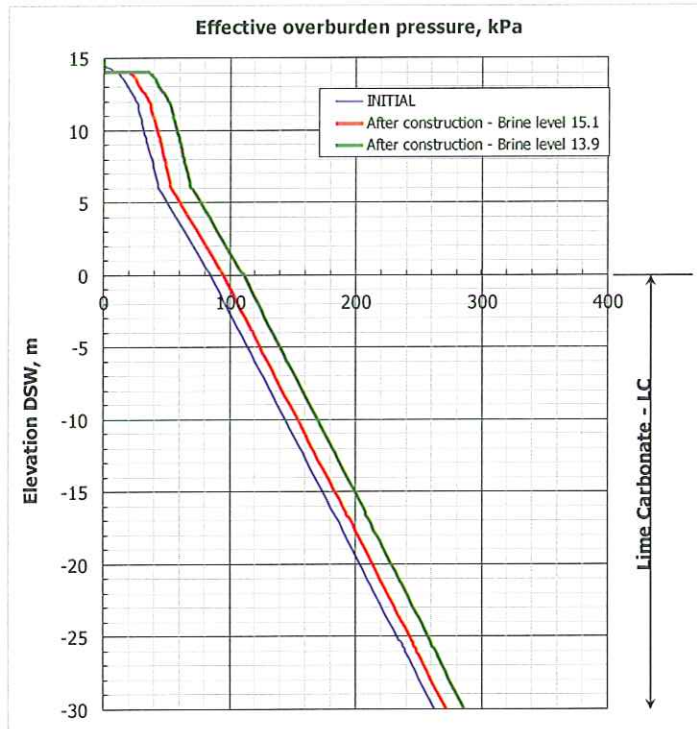
* המייצג מילוי בגובה 3 מ' (ראה דיון מטה)

הטווח הצפוי של שקיעות אישוש עקב ביצוע הסוללה החדשה הוא 7 עד 17 סמ'.

לפי דוח WBI (ספטמבר 2008) "Assessment of the Current State of Stability of Protection Measures", התפתחו שקיעות אישוש של 40 עד 60 סמ' בסוללת מלון מוריה עקב הנחת מילוי בגובה 3 מ'. על סמך ידיעה זו ניתן להסיק כי הנחות ונתוני האישוש ששימשו לחישובים הנוכחיים נכונים.

שיעור השקיעות הצפויות בסוללה המתוכננת הוא :

12	10	5	3	1	תקופה (שנים)
100	92	58	46	28	היקף האישוש (%)
7 – 17	6 – 16	4 – 10	3 – 8	2 – 5	שקיעות צפויות



תרשים 59: סוללת מלון מוריה: התפלגויות לחיצת השכבות

9. סיכון להיווצרות בולענים

נושא זה נדון בדוחות הבאים :

"Conceptual Design Report Phase 1 Feasibility Study Dead Sea Lagoon Project" ?
Final Report, DHV 05/2010.

? דוח גיאולוגי בנושא התהוות בולענים GSI/34/2009, שהוכן ע"י הסקר הגיאולוגי.

התפתחו מבני קריסה ובולענים באזור: בפן הביני של התמלחות ומי התהום בחלק הצפון-מערבי של בריכה 5; לאורך סוללה 5/8; ובאזור עין בוקק ועין זוהר.

בולענים נוצרים עקב זרימת מים שפירים מכיוון מערב, אשר ממיסים שכבות מלח עמוקות. באזור המלונות תנאים אלה קיימים בעיקר בפתחי עין בוקק ועין זוהר. תרשים 60 מציג אזורים בעלי סיכון גבוה להיווצרות בולענים.

לפי מפות אלה, הסבירות להתפתחות בולענים לאורך הסוללה המערבית של בריכה 5 נמוכה. ניתן לבדוק מסקנה זו ביחס להשפעות של אמצעי ההגנה המתוכננים: חציץ חרסית ומערכת השאיבה.



תרשים 60: מפות GSI: סיכונים להיווצרות בולענים באזור עין בוקק ונוה זוהר