

לאשר את התוכנית
05/07/2026

גיאוסטק גיאופיזיקה הנדסית וסביבתית בע"מ

י"ר הוועדה המחוזית

תאריך



חוק אתר תיאורטי לזעזועים מפיצוצים

באתר מחצבת מודיעים

והשפעתם על בנייה עתידית באזור התעשייה שוהם

22/5/2025 (על פי גבול החציבה המערבי בהיתר

שבתוקף ועל פי גבול המחצבה המערבי על פי תמ"א

(15-1)

הוכן ע"י:

עמית רון (גיאופיזיקאי, M.Sc., B.Sc.)



מאי 2025

דוח מס': B2025/05/597-A

הוכן עבור:

מועצה מקומית שוהם





הקדמה

✓ גיאוטק גיאופיסיקה הנדסית וסביבתית בע"מ (להלן: גיאוטק) נתבקשה על ידי המועצה המקומית שוהם לתת חוות דעתה לזעזועים הצפויים מפיצוצים במחצבת מודיעים באזור התעשייה שוהם ולבחון את ההשפעות שלהם על אפשרויות הבנייה באתר. נתבקשנו לבצע סקר חוק אתר תיאורטי. הסקר בוצע במהלך 10-22.5.2025 וסוכם בדו"ח ב 22.5.2025, העבודה בוצעה בהזמנת המועצה המקומית שוהם.

✓ גיאוטק ביצעה מספר חוקי אתר לאורך שנים ארוכות במחצבה. האחרון ביניהם בוצע בדרום מזרח המחצבה במאי 2024, אולם הסקר הרלבנטי הוא זה שבוצע בדרום מערב המחצבה (על קו ההיתר) וכלל מדידות זעזועים בכל המרחב כולל באזור התעשייה של שוהם: דו"ח של גיאוטק "חוק אתר לזעזועים מפיצוצים במחצבת אבן וסיד במודיעים" ע"י בועז גטניו, מיכאל יזרסקי, יובל פלג ועמית רונן דו"ח מספר B/2018/10/01 מאוקטובר 2018. למעשה ניתן להשתמש בתוצאות חוק אתר זה ולהימנע מסקר תיאורטי בלבד.

✓ **שיטת העבודה: א.** הכנת מפה של האזור כולל כל המגבלות והסייגים הקיימים. **ב.** חישוב על פי משוואת חוק האתר לפיצוץ מטען של 240 ק"ג להשהיה. יש לזכור כי מבחינת המחצבה יש עוד מספר אובייקטים בין גבול המחצבה המערבי (פיצוצים) לבין אזור התעשייה שוהם. הפיצוץ התיאורטי הוא על פי הכמות חומר נפץ המרבית בה עובדת המחצבה, נבחנו שני גבולות אפשריים: הראשון על גבול החציבה המערבי על פי רישיון החציבה התקף עד 31/5/2025. השני על פי גבול המחצבה המערבי על פי תמ"א 15-1. באמצעות משוואת חוק האתר והכמות המרבית הנ"ל ניתן לדעת את עוצמות הזעזועים הצפויים בהסתברות של 95% (שתי סטיות תקן). **ג.** הצבת מפת קונטורים של עוצמת הזעזועים בתוך אזור התעשייה בשטח המבוקש. **ד.** ניתוח הזעזועים והשפעתם על מבנים מסוגים שונים ברשימה שהוגשה לנו. הניתוח על פי התקנה מתוך התקנות למניעת מפגעים למחצבות אבן 1998 והתיקון מ 2009 של המשרד להגנת הסביבה, תקן גרמני דין 4150. **ה.** כתיבת חוות דעתנו בנושא כמסקנות העולות מנתונים אלה.

✓ בסקר חוק האתר הנ"ל, בוצעו 5 פיצוצים בכמויות חומר נפץ מרביות להשהיה משתנות עד 230 ק"ג להשהיה. פוזרו 12 סיסמומטרים תלת רכיביים למדידת הזעזועים, כאמור גם באזור התעשייה של שוהם. מקדם ההתאמה היה 0.881 מתוך 1. סטיית התקן +/- 0.191. למעשה היו כאן כ 70 מדידות של זעזועים במהלך ביצוע הסקר.



גיאוטק, גיאופיסיקה הנדסית וסביבתית בע"מ

טלפון: 03-9516770, פקס: 03-9412150, נייד: 054-7232402

דוא"ל: GEOTEC@GEOTEC.CO.IL, אתר אינטרנט: WWW.GEOTEC.CO.IL



1. שיטת העבודה, ומכשירי המדידה

- פיצוץ בתוך שכבת סלע גורם לשחרור אנרגיה. אנרגיה זו, מתפשטת לכל הכיוונים וחלקה מתפשט בצורת גלים סיסמיים (גלים אלסטיים). הגלים הסיסמיים מתפשטים בצורה כדורית לכל הכוונים, כאשר מרכז הכדור הוא מרכז הפיצוץ. הגלים העיקריים המתפתחים בפיצוצים רדודים הם גלי שטח מסוג ריילי, R , הדועכים עם העומק. אולם מתפתחים גלי גוף סיסמיים מסוג גלי לחיצה, P , וגלי גזירה S . בעת מעברם גורמים הגלים הסיסמיים (שמהירות התקדמותם נעה בין מאות מטרים בשנייה בקרקע לאלפי מטרים בשנייה בסלע) זעזוע אשר מאופיין על-ידי: תדירות, תזוזה (העתק), מהירות ותאוצה. לצורך קביעת מידת הסיכון למבנים, מתייחסים בכל התקנים, בדרך כלל למהירות החלקיק של הזעזוע הנוצר בבסיס המבנה או בקרקע הסמוכה לבסיסו (מהירות זו היא מסדר גודל של מילימטרים בשנייה עד סנטימטרים בשנייה). הסיבה לכך היא הקשר הישיר בין מהירות החלקיק לעיבורים הנוצרים במבנים. כמו כן השימוש במהירות החלקיק נוח יותר מבחינת התלות בתדר.
- ככל שהתדירות נמוכה יותר הסיכון לתופעות של רזוננס (תהודה) במבנה גדולה יותר. התדירות גבוהה יותר במרחקים הקצרים ופוחתת עם המרחק. מהירות החלקיקים דועכת ככל שהמרחק מהפיצוץ גדל. התאוצה של החלקיקים תגדל ככל שמהירות החלקיקים תגדל וגם התדירות.
- התקנה התקפה היא כאמור התקנה של המשרד להגנת הסביבה המתייחסת לביצוע פיצוצים במחצבות אבן מ 1998 ותיקון מ 2009. כל המבנים המתוכננים באזור התעשייה של שוהם הם מבני תעשייה/מסחר. התקן הגרמני, דין 3-4150 מחמיר יותר וממין את המבנים ל 3 קריטריונים: מבני תעשייה, מבני מגורים ומבנים רגישים לזעזועים.
- "חוק האתר" (טרמינולוגיה ולא חוק במובן המשפטי) הוא משוואה המתארת את מהירות החלקיק כפונקציה של ה- SCALED DISTANCE או המרחק המקונם (מלשון קנה מידה). ה- SCALED DISTANCE מוגדר כיחס בין המרחק במטרים (מנקודת הפיצוץ לנקודת המדידה) לשורש הריבועי של כמות חומר הנפץ המרבית להשהיה בק"ג. משוואה זו מתקבלת באמצעות ביצוע של מספר פיצוצים, במרחקים משתנים ובכמויות משתנות של חומר נפץ להשהיה, כמו גם בפיזור מתאים של מכשירי המדידה. בעזרת רגרסיה ליניארית, או קירוב חזקתי של הנתונים, ניתן לקבל את חוק האתר. כל החישובים מבוצעים באמצעות תוכנה מתוצרת יצרן ציוד המדידה ובבקרה מדעית מקצועית. חוק האתר מספק משוואת חיזוי של רמות הזעזוע בהתחשב בטופוגרפיה, גיאולוגיה, גיאופיסיקה של האתר וכתלות במרחק מהפיצוץ ועל פי כמות חומר הנפץ המרבית להשהיה. משוואת חוק האתר היא מהסוג:



גיאוטק, גיאופיסיקה הנדסית וסביבתית בע"מ

טלפון: 03-9516770, פקס: 03-9412150, נייד: 054-7232402

דוא"ל: GEOTEC@GEOTEC.CO.IL, אתר אינטרנט: WWW.GEOTEC.CO.IL



$$V = b \left(\frac{R}{\sqrt{W}} \right)^{-n}$$

כאשר V היא מהירות החלקיק המרבית, R הוא המרחק במטרים בין נקודת הפיצוץ לנקודת המדידה, W היא כמות חומר הנפץ המרבית להשהיה, b, n הם קבועים אמפיריים המחושבים במדידות הקשורים למאפייני הסלע והגיאולוגיה.

- הצבת ערך מהירות החלקיק המכסימלית המותרת (בהתאם לספקטרום התדרים), במשוואת חוק האתר הנ"ל, מאפשרת קבלת משוואה של כמות חומר הנפץ המרבית המותרת להשהיה, כתלות במרחק בין האובייקט לאתר הפיצוץ. משוואה זו מאפשרת אופטימיזציה של הפיצוצים ועבודת החציבה מבלי לפגוע באובייקט ע"י תופעות הלוואי של פיצוץ. הצבת ערך המהירות מתבססת על התקנה של המשרד להגנת הסביבה במסגרת התקנות למניעת מפגעים מ-1998 לפיצוצים במחצבות (והתיקון משנת 2009).
- כאן הפיצוץ הוא וירטואלי כדרישת הרשויות בשתי אפשרויות לקו ייחוס הראשון על הקצה המערבי של גבול החציבה שברישיון המחצבה שבתוקף. קו הייחוס השני הוא גבול המחצבה המערבי על פי תמ"א 15-1. הצבנו כאמור ערך של 240 ק"ג/השהיה על הגבולות האלה ובדקנו במרחקים שונים כל 100 מטר ובהתייחסות ספציפית לאתר המיועד באזור התעשייה שוהם. בדקנו את עוצמת הזעזוע בכל קונטור מרחק כזה עבור הכמות הנ"ל המרבית להשהיה על שני הגבולות האפשריים.

2. אתר הסקר

- תרשים מספר 1 א' מציג את אתר הסקר וקו הייחוס המערבי הוא גבול היתר החציבה על פי הרישיון התקף עד 31/5/2025. התצלום אוויר מורכב למעשה משני צילומים: האחד בשטח המועצה המקומית שוהם מאתר ה-GIS משנת 2024. הצילום השני הוא מאתר ה-GIS של חבל מודיעין ובו למעשה המחצבה משנת 2023. שני התצלומים עברו התאמה בקנה המידה ובמיקום. בנוסף בצבנו את גבול החציבה המערבי של המחצבה על פי הרישיון התקף עד 31/5/2025 המופיע באינטרנט. כמו כן הצבנו את מיקום חמשת הפיצוצים ומכשירי המדידה (בנקודות ירוקות) מתוך מפת הסקר לחוק האתר ב-2018. על התצ"א המוכלל הצבנו גם את גבולות קו תחום השפעת התמ"א והמגרשי תעשייה בתחום ההשפעה של התמ"א.
- תרשים מספר 1 ב' כמו 1 א' אולם מציג את אתר הסקר כאשר קו הגבול המערבי הוא על פי גבול המחצבה בתמ"א 15-1.



גיאוסטק, גיאופיסיקה הנדסית וסביבתית בע"מ

טלפון: 03-9516770, פקס: 03-9412150, נייד: 054-7232402

דוא"ל: GEOTEC@GEOTEC.CO.IL, אתר אינטרנט: WWW.GEOTEC.CO.IL



3. חוק האתר

- חוק האתר שבוצע ב 2018 מוצג בתרשים מספר 2. התדרים הצפויים באזור התעשייה שוהם הם פחות מ 10 הרץ מתוך נתוני מדידות חוק האתר בהתייחס לפיצוצים על הגבול המערבי של אזור החציבה.
- משוואת חוק האתר שהתקבלה היא:

$$V = 1219.4 \times \left(\frac{R}{\sqrt{W}} \right)^{-1.448}$$

V - מהירות החלקיק המרבית [מ"מ/שנייה], R - המרחק במטרים בין אתר הפיצוץ לנקודת המדידה
 W - כמות חומר הנפץ המרבית להשהיה בק"ג

- נציב את כמות חומר הנפץ המרבית להשהיה, 240 ק"ג על הגבול המערבי של אתר החציבה.
- מתוך תרשים מס' א'1, ניתן לראות שהמגרשים הרלבנטיים בתוך הפוליון הירוק באזור התעשייה שוהם נע בין מרחקים של 700 מטר עד 1200 מטר מהגבול המערבי על פי היתר החציבה שבתוקף.

- נציב במשוואת חוק האתר: א. מרחקים כל 100 מטר בין 700 מטר עד 1200 מטר, ב. 240 ק"ג להשהיה מרבית ונבדוק את ערכי המהירות חלקיק (זעזועים) המתקבלים בתוך אזור התעשייה כמפורט בטבלה מס' 1. עוצמת הזעזועים תנוע בין 4.895 מ"מ/שנייה במרחק של 700 מטר עד 2.23 מ"מ/שנייה במרחק של 1200 מטר. תרשים מס' 3 מציג את התוצאות בתוך הפוליון של המגרשים הרלבנטיים באזור התעשייה שוהם.

- מתוך תרשים 1 ב' ניתן לראות שהמגרשים הרלבנטיים בתוך הפוליון הירוק באזור התעשייה שוהם נע בין המרחקים 300 מטר עד 700 מטר זאת מהגבול המערבי של המחצבה בתמ"א 15-1.

- הצבנו מרחקים אלה גם על פי גבול מערבי של המחצבה בהתאם לתמ"א 15-1 והשתמשנו בפיצוץ של 240 ק"ג להשהיה מרבית. מהירות החלקיק בין מרחק של 300 מטר עד 700 מטר (כל 100 מטר) מפורטת בטבלה 2 ונעה בין 16.69 מ"מ/שנייה במרחק של 300 מטר ועד 4.895 מ"מ/שנייה במרחק 700 מטר. תרשים מס' 4 מציג את התוצאות בתוך אזור התעשייה שוהם במגרשים הרלבנטיים.

- ערכים אלה של זעזועים בתדרים הנמוכים מ 10 הרץ תקינים לחלוטין זאת על פי התקנה הישראלית לזעזועים מפיצוצים במחצבות אבן מאפשרים רמה מרבית של 19 מ"מ/שנייה.



גיאוסטק, גיאופיסיקה הנדסית וסביבתית בע"מ

טלפון: 03-9516770, פקס: 03-9412150, נייד: 054-7232402

דוא"ל: GEOTEC@GEOTEC.CO.IL, אתר אינטרנט: WWW.GEOTEC.CO.IL



נתונים אלה אף עומדים בערכים של התקן הגרמני DIN4150-3 למבני תעשייה בתחום התדרים הקטן מ 10 הרץ, 20 מ"מ/שנייה. במקרה של גבול היתר החציבה התקף גם בדרישות התקן הגרמני למבני מגורים תחת המגבלה של 5 מ"מ/שנייה.

השימושים עליהם מדובר:

- תעשייה.
- אחסנה ולוגיסטיקה (לא מזון ולא תרופות).
- בתי מלאכה ומרלוג"ים.
- מסוף תחבורה וחניון רכב כבד.
- חוות שרתים.

בכל השימושים הנ"ל יותרו מבנים סגורים בלבד (לא אטומים אלא סגורים, כלומר לא סככות).

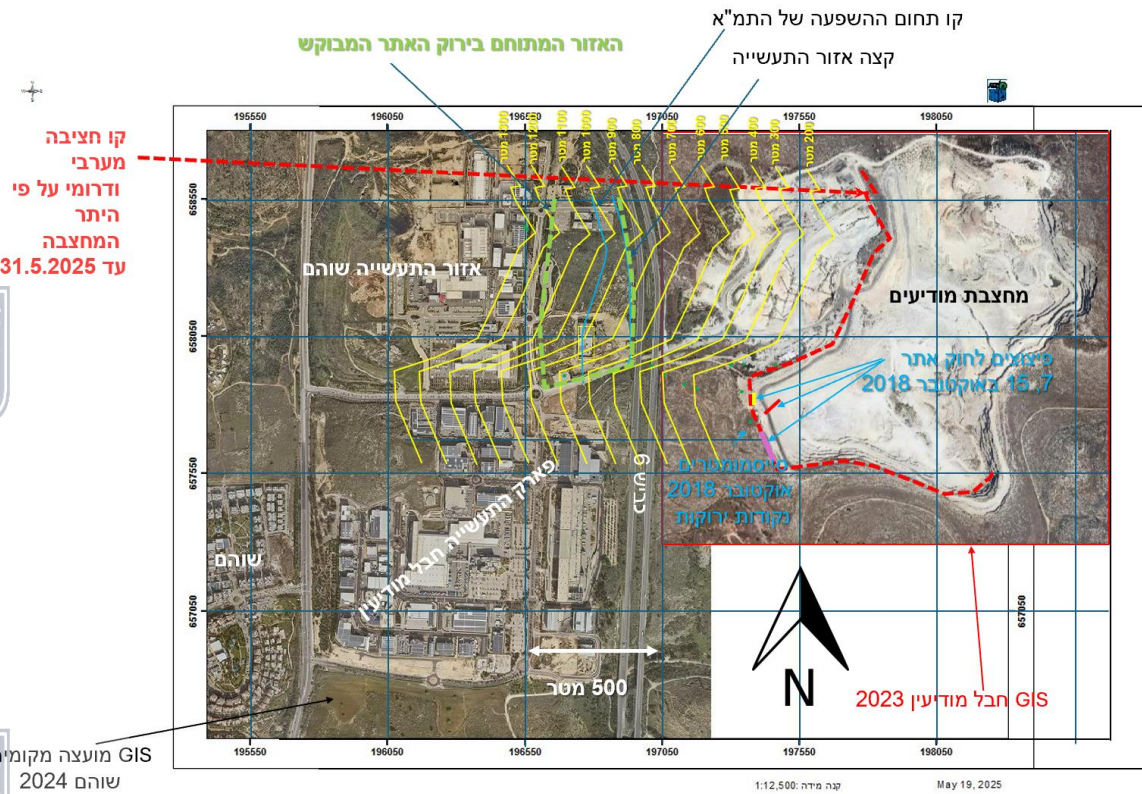
על פי ערכי הזעזועים המרביים הצפויים באזור התעשייה שוהם. אין כל מניעה להקמת המבנים לשימושים שצוינו לעיל. הסתייגות אחת, אותה יש לקחת בחשבון, היא מגבלות זעזועים של ציוד הנמצא למשל בחוות שרתים ורגיש לזעזועים. אולם יש להדגיש כי אין כל מגבלה למבנה. הציוד הספציפי ככל שיש לו מגבלת זעזועים על פי מפרט היצרן, יכול להיות משוכך באמצעים הנדסיים מקובלים.



גיאוטק, גיאופיסיקה הנדסית וסביבתית בע"מ

טלפון: 03-9516770, פקס: 03-9412150, נייד: 054-7232402,

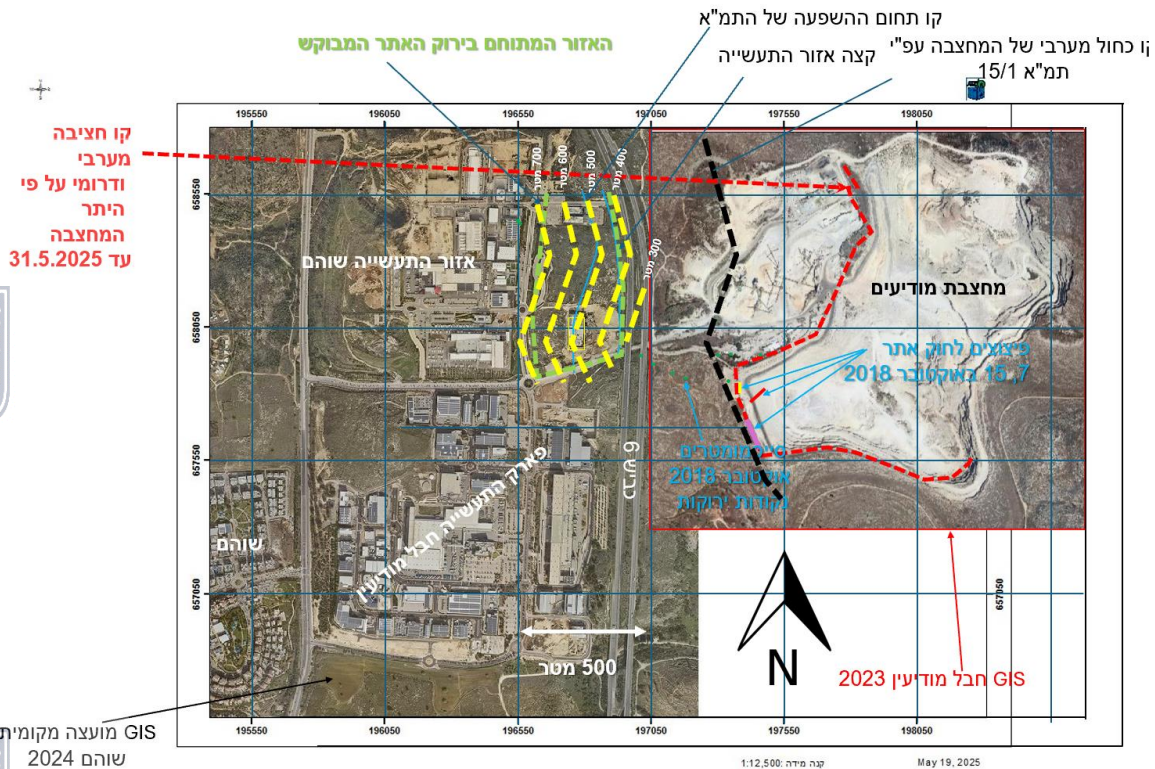
דוא"ל: GEOTEC@GEOTEC.CO.IL, אתר אינטרנט: WWW.GEOTEC.CO.IL



תרשים מס' 1 א': תצלום אוויר של אתר הסקר בהתייחס לגבול המערבי היתר הפיצוצים שבתוקף



דוא"ל: GEOTEC@GEOTEC.CO.IL, אתר אינטרנט: WWW.GEOTEC.CO.IL



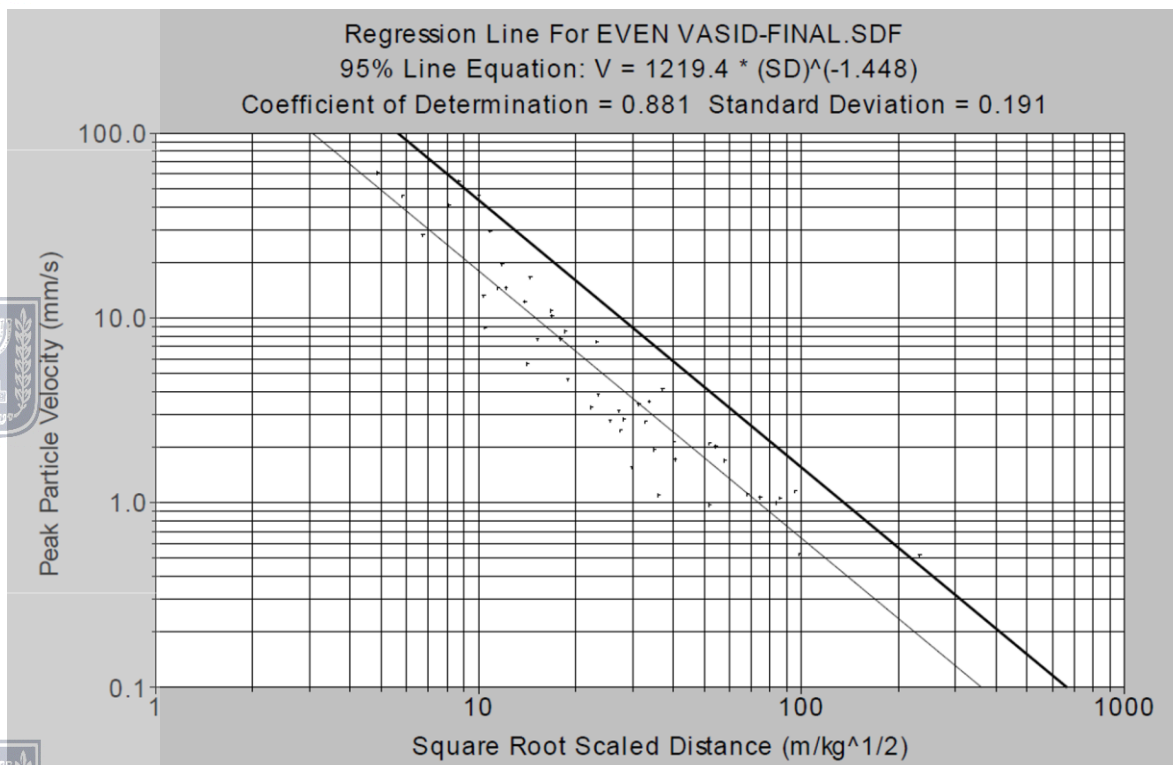
תרשים מס' 1 ב': תצלום אוויר של אתר הסקר בהתייחס לגבול המערבי של המחצבה על פי תמ"א 15-1



גיאוסטק, גיאופיסיקה הנדסית וסביבתית בע"מ

טלפון: 03-9516770, פקס: 03-9412150, נייד: 054-7232402

דוא"ל: GEOTEC@GEOTEC.CO.IL, אתר אינטרנט: WWW.GEOTEC.CO.IL



תרשים מס' 2: חוק האתר שחושב ב 2018.



גיאוסטק, גיאופיסיקה הנדסית וסביבתית בע"מ

טלפון: 03-9516770, פקס: 03-9412150, נייד: 054-7232402,

דוא"ל: GEOTEC@GEOTEC.CO.IL, אתר אינטרנט: WWW.GEOTEC.CO.IL



טבלה מס' 1: הזעזועים הצפויים באזור התעשייה שוהם (במגרשים המבוקשים) על פי רישיון

המחצבה לביצוע פיצוצים בהיתר עד 31/5/2025

מחצבה בין נקודת הפיצוץ על הגבול המערבי של מחצבת מודיעים לאזור התעשייה שוהם [מטר] על פי רישיון המחצבה עד 31/5/2025 והיתר הפיצוצים	מרחק בין נקודת הפיצוץ על הגבול המערבי של מחצבת מודיעים לאזור התעשייה שוהם [מ"מ/שנייה]	כמות חומר נפץ מרבית להשהיה [ק"ג]
700	4.8946	240
800	4.034	240
900	3.3877	240
1000	2.92	240
1100	2.533	240
1200	2.23	240

טבלה מס' 2: הזעזועים הצפויים באזור התעשייה שוהם על פי גבול המחצבה המערבי בתמ"א

15-1

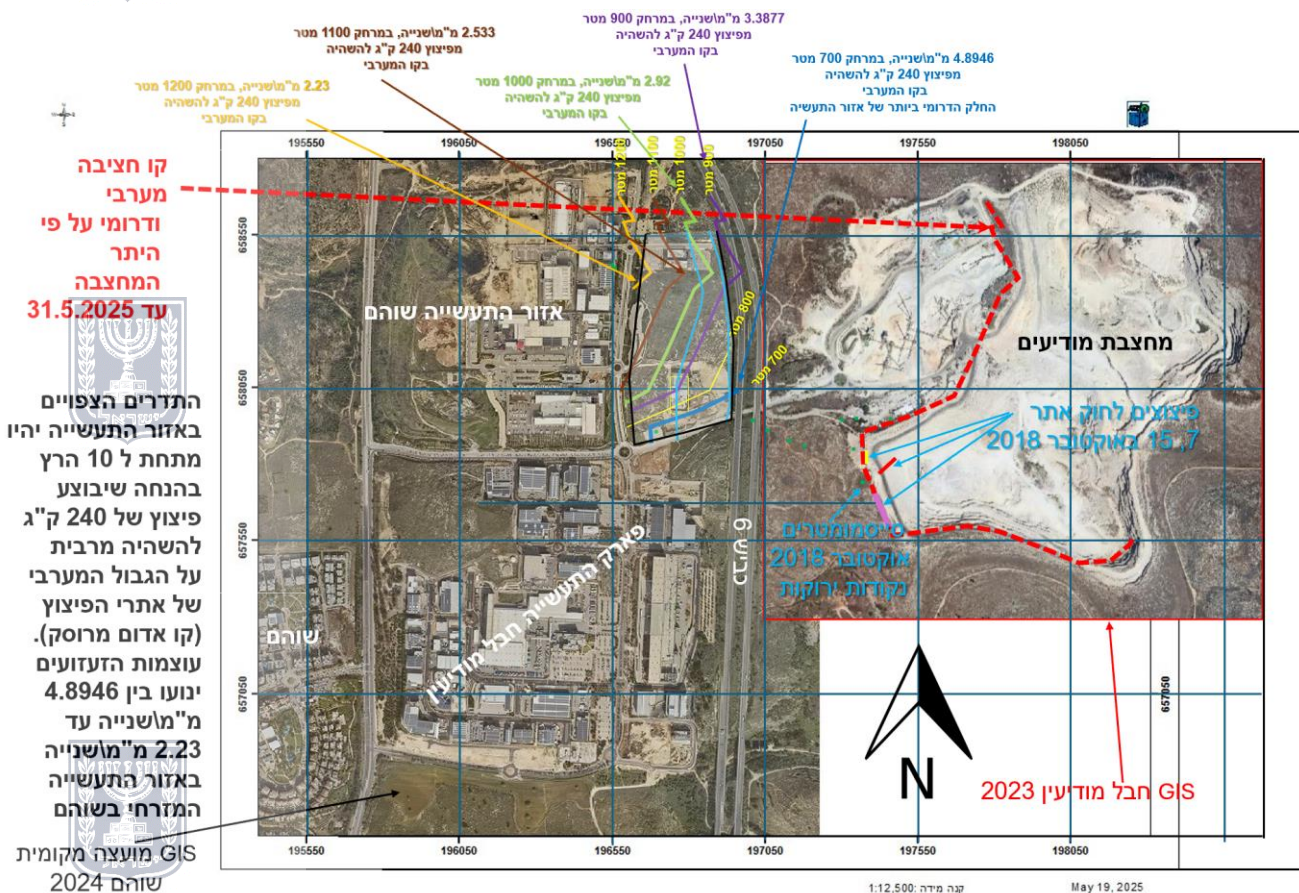
מרחק בין נקודת הפיצוץ על הגבול המערבי של מחצבת מודיעים לאזור התעשייה שוהם [מטר] על פי תמ"א 15-1	מרחק בין נקודת הפיצוץ על הגבול המערבי של מחצבת מודיעים לאזור התעשייה שוהם [מ"מ/שנייה]	כמות חומר נפץ מרבית להשהיה [ק"ג]
300	16.69	240
400	11.01	240
500	7.97	240
600	6.12	240
700	4.8946	240



גיאופיזיקה הנדסית וסביבתית בע"מ

טלפון: 03-9516770, פקס: 03-9412150, נייד: 054-7232402

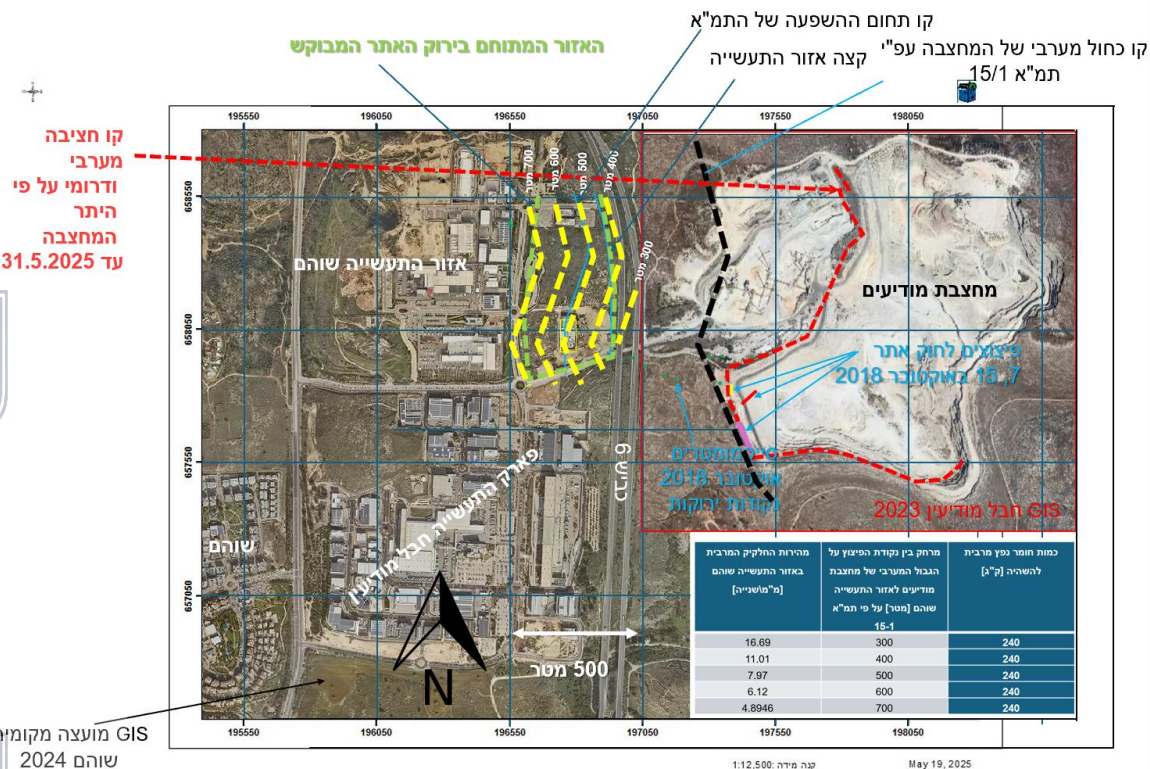
דוא"ל: GEOTEC@GEOTEC.CO.IL, אתר אינטרנט: WWW.GEOTEC.CO.IL



תרשים מס' 3: תצלום אוויר של אתר הסקר עם ערכי הזעזועים הצפויים על פי המרחק מקו מערבי של היתר הפיצוצים ורישיון החציבה של מחצבת מודיעים עד 31/5/2025



דוא"ל: GEOTEC@GEOTEC.CO.IL, אתר אינטרנט: WWW.GEOTEC.CO.IL



תרשים מס' 4: תצלום אוויר של אתר הסקר עם ערכי הזעזועים הצפויים על פי המרחק מקו מערבי של מחצבת מודיעים על פי תמ"א 15-1



גיאוסטק, גיאופיסיקה הנדסית וסביבתית בע"מ

טלפון: 03-9516770, פקס: 03-9412150, נייד: 054-7232402

דוא"ל: GEOTEC@GEOTEC.CO.IL, אתר אינטרנט: WWW.GEOTEC.CO.IL



4. מסקנות והמלצות

- ♦ בוצע חוק אתר תיאורטי באזור המיועד לבנייה עתידית באזור התעשייה שוהם. חוק האתר מתבסס על מדידות של חוק אתר שבוצע במחצבה ב 2018.
- ♦ על פי שני קווי ייחוס שונים לגבול המחצבה העתידי בהתאם לרשיון המחצבה והיתר הפיצוצים שבתוקף עד 31/5/2025 וקו הייחוס השני הוא הקו המערבי של גבול המחצבה על פי תמ"א 15-1 וכן על בסיס חישוב חוק האתר מ 2018, הוצבה כמות מרבית להשהיה של 240 ק"ג על הגבול המערבי של אתר החציבה על פי שני קווי הייחוס. בתרשים 3 על פי גבול החציבה שבהיתר והמרחקים הרלבנטיים הם 700 מטר עד 1200 מטר. בתרשים מס' 4 גבול הייחוס המערבי של המחצבה הוא על פי תמ"א 15-1 והמרחקים הרלבנטיים באזור התעשייה שוהם (למגרשים הרלבנטיים) נעים בין 300 מטר ועד 700 מטר. נבחנו רמות הזעזוע הצפויות במרחקים הנ"ל. בהתייחס לגבול הרישיון הפירוט מופיע בטבלה מס' 1. לגבי גבול מערבי על פי התמ"א הפירוט בטבלה מס' 4. התדרים הצפויים נמוכים מ 10 הרץ.
- ♦ רמות הזעזועים הן נמוכות ביחס למגבלות הנדרשות בתקנה למחצבות אבן 1998, ותיקון מ 2009)-(19 מ"מ\שנייה). נתונים אלה עומדים גם בדרישות התקן הגרמני דין 3-4150 למבני תעשייה (20 מ"מ\שנייה) בהתייחס לפיצוץ 240 ק"ג להשהיה בשני קווי הייחוס האפשריים. באפשרות הראשונה (קו ייחוס על פי הרישיון שבתוקף) הזעזועים אף עומדים בדרישות התקן הגרמני לבתי מגורים.
- ♦ נבחנו השימושים למבנים המבוקשים באזור זה לבנייה עתידית. אין כל מניעה לבנייה בהיבט הזעזועים.
- ♦ הערה: אין כאמור שום סיכון למבנה, אולם במידה והשימוש יהיה לחוות שרתים, יתכנו מגבלות נוספות לצידוד של היצרן. במידה והיו כאלה, ניתן יהיה לרסן ולשכך את הזעזועים למגבלות הנדרשות על ידי יצרן הצידוד. מדובר באמצעי שיכון באתרי הצבת הצידוד.



גיאוסטק, גיאופיסיקה הנדסית וסביבתית בע"מ

טלפון: 03-9516770, פקס: 03-9412150, נייד: 054-7232402

דוא"ל: GEOTEC@GEOTEC.CO.IL, אתר אינטרנט: WWW.GEOTEC.CO.IL