

פרויקט סמל צפון, תל אביב מודל הידרולוגי לתכנון שפילת מי תהום

תאריך: 21/11/20

לכבוד:

שלומי בוקר – מנהל פרויקט סמל צפון, אפריקה ישראל מגורים Shlomib@africa-israel.com
העתק: לירון פלקס מנהל פרויקט, האחים מרגולין lironf@margolin-bros.com
הדר ברוש מהנדסת פרויקט, האחים מרגולין hadarb@margolin-bros.com

דוח מסכם למודל לתכנון שפילת מי תהום – פרויקט סמל צפון

סימוכין:

1. בדיקות קרקע ויעוץ לביסוס, סומייל מגרש 122-123 תל אביב. עמוס בלנק – עדי לרר, 22.2.2020
2. תכנית חפירה hafira-200_1843-01. דוד מהנדסים, 12.4.2020

שלום רב,

בחלקו הצפוני של מתחם סומייל בתל אביב בין הרחובות זבוטנסקי (מצפון) בן סרוק (ממזרח) ואבן גבירול (ממערב) ממוקמים מגרשים 122 ו-123. במגרש 122, ששטחו 2,872 מ"ר, מתוכננת הקמה של מגדל מגורים בן 50 קומות ומבנה ציבור בן 3 קומות (החלק הצפוני של האתר). במגרש 123, ששטחו 1,647 מ"ר, מתוכננת הקמת בניין מגורים מרקמי בן 10 קומות (החלק הדרומי של האתר). מרתף חניה משותף בן ארבע קומות מתוכנן על-פני רוב שטח המגרש. השטח הכולל של הפרויקט 4354 מ"ר.

מרתפי החניה תת-קרקעית, יורדים אל מתחת למפלס מי התהום באזור, ובשל כך נדרש לבצע הנמכה (שפילה) זמנית של מפלס המים לצורך חפירת ובניית המרתפים.

חברת אל.די.די טכנולוגיות מתקדמות בע"מ (LDD) נשכרה על ידי אפריקה ישראל מגורים לתכנן את מערך השפלת מי התהום. קיימות מספר שיטות להנמכת מפלס מי התהום הנבדלות זו מזו בתשתית הנדרשת לביצוען, בהשפעתן הסביבתית, בהתאמתן לאופי האתר, במשך הזמן הדרוש לשפילה ובעלות השפילה. לאור הבדלים אלו קיימים גם הבדלים בהתייחסות הרגולטורית לחלופות השונות.

תכנון מערך השפילה, ובכלל זה מספר קידוחי השאיבה וההחדרה, מיקומם ועומקם, עומק קירות הדיפון ואיפיון פרמטרים טכנוניים אחרים נעשה באמצעות מודל הידרולוגי תלת-מימדי. המודל הוצב על בסיס ממצאים הידרו-גיאולוגיים באזור העבודה, ופרמטרים הידראוליים שנמדדו במבחני שאיבה והחדרה באתר ובעבודות השפלת מי תהום באתר סמל מרכז. המודל הורץ לבחינה של חלופות טכנוניות שונות, במספר שלבי עבודה, לצורך קבלת הערכה של ספיקות השאיבה וההחדרה בחלופות השונות, והשפעתן על מפלסים חזויים באזור העבודה.

במסגרת בקשת רישיון קדיחה והפקה מוועדת קידוחים ברשות המים, הורץ המודל עבור מספר חלופות המתוארות בגוף הדו"ח.

תוצאות הרצת המודל ההידרולוגי מצביעות על הצורך בהעמקת קירות הדיפון ביחס לתכנון הראשוני, כך שיאפשרו:

- א. ביצוע מקטע מחורץ של 5 מ' לפחות,
- ב. המקטע המחורץ יתחיל בעומק מספר מטרים מתחת למפלס מי התהום, כך שתתאפשר שפילה דינמית ללא שאיבת אוויר

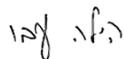
ג. המקטע המחורץ יסתיים מעל תחתית קירות הדיפון, על מנת לשאוב מול הקירות ולהקטין את ספיקת השאיבה

על מנת לעמוד ביעדים אלה, ובהתייעצות עם מזמין העבודה ויועצי הביסוס, נקבעה תחתית קיר הדיפון סביב החפירה ברום 12- מ', ובפיר המעליות 15- מ', ורום הפרפורציות 5- עד 10- בחפירה, 6- עד 12- בפיר. בחלופה המומלצת נדרשת יכולת הפקה והחדרה כוללת על פי המודל בהיקף של 160-200 מק"ש, לצרכי תכנון בהתחשבות שינויים בתנאי הקרקע מומלץ לתכנן לכ-230 מק"ש. מודגש כי תוכנית השאיבה של ההידרולוג מבוססת על נתונים שהתקבלו, בוצעה באופן שמרני באמצעות מודל ומהווה מסגרת כללית לתכנון. לצרכי התכנון ועל סמך תוצאות המודל ונתוני שאיבות והחדרות בפועל במגרש 123 אנו ממליצים על ביצוע מערך מי תהום שיכלול את המרכיבים הבאים:

- א. 12 קידוחי שאיבה בבור החפירה
- ב. 2 קידוחי שאיבה בפיר המעלית
- ג. 4 קידוחי החדרה עמוקים (ימוקמו ברצועה שמחוץ לשטח המרתפים)
- ד. 4 קידוחי החדרה רדודים (בשילוב עם הפתרון של שימור הנגר ברצועה שמחוץ לשטח המרתפים).

לאחר השלמת קירות הסלרי והתקנת המערכת מומלץ לבצע מבחן שאיבה על כלל המערכת, לבחינת הצורך בקידוחי שאיבה והחדרה נוספים כדי להגיע למפלסי היעד. במידה ונדרש מידע נוסף או הבהרות, אשמח לעמוד לרשותכם.

בברכה,
ד"ר הילה עבו



הידרולוגית
054-4846905

hilaa@liddtech.com

פרויקט סמל צפון, תל אביב מודל הידרולוגי לתכנון שפילת מי תהום



נובמבר 2020

הילן אצוו

מחברת הדו"ח: ד"ר הילה עבו **תאריך:** 21.11.20 **חתימה:**

מאשר הדו"ח

מאשר הדו"ח: ד"ר ליאור אסף **תאריך:** 21.11.20 **חתימה:**

תוכן עניינים

7.....		1.
	רקע.....	
7.....	תיאור הפרויקט .....	.1.1
8.....	רקע הידרולוגי .....	.1.2
13.....	תכנית החפירה באתר .....	.1.3
13.....	תיאור המודל.....	.2
16.....	תיאור התרחישים ותוצאות הרצת המודל.....	.3
18.....	תרחיש 1 – המקטע המחוּרָץ של קידוחי השאיבה מסתיים מתחת לתחתית קירות הדיפון (Sc1) .....	.3.1
18.....	תרחיש 2 – המקטע המחוּרָץ של קידוחי השאיבה מסתיים מעל לתחתית קירות הדיפון (Sc2) .....	.3.2
18.....	סיכום תוצאות הרצת תרחישים 1 ו-2 .....	.3.3
19.....	תרחיש 3 – העמקת קירות הדיפון (Sc3) .....	.3.4
20.....	תרחיש 4 – העמקת קירות הדיפון והנחת מפלס התחלתי גבוה מהקיים (Sc4) .....	.3.5
20.....	סיכום תוצאות תרחישים 3 ו-4 .....	.3.6
21.....	תרחיש 5 – שילוב קידוחי החדרה רדודים ועמוקים (Sc5) .....	.3.7
22.....	תרחיש 6 – ביצוע פקק ג'ט גראוט (Sc6) .....	.3.8
23.....	סיכום הממצאים והמלצות.....	.4

רשימת תרשימים

- 7..... תרשים 1 - מיקום האתר ומבנים סמוכים על-גבי תצ"א (מתוך אתר עיריית ת"א)
- 9..... תרשים 2: מיקום פרויקט סמל צפון על רקע חתך גיאולוגי ברצועה 132
- 10..... תרשים 3 : חתך קידוחי ביסוס (בלנק-לרר מרץ 2020)
- 11..... תרשים 4: מערך השפילה בפרויקט סמל מרכז
- 12..... תרשים 5: – מפלסים מדודים באתר סמל מרכז
- 13..... תרשים 6 : תכנית חפירה ודיפון באתר
- 14..... תרשים 7 - גבול המודל ההידרולוגי ומבנה רשת התאים
- 14..... תרשים 8: חתך רוחב במודל ההידרולוגי, ותאור השכבות
- 19..... תרשים 9: חתך רוחב במודל בתרחיש 3, החתך עובר דרך פיר המעלית
- 20..... תרשים 10: חתך אורך לאורך הגבול המערבי של המודל
- 21..... תרשים 11: פירוס מפלסים בתרחיש 3, קווי קונטור מימין ומשטחי קונטור משמאל

רשימת טבלאות

- 17..... טבלה 1 - תיאור התרחישים שהורצו במודל ההידרולוגי

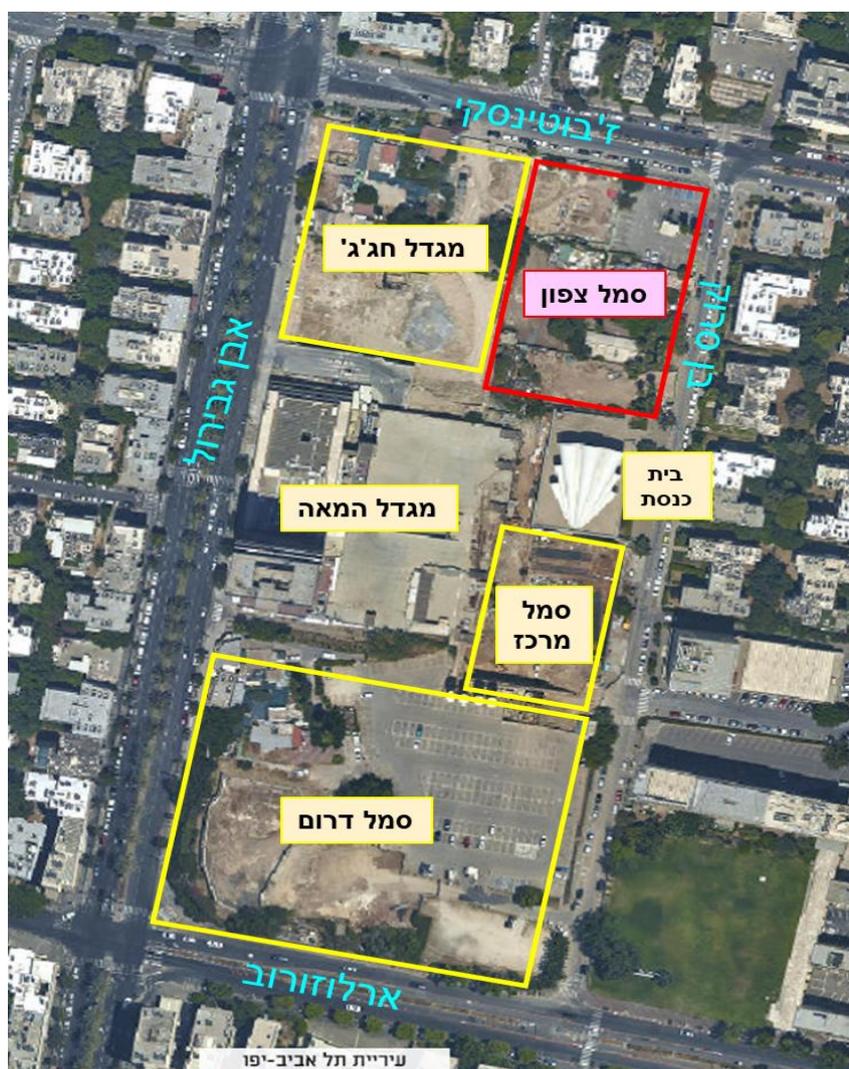
1. רקע

1.1. תיאור הפרויקט

בחלקו הצפוני של מתחם סומייל בתל אביב ממוקמים מגרשים 122 ו-123. במגרש 122, ששטחו 2,872 מ"ר, מתוכננת הקמה של מגדל מגורים בן 50 קומות ומבנה ציבור בן 3 קומות (החלק הצפוני של האתר). במגרש 123, ששטחו 1,647 מ"ר, מתוכננת הקמת בניין מגורים מרקמי בן 10 קומות (החלק הדרומי של האתר). מרתף חניה משותף בן ארבע קומות מתוכנן על-פני שטח המגרש. למעט רצועה מצומצמת לאורך רחוב בן סרוק. השטח הכולל של הפרויקט 4,354 מ"ר.

תרשים 1 מתאר את מיקום האתר, ומבנים סמוכים. הפרויקט גובל ברחובות ז'בוטינסקי מצפון ובן סרוק ממזרח. ממערב הפרויקט גובל עם מגרש 124 בו מבוצע פרויקט של חברת חג'ג' שבימים אלה נמצא בביצוע. מדרום הפרויקט גובל עם בית הכנסת היכל יהודה, אשר דרומית אליו ממוקם פרויקט סמל מרכז (מגדל העירייה). מדרום לסמל מרכז נמצא פרויקט סמל דרום הנמצא בבניה.

תרשים 1 - מיקום האתר ומבנים סמוכים על-גבי תצ"א (מתוך אתר עיריית ת"א)



1.2. רקע הידרולוגי

האתר ממוקם מעל אקוויפר החוף, כ – 1.3 ק"מ מזרחית לקו החוף (תרשים 2). לפי דו"ח הביסוס ותכנית החפירה שבסימוכין, פני הקרקע באתר משתנים בין רום +13 מ' לבין +16 מ'. מפלס האפס מתוכנן ברום +17.0 מ'. פרופיל הקרקע, לפי ארבעה קידוחי ניסיון לעומק 40-100 מ', מורכב משכבות כורכר, כורכר חולי, וחול דק, לעיתים עם מעט דקים. בעומק של כ – 47 מ', נצפתה שכבת חרסית שמנה עד רזה, בעובי 3-5 מ'. שכבה זו מפרידה בין האופק העליון של אקוויפר B, לבין האופק התחתון שלו. השכבה נצפתה בחלק מקידוחי הביסוס שבוצעו במתחם סומייל כולו (סמל מרכז ודרום), וככל הנראה השכבה רציפה ויוצרת הפרדה הידראולית בין האופק העליון לאופק התחתון באתר סמל צפון. יחד עם זאת, מכיוון שיש אי ודאות לגבי השתרעותה המרחבית הוחלט להתייחס אליה כשכבה דולפת מבחינת המידול (Leaky Aquifer).

מי התהום נצפו ברום של 1- עד 2- מ' בשלושת הקידוחים הדרומיים. בקידוח הצפוני BL-1, נצפו מי תהום סביב רום ± 0.0 מ'. קידוח זה נמצא בסמוך לקידוחי ההחדרה הרדודים (לאופק העליון של אקוויפר B) הפועלים במסגרת ביצוע שפילת מי תהום בפרויקט סמל מרכז. פרויקט שפילה זה אמור להסתיים טרם התחלת ביצוע העבודות בפרויקט סמל צפון. תתכן חפיפה מסוימת בזמנים עם ביצוע השפילה בפרויקט סמל דרום, אך ההחדרה בפרויקט זה מתוכננת להתבצע בקידוחים לאופק התחתון של אקוויפר B הצמודים לגבול האתר, והשפעתה על מפלסים בפרויקט הנוכחי ככל הנראה לא תהיה גדולה.

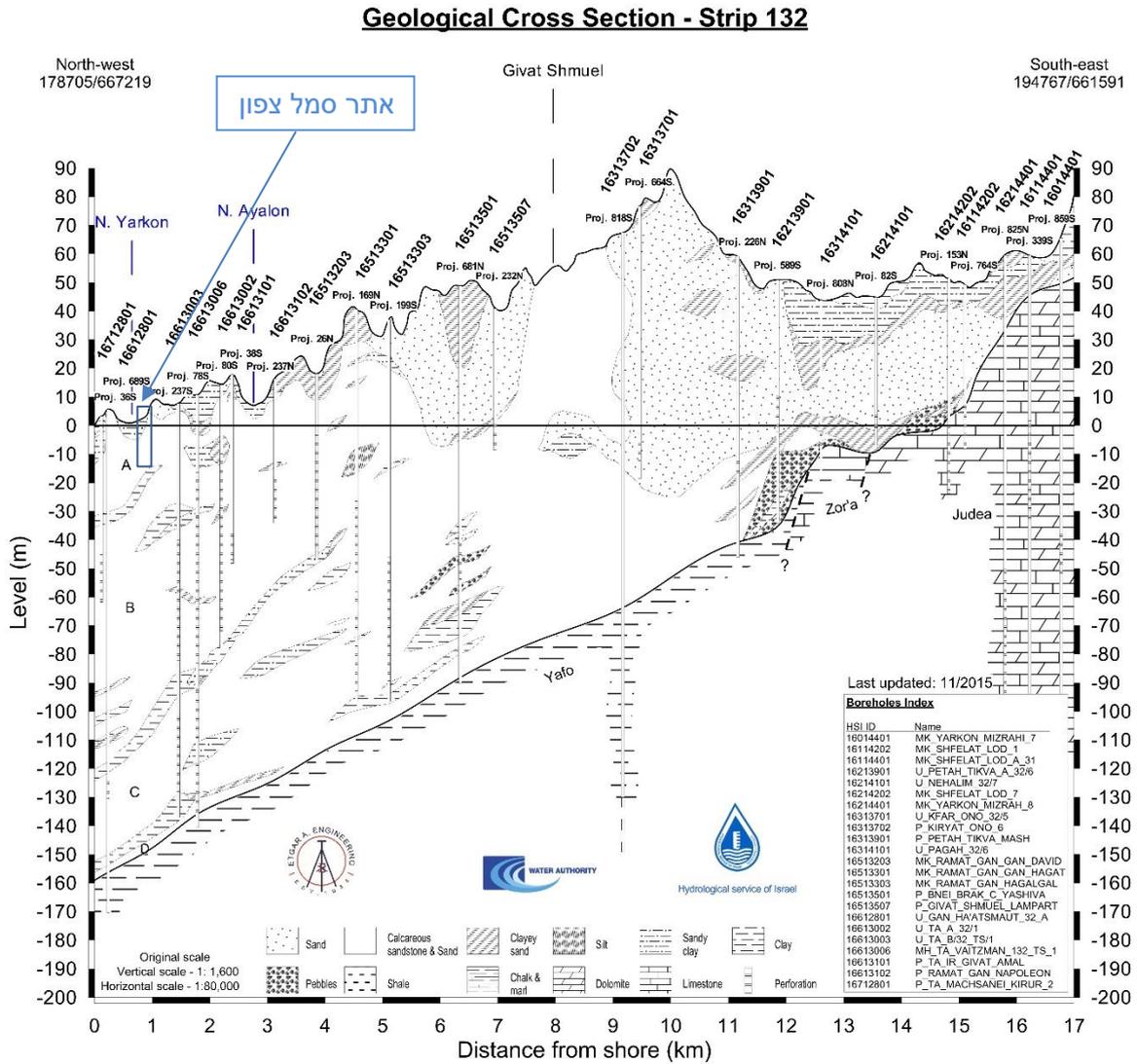
בגלל הצמידות לפרויקטים שכנים (מגדל המאה והפרויקט של חג'ג') יש מגבלות לגבי העליה המותרת במפלסים ובלחצים באתר).

תרשים 3 מתאר את החלק העליון של חתך הקרקע, מפני השטח עד רום -41 מ', כפי שנצפה בקידוחי הניסיון.

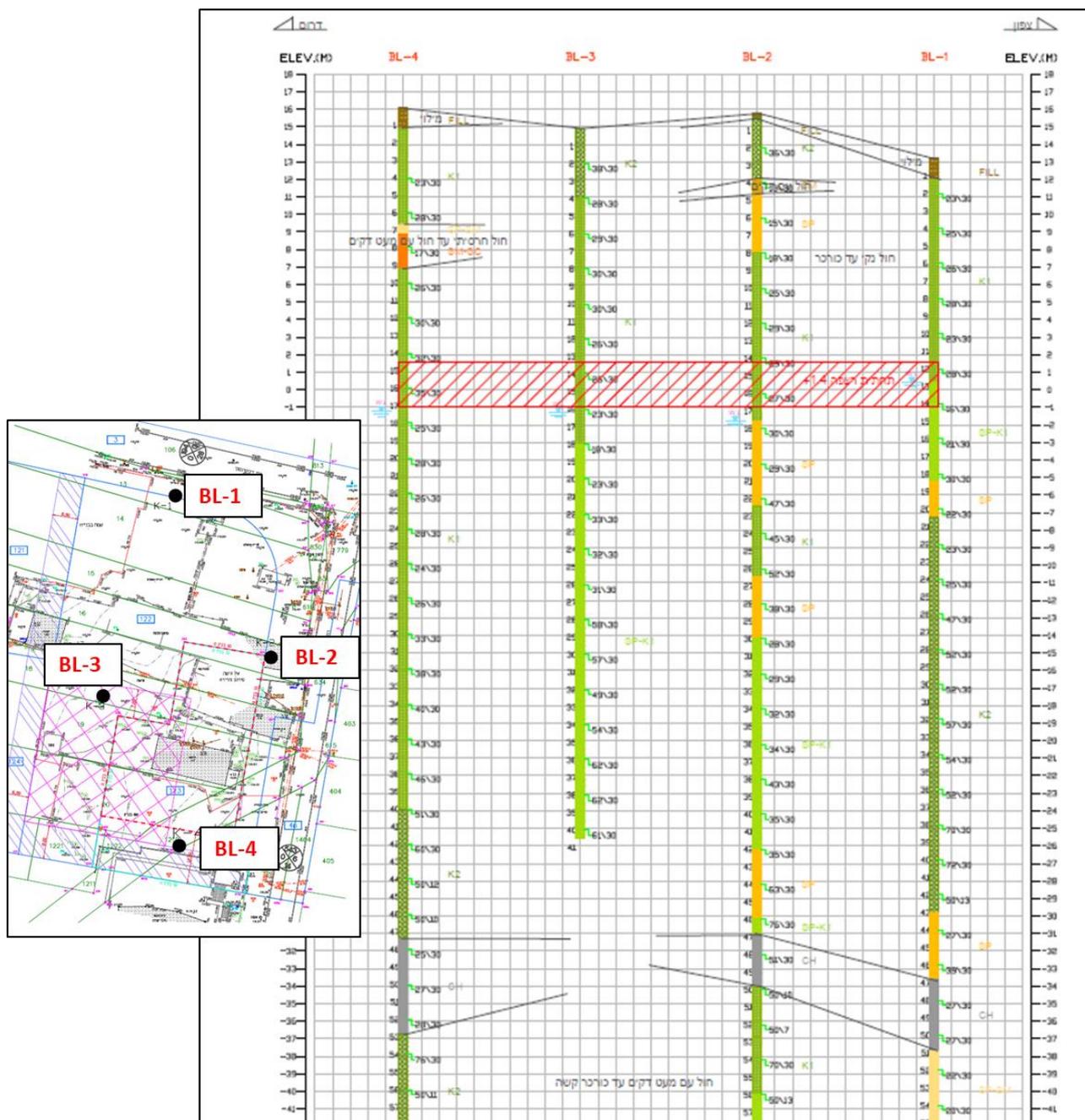
חברת LDD מלווה את ביצוע השפילה בפרויקט סמל מרכז, הנמצא בביצוע במועד כתיבת דו"ח זה. הפרויקט מלווה במעקב אחר מפלסים בשטח הפרויקט ובאזור קידוחי ההחדרה הרדודים. תרשים 4 מתאר את מבנה מערך השפילה כולל מיקום קידוחי ההחדרה והשאיבה באתר סמל מרכז. תרשים 5 מתאר את השתנות המפלסים בקידוחי התצפית באתר סמל מרכז בין החודשים דצמבר 2019- יולי 2020.

ניתן לראות כי בקידוח התצפית SP1, המנטר את המפלס באזור ההחדרה הרדוד של סמל מרכז במגרש 122, המפלס המדוד התייצב סביב רום של ± 0 .

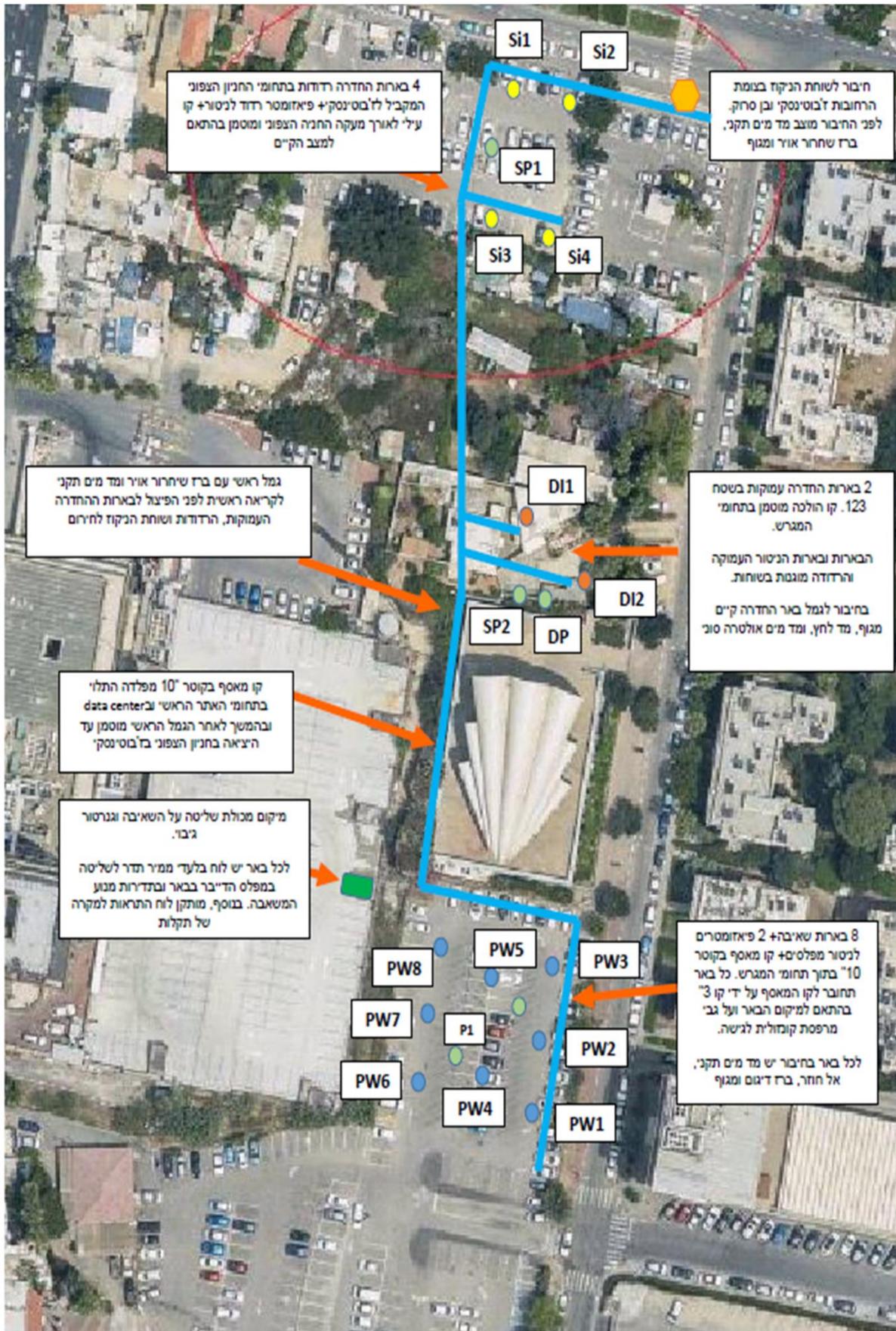
תרשים 2: מיקום פרויקט סמל צפון על רקע חתך גיאולוגי ברצועה 132



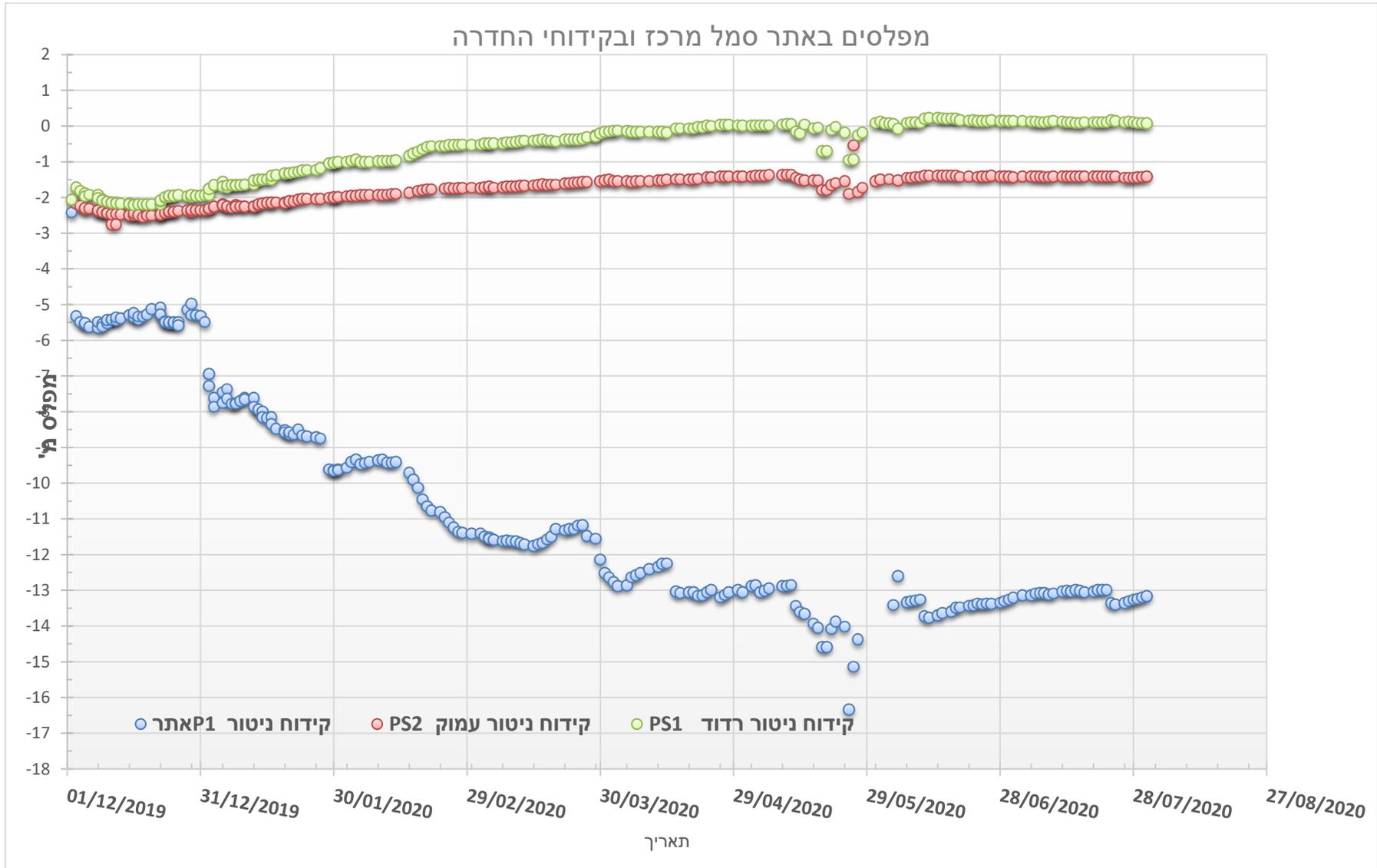
תרשים 3 : חתך קידוחי ביסוס (בלנק-לרר מרץ 2020)



תרשים 4: מערך השפילה בפרויקט סמל מרכז



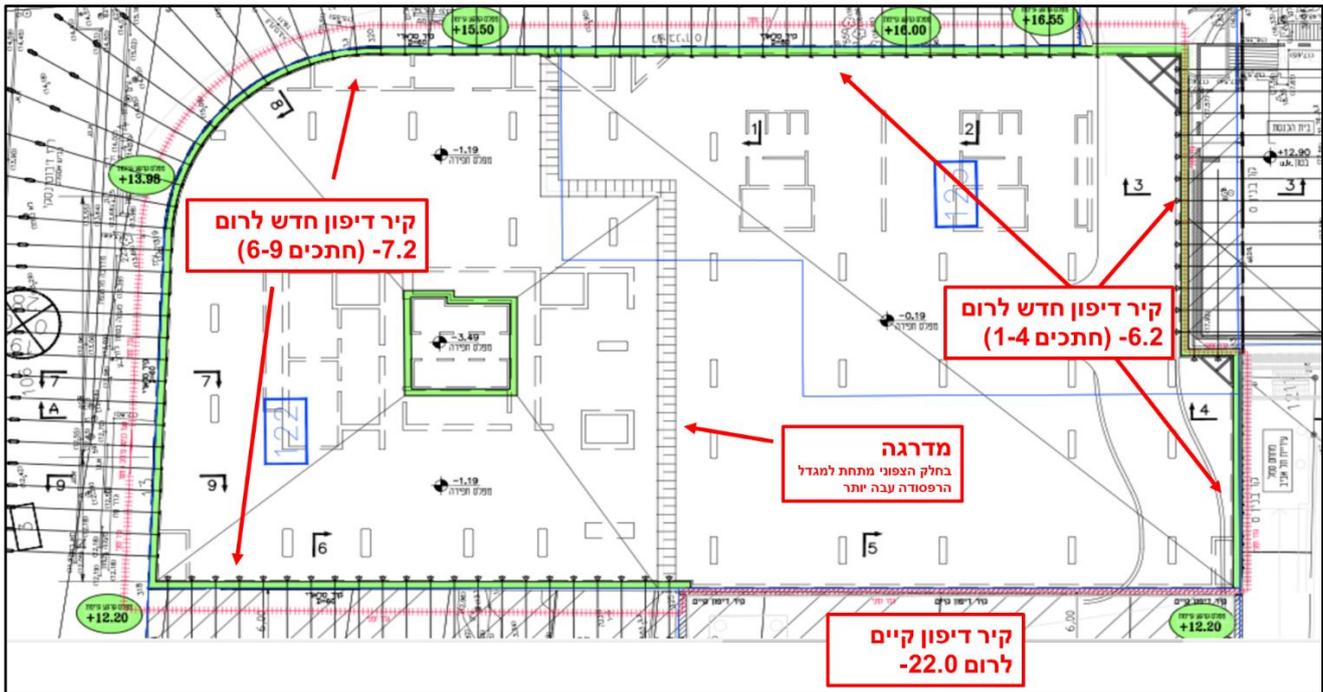
תרשים 5: – מפלסים מדודים באתר סמל מרכז



1.3. תכנית החפירה באתר

עבור בניית מרתפי החניה באתר צפויה חפירה אל מתחת למפלס מי התהום. לפי תכנית החפירה שבסימוכין, בחלק הדרומי של האתר מתוכננת חפירה לרום של -0.2 מ'. בחלק הצפוני, בו מתוכנן להיבנות מגדל המגורים הגבוה, מתוכננת חפירה לרום -1.2 מ', וזאת על מנת לאפשר הקמת רפסודה עבה יותר. כמו כן, מתחת למגדל מתוכננת הקמת פיר מעליות בגודל של כ- 10x10 מ', ומתוכננת חפירה לרום -3.5 מ'. תכנית החפירה ועומק קירות הדיפון הקונסטרוקטיביים מוצגים בתרשים 6.

תרשים 6 : תכנית חפירה ודיפון באתר



דו"ח זה מתאר את המודל ההידרולוגי שהוצב לצורך תכנון מערך קידוחי השאיבה וההחדרה לביצוע השפילה, תוך בחינת השפעה של עומק קירות הדיפון, ביצוע פקק ג'ט גראוט, ואקוויפר המטרה להחדרה (אופק עליון או תחתון של אקוויפר B), על מספר קידוחי השאיבה וההחדרה, והספיקות הנדרשות.

2. תיאור המודל

דו"ח זה מציג חלופות לתכנון מערך שפילה באמצעות מודל הידרולוגי תלת-מימדי לסימולציה של זרימת מי תהום, שהוצב והורץ באמצעות תוכנת MODFLOW ע"ג הממשק למשתמש GMS 10.

גבול המודל נקבע בהתאם לדרישות רשות המים עבור המודל ההידרולוגי של פרויקט סמל דרום. גבול המודל נקבע כך שילול את כל פרויקטי הבניה במתחם סומייל (סמל דרום, סמל מרכז, מגדל חג'ל, וסמל צפון), ולא ישפיע על תוצאות מודל הזרימה במתחם.

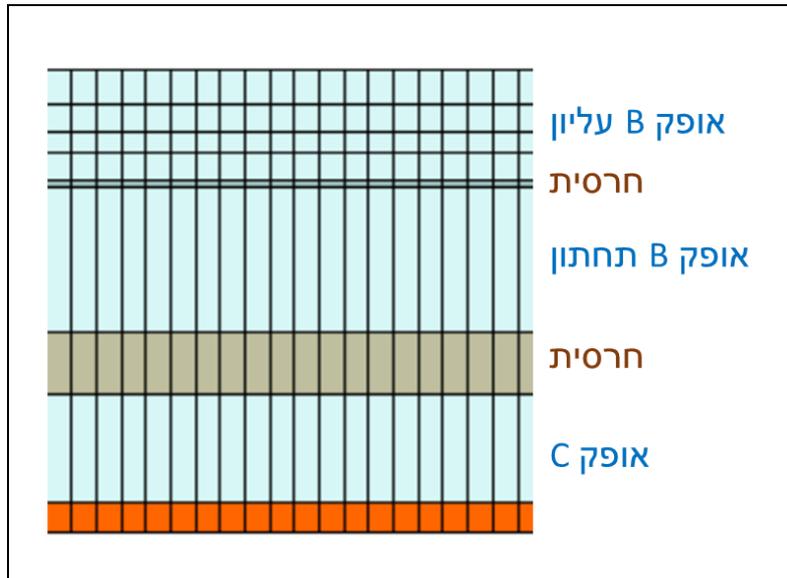
רשת תאי המודל (גריד) נקבעה כך שבגבול המודל גודל תאי הגריד הוא 16x16 מטר, ויורד בהדרגה לגודל של 2x2 מטר באתר עצמו. תרשים 7 מציג את גבול המודל ואת מבנה רשת התאים.

תרשים 7 - גבול המודל ההידרולוגי ומבנה רשת התאים



החלוקה האנכית של רשת התאים מבוססת על החתך הגיאולוגי וקידוחי הביסוס שתוארו לעיל. תרשים 8 מציג באופן סכמטי את החלוקה לשכבות בחתך רוחב במודל. חתך מפורט יתואר בפרק 3, במסגרת תיאור התרחישים.

תרשים 8: חתך רוחב במודל ההידרולוגי, ותאור השכבות



הוגדרו ארבעה סוגי שכבות בהתאם למבנה ההידרו-גיאולוגי באתר ולאלמנטים המבניים המתוכננים:

1. שכבה מוליכה המתארת את אקוויפר B (אופק עליון ותחתון) ואקוויפר C. נקבעה מוליכות הידראולית אופקית של 15 מטר/יום, יחס אנאיזוטרופיה של 3 (בהתאם להמלצות השירות ההידרולוגי ברשות המים), $S_y=0.15$.
2. שכבת חרסית חוצצת בין האופק העליון והתחתון של אקוויפר B – הנתונים הקיימים על עוביה, השתרעותה המרחבית ותכונותיה ההידראולית של שכבה זו אינם ברורים. ההתייחסות לשכבה זו במודל הינה כאל שכבה דולפת (leaky aquifer), שאינה רציפה על-פני שטח האתר וסביבתו.
3. שכבת חרסית המפרידה בין אופק B לאופק C, בעלת מוליכות הידראולית אופקית של 0.001 מטר/יום, יחס אנאיזוטרופיה של 3, ואגירות ספציפית של 0.0001.
4. קיר הדיפון יוצג במודל כ Horizontal Flow Barrier בעל מאפיין הידראולי של 1/1000 ימים, על בסיס פרמטרים הידראוליים של שכבת חרסית חוצצת, ועובי של 1 מטר.

תנאי התחלה הוגדר כמפלס אחיד על-פני כל המודל, המייצג את המפלס המדוד בשטח הפרויקט. במסגרת בחינת התרחישים נבדק מפלס התחלתי של ± 0 מ' המייצג את הערך הגבוה ביותר שנמדד באתר בקידוחי הניטור של סמל מרכז, ומפלס של +0.5 מ' המייצג הנחה שמרנית של עליה נוספת במפלס כתוצאה משינוי עונתי בעונת החורף.

תנאי גבול: הגבול המזרחי והמערבי הוגדר כגבול עומד קבוע זהה למפלס ההתחלתי. הגבול הצפוני והדרומי הוגדר כ no-flow.

בנוסף לכך הוגדרה העשרה של $2.74 \cdot 10^{-4}$ מטר/יום, המבטאת את עובי הגשם היומי בהתאמה לכמות המשקעים הממוצעת (כ - 550 מ"מ/שנה).

מפלס היעד להנמכת מי התהום הוגדר כ - 1 מ' מתחת לתחתית החפירה (בתכנון ילקח בחשבון יתרות הנדסית שתאפשר ירידה לעומק רב יותר במידת הצורך), דהיינו מפלס של -2.7 מ' במרכז החפירה, ומפלס של -5 מ' בפיר המעליות. כך שנדרשת השפלת מי תהום של כ- 2.7 מ' על כל שטח האתר והשפלה של כ 5 מ' בפיר המעליות. קידוחי השאיבה ימוקמו לאורך קירות הדיפון ובתחום פיר המעליות.

הסימולציות הורצו במצב תמידי (Steady State) לבחינת פירוס המפלסים וספיקות ההפקה וההחדרה.

3. תיאור התרחישים ותוצאות הרצת המודל

באמצעות המודל נבחנו תרחישים שבחנו מספר היבטים בתכנון מערך השפילה:

א. עומק הפרפורציה בקידוחי השאיבה, בהנחה שקירות הדיפון יוקמו לעומק של 6.2- מ' בהתאם לתכנית החפירה שבתרשים 6.

ב. העמקת קירות הדיפון לעומק 12-15 מ' כדי לאפשר שאיבה מול קירות הדיפון

ג. שינוי מפלס התחלתי

ד. ביצוע פקק ג'ט גראוט

ה. שכבת היעד להחדרה (אופק עליון או תחתון של אקוויפר B)

תאור התרחישים וסיכום התוצאות מפורט בטבלה 1 להלן. דיון מפורט בשיקולי תכנון התרחישים ובתוצאות מופיע אחרי הטבלה.

טבלה 1 - תיאור התרחישים שהורצו במודל ההידרולוגי

מ'ס' הרצה	תיאור	מפלס התחלתי ותנאי גבול	שאיבה				החדרה				מפלס בשטח החפירה	מפלס בפיר	הערות			
			מספר קידוחי הפקה בחפירה	רום קידוחי הפקה בחפירה	ספיקת הפקה לקידוח (מק"ש)	רום קידוחי הפקה בפיר	ספיקת הפקה לקידוח (מק"ש)	מספר קידוחי החדרה	רום קידוחי החדרה	ספיקת החדרה לקידוח						
Sc1	שאיבה עם קידוחים בעלי פרפורציה המסתיימת מתחת לתחתית קיר דיפון קונסטרוקטיבי לרום -6.2	0	11	-4 to -8	10	2	-4 to -8	8	127	5	-40 to -75	25.5	127	לא אחד, ברוב השטח כ-1.8	-3.6	בספיקת שאיבה נמוכה מתקבל פתרון נומרי, אך לא ניתן להגיע למפלס היעד בשטח החפירה ובפיר המעליות
Sc1a	שאיבה עם קידוחים בעלי פרפורציה המסתיימת מתחת לתחתית קיר דיפון קונסטרוקטיבי לרום -6.2	0	11	-4 to -8	12.5	2	-4 to -8	10	160	5	-40 to -76	25.5	127	פתרון נומרי לא מתכנס	-1.7	הגדלת ספיקת השאיבה מגדילה את השפילה הדינמית סביב הקידוחים, ומפחיתה באופן קיצוני את יכולת ההפקה, לא ניתן להשיג את מפלס היעד בחפירה, ובפיר לא מתקבל פתרון
Sc1b	שאיבה עם קידוחים בעלי פרפורציה המסתיימת מתחת לתחתית קיר דיפון קונסטרוקטיבי לרום -6.2	0	11	-4 to -8	10	2	-4 to -8	8	127	0			0	במרכז החפירה -2.3		כמו תרחיש Sc1 אך ללא החדרה, לבחינת ההשפעה על המפלסים במרכז החפירה. ללא החדרה ניתן להגיע למפלס היעד בשטח החפירה, אך לא בשטח הפיר.
Sc2	בארות רדודות, פרפורציה עד לרום -6	0	12	-2 to -6	8	2	-2 to -6	5	102	0			0	-1.3	-3.1	המפלס הדינמי יורד, והפתרון לא מתכנס. נבחנה אפשרות של מספר גדול יותר של קידוחים רדודים, המפוזרים ע"פ כל החפירה (מדמה well points). הפתרון אינו מוצג כאן.
Sc3	העמקת קיר הדיפון עד לרום -12, בפיר -15	0	10	-5 to -10	12.5	2	-6 to -12	5	135	5	-40 to -78	30	150	במרכז החפירה -2.3	-5	נבחנה העמקת קירות הדיפון, והחדרה עודפת של 10% במקרה של תקלה
Sc4	מפלס התחלתי +0.5, העמקת קיר הדיפון עד לרום -12, בפיר -15	+0.5	10	-5 to -10	15	2	-6 to -12	5.4	161	5	-40 to -78	36	181	-2.3	-5	עליה במפלס ההתחלתי מחייבת הגדלת ספיקת שאיבה ב-20%, החדרה עודפת 10%
Sc5	שילוב קידוחי החדרה עמוקים ורדודים	0	10	-5 to -10	19	2	-6 to -12	7.5	203	8	-40 to -78	28	223	-2.7		חמישה קידוחי החדרה עמוקים, שלושה רדודים. ספיקת שאיבה 150% ביחס לחלופות קודמות, לבדיקת היתכנות של יתירות הנדסית
Sc5a	השוואה לתרחיש 5, כל קידוחי החדרה עמוקים	0	10	-5 to -10	19	2	-6 to -12	7.5	203	8	-40 to -78	28	223	-3.3		כל השמונה עמוקים, על מנת לבחון השפעה על המפלס במרכז החפירה
Sc6	פקק עד רום -5.7 (חצי מטר מעל קיר דיפון קונסטרוקטיבי לרום -6.2)	0	11	-2 to -4		1	-2 to -4		12		-15 to -25 אופציונלי		0	-2.2	-3.5	מוליכות אופקית של שכבת הפקק 0.1 מ"מ/יום. נבחנו מספר ספיקות הפקה. בטבלה מצויינת הספיקה המקסימלית המאפשרת קבלת פתרון נומרי.

3.1. תרחיש 1 – המקטע המחוץ של קידוחי השאיבה מסתיים מתחת לתחתית קירות הדיפון (Sc1)

תכנית החפירה שבסימוכין מתארת את קירות הדיפון המתוכננים במסגרת הפרויקט. בחלקו הדרום-מערבי של האתר קיים קיר דיפון המגיע לרום של 22- מ'. בשאר היקפה של החפירה מתוכננת הקמה של קיר דיפון לרום 6.2- מ' סביב החלק הדרומי של החפירה, וקיר לרום 7.2- מ' סביב החלק הצפוני, בו החפירה המתוכננת עמוקה יותר ב- 1 מטר. לצורך הסימולציה, וכהנחות שמרניות, הוצבו במודל:

א. קיר דיפון לרום הרדוד יותר של 6.2- מ' סביב כל האתר (למעט הקטע הקיים, אשר הוצב במודל לרום הקיים בפועל 22- מ').

ב. חפירה אחידה בכל האתר לרום של 1.2- מ'.

כאמור, מפלס היעד להנמכת מי התהום הוגדר כ- 1 מ' מתחת לתחתית החפירה, דהיינו 2.7- מ' במרכז החפירה, ומפלס 5- מ' בפיר המעליות. קידוחי השאיבה ימוקמו לאורך קירות הדיפון ובתחום פיר המעליות.

מפלס מי התהום המדוד בקידוחי הביסוס ברוב שטח החפירה נע בתחום 1- עד 2- מ'. בתרחיש 1 נקבע בקידוחי השאיבה מקטע מחוץ מרום 4- עד רום 8- מ'. המקטע המחוץ בתרחיש זה מתחיל כ- 2 מ' מתחת למפלס על מנת למנוע שאיבת אוויר, ואורכו האפקטיבי הוא 4 מ'. חסרונו הוא בכך שתחתיתו נמצאת מתחת לתחתית קיר הדיפון, כך שצפויה הגדלת ספיקת השאיבה עקב זרימה מהאקוויפר האזורי מתחת לקירות הדיפון.

שכבת היעד להחדרה היא האופק התחתון של אקוויפר B, מתחת לשכבת החרסית המפרידה בין שני האופקים.

נבחנו מספר וריאציות בספיקת ההפקה וההחדרה (Sc1, Sc1a, Sc1b).

3.2. תרחיש 2 – המקטע המחוץ של קידוחי השאיבה מסתיים מעל לתחתית קירות הדיפון (Sc2)

בתרחיש 2 נקבע בקידוחי השאיבה מקטע מחוץ גבוה יותר ביחס לתרחיש 1, מרום 2- עד רום 6- מ'. בתרחיש זה צפויה שאיבת אוויר לקידוחים מחד, ומאידך ספיקת השאיבה צפויה לקטון, עקב שאיבה מול קירות הדיפון.

קידוחי ההחדרה מתוכננים בדומה לתרחיש 1. שאיבת אוויר אינה מומלצת בגלל חימצון הקידוחים והשפעה על קידוחי ההחדרה ולכן **אנו לא ממליצים על חלופה זאת.**

3.3. סיכום תוצאות הרצת תרחישים 1 ו- 2

שני התרחישים הראשונים (Sc1, Sc2) בדקו את היתכנות ביצוע השפילה כשקירות הדיפון מוקמים בהתאם לתכנית הדיפון שבאתר. בשני תרחישים אלה הוצבו 11-12 קידוחי שאיבה בשטח החפירה, ו- 2 קידוחים בפיר המעליות. רום גג המקטע המחוץ רדוד מאד, ואורך המקטע המחוץ ארבעה מטרים בלבד. בעת סימולציית השאיבה בשטח החפירה, ניתן לראות כי המפלס הדינמי בקידוחים יורד אל מתחת לרום גג המקטע המחוץ (הן כאשר רום גג המקטע המחוץ 4-, ובוודאי כאשר רום גג 2-), יעילות השאיבה נפגעת, ולמעשה לא ניתן להגיע בסימולציות אלה למפלס היעד במרכז החפירה ובפיר העליות ולכן **אנו לא ממליצים על חלופה זאת.** בתרחיש Sc1 נבחנה הגדלת ספיקת השאיבה (Sc1a) והשפעת ביטול קידוחי ההחדרה על הגעה למפלס היעד (Sc1b).

פתרון הנדסי מומלץ הוא העמקת קירות הדיפון, כך שיאפשרו ביצוע קידוחי שאיבה בעלי מקטע מחוץ עמוק יותר, ובעל אורך אפקטיבי של 5 מ' לפחות. תרחישים 3 ו- 4 להלן, מתארים סימולציות של העמקת קירות הדיפון, עם

מפלס התחלתי של ± 0 מ' המייצג את הערך הגבוה ביותר שנמדד באתר, ומפלס של $+0.5$ מ' המייצג הנחה שמרנית של עליה במפלס.

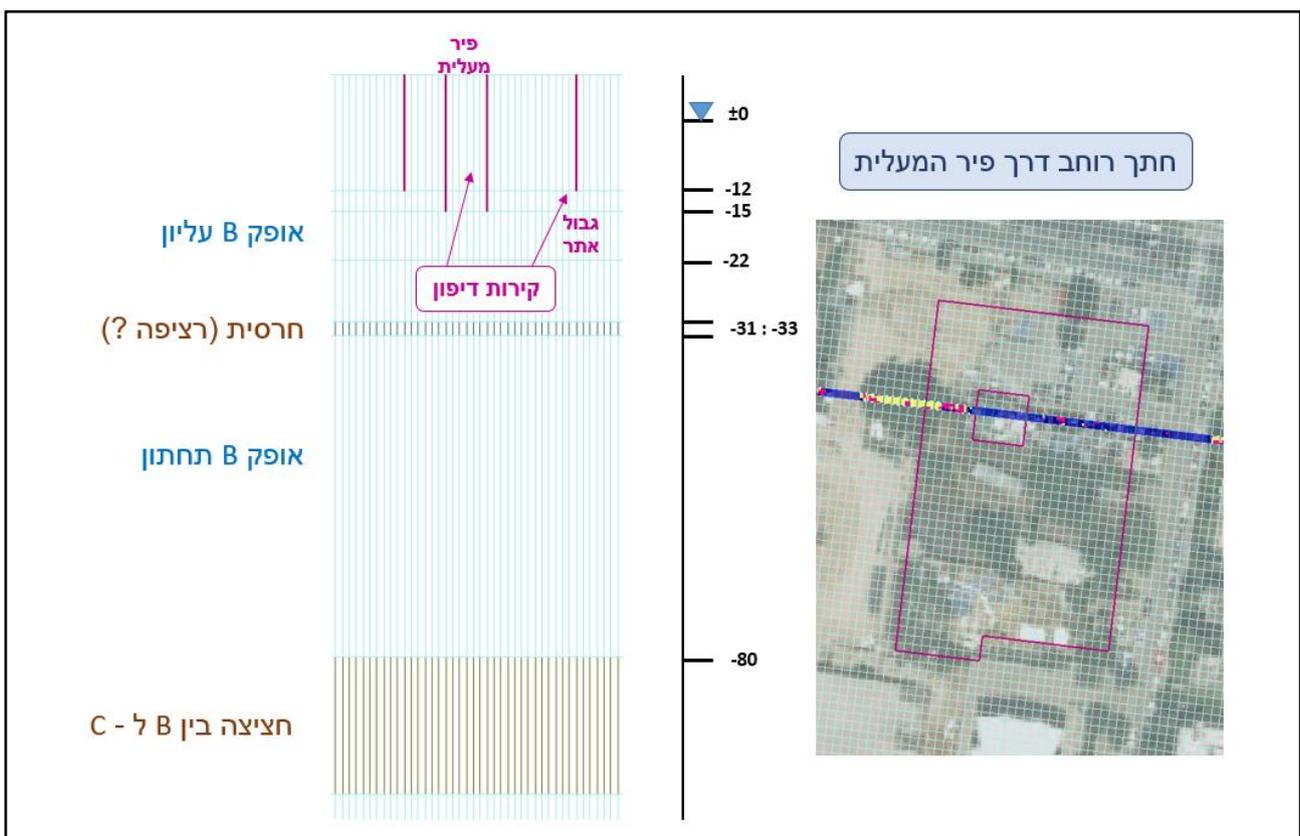
3.4. תרחיש 3 – העמקת קירות הדיפון (Sc3)

כאמור, תוצאות הרצת המודל ההידרולוגי בתרחישים 1 ו-2, מצביעות על הצורך בהעמקת קירות הדיפון כך שיאפשרו:

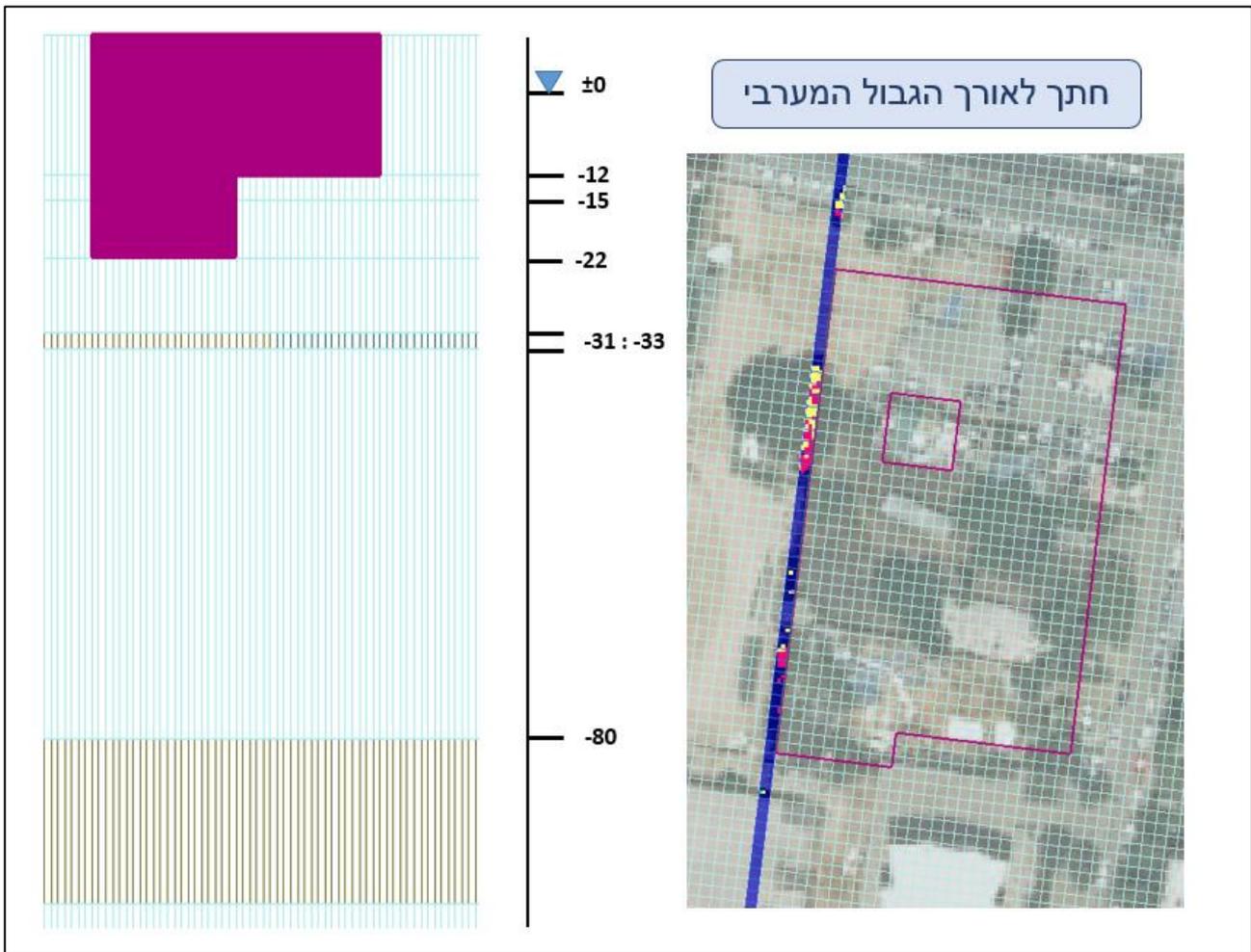
- א. ביצוע מקטע מחורץ של 5 מ' לפחות,
- ב. המקטע המחורץ יתחיל בעומק מספר מטרים מתחת למפלס מי התהום, כך שתתאפשר שפילה דינמית ללא שאיבת אוויר
- ג. המקטע המחורץ יסתיים מעל תחתית קירות הדיפון, על מנת לשאוב מול הקירות ולהקטין את ספיקת השאיבה על מנת לעמוד ביעדים אלה, ובהתייעצות עם מזמין העבודה ויועצי הביסוס, נקבעה תחתית קיר הדיפון סביב החפירה ברום -12 מ', ובפיר המעליות -15 מ', ורום הפרפורציות -5 עד -10 בחפירה, -6 עד -12 בפיר. שכבת היעד להחדרה היא האופק התחתון של אקוויפר B.

תרחיש 9 מציג חתך רוחב במודל, העובר דרך פיר המעלית, עבור תרחיש 3.

תרחיש 9: חתך רוחב במודל בתרחיש 3, החתך עובר דרך פיר המעלית



תרשים 10: חתך אורך לאורך הגבול המערבי של המודל



3.5. תרחיש 4 – העמקת קירות הדיפון והנחת מפלס התחלתי גבוה מהקיים (Sc4)

תרחיש זה בדק את אותם מאפייני תכנון כמו תרחיש 3, אך עם תנאי התחלה שמרניים של מפלס +0.5 מ' בכל האתר. תרחיש זה מיצג את המפלס המקסימאלי הלוקח בחשבון עליה בעקבות המילוי החוזר בעונת החורף ולכן מומלץ לבחינה.

3.6. סיכום תוצאות תרחישים 3 ו- 4

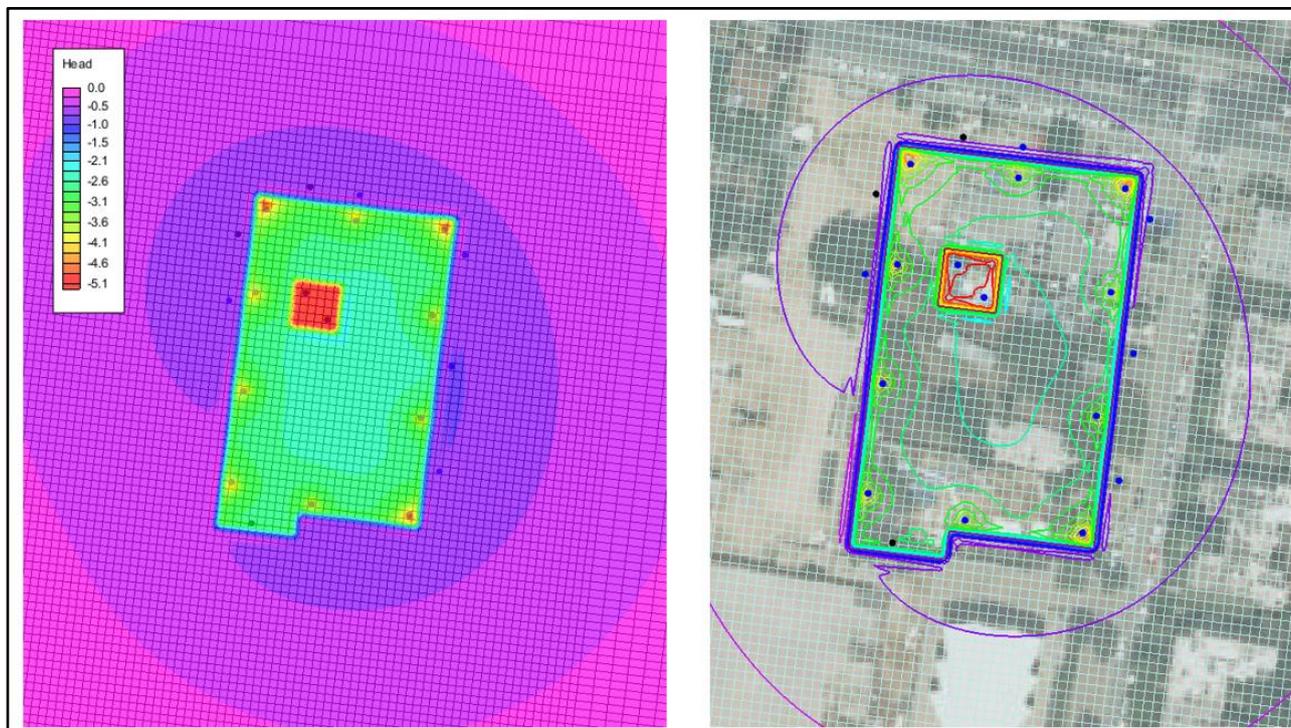
בתרחישים אלה הוצבו 10 קידוחי שאיבה בשטח החפירה, וקידוח שאיבה אחד בשטח הפיר. עקב העמקת הקירות ניתן להשיג שפילה אחידה בקירוב על פני שטח החפירה והפיר, באמצעות מס' קטן יותר של קידוחים. עקב החתך התורם המצומצם של הקידוחים מומלץ להרחיב את מספר הקידוחים ביחס לתוצאות המודל.

מפלסי היעד הושגו באמצעות שאיבה כוללת של 135 מק"ש. ספיקת ההחדרה נקבעה על 150 מק"ש, ספיקת החדרה המבטאת החדרה עודפת של 10%, למקרה של תקלה או צורך זמני בהגדלת השאיבה.

יודגש כי המודל בחן ספיקה דרושה להשגת מפלס היעד בדיוק. קביעת מספר הקידוחים וספיקות השאיבה וההחדרה תבוצע תוך מתן יתירות הנדסית למקרה של תקלות ומצבים לא צפויים, כפי שיפורט בפרק הסיכום וההמלצות.

תרשים 11 מציג את תוצאות הרצת המודל בתרחיש 3. ניתן לראות את פירוס המפלסים בשכבת המודל העליונה, הן בפורמט של קונטורים קווים (מימין), והן בפורמט של קונטורים משטחיים (משמאל), המציגים באופן ברור יותר את אחידות המפלס ע"פ שטח החפירה ובפיר המעלית.

תרשים 11: פירוס מפלסים בתרחיש 3, קווי קונטור מימין ומשטחי קונטור משמאל



תרשים 4 בחן מבנה זהה של המודל, עם תנאי התחלה של מפלס +0.5 על פני כל האתר. תוצאות הרצת המודל מראות כי נדרשת הגדלה של 20% בספיקת השאיבה הכוללת, דהיינו 161 מק"ש, על מנת להגיע לאותם מפלסי יעד כמו בתרחיש 3.

3.7 תרחיש 5 – שילוב קידוחי החדרה רדודים ועמוקים (Sc5)

תרשים 5 (Sc5) מיועד לבחינת מערך השפילה תוך הגדרת יתירות הנדסית של 150% בספיקת השאיבה ביחס לתרחיש 3, דהיינו ספיקת שאיבה של 203 מק"ש במקום 135 מק"ש בתרחיש 3. ספיקת ההחדרה נקבעה כ- 223 מק"ש, כלומר החדרה עודפת של 10% ביחס לשאיבה.

לצורך החדרת ספיקה שעתית זו נבחר מערך קידוחי החדרה המשלב ארבעה קידוחי החדרה עמוקים, לאופק התחתון של אקוויפר B, וארבעה קידוחי החדרה רדודים, לאופק העליון של אקוויפר B. סה"כ שמונה קידוחי החדרה.

ניתן יהיה למקם את הקידוחים בסמיכות מכיוון שקימת הפרדה הידראולית באתר.

מכיוון וקירות הדיפון רדודים, ואינם מתוכננים להגיע עד שכבת החרסית החוצצת בין האופקים של אקוויפר B (גם לא אם יועמקו לפי המוגדר בתרחיש 3), החדרה לאופק העליון של אקוויפר B צפויה להגדיל את גרדיאנט הזרימה מכיוון קידוחי החדרה כלפי אזור החפירה. תרחיש Sc5a בחן את מידת השפעה של קידוחי החדרה רדודים על המפלס במרכז החפירה, באמצעות סימולציה של ספיקות שאיבה והחדרה זהות, כאשר כל שמונת קידוחי החדרה עמוקים.

נמצא כי עבור אותן ספיקות, המפּלס במרכז החפירה בהחדרה עמוקה נמוך בכחצי מטר לעומת שילוב של החדרה רדודה ועמוקה. כלומר – על מנת להשיג אותו מפּלס יעד, כאשר קידוחי ההחדרה עמוקים תידרש ספיקה נמוכה יותר. יחד עם זאת, עלות ביצוע של קידוח רדוד נמוכה משמעותית ביחס לעלות ביצוע קידוח עמוק. כמו כן, יתכן כי תכנית שימור הנגר תכלול קידוחי החדרה רדודים, כך שניתן יהיה לעשות שימוש בקידוחי ההחדרה המיועדים לשפילה, לצורך החדרת מי נגר בטווח הארוך. על פי דו"ח בניה משמרת נגר (LDD, 2020) באתר נדרשים 4 קידוחי החדרה. לכן מומלץ לבצע קידוחים אלה כחלק ממערך ההשפלה המתוכנן באתר וכדי להפחית את ההשפעה ההדדית בין קידוחים סמוכים.

3.8. תרחיש 6 – ביצוע פקק ג'ט גראוט (Sc6)

לבקשת מזמין העבודה, נבחנה באמצעות המודל אפשרות ביצוע פקק ג'ט גראוט על פני כל שטח החפירה, כאשר קירות הדיפון מגיעים, לפי התכנון הראשוני, לרום של 6.2- מ'. עובי הפקק 1 מ', ברום 4.7- עד 5.7 מ', כך שיסתיים חצי מטר מעל תחתית קירות הדיפון. המוליכות ההידראולית של שכבת הפקק נקבעה כ- 0.1 מ'/יום.

בשיטה זו, ספיקות השאיבה הצפויות נמוכות מאד, ואת המים הנשאבים ניתן לסלק לניקוז העירוני, או להחדיר בקידוח רדוד. לפי התקן הגרמני הדליפה דרך הפקק צריכה לעמוד על 4.5 מק"ש לכל 1000 מ"ר של פקק וקירות דיפון מתחת למים. עבור אתר בשטח של כ- 4,500 מ"ר, צפויה לפיכך דליפה של כ- 20 מק"ש.

תוצאות המודל מצביעות על צורך בשאיבת כ- 12 מק"ש על מנת להגיע למפּלס היעד בשטח החפירה. ערך זה דומה לערך התקן הגרמני, ומהווה הערכה בלבד. יודגש כי ביצוע הפקק באופן תקין כך שתובטח, בין היתר, דליפה מינימלית, הינה באחריות קבלן הביצוע.

לצרכי תכנון אנו סבורים שמומלץ לקחת ערך גבוה יותר של כ- 50 מק"ש וידרשו לפחות שני קידוחי החדרה (ניתן לעשות שימוש בקידוחי ההחדרה הרדודים לשימור נגר). עדיין בכל תרחיש פתרון של פקק על שטח גדול יחסית של למעלה מ- 4 דונם, הוא פתרון יקר ביחס לחלופה של מערך קידוחי שאיבה והחדרה מלא ולכן פחות מומלץ ביחס לפתרון של השפלת מי תהום.

לאור ההצלחה בביצוע של החדרה בהיקף של 220 מק"ש בפרויקט סמל מרכז במגרש 123, יש גם ודאות ביכולת לבצע החדרה בהיקף זה באתר.

4. סיכום הממצאים והמלצות

לצורך תכנון מערך שפילה בפרויקט סמל צפון הוצב מודל זרימה תלת מימדי, ונבחנו מספר חלופות תכנוניות של עומק קירות הדיפון, עומק ואורך המקטע המחורץ של קידוחי השאיבה, מספר קידוחי ההחדרה ושכבת היעד להחדרה, וביצוע פקק ג'ט גראוט על פני כל שטח החפירה.

ניתוח תוצאות הרצת התרחישים מצביע על מספר המלצות ומסקנות בנוגע לתכנון מערך השפילה:

א. מומלץ להעמיק את קירות הדיפון החדשים סביב החפירה לעומק של 12 מ', ואת קירות הדיפון של פיר המעליות לעומק 15 מ'. זאת על מנת לאפשר ביצוע קידוחי שאיבה עם מקטע מחורץ באורך של 5 מ' לפחות, שימוקם מספר מטרים מתחת למפלס מי התהום ומעל תחתית קירות הדיפון.

ב. על מנת להגיע למפלס היעד הן בשטח החפירה והן בפיר המעליות, נדרשת ספיקת שאיבה של כ – 160 מק"ש. מומלץ לתכנן את מערך קידוחי השאיבה וההחדרה כך שיאפשר יתירות הנדסית של כ – 140%, על מנת לאפשר פעילות רציפה של המערכת במקרי תקלה, פגיעה בקידוחים, וכשלים בלתי צפויים אחרים כתוצאה מששינוי בתנאי קרקע.

ג. על סמך הנאמר לעיל הספיקה המומלצת לצרכי תכנון הנה 230 מק"ש.

ד. על סמך הערכה כלכלית ראשונית של ביצוע פקק ג'ט גראוט על פני כל שטח החפירה. מפלסי היעד בתכנון הקיים מצריכים מערך מצומצם יחסית של קידוחי שאיבה והחדרה, אך ככל הנראה אין הצדקה כלכלית לביצוע פקק.

ה. היתרון ההידרולוגי של החדרה עמוקה (לאופק התחתון של אקוויפר B) בהשוואה להחדרה רדודה (לאופק העליון של אקוויפר B), הינו בצמצום ההשפעה על זרימה חוזרת מאזורי ההחדרה כלפי שטח החפירה. יתרונו של קידוחים רדודים הוא בעלותם הנמוכה משמעותית, ובאפשרות לניצול שלהם כחלק מתכנית שימור הנגר. יש לבחון את מכלול השיקולים בהתייעצות עם צוות הפרוייקט.

ו. לצרכי תכנון ראשוני על סמך תוצאות המודל הזרימה ונתוני שאיבות והחדרות בפועל במגרש 123 אנו ממליצים על ביצוע מערך מי תהום שיכלול את המרכיבים הבאים:

א. 12 קידוחי שאיבה בבור החפירה (עקב החתך המצומצם של הקידוחים נדרשת יתרות הנדסית במספר קידוחי השאיבה)

ב. 2 קידוחי שאיבה בפיר המעלית

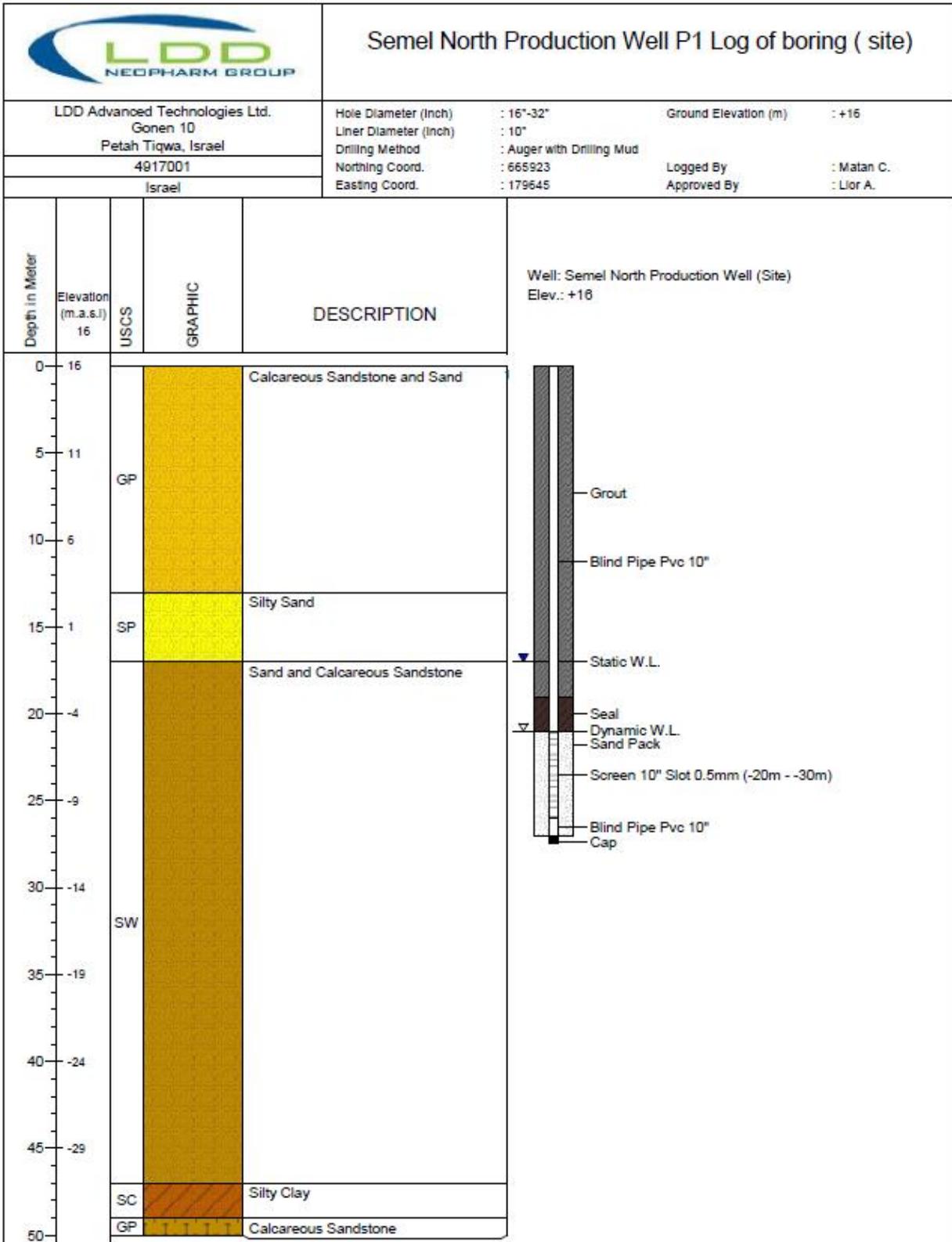
ג. 4 קידוחי החדרה עמוקים (ברצועה שאינה מעל מרתפי הבנין)

ד. 4 קידוחי החדרה רדודים (בשילוב עם הפתרון של שימור הנגר ברצועה שאינה מעל מרתפי הבנין)

ה. תכנון ראשוני למבנה קידוחי ההחדרה השאיבה והניטור מוצג בנספח 1.

נספח 1

מבנה קידוחי שאיבה, החדרה וניטור אתר סמל צפון

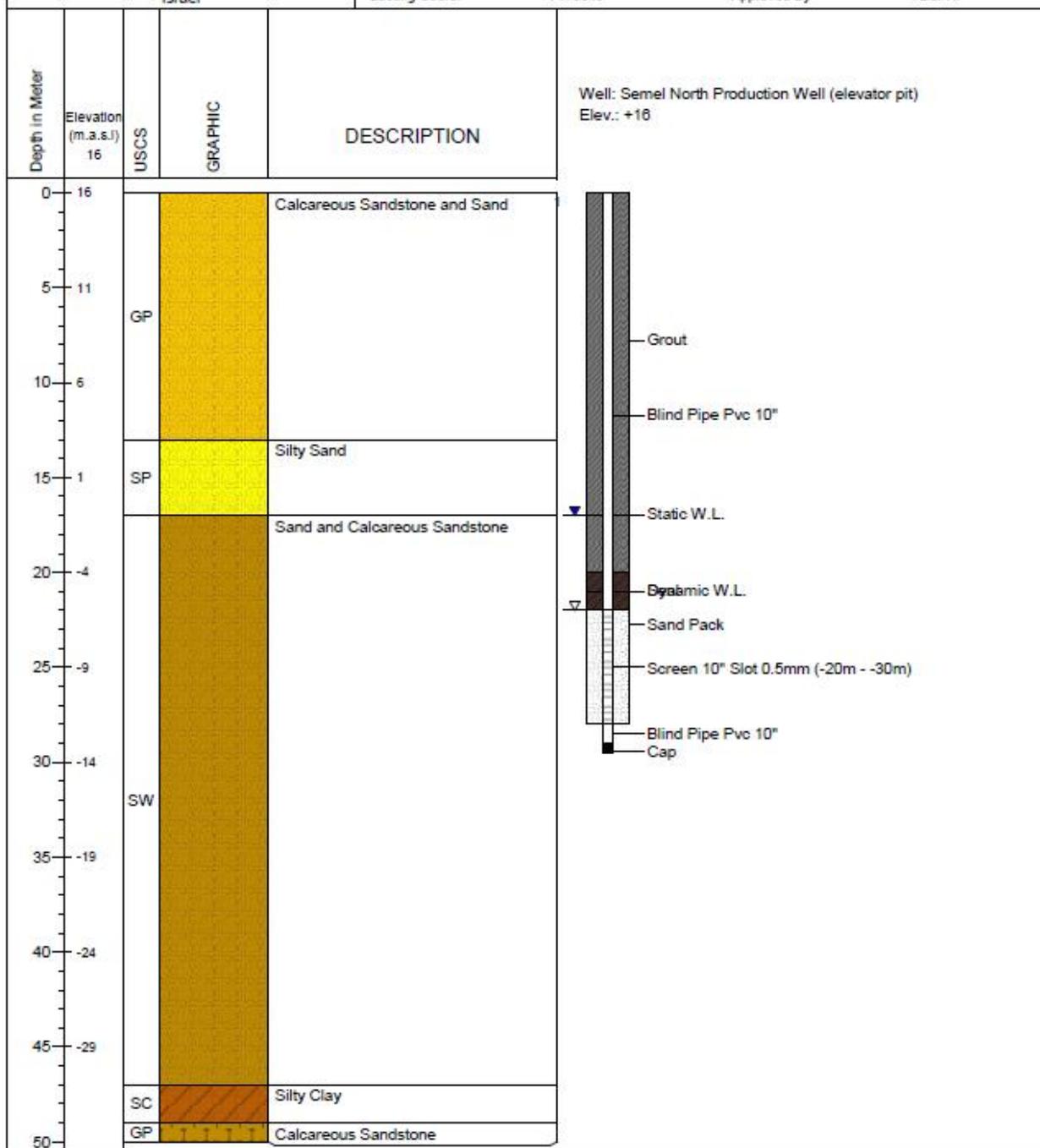




Semel North Production Well P2 Log of boring (elevator pit)

LDD Advanced Technologies Ltd.
Gonen 10
Petah Tiqwa, Israel
4917001
Israel

Hole Diameter (Inch) : 16"-32"
Liner Diameter (Inch) : 10"
Drilling Method : Auger with Drilling Mud
Northing Coord. : 665923
Easting Coord. : 179645
Ground Elevation (m) : +16
Logged By : Matan C.
Approved By : Lior A.

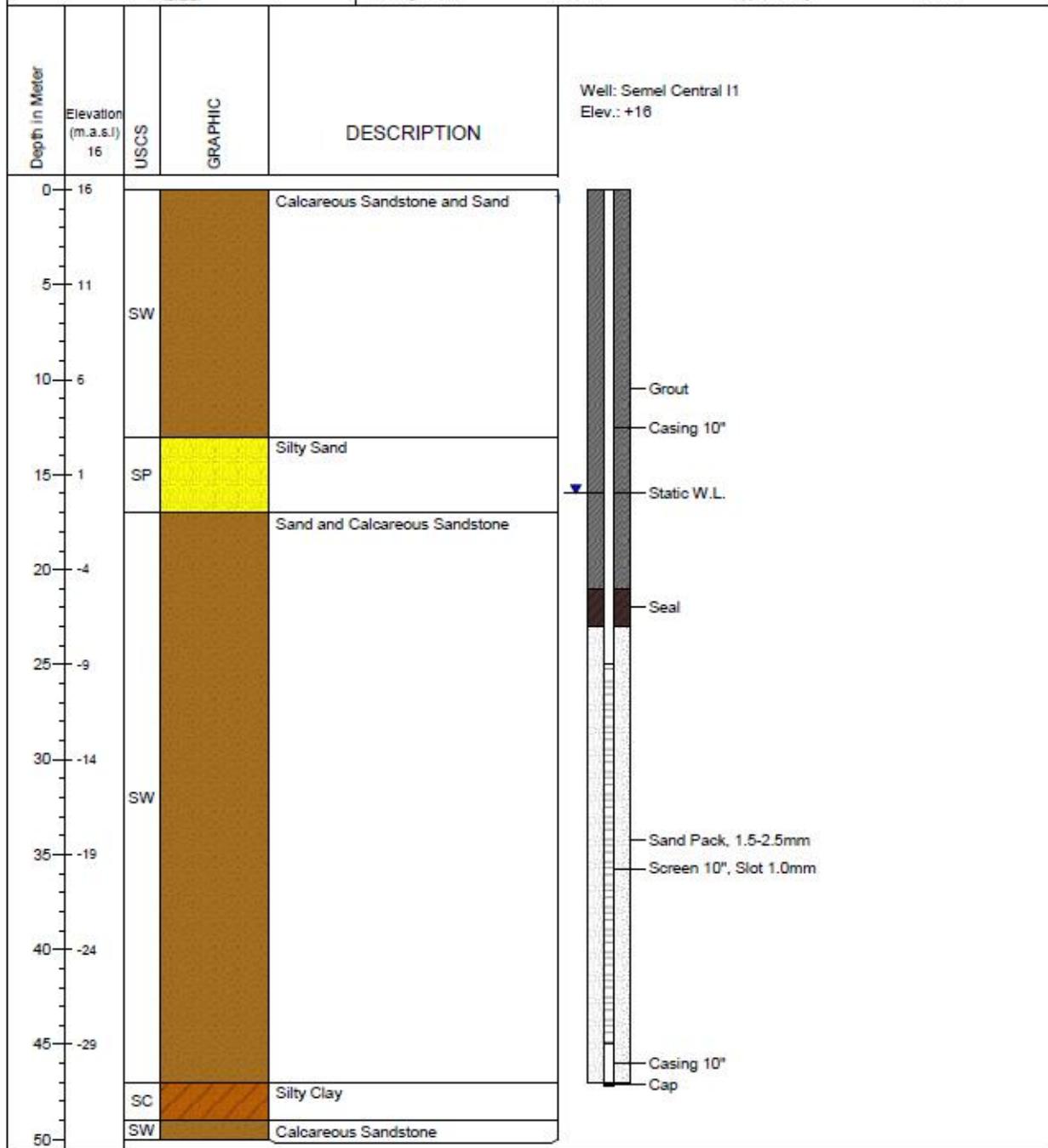




LOG OF BORING - Semel North Shallow Injection Well I1

LDD Advanced Technologies Ltd.
Gonen 10
Petah Tiqwa, Israel
4917001
Israel

Hole Diameter (Inch) : 16"
Liner Diameter (Inch) : 10"
Drilling Method : Auger
Northing Coord. : 666120
Easting Coord. : 179740
Ground Elevation (m) : +16
Logged By : Matan C.
Approved By : Lior A.





LOG OF BORING - Semel Central North Deep Injection Well I2

LDD Advanced Technologies Ltd. Gonen 10 Petah Tiqwa, Israel 4917001 Israel	Hole Diameter (Inch) : 16"	Ground Elevation (m) : +16
	Liner Diameter (Inch) : 10" Drilling Method : Auger Northing Coord. : 666080 Easting Coord. : 179730	Logged By : Matan C. Approved By : Lior A.

