

24/11/2024

לכבוד:
החברה לשירותי איכות סביבה בע"מ

הנדון: דו"ח ממצאי מבחן התכנות SVE/BV ותוכנית לטיפול בקרקע – בח"א 27

סימוכין:

1. סקר היסטורי לקראת פינוי בח"א 27, LDD אפריל 2008
2. סקר קרקע וגז קרקע סבב א' + ב', אקולוג 2013-214
3. סקר קרקע וגז קרקע סבב א' + ב' לודן 2021
4. תוכנית למבחן התכנות לשיקום באמצעות BV/SVE בח"א 27 מאי 2024

שלום רב,

במסגרת חקירת האתר בח"א 27 בחודש אפריל 2008 בוצע באתר סקר היסטורי על ידי חברת LDD אשר איתר אזורים בעלי פוטנציאל לזיהום קרקע כתוצאה מהפעילויות שהתקיימו בהם לאורך השנים. בעקבות ממצאי הסקר, בוצע באתר סקר גז קרקע פאסיבי בחודש דצמבר 2008. הסקר כלל הטמנת דוגמי גז קרקע פאסיביים וממצאיו הצביעו על מספר אזורים בהם אותרו מזהמים. בשנת 2013 בוצע באתר סקר קרקע וגז קרקע על ידי חברת "אקולוג הנדסה בע"מ" אשר מממצאיו עולה כי קיים זיהום קרקע וגז קרקע בחלק מהאתר. בהמשך לנ"ל, בוצע סקר קרקע וגז קרקע משלים בשנת 2014 אשר מממצאיו עולה כי בשבעה מתוך 12 מוקדים שנבדקו, נמצאו חריגות במרכיבים שנבדקו. בשנת 2019 החלה חקירה באתר בניהול החברה לשירותי איכות הסביבה במסגרת פרויקט הלאומי לשיקום קרקעות המדינה "אבן דרך". חברת "לודן" ביצעה סקרי קרקע וגז קרקע במספר סבבים, ממצאי סקרי הקרקע מצביעים על זיהום נרחב במרכיבי VOC, בעיקר MTBE ונפתלן. למעט 3 חריגות, הנמצאות באזור העתיד להיחפר בשל זיהום TPH כל חריגות ה-VOC אותרו החל מעומק 8 מ' והלאה. חתך הקרקע באתר (אזור תחנת הדלק הבסיסית והמוסך) הינו חרסיתי עד עומק 8 מ', ולאחריו שכבת חול קונגלומרט עד לעומק 13 מ', מעומק זה ועד מפלס מי התהום בעומק 20 מ' ניתן למצוא חול. השטח המיועד לשיקום הינו כ-8 דונם והטיפול הנדרש הינו מעומק 7 מ' ועד לעומק 1 מ' מעל מפלס מי תהום (כ-19 מ'). לצורך שיקום החתך העמוק באזור תחנת התדלוק הבסיסית והמוסך חברת אל.די.י טכנולוגיות מתקדמות בע"מ (LDD) נבחרה לבצע מבחן התכנות לשיקום באמצעות BV/SVE. לאור הממצאים שהעלו כי הזיהום פרוש על פני שטח נרחב, חתך הקרקע, החולי בעיקרו, ולאור אופי המזהם, הוחלט על ביצוע מבחן שדה משולב לבחינת יעילות שיקום הקרקע באמצעות SVE ו-BV. ביצוע המבחן על בסיס התוכנית שאושרה על ידי המשרד להגנת הסביבה (סימוכין 4) כלל התקנת תשתית של בארות BV/SVE (שאיבה/החדרה) לעומקים 12 ו-17 מ' ושש בארות נוספות לניטור בעומקים מקבילים (סך הכל 8 בארות). מבחן התכנות לשיקום באמצעות SVE/BV, בוצע בתאריך ה-9-10 ביולי 2024. דוח זה מסכם את תוצאות המבחן הכוללים ניתוח רדיוסי השפעה, ניתוח עומסי מזהמים לטיפול, חישוב של קצב פירוק מזהם באמצעות ניתוח דעיכת חמצן ותוכנית לטיפול.

בברכה,



איל מושקוביץ
הדרוגיאולוג

eyalmo@lddtech.com

ממצאי מבחן התכנות לטיפול בקרקע באמצעות SVE/BV ותוכנית לטיפול בקרקע – בח"א 27



גרסה 4.1

תאריך	חתימה	גרסה	שם	
08/08/204		2.0	אייל	מחבר הדו"ח
07/11/2024		3.0	מושקוביץ	
18/11/2024		4.0		
08/08/2024			נמרוד גפני	מאשר הדו"ח

תוכן עניינים

1.	רקע.....	3
2.	ממצאי סקר קרקע של אזור המבחן.....	5
2.1	סיכום ממצאים.....	5
3.	מבחן ההיתכנות.....	5
3.1	שיטות השיקום הנבדקות.....	5
3.2	תשתית המבחן.....	6
3.3	מהלך המבחן.....	6
4.	תוצאות.....	8
4.1	חדירות ומודל לקביעת רדיוס השפעה.....	8
4.1.1	שאיבה מבאר טיפול 17m.....	8
4.1.2	השפעה אנכית.....	9
4.1.3	שאיבה מבאר טיפול 12m.....	10
4.1.4	השפעה אנכית.....	10
4.2	סיכום רדיוסי השפעה אפקטיביים.....	11
4.3	ריכוז מזהמים בקרקע וקצב סילוק מזהמים- טיפול באמצעות SVE.....	12
4.4	ריכוז החמצן בתת הקרקע בבארות החדרה וניטור.....	14
4.4.1	ריכוז CO ₂ בבארות.....	14
4.4.2	דעיכת ריכוז חמצן בבארות לאורך 5 ימים וחישוב מקדם דעיכה.....	15
4.5	חישוב קצב פירוק מזהמים על בסיס דעיכת חמצן.....	15
5.	סיכום ממצאים.....	16
6.	תכנית שיקום עקרונית מוצעת.....	17

נספח א'- חישוב רדיוס השפעה

נספח ב'- חישוב הערכת מסת מזהם חומרים אורגנים נדיפים בשטח הטיפול

נספח ג'- תעודות מעבדה

רשימת תרשימים

- 4 תרשים 1. התפרשות הזיהום חתך עמוק בח"א 2024
- 7 תרשים 2. מיקום תשתית מבחן ההתכנות
- 9 תרשים 3. השתנות תת-הלחץ כתלות במרחק מבאר השאיבה 17m - התאמה מעריכית
- 11 תרשים 4. השתנות תת-הלחץ כתלות במרחק מבאר השאיבה 12m - התאמה מעריכית

רשימת טבלאות

- 5 טבלה 1. ממצאי שדה ותוצאות מעבדה בקידוח T-34
- 6 טבלה 2. מפרט בארות שאיבה/החדרה וניטור
- 8 טבלה 3. תת לחץ בבארות במהלך שאיבה מבאר 17m SVE-1
- 10 טבלה 4. תת לחץ בבארות במהלך שאיבה מבאר טיפול 12m
- 11 טבלה 5. סיכום רדיוסי השפעה בשאיבה מעומק 12 ו-17 מ'
- 13 טבלה 6. תוצאות אנליזה לאוויר הנשאב ספיקה שאיבה מקסימלית
- 13 טבלה 7. מודל סילוק מזהמים*
- 14 טבלה 8. ריכוז חמצן/פד"ח התחלתי וריכוזים לאחר טיפול

1. רקע

בח"א 27 (להלן – "האתר") משתרע על שטח של כ- 508 דונם מיקום האתר מוצג בתרשים 1. האתר החל לפעול בסוף שנות ה-60 של המאה הקודמת, והוא פעל במשך כ- 50 שנים, עד להפסקת הפעילות בו בסוף שנת 2009 לערך. הפעילות באתר כללה תחנות תדלוק למטוסים, תחנות תדלוק לכלי רכב, אזורי טיפול ברכבים, תחנות כח, אזורי טיפול בציד מכני הנדסי כבד, רחבות טיפול במטוסים, וכן מבני מנהלה שונים.

האתר ממוקם בשוליו המזרחיים של אקוויפר החוף. מפלס מי התהום באזור הינו ברום של כ- 20 מ' ביחס לפני הים. כוון זרימת מי התהום באזור הינו לכוון מערב / צפון-מערב. האתר הנסקר ממוקם מעל אקוויפר החוף באזור המוגדר כאזור סיכון ב' - אקוויפר ראשי בו הנזק ניתן לתיקון או אקוויפר משני בו הנזק אינו ניתן לתיקון. במהלך השנים בוצעו באתר חקירות סביבתיות לאיתור זיהום קרקע וגז קרקע בעקבות הפעילויות שהתקיימו בו בעבר.

סקר היסטורי

באפריל 2008 בוצע על ידי "אל. די. די. טכנולוגיות מתקדמות בע"מ" (LDD) סקר היסטורי באתר. במסגרת הסקר ההיסטורי אותרו 17 אזורים שהוגדרו כבעלי פוטנציאל גבוה לזיהום קרקע כתוצאה מהפעילויות שהתקיימו בהם לאורך השנים. פעילויות אלה כוללות, בין היתר, תחנות תדלוק כלי רכב ומטוסים, סככות טיפול ברכב, סככות טיפול בגרטורים, חדרי דוודים, תחנות כח, עמדות שמנים ועוד.

סקר גז קרקע פאסיבי

בדצמבר 2008 בוצע באתר סקר גז קרקע פאסיבי. הסקר בוצע על ידי LDD על פי תכנית דיגום שאושרה על ידי המשרד להגנת הסביבה. הסקר כלל הטמנת 186 דוגמים פאסיביים באזורים שהוגדרו בסקר ההיסטורי כבעלי פוטנציאל זיהום קרקע גבוה. ממצאי הסקר הצביעו על מספר אזורים בהם אותרו מוקדים של מזהמים שנספחו לדוגמים. מרכיבי דלקים אותרו בשלושה אזורים עיקריים – ברחבת האגס הקטן, בגף ציוד קרקע דרג א' ובאזור גף הרכב הישן. בנוסף נמצאו במרבית האזורים מוקדים של חומרים אורגנים מוכללים ובכלל זה PCE (טטרה-כלורואתילן).

סקר גז קרקע אקטיבי וסקר קרקע (שלב I)

בפברואר 2013 הוגש דוח המסכם את ממצאי החקירה (שלב I) של סקר גז קרקע אקטיבי וסקר קרקע שבוצע באתר. הסקר בוצע על ידי חברת "אקולוג הנדסה בע"מ" וכלל ביצוע של 77 קידוחי קרקע ב- 14 מוקדי זיהום פוטנציאליים, וביצוע אנליזות של כלל מרכיבי דלקים (TPH), חומרים אורגנים נדיפים (VOCs), מתכות כבדות, PCBs ו-PAHs על הדוגמאות שניטלו. בנוסף בוצע סקר גז קרקע אקטיבי שכלל 50 קידוחים ב- 14 מוקדי זיהום פוטנציאליים, וביצוע אנליזה של TO-15 ברמת רגישות של 20 ppbv. ממצאי הסקר העידו על זיהום קרקע וגז קרקע בחלק מהאזורים שנדגמו, ולכן הוצע להרחיב את החקירה הסביבתית לצורך תיחום הזיהום.

סקר קרקע משלים (שלב II)

ביוני 2014 הוגש דוח ממצאי סקר קרקע וגז קרקע משלים (שלב II), אשר בוצע על ידי "אקולוג הנדסה בע"מ" וכלל ביצוע 45 קידוחי קרקע וביצוע אנליזה של TPH, VOCs ו-SVOCs, וכן ביצוע של 14 קידוחי גז קרקע אקטיביים וביצוע אנליזה של TO-15 ברמת רגישות של 1 ppbv, ו- 2 קידוחי ניטור למי תהום (לא נידונים במסגרת מסמך זה). ממצאי הסקר סייעו בתיחום האזורים שהתגלו כמזהמים בסקר הקודם (שלב I), אולם ממצאי העידו כי לא כל האזורים שנחקרו בוצע תיחום של הזיהום במרחב (תיחום אופקי ואנכי).

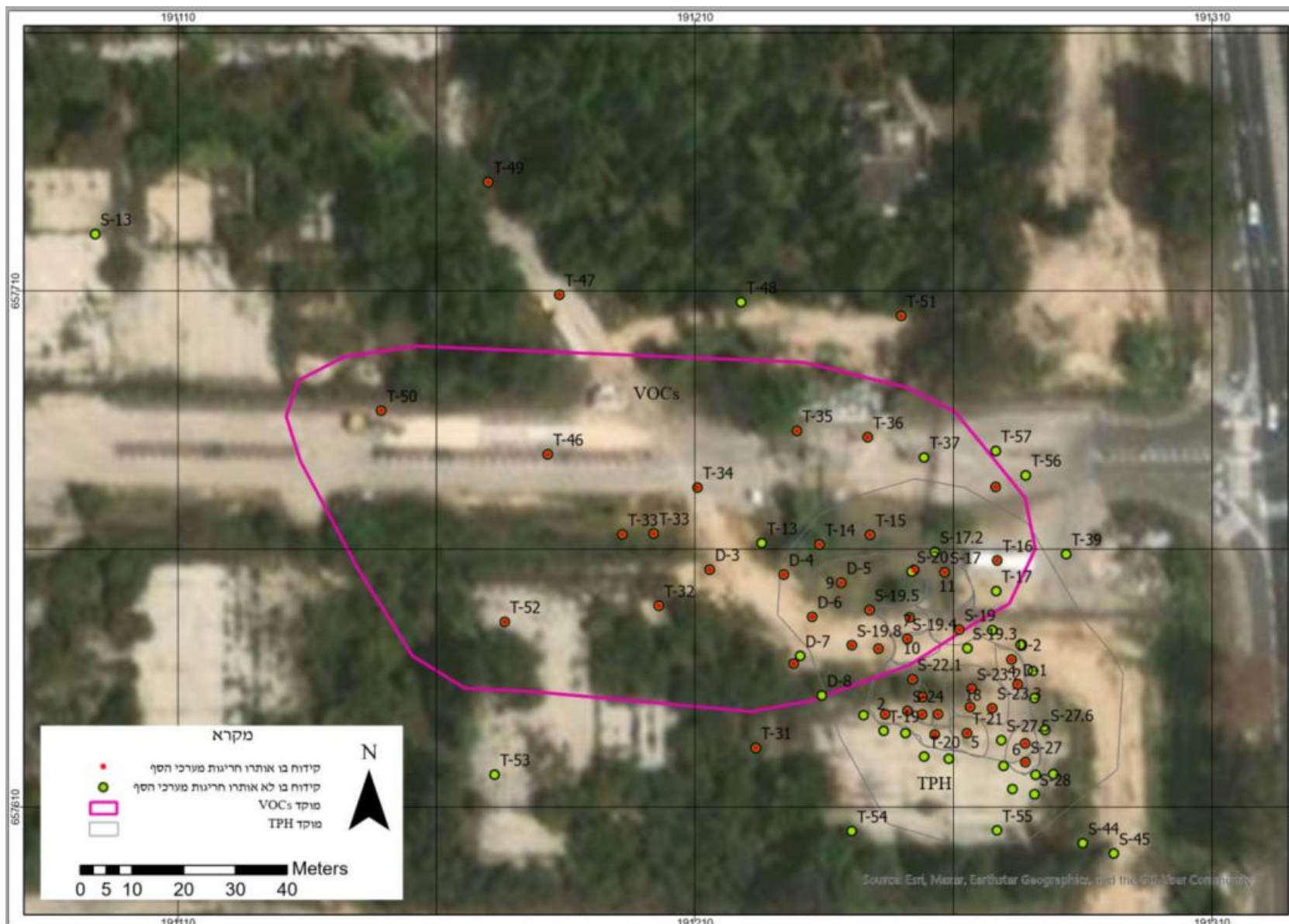
סקר קרקע תחת החברה לשירותי איכות הסביבה

בשנת 2019 החלה חקירה באתר בניהול החברה לשירותי איכות הסביבה במסגרת החקירה ביצעה חברת "לודן". סקרי קרקע וגז קרקע במספר סבבים. באזור בו הייתה ממוקמת תחנת הדלק הבסיסית והמוסך ממצאי סקרי קרקע מצביעים על זיהום נרחב במרכיבי VOC, בעיקר MTBE ונפתלן. החל מעומק 8 מ' והלאה (להלן: מוקד VOC's). בנוסף, קיים מוקד אשר נמצא מזוהם בעיקר ב-TPH עד לעומק של כ- 20 מ' (להלן: מוקד TPH).

בהמשך להערכות לשיקום In-situ של החתך העמוק באזור תחנת התדלוק הבסיסית והמוסך נבחרה חברת LDD לתכנן ולבצע פיילוט שיקום משולב בשיטת SVE/BV. שטח מתחם החתך העמוק הנדרש בטיפול הינו כ-8 דונם. תרשים 1 מציג את התפרשות הזיהום במרחב המועד לטיפול נכון לממצאי חקירת קרקע יוני 2023.

על פי הקידוחים להתקנת בארות BV/SVE שבוצעו באתר, חתך הקרקע באתר הינו חרסיתי עד עומק 7.5 מ', ולאחריו שכבת חול חום -חול חרסיתי עד לעומק 10.5 מ', לאחר מכן, שכבה בעובי 4 מ' של מצע אלוביאי (השקעה נחלית) של חצץ גיר-צור בגודל של 3-10 ס"מ במטריקס של חול חרסיתי-חרסית חולית. החל מעומק 14 מ', הקרקע חולית צהבהבה, דקת גרגר. השטח המיועד לשיקום הינו כ-8 דונם והשיקום הנדרש הינו מעומק 7 מ' ועד לעומק 1 מ' מעל מפלס מי תהום (כ-19-20 מ').

תרשים 1. התפרשות הזיהום חתך עמוק בח"א 2024



בח"א 27- ממצאי פיילוט לשיקום קרקע

עמוד 4 מתוך 17

2. ממצאי סקר קרקע של אזור המבחן

2.1. סיכום ממצאים

במסגרת סקר הקרקע לחקירת החתך העמוק שבוצע במתחם תחנת הלק הבסיסית בוצעו כ-30 קידוחים בסבב האחרון של החקירה (יוני 2023), עד למועד כתיבת דוח זה, תחום התפרשות הזיהום לכיוון מערב ודרום מערב טרם הסתיים. TPH - ריכוזי TPH חורגים (מעל 350 מ"ג/ק"ג) אותרו בכ-6 קידוחים, בקידוח T-21 בעומק מ' נמדד ריכוז 12,462 מ"ג/ק"ג הריכוז הגבוה ביותר. בקידוח T-18 בעומק 20.5 מ' (אזור המריחה) נמדדו 1,881 מ"ג/ק"ג TPH. VOC - ברוב הקידוחים לא אותרו חריגות בערכי ה VOC למעט MTBE ונפתלן. תוצאות ריכוז מזהמים עבור קידוח T-34 מוצג בטבלה 1 ריכוז ה MTBE בקידוח הנ"ל הינו השני בגובהו באזור המבחן (אחרי T-18) ולכן בארות הפיילוט הותקנו בסמיכות לקידוח. השטח בו ממוקם קידוח T-18 צפוי להחפר ולכן לא נבחר כאזור לפיילוט. נפתלן – נמדדים ריכוזים של המזהם באזור שבו הייתה ממוקמת תחנת התדלוק (D-5), בעומק 4.5 מ' 13.6 מ"ג/ק"ג ובעומק 8-10 (בריכוז 4.00-4.57) וכן בקידוחים הממוקמים בשטח המיועד לשיקום המרוחקים מהמוקד של תחנת התדלוק, אך בקידוחים אלו הריכוזים הגבוהים ביותר נמדדים בעומק, בתחום החתך הקפילרי (18-20 מ').

לאור ממצאי הסקר, נקבע כי מבחן ההתכנות יבוצע בקרבת קידוח T-34. בארות השאיבה/החדרה מוקמו בסמוך לקידוח זה ובארות הניטור מוקמו במרחקים על בסיס תוכנית המבחן, עם שינויים קלים כתוצאה ממגבלות בשטח, מרחקים בין בארות הטיפול מפורטים בפרק הבא. ממצאי שדה ותוצאות המעבדה של קידוח T-34 מסוכמים בטבלה 1 (לודן, 2020).

טבלה 1. ממצאי שדה ותוצאות מעבדה בקידוח T-34

קידוח	דוגמה	עומק	PID	TPH	MTBE	Naphtalene
T-34	AO-2	8	11.6		8.82	LOQ>
T-34	AO-3	10	37		16.34	LOQ>
T-34	AO-4	13	138	LOQ>	LOQ>	LOQ>
T-34	AO-5	15	9.8		1.40	LOQ>
T-34	AO-6	18	155		12.07	LOQ>
T-34	AO-7	20	140	LOQ>	7.44	LOQ>

3. מבחן ההיתכנות

3.1. שיטות השיקום הנבדקות

לאור ממצאי חקירת הקרקע הוחלט לבחון טיפול לתווך הלא הרווי בחתך העמוק באמצעות שיטת ה-SVE ו-BV. שיטת ה-SVE מבוססת על סילוק מסת מזהם נדיף ע"י יצירת תת-לחץ בבארות טיפול וסילוק האוויר הנשאב למתקן טיפול באתר. שיטה זו יעילה עבור מזהמים נדיפים בעלי לחץ אדים גבוה (בד"כ מעל 0.5 מ"מ כספית) כגון מרכיבי דלקים MTBE ו-BTEX וכן בקרקעות בעלות חדירות גבוהה לאוויר (חוליות ויבשות). בנוסף, שאיבת האוויר מתת-הקרקע גורמת לחדירת אוויר אטמוספרי המכיל 20.9% חמצן ובכך מגבירה את קצב פירוק המזהמים הטבעי (ביולוגי).

שיטת Bio-Venting מבוססת על פרוק מיקרוביאלי של פחמימינים (ביניהם גם מרכיבי דלקים) באמצעות אספקת תנאים מיטיביים (החדרת אוויר בספיקות נמוכות) לאוכלוסיה המיקרוביאלית הטבעית בקרקע. השיטה מאפשרת פירוק מהיר למדי של מרכיבי הדלקים השארתיים הספוחים לקרקע. כעקרון, המחסור העיקרי בקרקע הינו חמצן כמקבל אלקטרונים סופי בתהליך הנשימה. מקובל להתייחס לריכוז של 5% חמצן כמגביל נשימה. לפיכך, אספקת אוויר אטמוספרי (בריכוז חמצן של 20%) מאפשרת נשימה אירובית של האוכלוסיה המיקרוביאלית ובכך מגבירה ומעודדת את פירוק פחמימיני הדלקים. שיטה זו נמצאה יעילה במספר רב של אתרים בעולם והינה הנפוצה ביותר לשיקום אתרים מזהמים בדלקים סמי-נדיפים.

3.2. תשתית המבחן

לצורך ביצוע הפיילוט הותקנו שתי (2) בארות שאיבה/החדרה בסמיכות גבוהה, באזור בו בוצע קידוח T-34. הבארות הותקנו לעומקים 12 ו-17 מ' (על פי תוכנית הפיילוט, הבאר העמוקה תוכננה לעומק 19 מ', אך בכל המקרים בהן בוצע נסיון קידוח לעומק 19 מ', נצפה כי החל מעומק 17-17.5 מ' תכולת רטיבות גבוהה גרמה לקריסה של הקידוח). קדח הבארות נקדח בקוטר 6" וצנרת הבארות בקוטר 3" מ-PVC עם מקטע מחורץ באורך 5 מ' (עבור בארות בעומק 17 מ') ובאורך 4 מ' (עבור בארות בעומק 12 מ'). הקדח מולא חצץ שומשום 1 מ' מעל המקטע העליון המחורץ, תוספת החצץ מעל המקטע המחורץ מאפשרת וקטור זרימה במימד האנכי, בנסיון לכסות את כל חתך הקרקע במינימום פגיעה ברדיוס ההשפעה. מעל החצץ, הקדח מולא בנטונייט גרגירים (בעובי 1.5 מ') ואחריו איטום בדייס (תערובת מלט, חול, בנטונייט אבקה ומים) עד לפי הבאר. כל אחת מהבארות מוגנה בשוחת כביש מבטון בקוטר 50 ס"מ עם מכסה.

מפרט ומיקום בארות השאיבה/טיפול מתוארים בטבלה 2 ותרשים 3.

בארות הניטור הותקנו לעומקים זהים 12 ו-17 מ' במרחקים של 4.10 ו-8.90 מ' מבארות ההחדרה/שאיבה וזוג נוסף, מאונך וצפונית לבארות השאיבה/החדרה במרחק 7 מ' (המרחקים בפועל שונים במעט מתוכנית הפיילוט בהתאם לאילוצי תשתית בשטח) מרחק כל צבר מבארות הטיפול מפורט ב-טבלה 3 וב-טבלה 4. כל באר ניטור הותקנה בנפרד בקדח בקוטר 6" וצנרת PVC בקוטר 3", לכל באר הותקנה שוחת בטון בקוטר 50 ס"מ.

טבלה 2. מפרט בארות שאיבה/החדרה וניטור

באר BV/SVE	קוטר צנרת ("צול")	עומק באר (מ') מפני שטח	עומק מקטע מחורץ (מ' מפ"ש)	עומק חצץ (מ' מפ"ש)	עומק בנטונייט (מ' מפ"ש)	עובי דייס
שאיבה/החדרה (SVE-1-17m)	3	17	17-12	17-11	11-9.5	9.5
שאיבה/החדרה (SVE-1-12m)	3	12	12-8	12-7	7-5.5	5.5
ניטור (SVE-2,3,4-17m)	3	17	17-12	17-11	11-9.5	9.5
ניטור (SVE-2,3,4-12m)	3	12	12-8	12-7	7-5.5	5.5

3.3. מהלך המבחן

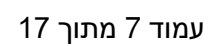
מבחן השדה בוצע ב-9-10 ביולי 2024. המבחן כלל בדיקות מקדימות (Baseline) ושני שלבי ביצוע.

שלב מקדים, כלל בדיקות מקדימות (Baseline), של ריכוז חמצן, פד"ח PID וכל בארות הפיילוט. בדיקות אלה נועדו לצורך קביעת ערכי התחלה בשו"מ (חמצן, פד"ח, ריכוז מזהמים) בטרם מתבצעות פעולות שאיבה/החדרה בבארות.

שלב (I), מבחן SVE בו בוצעה שאיבה מכל אחת מבארות השאיבה **בארבע ספיקות** שונות תוך מדידת לחץ האוויר בבאר השאיבה ובכל אחת מבארות הניטור בעומק המקביל. ספיקת המפוח נקבעה באמצעות ממיר תדר ונמדדה באמצעות מד ספיקה מסוג פטו. לחצי האוויר בבארות נמדדו באמצעות מדי לחץ בעלי יכולת אגירת נתונים. דוגמאות אוויר נלקחו מכל אחת מבארות הטיפול בספיקת השאיבה המקסימלית באמצעות מדוכה, לצורך אנליזה כמותית של הרכב וריכוזי המזהמים באוויר הנשאב. האנליזה בוצעה במעבדת "אל-כם" המוסמכת על ידי הרשות להסמכת מעבדות לתקן ISO17025.

מיד עם סיום שלב השאיבה בוצע שלב (II) של המבחן, בוצעה החדרת אוויר בכל בארות הטיפול יחד, בספיקה מקסימלית למשך 4.5 שעות. למחרת, ב-10 ביולי נבדקו ריכוזי חמצן ופד"ח בבארות ההחדרה והניטור והוחלט על סבב החדרת אוויר נוסף למשך 4 שעות נוספות, זאת מכיוון שהחדרת האוויר בסבב הראשון ארכה 4.5 שעות בלבד (הגנרטור שהושאר למשך הלילה הפסיק לעבוד, זאת על פי ניתוח נתוני דייברים בבארות ההחדרה) ובבארות הניטור המרוחקות נמדד חמצן בריכוז נמוך מאטמוספירה. החדרת האוויר בוצעה ספיקה מירבית ללא מדרגות ספיקה, למעשה מטרת ההחדרה הינה הגעה לריכוזי חמצן גבוהים בבארות הניטור ובדיקות דעיכת חמצן. רדיוס השפעה של טיפול באמצעות BV נגזרו מהמבחן SVE בשלב I.

לאחר הפסקת החדרת האוויר החלה מדידה של דעיכת החמצן בבארות הטיפול ובבארות הניטור. בוצעה מדידה רגעית באמצעות מדי חמצן ופד"ח בתוך תא מדידה ייעודי לאחר שאיבת נפח באר אחת מכל אחת מבארות הניטור/טיפול. המדידות נמשכו לאורך זמן ממושך, כחמישה ימים מהפסקת המפוח.



4. תוצאות

4.1. חדירות ומודל לקביעת רדיוס השפעה

בעבר נעשה שימוש ברדיוס ההשפעה כפועל יוצא של מדידת הלחץ סביב באר השאיבה, היה נהוג להשתמש בכלל אצבע של לחץ 2.5 ס"מ/מ"מ לקביעת גבול ההשפעה. בפועל, קביעה זו הינה הערכת יתר, שכן, לאורך זמן, מתרחשת זרימה אנכית הקרויה "vertical Leakage" ולא רק זרימה אופקית כפי שנמדדת בטווחי זמן קצרים של פיילוט שיקום. קביעת רדיוס השפעה נכון נסמכת על קצב זרימת/החלפות אוויר (pore gas velocities or pore gas exchange), שהן פונקציה של לחץ (תת לחץ) סביב נקודת/באר השאיבה וחדירות/פרמאביליות של הקרקע סביב הבאר.

לרוב, החלפת נפח אוויר של 10 פעמים ביום נחשבת מתאימה עבור SVE^1 ואילו החלפת אוויר אחת ביום מתאימה עבור BV^2 .

כיוון שהספיקה תלויה לינארית בתת-הלחץ, ניתן להתאים עקום המתאר את תת-הלחץ המתאים להחלפת נפחי אוויר הרצויה (T) $[V^{-1}]$ עבור ספיקת אוויר נתונה בבאר (Q) ואורך אנכי של פירוס הזיהום (z):

$$P(R) = \frac{\pi z T P_{well} \theta_a}{Q} R^2 \quad [1]$$

כאשר θ_a הינה תכולת האוויר בקרקע באזור המזוהם, P_{well} תת-הלחץ בבאר השאיבה, Q ספיקת באר השאיבה. רדיוס ההשפעה (R) הינו נקודת המפגש בין העקום המתאר את השתנות תת-הלחץ כתלות במרחק מהבאר (תרשים 3 ו-תרשים 4) לבין העקום המתואר במשוואה [1].

4.1.1. שאיבה מבאר טיפול 17m

ספיקות השאיבה שהתקבלו נעו בין 44-116 מק"ש. על פי השתנות תת-הלחץ בבאר השאיבה ניתן ללמוד על כך כי החדירות של הקרקע לאוויר גבוהה ומאפיינת קרקע חולית (תואם את חתך הקרקע בפועל), כאשר תת הלחץ הגבוה ביותר שנמדד היה 118 מיליבר עבור ספיקה של 116 מק"ש. על פי תת הלחץ כתלות במרחק מבאר השאיבה (טבלה 3 ותרשים 3) ניתן לראות שבשאיבה מעומק 17 מ' מתקבלת השפעה גבוהה בבאר הניטור הסמוכה המרוחקת 4.1 מ' מבאר השאיבה, בהשפעה הולכת וקטנה בהתאמה למרחק. ניתן לראות כי קיימת אנומליית מרחק ביחס לבאר הממוקמת מצפון לבאר השאיבה (SVE-4) (תרשים 2), שכן, הלחצים המתקבלים בבאר הזו נמוכים מהלחצים המתקבלים בבאר SVE-3 המרוחקת יותר. הערכה היא שמכיוון שהקרקע אינה איזוטרופית, קיימים הבדלים בחתך הקרקע בניצב ובאנך ביחס לבארות השאיבה. עלייה בתת הלחץ בכל מדרגת ספיקה בכל אחת מבארות הניטור המקבילות מלמדת על מהימנות התוצאות.

טבלה 3. תת לחץ בבארות במהלך שאיבה מבאר SVE-1 17m

באר	SVE-1 17m	SVE-2	SVE-3	SVE-4	SVE-1 12m
מרחק אופקי מבאר שאיבה (מ')	0	4.10	8.90	7.0	-
ספיקה במפוח (מק"ש)	תת-לחץ (מיליבר)				
44	40.1	4.0	3.3	3.4	5.0
69	62.7	6.0	5.0	5.0	7.4
91	91.7	8.5	7.5	6.4	10.2
116	118.6	10.5	10.0	8.0	13.1

¹ Army, U. S. "Soil Vapor Extraction and Bioventing—Engineering and Design." US Army Corps of Engineers, EM 3-1 (2002): 3-1

² Army, U. S. "Soil Vapor Extraction and Bioventing—Engineering and Design." US Army Corps of Engineers, EM 3-3 (2002): 3-3

לצורך קביעת רדיוס ההשפעה בכל אחת מספיקות השאיבה מבאר בעומק 17m חושבה נקודת המפגש בין העקומים המתוארים בתרשים 3 לבין העקום המתואר במשוואה [1]. פירוס זיהום אנכי לטיפול בכל באר של $z = 5$ m (על פי אורך המקטע המחוץ בבאר) ותכולת אוויר של $\theta_a = 0.2$ (ערך מותאם לקרקע חולית). רדיוס ההשפעה המקסימלי שמתקבל עומד על 8 מ' עבור ספיקה מקסימלית של 116 מק"ש. עבור החלפת 10 נפחי אוויר באותה הספיקה, מתקבל רדיוס השפעה של 4.2 מ' (טבלה 5).

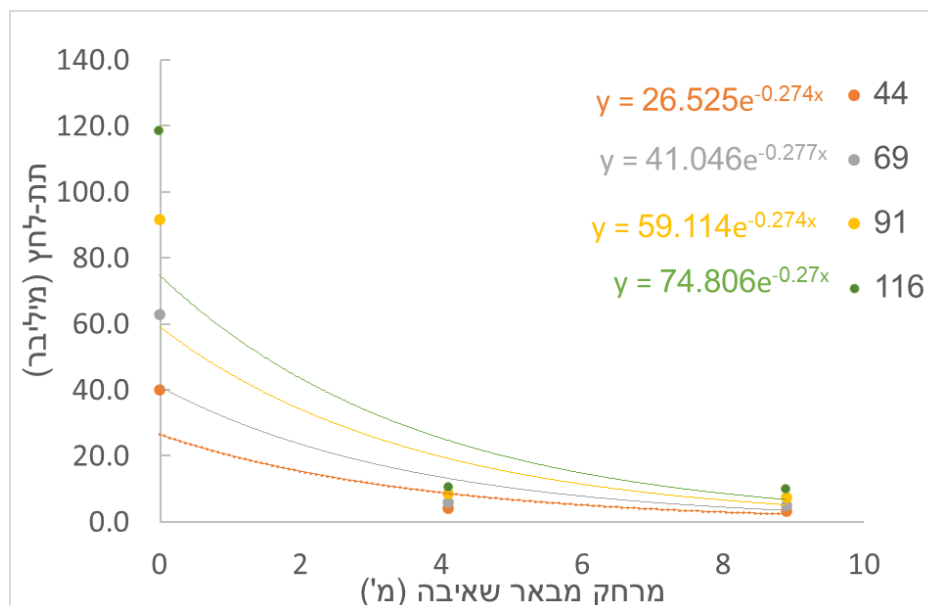
ניתן לראות שרדיוס ההשפעה המתקבל גבוה, כתוצאה מקרקע עם חדירות גבוהה. חשוב להסביר כי הרדיוס המתקבל במודל הינו נמוך מהרדיוס הנמדד רגעית באמצעות שינויי לחצים, שבמקרה הנ"ל בבאר המרוחקת מעל 8.9 מ' מבאר השאיבה נמדדו שינויי לחץ. הסיבה לכך היא שהמודל מתאר החלפה של נפח אוויר בחתך המטופל ולא מדידה רגעית.

דוגמה לחישוב המודל לקביעת רדיוס השפעה מתואר בנוסח א'.

4.1.2. השפעה אנכית

הבט נוסף בבדיקה של התכנות הטיפול היא השפעת השאיבה בוקטור אנכי, כלומר מהי ההשפעה בשאיבה מבאר בעומק 17m על חתך הקרקע בעומק 12 מ'. על פי התוצאות (טבלה 3) ניתן לראות השפעה חד משמעית בעומק 12 מ'. כאמור, תוצאה מהימנה, היא עלייה בתת הלחץ עם העלייה בספיקת השאיבה. חשוב לציין כי מעטפת החץ של קידוח ההחדרה העמוק מגיע עד 11 מ' מפני הקרקע ולכן השפעה אנכית זו הייתה צפויה בעת תכנון בארות הטיפול.

תרשים 3. השתנות תת-הלחץ כתלות במרחק מבאר השאיבה 17m - התאמה מעריכית



4.1.3. שאיבה מבאר טיפול 12m

ספיקות השאיבה שהתקבלו נעו בין 29-83 מק"ש, על פי השתנות תת-הלחץ בבאר השאיבה ניתן ללמוד על כך כי החדירות של הקרקע לאוויר בינונית ומאפיינת קרקע טינית דקת גרגר. כאשר תת הלחץ הגבוה ביותר שנמדד היה 80 מליבר עבור ספיקה של 83 מק"ש. על פי תת הלחץ כתלות במרחק מבאר השאיבה (טבלה 4 ו-תרשים 4) ניתן לראות שבשאיבה מעומק 12 מ' מתקבלת השפעה גבוהה בבאר הניטור הקרובה בהשפעה הולכת וקטנה בהתאמה למרחק קיימת גם השפעה, אמנם נמוכה, ומיידית גם במרחק 8.1 מ' מבאר השאיבה גם בספיקות השאיבה הנמוכות. תוצאות מדידת הלחצים והספיקות בשאיבה מקידוח SVE-1-12m מלמדות על חדירות נמוכה במעט, בהשוואה לשאיבה מבאר SVE-1-17m ורדיוסי ההשפעה שמתקבלים בשאיבה מעומק זה קטנים במעט מהרדיוס השפעה אפקטיבי שמתקבל בשאיבה מבאר SVE-1-17m

רדיוס ההשפעה האפקטיבי שמתקבל בשאיבה מבאר SVE-1-12m עומד על 7 מ' עבור ספיקה מקסימלית של 83 מק"ש, עבור החלפת 10 נפחי אוויר באותה הספיקה, מתקבל רדיוס השפעה של 3.6 מ' (טבלה 5).

למודל קביעת רדיוס אפקטיבי בניתוח הנתונים מבאר SVE-1-12m הוכנס פירוס זיהום אנכי לטיפול של $z = 4$ m (על פי אורך המקטע המחוץ בבאר), בהשוואה ל $Z=5$ בבאר SVE-1-17m, הקטנת פירוס הזיהום לטיפול משמעותי הקטנת הנפח הנדרש להחלפת נפחי אוויר ולכן, ככל שהמקטע לטיפול קצר יותר, כך רדיוס ההשפעה גדל.

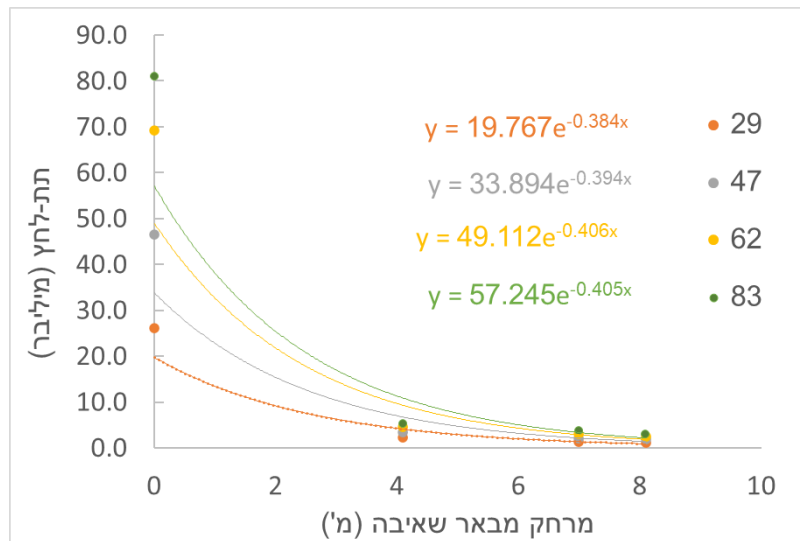
טבלה 4. תת לחץ בבארות במהלך שאיבה מבאר טיפול 12m

באר	SVE-1 12m	SVE-2	SVE-4	SVE-3	SVE-1 17m
מרחק אופקי מבאר שאיבה (מ')	0	4.10	7.00	8.10	-
ספיקה במפוח (מק"ש)	תת-לחץ (מיליבר)				
29	26.2	2.3	1.3	1.2	4.2
47	46.6	3.5	2.2	1.9	5.9
62	69.1	4.6	3.0	2.5	7.9
83	80.9	5.3	3.6	2.9	9.2

4.1.4. השפעה אנכית

על פי התוצאות (טבלה 4) ניתן לראות השפעה חד משמעית על עומק 17 מ'. השפעה על חתך עמוק יותר, אינה אופיינית בדרך כלל, מכיוון שוקטור הזרימה של האוויר נע בעיקרו מעלה. מכיוון שכל באר טיפול נקדחה בנפרד ובמרחק זה מזה קיים מרחק אופקי בין באר שאיבה 17m לבאר 12m ולכן ההשפעה היא שילוב וקטורים אנכי/אופקי. חשוב לומר שבעת שאיבה מבאר 17m תת הלחץ שנמדד בבאר 12m היה גדול יותר משנצפה במקרה הנוכחי, וזו כמובן תצפית אופיינית כפי שפורט לעיל.

תרשים 4. השתנות תת-הלחץ כתלות במרחק מבאר השאיבה 12m - התאמה מעריכית



4.2 סיכום רדיוסי השפעה אפקטיביים

למודל קביעת רדיוס אפקטיבי בניתוח הנתונים מבאר SVE-1-12m הוכנס פירוס זיהום אנכי לטיפול של $z = 4$ m (על פי אורך המקטע המחורץ בבאר), בהשוואה $Z=5$ בבאר SVE-1-17m, הקטנת פירוס הזיהום לטיפול משמעותי הקטנת הנפח הנדרש להחלפה אוויר ולכן, ככל שהמקטע לטיפול קצר יותר, כך רדיוס ההשפעה גדל. ולכן למרות, שמדידות בשטח הראו חדירות נמוכה יותר לאוויר בעומק 12 מ', מתקבלים רדיוסי השפעה מאוד דומים זה לזה בהשוואה לשני העומקים. כאמור, במבחן החדרת אוויר (BV) לא נמדדו לחצים בבארות החדרה וניטור ולא בוצע ניתוח של רדיוס השפעה נוספים, מקובל להניח כי הלחצים בהפעלת תת לחץ ולחץ חיובי יהיו זהים עבור ספיקה ותוור קרקע זהים. כך, שהרדיוסי השפעה המתאימים לטיפול באמצעות BV הינם $T=1/d$ ואילו רדיוסי השפעה אפקטיביים $T=10/d$ מתאימים לטיפול באמצעות SVE

טבלה 5. סיכום רדיוסי השפעה בשאיבה מעומק 12 ו-17 מ'.

שאיבה מעומק 12 מ' ספיקה שאיבה ($m^3/hour$)	פתרון מעריכי	
	$T = 1 d^{-1}$	$T = 10 d^{-1}$
29	5.3m	2.7m
47	6.1m	3.1m
62	6.5m	3.3m
83	7.0m	3.6m

שאיבה מעומק 17 מ' ספיקה שאיבה ($m^3/hour$)	פתרון מעריכי	
	$T = 1 d^{-1}$	$T = 10 d^{-1}$
44	6.3m	3.1m
69	7.0m	3.6m
91	7.5m	3.9m
116	8.0m	4.2m

4.3 ריכוז מזהמים בקרקע וקצב סילוק מזהמים- טיפול באמצעות SVE

מדידות PID במהלך הפיילוט הצביעו על ריכוזים של עד 1,200 חל"מ בשאיבה מבאר 17m, 1,050 חל"מ בשאיבה מבאר 12m. נטילת דוגמת אוויר מהבארות בוצעה בזמן שאיבה בספיקת המקסימום, תוצאות ריכוז חומרים אורגנים נדיפים מוצגים בטבלה 6. תעודות המעבדה מוצגות בנספח א'.

כלל החומרים נדיפים שנמצאו באנליזת TO-15 מעידים על זיהום במרכיבי דלקים, בנוסף לאלו נמצאו גם שאריות של חומרים אורגנים מוכלרים TCE ו-PCE. כאשר המזהם העיקרי הינו MTBE בריכוז ממוצע של כ- 2,000 מ"ג/מ"ק. סכום מרכיבי ה-VOC שנמדד נע בין 4,557 מ"ג/מ"ק 5,210 מ"ג/מ"ק עבור דוגמה מעומק 12 מ' ו-17 מ', בהתאמה. חלק גדול ממרכיבים אלו צפויים להתפרק בתהליך הנשימה הטבעית של חיידקים מפרקי דלק בקרקע, שיוגבר כאשר מערכת ה-SVE תופעל (כתוצאה מאוורור הקרקע) או לחלופין כאשר יוחדר אוויר אטמוספרי באמצעות BV. ריכוז כלל המרכיבים הנדיפים שנמצאו בסריקה חצי כמותית עומדת על 30,078 מ"ג/מ"ק, כך שבפועל מערכת הטיפול תדרש להתמודד עם עומס דומה לזה של מזהמים.

עומס מזהמים זה, הינו אקוויולנטי לריכוז של 9,314 חל"מ (VOC), חישוב זה מבוצע על בסיס ממוצע מסה מולרית של מרכיבים נדיפים 78.95 g/mol [ppm = 24.45 x concentration (mg/m³) ÷ molecular weight]. רוב מערכות ה-SVE בעלות מתקן טיפול קטליטי, מווסתות את קצבי השאיבה לקבלת עומס מזהמים יחסית אחיד (על פי האקסותרמיות של סך המזהמים). ריכוזי המזהמים שנמדדו מתארים בקירוב, מצב שיווי משקל ולכן מהווים מדד לכמות המזהמים בקרקע. מערכת סטנדרטית אינה מסוגלת לטפל בעומס מזהמים של 9,314 חל"מ נפחי בשעה, לכן על פי התוצאות המערכת תשאב לאורך תקופה ארוכה בשיטה של דילול האוויר הנשאב מהקרקע באמצעות אוויר אטמוספרי, ספיקת השאיבה מהקרקע צפויה לגדול עם הזמן עד לקבלת הספיקה המרבית.

לצורך הבנת קצבי סילוק, מתואר מודל למשך הטיפול הנדרש באמצעות חישוב דעיכה מעריכית בקצב סילוק המזהם עם הזמן.

על פי ממצאי דיגום האוויר; (טבלה 6), ריכוז מקסימום באוויר הנשאב הינו כ-5.2 גר' למ"ק. עבור ספיקת שאיבה מבאר טיפול אחת של 15 מק"ש, מדובר בקצב סילוק מזהמים התחלתי (q_0) של 78 גר' לשעה. בהנחה שריכוז המזהמים ואיתו קצב הסילוק יפחת בצורה מעריכית עם משך הטיפול:

$$q(t) = q_0 e^{-kt}$$

הערכת מסת מזהם (M_T) מחושבת על בסיס קצב סילוק המזהם העומד על 78 גר' לשעה לחלק לקצב דעיכת מזהם אופייני למערכות SVE (0.0003 h^{-1}). כך ש- $M_T = 260 \text{ ק"ג}$, אזי שניתן להעריך את קצב הדעיכה על פי:

קצב דעיכת מזהם הינו ממוצע על בסיס מעקב וניטור מערכות SVE בעשרות אתרים בארץ, עבור מערכות קטליטיות קצב הדעיכה צפוי להיות נמוך יותר בתחילת פעילות השיקום (כתוצאה מדילול השאיבה עם אוויר אטמוספרי) ונמוך יותר בסוף פעילות השיקום (כאשר ריכוז המזהמים בקרקע נותר נמוך).

$$M_T = q_0 \int_0^\infty e^{-kt} dt = \frac{q_0}{k} \rightarrow k = \frac{q_0}{M_T}$$

ואת מסת המזהם שסולקה על פי:

$$M(t) = q_0 \int_0^t e^{-kt} dt = \frac{q_0}{k} (1 - e^{-kt})$$

כלומר, לאחר חצי שנה של פעילות רצופה (4,380 שעות) יסולקו 190 ק"ג (73.1%) ולאחר שנה של שאיבה (8,760 שעות) יסולקו 241 ק"ג (92.7%) מזהם. תוצאות מודל סילוק מזהמים מסוכם בטבלה 7. חשוב לציין כי המודל אינו לוקח בחשבון נדיפות ולחצים חלקיים של כל המזהמים. שרשראות פחממניות כבדות המאפיינות את הזיהום באתר לא יתנדפו מהקרקע בקצב זה לנידוף של חומרים אורגנים נדיפים שנמצאו בדיגום גז הקרקע, כדוגמת Propyl Benzene.

טבלה 6. תוצאות אנליזה לאוויר הנשאב ספיקה שאיבה מקסימלית

שלב דיגום	ספיקת שאיבה מקסימלית	
	12m	17m
תאריך	09/07/2024	
מרכיב	$\mu\text{g m}^{-3}$	
MTBE	1,952,495	2,294,608
Benzene	681,408	805,469
Toluene	25,891	24,535
Ethylbenzene	135,512	115,285
P+m - xylene	87,159	77,704
O-xylene	19,832	14,381
Cyclohexane	425,353	464,481
Hexane	472,636	583,778
Heptane	544,192	606,030
Cumene	17,108	15,808
Tetrachloroethylene	1,362	1,532
Trichloroethylene	9,675	4,752
1,3,5-trimethylbenzene	1,733	8,650
1,2,4-trimethylbenzene	16,483	20,520
4-Ethyltoluene	11,447	11,612
Naphthalene	ND	3,311
Nonane	21,780	24,622
Octane	103,936	104,178
Propyl benzene	29,496	29,740
VOC (Sum)	4,557,498	5,210,996
Total VOCs as Toluene	30,078,249	32,035,986

טבלה 7. מודל סילוק מזהמים*

C0	5.2	g m-3	ריכוז מזהמים התחלתי	פרמטרים מוערכים
Q	15	m ³ hr ⁻¹	ספיקה ממוצעת	
M _T =	260	kg	מסת מזהם כוללת	פרמטרים מחושבים
q ₀ =	78	g h ⁻¹	קצב סילוק התחלתי	
k =	0.0003	h ⁻¹	מקדם דעיכה	
t (hours)	M (kg)	% סילוק	מודל סילוק מזהמים	
4,380	190.1	73.13%		
8,760	241.2	92.78%		
17,520	258.6	99.48%		

*מודל סילוק מזהמים על בסיס SVE (נדיפים בלבד) עבור קידוח T-34 מבוסס על קצב סילוק התחלתי 78 g/h (מכפלת ריכוז המזהמים כפי שנמדד בגז קרקע וספיקה ממוצעת של 15 מק"ש), הערכת הזמנים בשלבי המבחן המקדים היא הערכה ראשונית בלבד ואינה מייצגת את האתר כולו. אחוז הסילוק והזמן במודל הזה מציגים את יעילות הטיפול הגבוהה ביותר (ללא דילול שאיבה מהקרקע על ידי אוויר אטמוספרי) הצפויה באתר עבור סילוק מזהם נדיף בלבד (0.0003h^{-1}).

4.4 ריכוז החמצן בתת הקרקע בבארות החדרה וניטור

מדית החמצן הראשונית באתר [טבלה 8] מלמדת על ריכוז חמצן נמוך מריכוז אטמוספרי. ריכוז החמצן הנמוך ביותר נמדד בקידוח SVE-3 12m. לרוב מתייחסים ל-5% חמצן כאל ריכוז גורם מגביל לפירוק מיקרוביאלי³ ניתן לראות כי בקידוחים הרדודים ערכי החמצן המדודים קרובים לערך זה, בניגוד לקידוחים עמוקים שבהם בהן ריכוז החמצן בשו"מ גבוה יותר, קרבה למי תהום מחומצנים, תולכת אוויר גבוהה יותר, יכולים להיות הסיבה לריכוז חמצן גבוה יותר בהשוואה לחתך הרדוד. מכיוון שהשטח באזור הפיילוט מכוסה עם חיפוי, ויותר מכך, חתך הקרקע החרסיתי העבה בכל האתר כמעט ולא קיימת החלפת אוויר אטמוספרי המונעת משינויים ברומטרים.

אחרי סך הכל 8.5 שעות של החדרת אוויר (בשתי פעימות) בבארות החדרה, כצפוי, עלה ריכוז החמצן בבארות ההחדרה ובכל בארות הניטור. ריכוז החמצן בבארות הניטור התייצב על ערך אטמוספרי ואילו בבארות הניטור המרוחקות ביותר מבארות ההחדרה התייצב ריכוז החמצן קרוב לריכוז אטמוספרי בין 18.6-19.1% כתוצאה מהחדרת האוויר מכוח האדווקציה. ריכוז זה נותר יציב לאורך זמן, גם לאחר הפסקת פעילות המפוח. לאחר תקופת מדידה של כחמישה ימים, התרחשה דעיכה בריכוז החמצן באופן מדוד, עם שינויי משמעותי יותר בבארות הניטור הרדודות. ממוצע קצב דעיכת החמצן בכל הבארות יחד עומד על 1.2% ליום, 0.9% עבור בארות עמוקות (17 מ') ו-1.5% ליום עבור סט הבארות הרדודות (12 מ').

4.4.1 ריכוז CO₂ בבארות

טבלה 8 מסכמת את תוצאות ריכוז הפחמן הדו חמצני בתנאי ההתחלה של הפיילוט, לאחר החדרת אוויר ולאחר תקופה של ארבעה ימים מסיום החדרת האוויר. ריכוז הפד"ח הנמדד בתנאי ההתחלה בכל הבארות טיפול/ניטור גבוה ועמד על ממוצע של 5.9%. ריכוז ממוצע של 0.64% לאחר החדרת אוויר אטמוספרי בבארות החדרה וריכוז ממוצע של 2.1% לאחר חמישה ימים מסיום החדרת האוויר. למעשה, תצפית זו עומדת בקנה אחד להנחה שריכוז הפחמן הדו חמצני בקרקע צפוי לעלות כחלק מתהליך הנשימה המיקרוביאלי. כמובן שהחדרת אוויר אטמוספרי בריכוז פד"ח של 0.04% גורם לדילול ריכוזו בקרקע ועם הזמן ככל שנשימה מיקרוביאלית תופסת את מקומה של הדיפוזיה כתהליך העיקרי בקרקע, ריכוז הפד"ח צפוי לעלות עד לשו"מ.

נתוני הפד"ח ההתחלתיים אם כן, מלמדים על כך כי קיים פירוק טבעי של חומר אורגני/מזהמים בקרקע. והחדרת אוויר אטמוספרי תעודד את פירוקו של האחרון.

טבלה 8. ריכוז חמצן/פד"ח התחלתי וריכוזים לאחר טיפול

ממוצע דעיכה בחתך עמוק/רדוד	קצב דעיכת חמצן לינארית (יום/%)	CO ₂ (%) לאחר 5 ימים מהחדרת אוויר	O ₂ (%) לאחר 5 ימים מהחדרת אוויר	CO ₂ (%) בסיום החדרת אוויר	O ₂ (%) בסיום החדרת אוויר	PID (ppm)	CO ₂ (%) התחלתי	O ₂ (%) התחלתי	באר
1.5%	0.7	0.26	17.5	0.07	20.9	1,537	6.1	9.1	SVE-1-12m
	2.3	1.82	9.1	0.41	20.9	1,424	6.4	6.2	SVE-2-12m
	0.8	2.60	15.3	0.87	19.1	920	9.8	3.1	SVE-3 12m
	2.3	3.20	8.7	0.36	20.4	1,040	7.2	6.0	SVE-4 12m
0.9%	0.2	0.08	19.9	0.05	20.9	2,450	7.3	9.2	SVE-1-17m
	0.3	0.12	19.4	0.23	20.9	1,406	1.4	16.3	SVE-2-17m
	1.9	5.10	8.8	1.97	18.6	1,609	3.9	13.8	SVE-3-17m
	1.0	3.30	15.8	1.12	20.9	1,360	5.1	8.4	SVE-4 17m

³ 3Army, U. S. "Soil Vapor Extraction and Bioventing—Engineering and Design." US Army Corps of Engineers, EM 3-3(2002):

4.4.2 דעיכת ריכוז חמצן בבארות לאורך 5 ימים וחישוב מקדם דעיכה

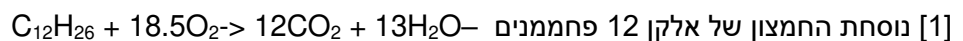
הסיבה לדעיכה בריכוזי החמצן לאחר הפסקת עבודת המפוח נובעת מתהליך הנשימה המיקרוביאלית בקרקע וכתוצאה מתנועה דיפוזית של חמצן, כאשר חמצן נע מאזור מריכוז גבוה לאזור בו ריכוז החמצן נמוך. לצורך קביעת מקדם דעיכת החמצן בוצע מעקב של דעיכת חמצן בכל הבארות.

ירידה בריכוז החמצן בבארות הטיפול נמדד גם לאחר חמישה ימים מסגירת המפוח. הערכה היא, כי שינוי בריכוז החמצן בקרקע דורש אדפטציה של אוכלוסיית החיידקים לסביבה אירובית, ולכן מתקבל עיכוב בצריכת החמצן. לטובת חישוב קצב פירוק מזהמים המתואר בפרק 4.5 חושב קצב דעיכת חמצן בקירוב לינארי, כלומר, אחוז חמצן בעת סגירת המפוח (20.9%) ואחוז החמצן בסיום הפיילוט לאחר חמישה ימים (121 שעות), כלומר, דעיכה של 1.2% ליום, 0.9% עבור בארות עמוקות (17 מ') ו- 1.5% ליום עבור סט הבארות הרדודות (12 מ') (טבלה 8).

4.5 חישוב קצב פירוק מזהמים על בסיס דעיכת חמצן

בתוצאות אנליזת האוויר (טבלה 6), נמדד ריכוז מקסימלי של 5,210 מ"מ VOCa / מ"ק. מכיוון שבקידוח T-34 היכן שבוצע הפיילוט לא נמדד ריכוז TPH מעל סף הגילוי של השיטה האנליטית (טבלה 1), ניתן להעריך שעיקר הזיהום בחתך הקרקע מורכב מזהמים נדיפים. למרות זאת, בפרק הנוכחי בוצעה הערכה לקצב פירוק של מזהמים באמצעות נשימה מיקרוביאלית ועל ידי העשרת הקרקע באוויר אטמוספרי (BV).

על פי קצב צריכת החמצן שנמדד, חושב קצב הצריכה של המזהמים על פי המשוואות הבאות: לצורך ייצוג של זיהום פחות נדיף, נלקחה נוסחת חמצון של אלקן, בעל 12 פחמנים (Dodecane).



[2] נוסחת חישוב צריכת מזהם (USACE, 2002)

$$K_B = \frac{-(0.01) \times K_0 \times \theta_A \times \frac{1,000 I - air}{m^3 - air} \times D_0 \times C}{\rho_s}$$

K_B – קצב פירוק ביולוגי (מ"ג-אלקן לק"ג קרקע ביום)

K_0 – קצב צריכת חמצן (% ליום) – 0.9% עבור החתך העמוק או 1.5% עבור החתך הרדוד

θ_A – תכולת אוויר = 0.24 (מ"מ³/מ"מ³) (מוערך על פי קרקע חולית) או 0.18 (מ"מ³/מ"מ³) (מוערך עבור קרקע חרסית חולית)

D_0 – צפיפות הגז באוויר = 1,330 mg Liter⁻¹ (צפיפות על פי תנאים סטנדרטיים)

C – יחס סטוכיומטרי (משקלי) בין המזהם לחמצן = 1 מיליגרם חמצן יגרום לפירוק של 0.287 מיליגרם TPH (על פי חמצון Dodecane, משוואה [1])

*במידה ומדובר על מזהם מסוג MTBE יחס פירוק של MTBE לחמצן עומד על 0.424 מיליגרם MTBE.

ρ_s – צפיפות גושית של קרקע = 1,430 kg m⁻³ (מוערך על פי קרקע חולית) או 1,860 kg m⁻³

על פי הפרמטרים הללו, נמצא קצב פירוק ביולוגי של 0.57 מ"ג אלקן לק"ג קרקע ביום עבור החתך העמוק ו-0.73 מ"ג אלקן לק"ג קרקע עבור החתך הרדוד.

עבור פירוק MTBE הקצב הינו 0.85 מ"ג MTBE לק"ג קרקע ביום עבור החתך העמוק, ו-1.09 מ"ג MTBE לק"ג קרקע בחתך הרדוד.

קצב זה, חושב עבור נשימה מיקרוביאלית בלבד. זהו קצב נמוך יחסית והוא מתאים לתנאים של קרקע חולית, דלה בנוטריינטים ובעלת תכולת רטיבות נמוכה ביחס לקרקעות אחרות. קצב זה צפוי לגדול בתחילת שלב השיקום יחד עם האוכלוסיה המיקרוביאלית ולדעוך אם וכאשר ייווצר גורם מגביל אחר (חומרי הזנה, רטיבות וכו').

5. סיכום ממצאים

1. לחצי העבודה שנמדדו במהלך שאיבה מבארות הטיפול היו נמוכים עבור החתך העמוק וגבוהים יותר עבור החתך הרדוד, מה שמעיד על חדירות גבוהה ובינונית, בהתאמה, לאוויר של הקרקע.
2. בבארות הניטור הממוקמות מבארות השאיבה במרחק של עד 9 מ' נמדדה השפעה במהלך שאיבת המבחן.
3. במודל רדיוס השפעה הקובע את המרחק בו מתקיים לחץ/תת לחץ 0 סביב באר השאיבה/החדרה התקבל רדיוס השפעה של 8.0 מ' בחתך העמוק בספיקה של 116 מק"ש ו-7 מ' בחתך הרדוד בספיקה שאיבה של 83 מק"ש. מודל רדיוס ההשפעה לוקח בחשבון מקטע מחורץ לטיפול של 5 מ' בבארות עמוקות ומקטע מחורץ לטיפול של 4 מ' בבארות רדודות. ככל שהמקטע המחורץ יהיה קצר יותר, כך הרדיוס השפעה יגדל.
- בפועל, מקטע של 5 מ' בחתך העמוק המוליך הקטין משמעותית את רדיוס ההשפעה הנקבע במודל. לאור החפיפה בעומקי הבארות ניתן להקטין את המקטע המחורץ של הבאר העמוקה ל-3 מ' ולקבל רדיוס השפעה גדול יותר לטובת השיקום של האתר המלא.
4. חתך החרסיתי מפני השטח עד עומק 7-8 מ' מהווה פקק ומייצר רדיוסי השפעה גבוהים, ללא איבוד לחץ בוקטור אנכי.
5. SVE- עבור החלפת 10 נפחי אוויר ביום הראה המודל רדיוס השפעה של 4.2 מ' עבור באר 17m בספיקה של 116 מק"ש, ו-3.6 מ' עבור באר 12m בספיקה של 83 מק"ש. כאמור, המודל מתחשב בחתך המחורץ של בארות הטיפול ורדיוס ההשפעה יגדל במידה והמקטע המחורץ יקטן.
6. בשאיבה/החדרה של אוויר בשתי הבארות יחד יחס הספיקות של זרימת האוויר עומד על יחס של 20/80%. המשמעות היא ששאיבה משתי בארות טיפול יחד – רדודה ועמוקה, מירבית ספיקת השאיבה תבוצע מהבאר העמוקה.
7. סכום מרכיבי ה-VOC שנמדד בבדיקת מעבדה נע בין 4,557 מ"ג/מ"ק ל-5,210 מ"ג/מ"ק בבאר 12m ו-17m, בהתאמה. כך שעומס המזהמים הנדיפים בקרקע גבוה מאוד. המזהם בריכוז הגבוה ביותר הינו MTBE. תואם את ממצאי סקרי הקרקע באזור הפיילוט ובו נמדד MTBE ללא ריכוז TPH. יתר המרכיבים הנמדדים מאפיין זיהום במרכיבי דלק. אנליזת Total VOC as Toluene (סריקה חצי כמותית של כלל החומרים המתגלים במכשיר GC-MS) מלמדים על ריכוז גבוה במיוחד של כ-30,000 מ"ג/מ"ק.
8. בשתי הדוגמאות אוויר שנלקחו במהלך הפיילוט נמדדו ריכוזים של חומרים אורגנים מוכלרים (TCE/PCE) בטווח ריכוזים של 6-11 מ"ג/מ"ק.
9. על פי מודל דעיכה מעריכי המתאים לטיפול באמצעות SVE, בספיקה שאיבה של 15 מק"ש מבאר טיפול אחת, מסת המזהם המוערכת בנפח הקרקע המטופל סביב קידוח T-34 (260 ק"ג) לאחר חצי שנה של פעילות (4,380 שעות) יסולקו 190 ק"ג (73.1%) ולאחר שנה של שאיבה (8,760 שעות) יסולקו 241.4 ק"ג (92.7%) של המזהם הנדיף. (מסת המזהם שחושבה סביב הקידוח הינו חישוב מבוסס על ריכוז כלל חומרים אורגנים נדיפים וככל הנראה מבטא הערכת יתר עבור הפרקציה הנדיפה, הערכה זו בוצעה לטובת המודל בלבד). המודל מתאר קצב זהה של שאיבה לאורך כל תקופת המודל, ללא התחשבות בדילול שאיבה באמצעות אוויר אטמוספרי (במקרה של מערכות קטליטיות).
10. ריכוזי הבסיס של חמצן ופד"ח בבארות הטיפול/ניטור באתר מלמדים על תהליכי פירוק מיקרוביאלי של חומר אורגני, עם זאת, החמצן בדיגומי הבסיס בחלק מבארות הניטור/טיפול היה מעל לתחום המהווה גורם מגביל בהתקדמות הפירוק.
11. קצב ירידת החמצן המקסימלי שנמדד עמד על 2.3% ליום, והנמוך ביותר עמד על 0.2%-0.3% ליום. קצב הדעיכה הממוצע עומד על 1.2% ליום, דעיכה זו, אקוויולנטית לקצב פירוק ביולוגי של 0.57 מ"ג אלקן לק"ג קרקע ביום. הקצב הנמדד נמוך יחסית בהשוואה לאתרים בהן הזיהום העיקרי הינו TPH. קצב פירוק ביולוגי מוערך עבור MTBE הינו 0.85-1.09 מ"ג MTBE לק"ג קרקע ביום.
12. לא נהוג לבצע הערכת משך טיפול מינימלי עבור פירוק ביולוגי לחומרים נדיפים, ריכוז החומר האורגני הטבעי בקרקע צפוי להיות הרבה יותר גבוה וזמין מאשר ריכוז החומרים הנדיפים ולכן הערכת משך הפירוק הנדרש לחומרים אלו, יהיה נמוך בצורה שאינה תואמת את המתרחש בפועל בקרקע. הערכת מסת מזהם מבוסס פרמטרים פיזיקליים של MTBE בשטח המיועד לטיפול (5,479 מ"ר) מוערך ב-1,886 ק"ג מזהם נדיף. (מבוסס על ריכוז מזהמים בגז קרקע ובקרקע שנמדדו במהלך סקר הקרקע ופיילוט SVE). הערכה זו אינה כוללת את תרומת המזהמים הנדיפים ממי התהום (שאינם נחקרו, מלבד קידוח יחיד למי התהום הממוקם בשטח חוות המיכלים).

נספח ב' - מסכם את כלל הפרמטרים הפיסקליים של המזהם הנבחר ואת חישוב הערכת מסת המזהם בשטח האתר המוצע לשיקום.

6. תכנית שיקום עקרונית מוצעת

ממצאי המבחן המקדים מצביעים על היתכנות לשיקום קרקע In-situ. כאשר בוחנים את היתרונות והחסרונות בין שתי השיטות שנבדקו SVE/BV, ממצאי מבחן ה-BV הראו כי ריכוזי הבסיס של החמצן בבארות הטיפול/ניטור היו מעל ערך הנחשב למגביל נשימה ($<5\%$), בנוסף, נמדדו קצבי דעיכת חמצן נמוכים, מה שמעיד על קצבי פירוק ונשימה מיקרוביאלי נמוכים, מה שיכול להוביל לתקופת שיקום ארוכה, ואחרון, קיים חשש כי שימוש ב-BV יגרום לדחיקת הזיהום הנדיף ולוא דווקא לפירוקו.

לאור מאפייני הזיהום, המורכב בעיקרו מחומרים אורגנים נדיפים ובנוסף חומרים אורגנים מוכלרים בגז הקרקע, מומלץ לבחור לטיפול בשיטת ה-SVE. השיטה תאפשר את פירוק החומרים האורגנים המוכלרים, ומתאימה יותר למזהם נדיף.

בכדי לייעל את פעילות השיקום, ולהשיג רדיוס טיפול של כ-5.5 מ', יש להתקין צמדי בארות טיפול בקוטר 3 צול לפחות, עם מקטע מחורץ של 3 מ' לעומקים 12 ו-17 מ'. ולהחדיר אוויר בספיקה של כ-15 מק"ש בכל באר טיפול. מכיוון שקיים הבדל בחדירות הקרקע לאוויר בין החתך העמוק לחתך הרדוד, נדרשות שתי מערכות טיפול נפרדות, או לחלופין, לבצע שאיבה לסירוגין בסט בארות טיפול עמוקות ולאחר מכן שאיבה מסט בארות רדודות.

ספיקת התכן של המפוח תקבע על פי כמות בארות הטיפול שיוקנו באתר במכפלה של 15 מק"ש לבאר. עבור 50 בארות טיפול יידרש מפוח עם ספיקה של 750 מק"ש. מערכת הטיפול נדרשת להתמודד עם עומס מזהמי מרכיבי דלק מירבי של 9,350 חל"מ שיפחת עם משך הטיפול, ויכולת עמידה לחומרים אורגנים מוכלרים.

ישנן מספר טכנולוגיות לטיפול באוויר השאוב בשיטת ה-SVE, החל מפחם פעיל, טיפול קטליטי, שריפה. מערכת SVE לטיפול מורכבת משתי יחידות: יחידת השאיבה – מפוח, ומפריד טיפות או מתקן אחר לייבוש האוויר. יחידת טיפול (קטליסט, פחם פעיל או מערכות תרמיות). כאמור, מכיוון שקיימים ריכוזים של חומרים אורגנים מוכלרים בגז הקרקע, יידרש פיתרון למערכת קטליטית (קטליסט מחומר עמיד לחומרים מוכלרים או יחידה שלישית של טיפול משלים בתוצרי לוואי של הפליטה הנקרא סקרבר). במערכות מבוססות פחם, לא נדרש רכיב נוסף לספיחת החומרים המוכלרים, אך יש חשיבות רבה לייבוש האוויר מפני שהלחות פוגעת בכושר הספיחה. כאשר מדובר במערכת קטליטית האוויר השאוב מחומם באמצעות מעביר חום/גוף חימום עד הבאתו לטמפר' בה מתאפשר ראקציית חימצון קטליטית של המזהמים. במחמצן הקטליטי התרכובות האורגניות עוברות מינרליזציה לתוצרים של CO_2 ומים. במהלך חימצון של תרכובות אורגניות מוכלרות נותר בפליטה הסופית בין היתר גם חומצת HCl.

לוחות הזמנים ומסגרת התקציב לשיקום ייקבעו את בחירת חלופת יחידת הטיפול לאוויר השאוב, בשימוש בפחם עלויות הטיפול והאחזקה גבוהות, אך משך זמן הטיפול יכול להיות קצר יותר בהשוואה לטיפול קטליטי. יחידה קטליטית תדרוש מיהול אוויר הנשאב מהקרקע על ידי אוויר אטמוספרי, לטובת העמידה בעומסים הנשאבים מהקרקע בתחילת הטיפול. עוד יצוין כי באתר קיים חשד לזיהום במי תהום, מזהמים נדיפים ממי התהום אשר נודדים לתווך הלא הרווי, יכולים לגרום להתארכות משך השיקום באתר.

-סוף מסמך-

נספח א'- חישוב רדיוס השפעה

קביעת רדיוס השפעה

מבוסס קצב זרימת/החלפות אוויר (pore gas velocities or pore gas exchange), שהן פונקציה של לחץ (תת לחץ) סביב נקודת/באר השאיבה וחדירות/פרמאביליות של הקרקע סביב הבאר.

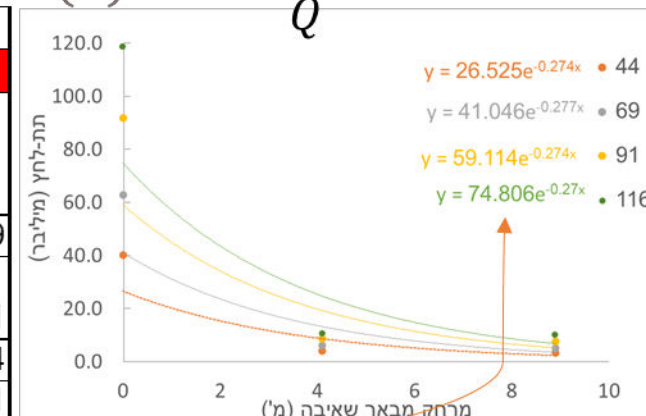
design parameters			
Parameter	value	unit	Description
TR =	1	d ⁻¹	number of volume exchange needed (use default 10 for SVE 1 for BV)
θ _a =	0.2	m ³ m ⁻³	air content
Z =	5	m	well screen- contaminated verticle length

תוצאות המודל עבור רדיוס השפעה בבאר שאיבה מעומק 17 מ' והחלפת נפח אוויר אחד קרוב

$$P(R) = \frac{\pi z T P_{well} \theta_a}{Q} R^2$$

מעריכי

ספיקת מפוח	לחץ בראש באר	y=cexp(kR)		פתרון המודל עבור P(R)=0			
		c =	k =	P	P	DP	ROI
m ³ h ⁻¹	mbar	mbar	m ⁻¹	(mbar)	(mbar)	(mbar)	m
44	40.1	26.53	-0.274	4.7	4.7	0.0	6.29
69	62.7	41.05	-0.277	5.9	5.9	0.0	7.01
91	91.7	59.11	-0.274	7.5	7.5	0.0	7.54
116	118.6	74.81	-0.270	8.6	8.6	0.0	8.01



נספח ב'-

חישוב הערכת מסת מזהם חומרים אורגנים נדיפים בשטח הטיפול

Mass of PCE in the Air Void per 1 m3 of Soil		MTBE
Molecular Weight	g/mole	88
Soil Vapor MTBE Concentration (C _{sv})	mg/m3	30,078
Volumetric MTBE Concentration in Pore (C _{svb})	ppmV	8,343
Volumetric Air Content	m3	0
Mass of MTBE in the Air Void per 1 m3 of Soil	mg	7,850
Mass dissolved MTBE in the liquid per 1 m3 of Soil		MTBE
Henry's Law Constant	Unitless	0.032
Concentration	mg/m3	260,709
Liquid Volume	m3	0.039
Mass dissolved MTBE in the liquid per 1 m3 of Soil	mg	10,168
Mass of MTBE adsorbed on the soil per 1 m3 of Soil		MTBE
Soil-Water Sorption into coefficient in the vadose zone (K _p)	(L/kg)	0
Liquid Concentration Absorbed in the Soil	mg/l	30,078
Soil Concentration	mg/kg	10
Soil Mass	kg	1,640
Mass of MTBE adsorbed on the soil per 1 m3 of Soil	mg	16,400
Total Mass in the void, solid and liquid per 1 m3 of soil	mg	34,418
Total Mass of MTBE in the void	kg MTBE	1,886

נספח ג'- תעודות מעבדה

תאריך קבלת הדגימות במעבדה:	11/07/2024	שם הדוגם:	אייל מושקוביץ
מספר דו"ח אל-כמ:	35135	שעת פתיחה:	10:20
מספר העבודה של הלקוח:	בח"א 27 - ESC	תאריך ביצוע אנליזה:	25/07/2024
שיטת אנליזה:	EPA TO-15	גירסה:	1 מחליפה את המקור

Canister Number:		8460	9333		
Analysis Time:		11:56	12:34		
Analysis Location:		מבח"א 27 - 12	מבח"א 27 - 17		
Name	CAS	Final Conc. [ug/m^3]	Final Conc. [ug/m^3]	LOD [ug/m^3]	LOQ [ug/m^3]
1,1 DiChloroEthane	75-34-3	N.D.	N.D.	16.19	80.95
1,1 DichloroEthene	75-35-4	N.D.	N.D.	15.86	79.30
1,1,1-trichloroEthane	71-55-6	N.D.	N.D.	21.82	109.12
1,1,2,2-tetrachloroEthane	79-34-5	N.D.	N.D.	27.46	137.30
1,1,2-trichloro-1,2,2-trifluoro-Ethane	76-13-1	N.D.	N.D.	30.66	153.28
1,1,2-trichloroEthane	79-00-5	N.D.	N.D.	21.82	109.12
1,2,4-trichloroBenzene	120-82-1	N.D.	N.D.	29.69	148.43
1,2,4-trimethylBenzene	95-63-6	16,483.09	20,520.59	19.66	98.31
1,2-Dibromo-3-chloropropane ⁺	96-12-8	N.D.	N.D.	2.87	9.57
1,2-dibromoEthane	106-93-4	N.D.	N.D.	30.73	153.67
1,2-dichloroBenzene	95-50-1	N.D.	N.D.	24.05	120.25
1,2-dichloroEthane	107-06-2	N.D.	N.D.	13.66	68.28
1,2-Dichloroethene	156-59-2	N.D.	N.D.	15.86	79.30
1,2-dichloroPropane	78-87-5	N.D.	N.D.	18.48	92.42
1,3,5-TriMethylBenzene	108-67-8	7133.09	8650.63	19.66	98.31
1,3-Butadiene	106-99-0	N.D.	N.D.	8.85	44.25
1,3-dichloroBenzene	541-73-1	N.D.	N.D.	24.05	120.25
1,4-dichloroBenzene	106-46-7	N.D.	N.D.	24.05	120.25
1,4-Dioxane	123-91-1	N.D.	N.D.	14.41	72.07
4-EthylToluene	622-96-8	11,447.63	11,612.56	19.66	98.32
Acetone	67-64-1	N.D.	N.D.	9.50	47.51
Acetonitrile	75-05-8	N.D.	N.D.	23.40	80.60
Acrolein	107-02-8	N.D.	N.D.	9.17	45.86
Acrylonitrile	107-13-1	N.D.	N.D.	14.00	44.00
Allyl Chloride	107-05-1	N.D.	N.D.	18.60	49.80
Benzene	71-43-2	681,408.96*	805,469.17*	12.78	63.89
Benzyl chloride	100-44-7	N.D.	N.D.	20.71	103.54
BromodiChloroMethane	75-27-4	N.D.	N.D.	26.80	133.99
BromoMethane	74-83-9	N.D.	N.D.	15.53	77.66
Butyl Acetate	123-86-4	N.D.	N.D.	28.40	95.00

Carbon disulfide	75-15-0	N.D.	N.D.	12.46	62.28
Carbon Tetrachloride	56-23-5	N.D.	N.D.	25.16	125.82
ChloroBenzene	108-90-7	N.D.	N.D.	18.41	92.07
ChloroEthane	75-00-3	N.D.	N.D.	10.55	52.77
Chloromethane	74-87-3	N.D.	N.D.	8.26	41.30
cis-1,3-dichloroPropene	100061-01-5	N.D.	N.D.	18.15	90.77
Cumene	98-82-8	17,108.04	15,808.26	19.60	78.60
Cyclohexane	110-82-7	425,353.18	464,481.20	13.77	68.84
DibromoChloroMethane	124-48-1	N.D.	N.D.	34.07	170.37
Dichlorodifluoromethane	75-71-8	N.D.	N.D.	16.84	84.19
DiChloroMethane	75-09-2	N.D.	N.D.	13.89	69.47
DiChloroTetraFluoroEthane	76-14-2	N.D.	N.D.	27.96	139.81
D-Limonene	5989-27-5	N.D.	N.D.	33.40	111.40
Ethanol	64-17-5	N.D.	N.D.	7.54	37.69
Ethyl Acetate	141-78-6	N.D.	N.D.	14.41	72.07
Ethylbenzene	100-41-4	135,512.00*	115,285.90*	17.37	86.85
Heptane	142-82-5	544,192.35	606,030.24	16.39	81.97
HexaChloroButadiene	87-68-3	N.D.	N.D.	42.66	213.30
Hexane	110-54-3	472,636.32*	583,778.14*	14.10	70.49
Isopropanol	67-63-0	N.D.	N.D.	9.83	49.16
MEK	78-93-3	N.D.	N.D.	11.80	58.99
Methyl methacrylate	80-62-6	N.D.	N.D.	16.38	81.90
MethylButylKetone	591-78-6	N.D.	N.D.	16.39	81.93
MIBK	108-10-1	N.D.	N.D.	16.39	81.93
MTBE	1634-04-4	1,952,495.21*	2,294,608.35*	14.42	72.11
m-Xylene & p-Xylene	108-38-3 106-42-3	87,159.57	77,704.26	34.74	173.68
Naphthalene	91-20-3	N.D.	3311.25	20.97	104.84
Nonane	111-84-2	21,780.60	24,622.81	21.00	83.80
Octane	111-65-9	103,936.44	104,178.40	28.00	84.00
o-Xylene	95-47-6	19,832.64	14,381.53	17.37	86.84
Propene	115-07-1	N.D.	N.D.	6.88	34.42
Propyl Benzene	103-65-1	29,496.71	29,740.67	29.40	108.00
Styrene	100-42-5	N.D.	N.D.	17.04	85.19
Tetrachloroethene	127-18-4	1362.72	1532.36	27.13	135.65
Tetrahydrofuran	109-99-9	N.D.	N.D.	11.80	58.99
Toluene	108-88-3	25,891.68	24,535.05	15.07	75.37
trans-1,2-Dichloroethene	156-60-5	N.D.	N.D.	15.86	79.30
trans-1,3-dichloroPropene	10061-02-6	N.D.	N.D.	18.15	90.77
TriBromoMethane	75-25-2	N.D.	N.D.	41.35	206.73
Trichloroethene	79-01-6	9675.29	4752.92	21.50	107.48
Trichlorofluoromethane	75-69-4	N.D.	N.D.	22.47	112.37

Trichloromethane	67-66-3	N.D.	N.D.	19.53	97.65
VinylAcetate	108-05-4	N.D.	N.D.	14.08	70.42
VinylChloride	75-01-4	N.D.	N.D.	10.22	51.12
Total VOC as Toluene ⁺	108-88-3	30,078,249.50	32,035,986.97	15.07	75.37

*התוצאה מחושבת מהנקודה הגבוהה ביותר בעקומת הכיול.

**התוצאות מחושבות לפי טמפרטורת סביבה של 25°C.

⁺התוצאה לא תחת הסמכה ISO17025.

סוף הדו"ח

M.Sc., בני נוימרק,	אושר ע"י:
מנהל המעבדה האנליטית	תפקיד: