

סקר אינפרא-סאונד לקראת הקמת טורבינות רוח במועצה אזורית גולן

31 יולי, 2018

הוכן עבור: מועצה אזורית גולן

תוכן ענייניים

| | | |
|----|---|-----|
| 3 | כללי | .1 |
| 3 | תיאור המקום וסביבתו | .2 |
| 5 | רקע לתחום האינפרא-סאונד (תת-קול) | .3 |
| 7 | קריטריונים לרעש טורבינות רוח בתחום תת-קול | .4 |
| 7 | מדידות הרעש | .5 |
| 7 | כללי - תיאור מדידות הרעש | 5.1 |
| 11 | מכשור | 5.2 |
| 13 | תוצאות המדידות | 5.3 |
| 19 | סיכום ומסקנות | .6 |

1. כללי

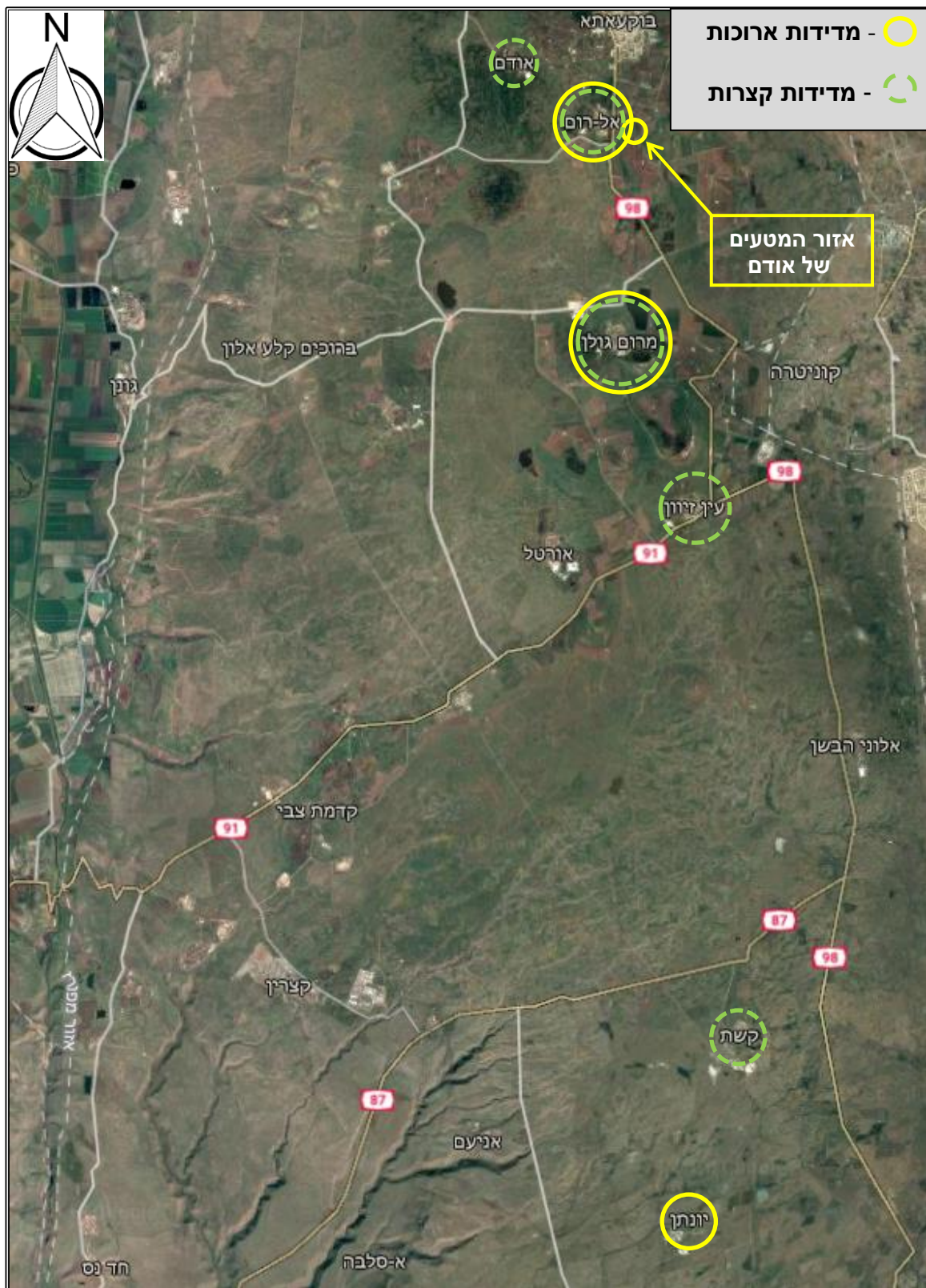
סקר זה נערך לבקשת מר קובי גביש, מנהל היחידה לשטחים פתוחים של מועצה אזורית גולן, ומטרתו לבחון את מפלסי האינפרא-סאונד (תת-רעש) במצב השורר כיום (רעש רקע) באזור הפוטנציאלי למיקום עתידי של טורבינות רוח ברמת הגולן.

על מנת לאפיין את רעש הרקע, בתחום האינפרא-סאונד, הוצבו מכשירים מדידה ייעודיים אשר מדדו מדידות ארוכות-משך (להלן מדידות ארוכות) ברציפות במשך כ-10 ימים ומדידות קצרות-משך שמשכן כ-30 דקות. הציוד נפרס בתיאום עם מזמיני העבודה, מועצה אזורית גולן, בסמוך למבני מגורים ביישובים השוכנים בצפון רמת הגולן.

2. תיאור המקום וסביבתו

מועצה אזורית גולן היא הרשות האחראית על שטח רמת הגולן. בתרשים מס' 1 מוצגים, על גבי תצ"א, היישובים בהם בוצעו מדידות אפיון רעש רקע בטווח האינפרא-סאונד. עיגול צהוב מייצג מקום בו בוצעו מדידות ארוכות, עיגול ירוק מקווקו מייצג מקום בו בוצעו מדידות קצרות.

תרשים מס' 1: היישובים בהם בוצעו המדידות



3. רקע לתחום האינפרא-סאונד (תת-קול)

תחום האינפרא-סאונד בכלל, וזה שמקורו מפעילות של טורבינות רוח בפרט, הוא תחום קונטרוברסלי המכיל הרבה דעות קדומות, חששות וחרדות המבוססות בעיקרן על אנקדוטות ואמונות בלתי מבוססות הזרעות חרדה מפני ה"קול שלא ניתן לשמוע".

התייחסותנו לנושא מתבססת רק על מידע בדוק בצורה מדעית - אם על תקנים לאומיים ובינלאומיים מוכרים ואם על עבודות ופרסומים שעברו ביקורות מדעיות והנדסיות של אנשי מקצוע מומחים בתחום.

מבחינת פיזיקלית תחום האינפרא-סאונד אינו שונה מתחום הרעש הנשמע והמידע על תחום זה אינו פחות מהמידע על האחר. עפ"י הגדרה, תחום האינפרא-סאונד עוסק בכל התדירויות הנמוכות מ-20 הרץ. ההתייחסות התקנית לנושא קבלה ביטוי בתקן הבינלאומי **תקן ISO 7196:1995 : תחום האינפרא-סאונד**.

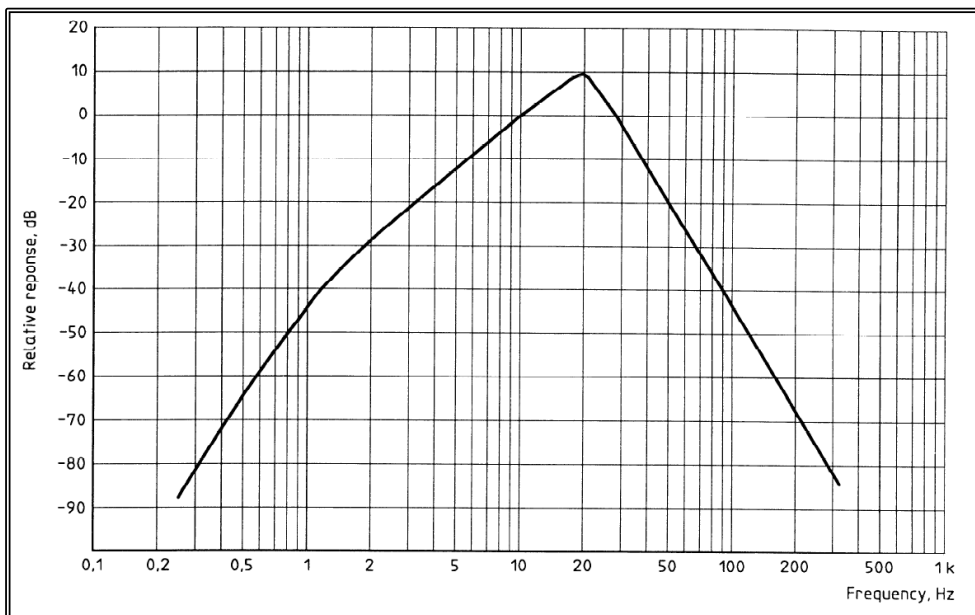
המעבר מתחום האודיו (התחום הנשמע) לתחום האינפרא-סאונד אינו מעבר חד. כאשר מפלסי הרעש בתחום התדירות העליון של האינפרא-סאונד גבוהים מספיק, מסוגל האדם לשמוע ולעתים אף להרגיש אותם - גם אם יכולת השמיעה של האדם נמוכה בהשוואה ליכולתו בתחום האודיו.

יכולת השמיעה של האדם פוחתת עם הירידה בתדירות - כלומר אם אדם מסוגל לשמוע קול במפלס של כ-70 dB בתדירות של 20 Hz, הרי שבתדירות של 10 Hz מפלס הקול חייב להיות גבוה מ-100 dB בכדי שניתן יהיה להבחין בו. גם במצב זה חלק גדול מהאוכלוסייה לא יבחינו בקול בתדירות זאת.

הצורך בתקן זה נובע מהעובדה ששקלול קול בסולם A, המשקף את רגישות השמיעה של אוזן האדם בתחום האודיו, אינו מתאים לתיאור תחום אינפרא-סאונד. מסיבה זו הוגדר בתקן שקלול חדש - **שקלול G** המתאים לרגישות שמיעת האדם לתדירויות נמוכות אלה. התקן כולל מספר קביעות חשובות המיועדות לפזר את הערפל העוטף את הנושא ואת תגובת האדם לאינפרא-סאונד בפרט:

- ✦ הדרך העיקרית שבה אדם חש את האינפרא-סאונד היא באמצעות מערכת השמיעה. מבחינה פיזיקלית אין הבדל בין גלי קול בתחום תדירויות הנמוך מ-20 הרץ לגלי קול בתחום תדירויות הגבוה מ-20 הרץ, ולכן התקן משלים ומרחיב את התקינה הנרחבת בתחום האודיו לתחום האינפרא-סאונד.
- ✦ בתדירויות נמוכות מאוד, ובעוצמות גבוהות מאוד תתכן גם הרגשה של רעידות.
- ✦ שקלול dB(G) הינו המתאים ביותר עבור הערכת מטרד קול הנגרם בתחום האינפרא-סאונד.
- ✦ סף השמיעה של האדם לאינפרא סאונד בתדירות של 10 הרץ הוא כ-100 dB(G).
- ✦ מפלסי רעש הנמוכים מ-90 dB(G) בדרך כלל יהיו זניחים מבחינת תחושת האדם.
- ✦ תרשים מס' 2, הלקוח מתוך התקן, מציג את שקלול G וקובע את ההתייחסות לרעש האינפרא-סאונד כאשר הוא נמדד בפסי 1/3 אוקטבה.
- ✦ הסימון של מפלס בשקלול G הוא L_G והוא נמדד ביחידות dB(G).

תרשים מס' 2: הגדרת שקלול G לתדירויות אינפרא-סאונד (תקן ISO 7196:1995)



בלוח מס' 1 מוצגים ערכי שקלול סולם G בתדירויות בפסי שליש אוקטבה

לוח מס' 1: טבלת ערכי שקלול לסולם G בתחום האינפרא-סאונד

| Nominal one-third-octave frequency (Hz) | Relative response (dB) |
|---|------------------------|
| 0.25 | -88.0 |
| 0.315 | -80.0 |
| 0.4 | -72.1 |
| 0.5 | -64.3 |
| 0.63 | -56.6 |
| 0.8 | -49.5 |
| 1.0 | -43.0 |
| 1.25 | -37.5 |
| 1.6 | -32.6 |
| 2.0 | -28.3 |
| 2.5 | -24.1 |
| 3.15 | -20.0 |
| 4.0 | -16.0 |
| 5.0 | -12.0 |
| 6.3 | -8.0 |
| 8.0 | -4.0 |
| 10.0 | 0.0 |
| 12.5 | 4.0 |
| 16.0 | 7.7 |
| 20.0 | 9.0 |

כך למשל, במידה ונמדד מפלס בתחום האינפרא-סאונד השווה ל- 80 dB ללא שקלול בפס 1/3 אוקטבה 5 Hz - יש להפחית מתוצאת המדידה 12 dB על מנת לקבל את מפלס האינפרא-סאונד בשקלול G. המפלס המשוקלל יהיה שווה ל- $L_G = 68 \text{ dB(G)}$.

4. קריטריונים לרעש טורבינות רוח בתחום תת-קול

עבודת מחקר גדולה לקביעת קריטריונים לתת-קול, מבחינת השפעתו על האדם, נעשתה על ידי צמד החוקרים Watanabe and Moller. המחקר קבע כי בתחום התת-קול (עד 20 Hz) מפלס של 85 dB(G) מהווה את סף הרגישות המחמיר ביותר.

תקן ISO 7196:1995 קובע את ממוצע סף השמע כ- 85 dB(G).

המשרד להגנת הסביבה קבע קריטריון מחמיר ושמרני עוד יותר העומד על ערך של 75 dB(G).

5. מדידות הרעש

5.1 כללי - תיאור מדידות הרעש

לצורך אפיון האקלים האקוסטי טרם הקמת טורבינות הרוח נערכו מספר מדידות רעש בסמוך למקבלי הרעש הקרובים לאזורים בהם נבחנת האפשרות להקמתם. המדידות בשטח מתחלקות למדידות ארוכות, למשך של 10 ימים, ומדידות קצרות למשך של חצי שעה לכל מדידה.

המדידות ארוכות בוצעו באופן רציף בין התאריכים 18/03/18-27/03/18 והמדידות הקצרות בוצעו בתאריך 23/05/18.

להלן רשימת היישובים בהם בוצעו מדידות ארוכות למשך של 10 ימים, בשטחים פתוחים ברחבי היישוב:

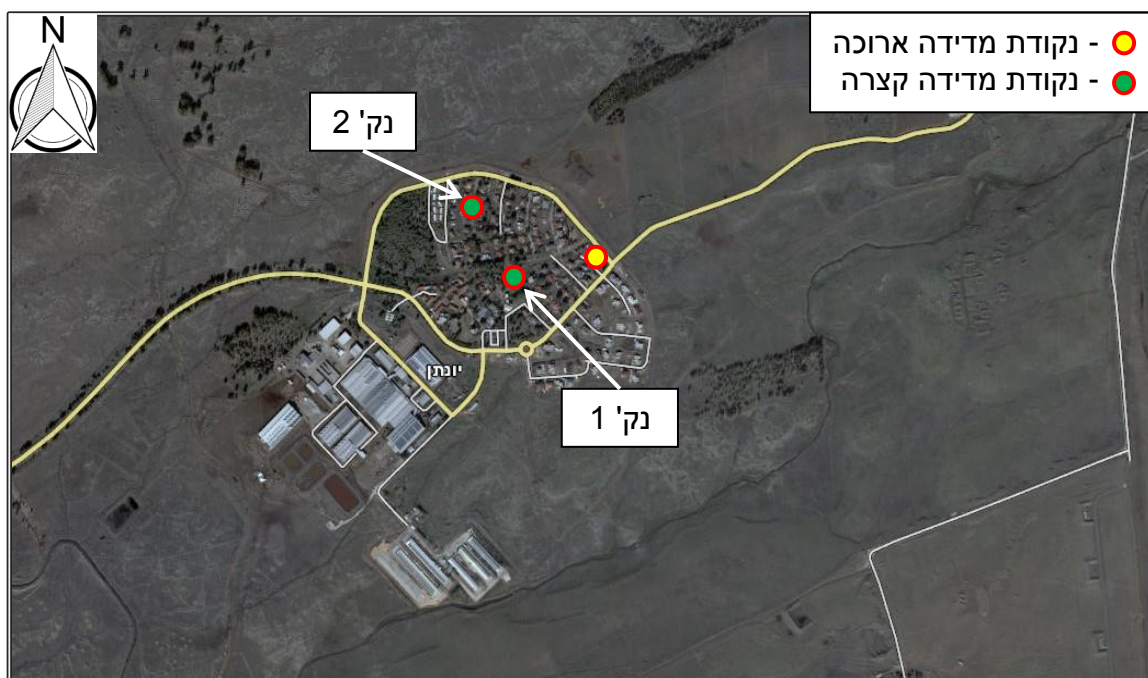
- ✦ מושב יונתן - הותקן מכשיר בחצר בית השוכן בחלקו המזרחי של המושב.
- ✦ קיבוץ מרום גולן - הותקן מכשיר בחצר בית השוכן בהרחבה שבחלקו הצפון-מזרחי של הקיבוץ.
- ✦ קיבוץ אלרום - הותקנו 2 מכשירים - האחד בשטח פתוח במרכז הקיבוץ והשני בשטח פתוח בחלקו הדרומי של הקיבוץ.
- ✦ מושב אודם - הותקן מכשיר בשטח המטעים השוכנים מערבית לקיבוץ אלרום.

להלן רשימת היישובים בהם בוצעו מדידות קצרות למשך של כ-30 דקות, בשטחים פתוחים ברחבי היישוב, סה"כ שתי נקודות ליישוב:

- ✦ מושב יונתן - נק' בצפון המושב ונק' נוספת במרכז המושב.
- ✦ קיבוץ מרום גולן - נק' בצפון הקיבוץ ונק' נוספת בדרום מזרח הקיבוץ.
- ✦ קיבוץ אלרום - נק' במרכז הקיבוץ ונק' נוספת במערב הקיבוץ.
- ✦ מושב קשת - נק' בצפון המושב ונק' נוספת בדרום המושב.
- ✦ קיבוץ עין זיוון - נק' בצפון מזרח הקיבוץ ונק' נוספת במערב הקיבוץ.

בתרשימים מס' 3.1 עד 3.5 מוצגות, על גבי תצ"א, נקודות המדידה בתוך ובסמוך ליישובים, עיגול צהוב מסמן נקודת מדידה ארוכה ועיגול ירוק מסמן נק' מדידה קצרה.

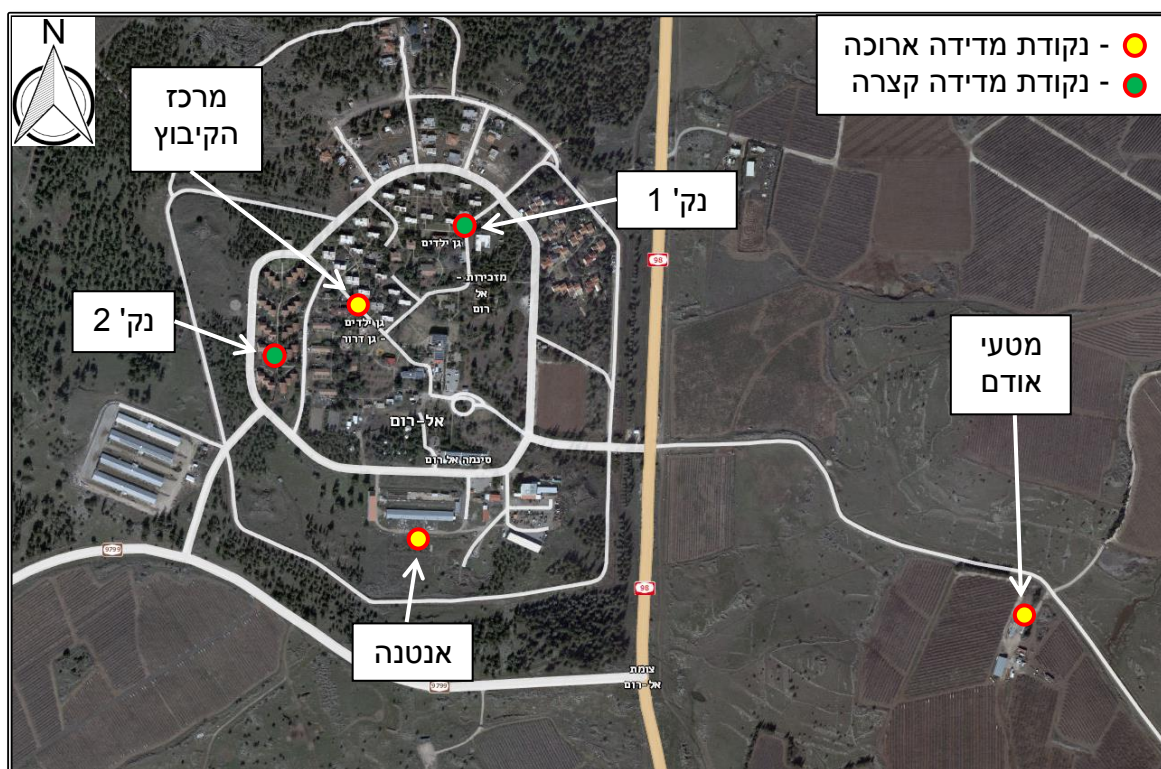
תרשים מס' 3.1: נקודת המדידה במושב יונתן על גבי תצ"א



תרשים מס' 3.2: נקודות המדידה במושב מרום מלין גולן על גבי תצ"א



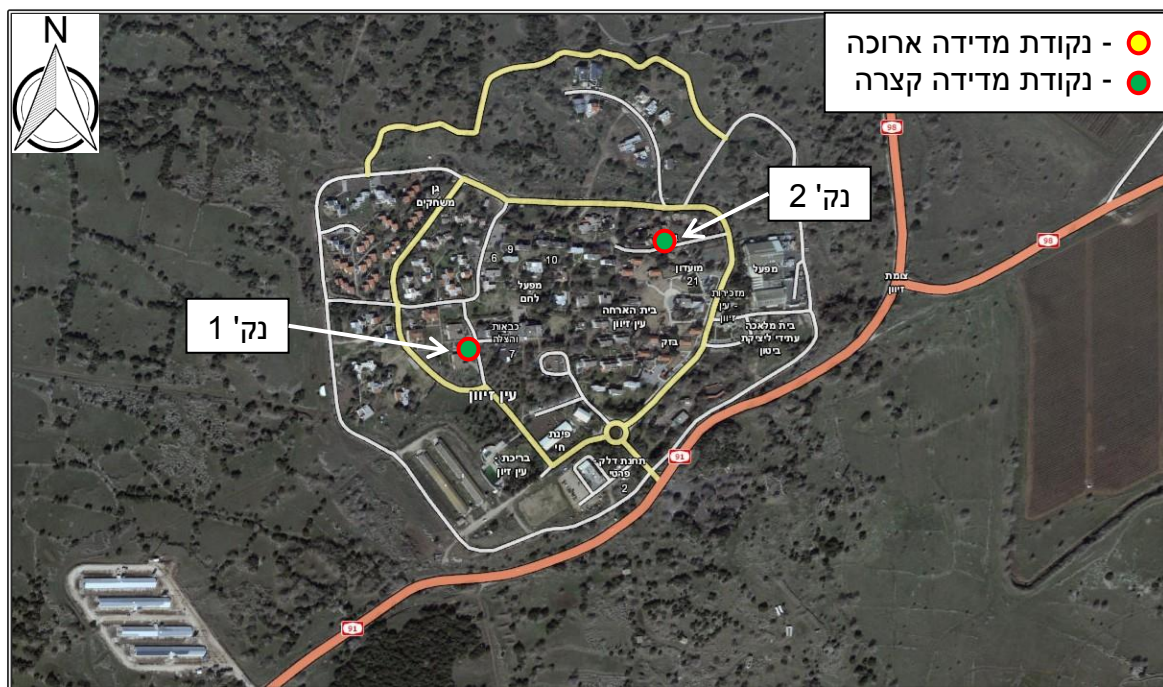
תרשים מס' 3.3: נקודות מדידה בקיבוץ אלרום ובמטעים של מושב אודם על גבי תצ"א



תרשים מס' 3.4: נקודות מדידה במושב קשת על גבי תצ"א



תרשים מס' 3.5: נקודות מדידה בקיבוץ עין זיוון על גבי תצ"א



5.2 מכשור

המדידות בוצעו בעזרת המכשור הבא:

- ❖ 3 מנתחי ספקטרום בזמן אמיתי, דגם Soundbook תוצרת Sinus, גרמניה.
- ❖ 2 מנתחי ספקטרום בזמן אמיתי, דגם Apollo תוצרת Sinus, גרמניה.
- ❖ 5 קדם מגברים דגם 426E01 תוצרת PCB, ארה"ב.
- ❖ 5 מיקרופונים קבליים למדידות תדירויות נמוכות, דגם PCB377A07 תוצרת PCB ארה"ב.
- ❖ מכשיר כיול למפלסי רעש, דגם CAL200 תוצרת Larson Davis ארה"ב.
- ❖ מגני רוח וכיפות בידוד ייעודיות למדידת אינפרא-סאונד.

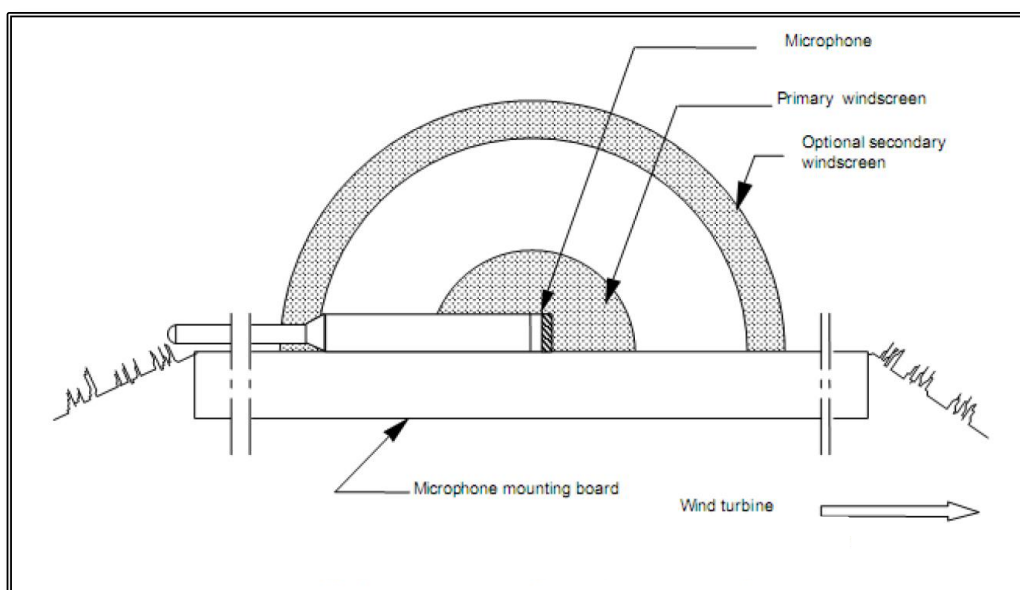
מכשירים אלו עומדים בדרישות התקן הבין-לאומי IEC 61672 למכשירי מדידת רעש מדויקים מסוג (Type 1 - Precision).

בנוסף לתקן זה תוכננה כיפת בידוד ותצורת מערכת מדידה בהתאם לתקן IEC 61400-11.

פלט המכשיר תוכנת לכלול בכל משך המדידה את מפלסי הרעש שווי-הערך, המסומנים כ- L_z (1sec), כל שנייה אחת.

בתרשים מס' 4.1 מוצג תיאור סכמטי של מערכת מדידה תקנית המורכבת ממיקרופון, מגן רוח וכיפת בידוד שבהם נעשה שימוש למדידות.

תרשים מס' 4.1: תיאור סכמטי של מערכת המדידה



בתרשימים מס' 4.2 עד 4.4 מוצגים צילומים של המיקרופון, מגן הרוח וכיפת בידוד המיועדים למדידת אינפרא-סאונד ובהם נעשה שימוש למדידות.

תרשים מס' 4.3



תרשים מס' 4.2



תרשים מס' 4.4: צילום של מערכת המדידה בזמן התקנתה בשטח

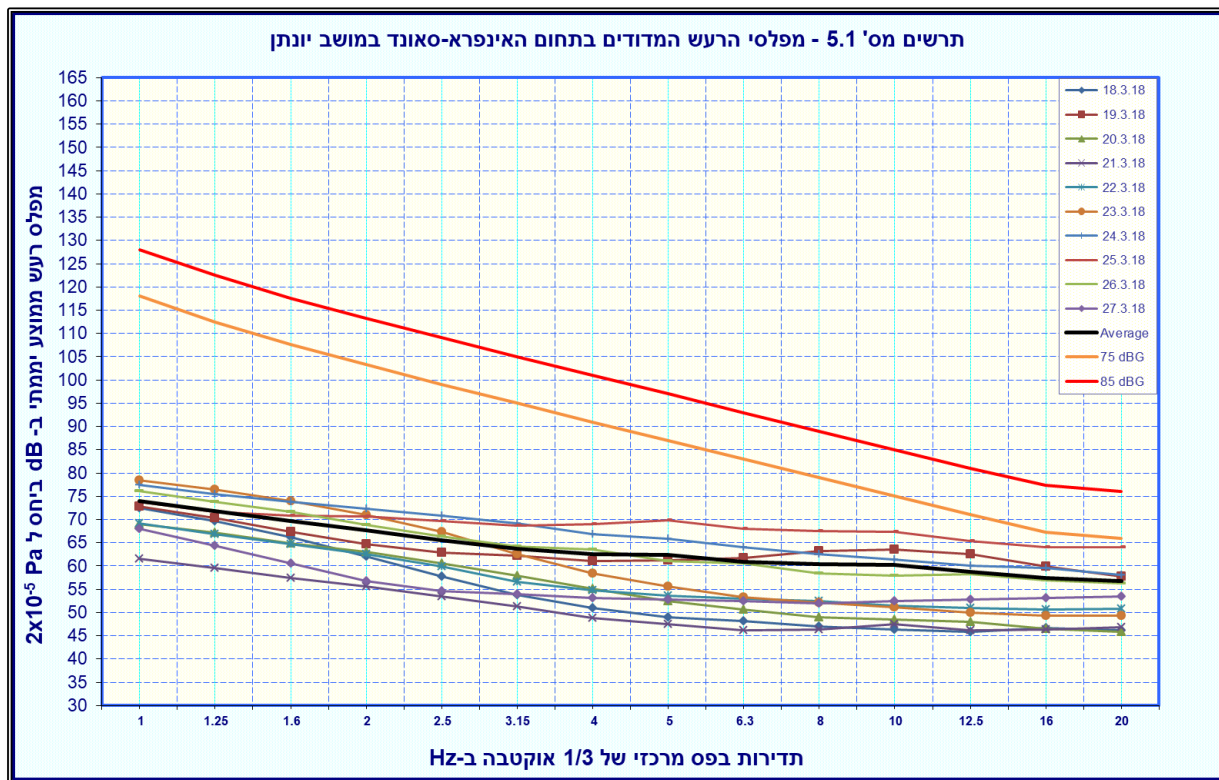


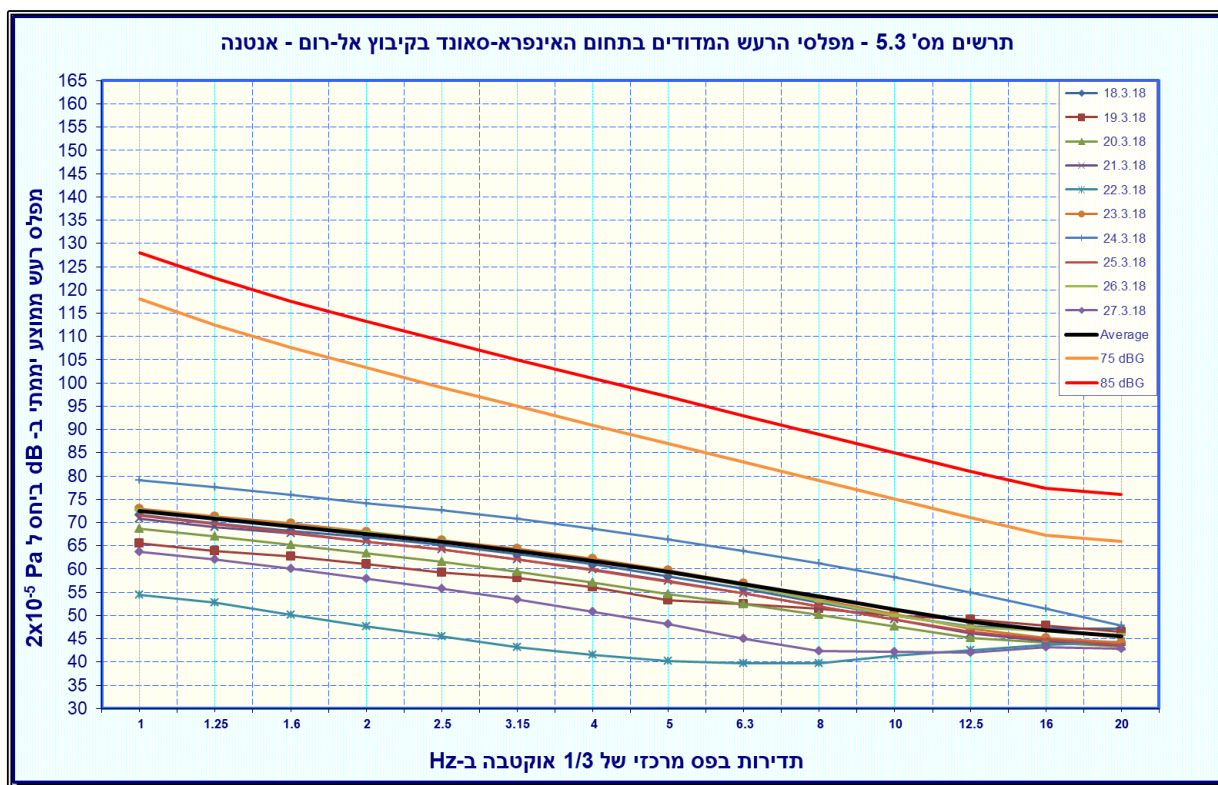
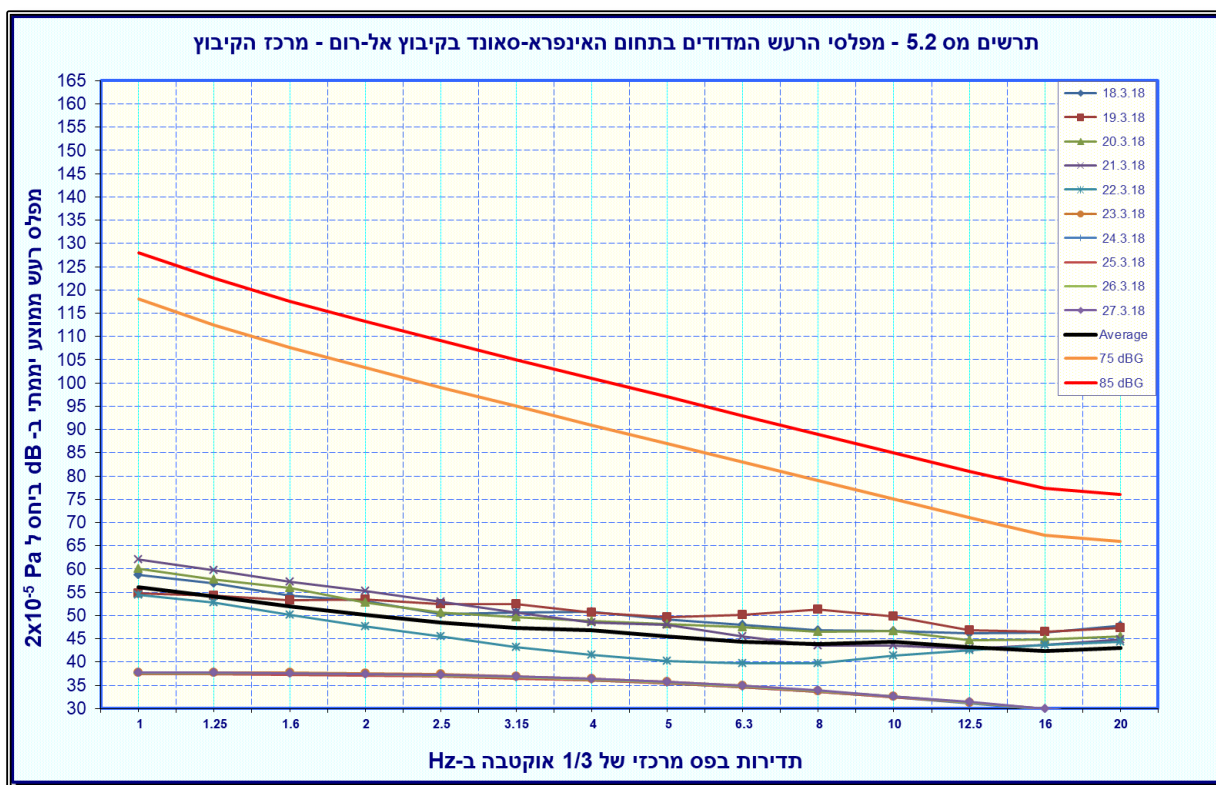
5.3 תוצאות המדידות

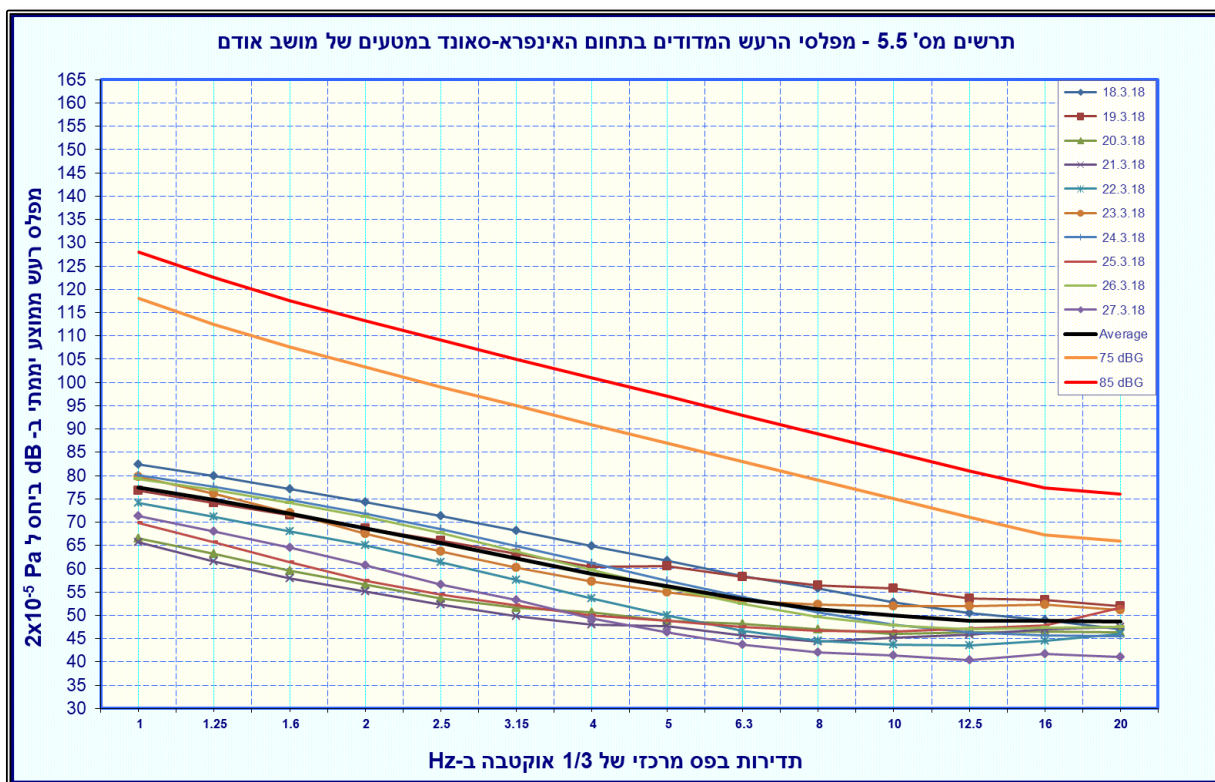
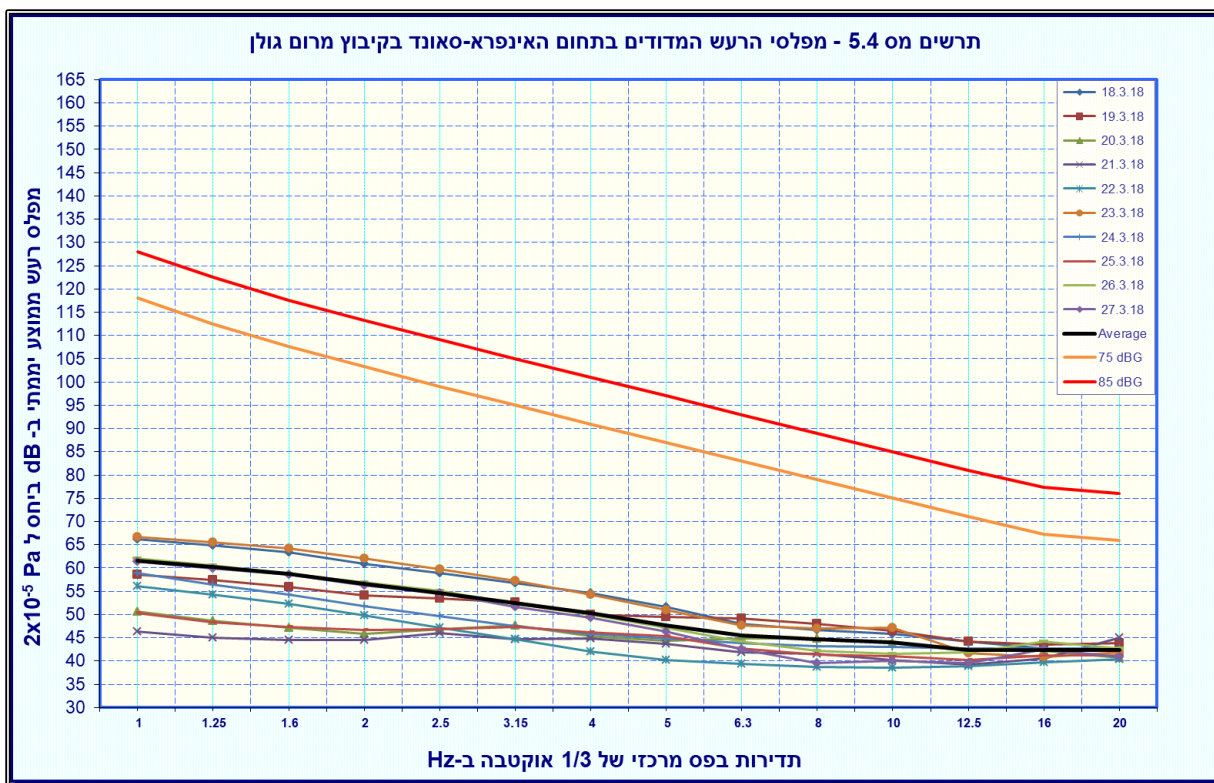
תוצאות מדידות הרעש הארוכות, שמשכן כ-10 ימים, מוצגות בתרשימים 5.1 עד 5.5.

מיקום נקודות המדידה מוצג, כאמור, בתרשימים 3.1 עד 3.5 לעיל.

התוצאות מוצגות בתרשימים כממוצע יומי כפונקציה של התדירות בפסי 1/3 אוקטבה. כמו כן, מוצג בתרשים מפלס הקריטריון לפי ISO 7196:1995 העומד על 85 dB(G) ומפלס הקריטריון המחמיר של המשדר להגנת הסביבה העומד על 75 dB(G).







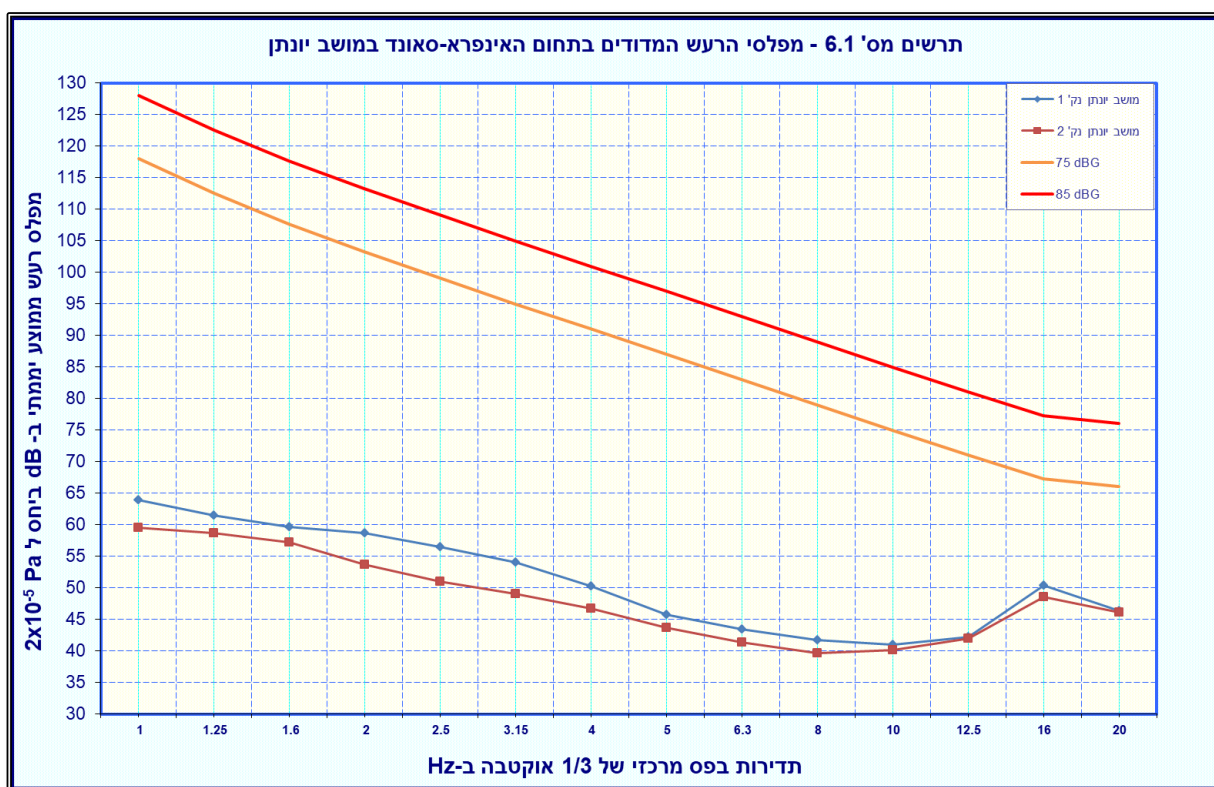
בלוח מס' 2 מוצגים מפלסי הרעש המדודים בתחום האינפרא-סאונד, ב-dB ובשקלול G.

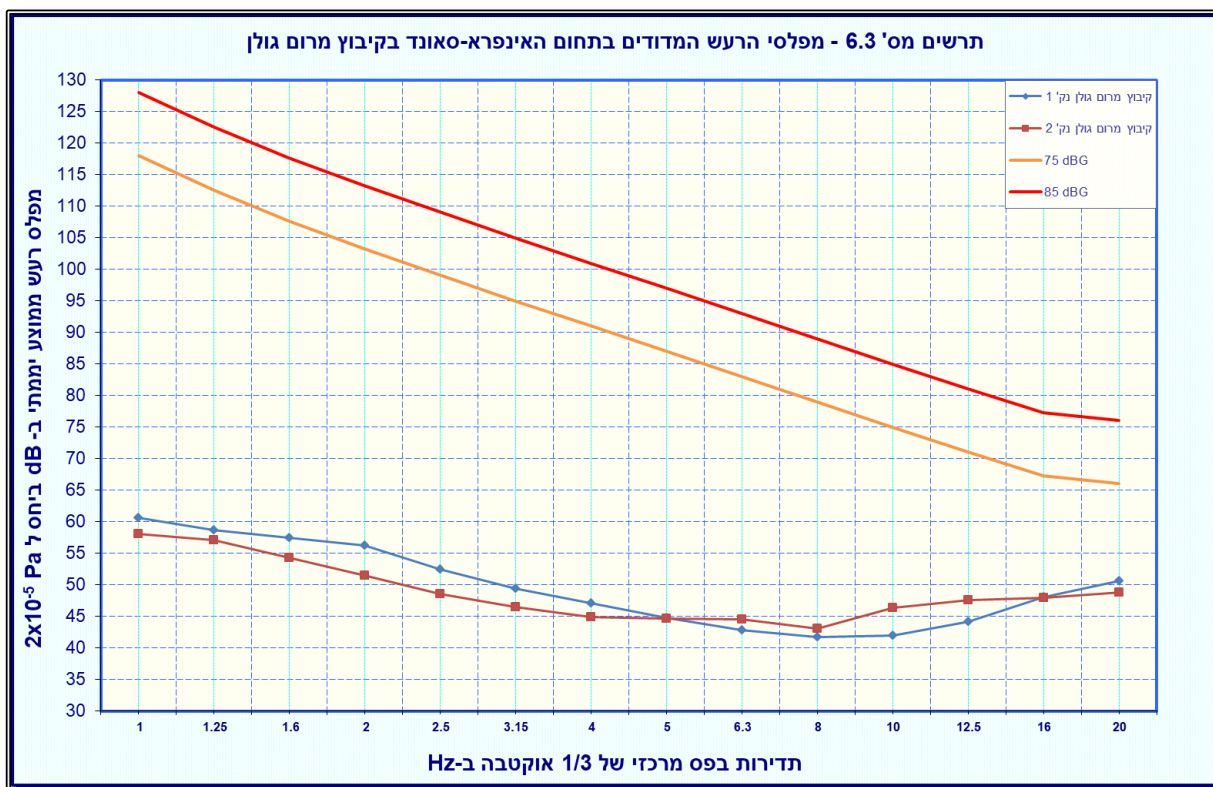
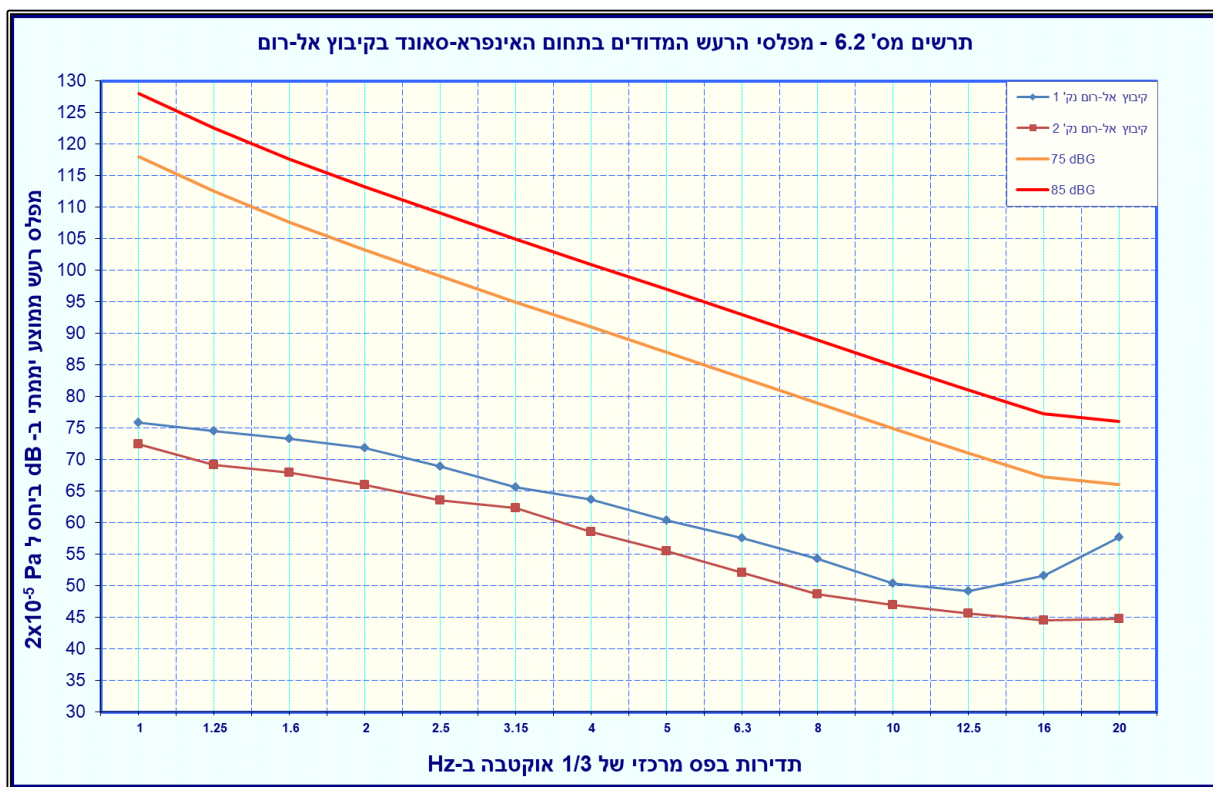
המפלסים מייצגים ממוצע יומי עבור כל אחת מנקודות המדידה.

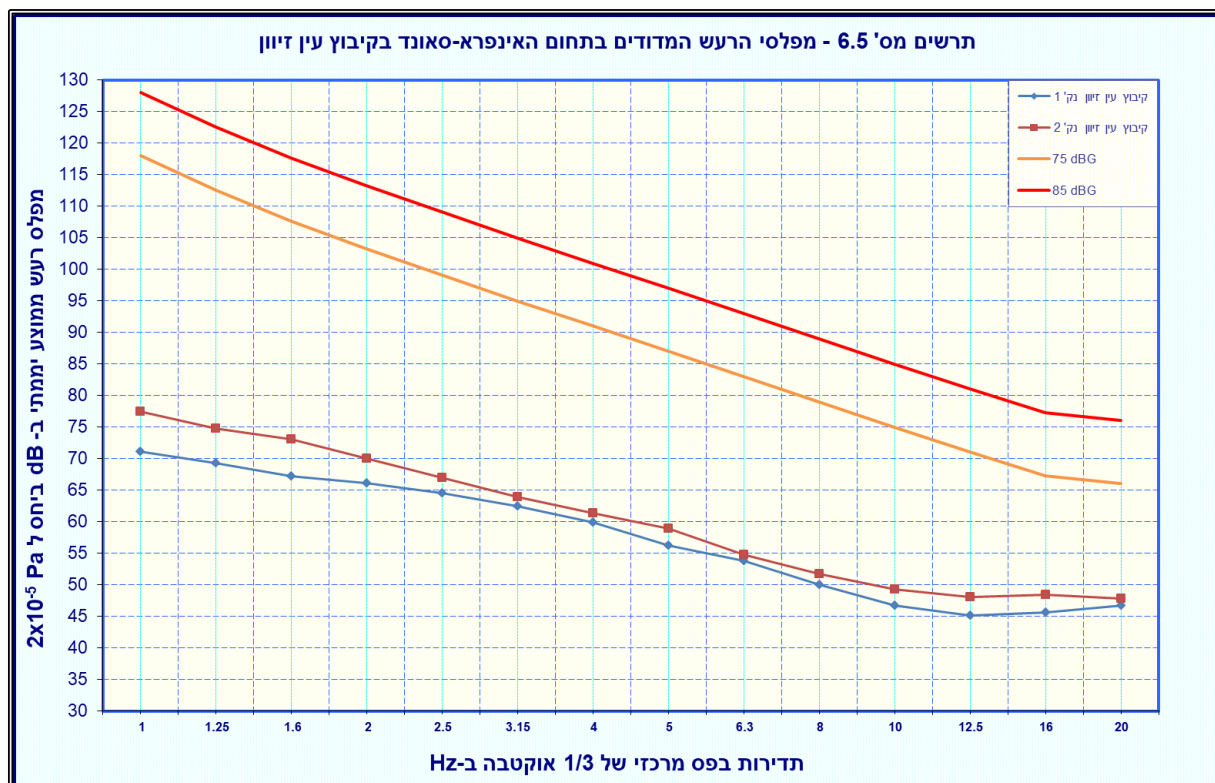
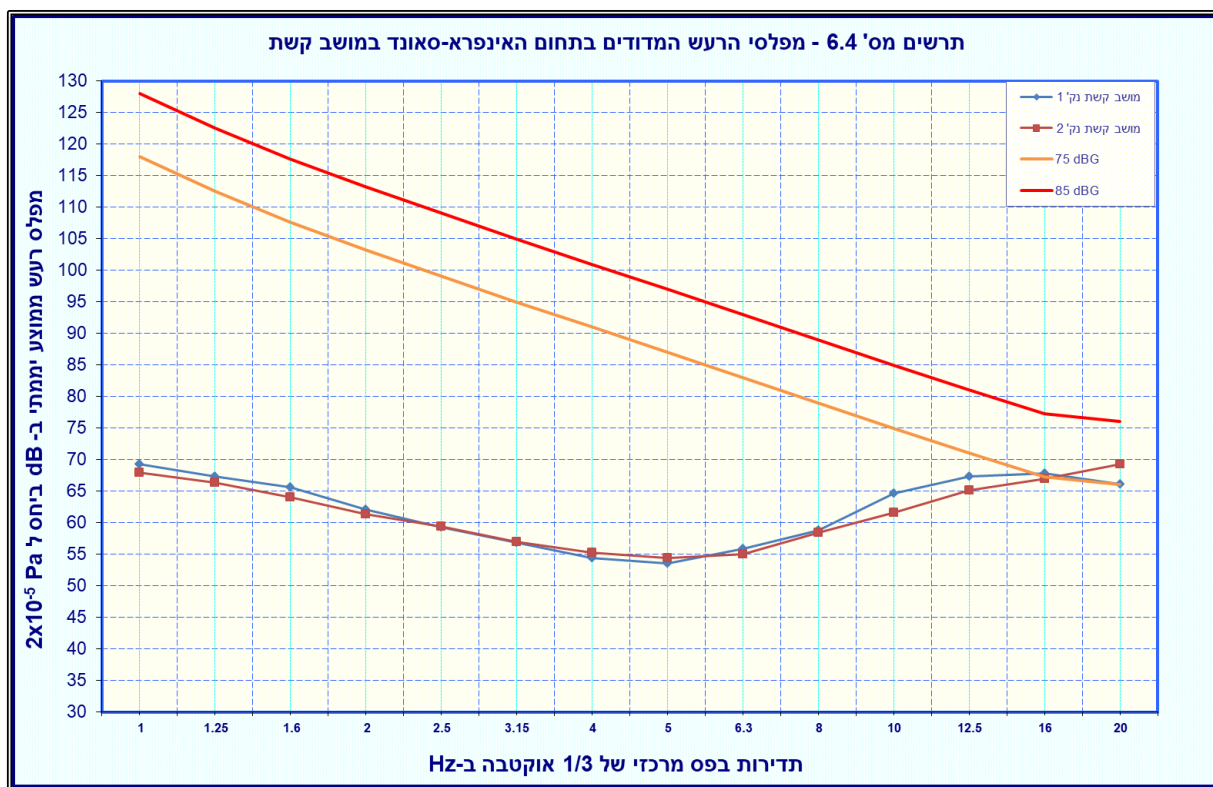
לוח מס' 2: מפלסי הרעש הממוצעים L_G למדידות הארוכות, ב-dB ובשקלול G

| מטעי אודם | קיבוץ מרום גולן | קיבוץ אלרום (מרכז הקיבוץ) | קיבוץ אלרום (אנטנה) | מושב יונתן | תאריך |
|-----------|-----------------|---------------------------|---------------------|------------|---------|
| 63.0 | 56.0 | 59.7 | 60.9 | 59.0 | 18.3.18 |
| 66.0 | 56.9 | 59.9 | 60.6 | 72.7 | 19.3.18 |
| 59.0 | 54.4 | 58.0 | 57.7 | 59.5 | 20.3.18 |
| 59.5 | 55.6 | 56.8 | 58.7 | 59.2 | 21.3.18 |
| 57.9 | 52.4 | 56.3 | 56.3 | 63.4 | 22.3.18 |
| 64.4 | 55.3 | 42.6 | 59.8 | 62.5 | 23.3.18 |
| 59.7 | 55.3 | 42.5 | 66.5 | 72.1 | 24.3.18 |
| 62.3 | 53.7 | 42.7 | 58.9 | 77.3 | 25.3.18 |
| 60.7 | 55.7 | 42.7 | 60.5 | 69.6 | 26.3.18 |
| 54.1 | 54.0 | 42.8 | 55.5 | 65.7 | 27.3.18 |

בתרשימים 6.1 עד 6.5 מוצגות תוצאות המדידות הקצרות - מדידות במשך של כ-30 דקות.







בלוח מס' 3 מוצגים מפלסי הרעש המדודים בתחום האינפרא-סאונד, ב-dB ובשקלול G.

המפלסים מייצגים ממוצע של 30 דקות כתלות בנקודת המדידה.

מיקום נקודות המדידה מוצג בתרשימים 3.1 עד 3.5.

לוח מס' 3: מפלסי הרעש הממוצעים למדידות הקצרות, ב-dB ובשקלול G

| מקום המדידה | נקודה מס' 1 | נקודה מס' 2 |
|-----------------|-------------|-------------|
| מושב יונתן | 60.3 | 59.0 |
| מושב קשת | 79.3 | 80.3 |
| קיבוץ עין זיוון | 59.5 | 61.5 |
| קיבות אל-רום | 68.0 | 58.3 |
| קיבוץ מרום גולן | 61.4 | 60.7 |

6. סיכום ומסקנות

- ❖ בוצעו מדידות של אינפרא-סאונד, בתחום תדירויות של 1-20 הרץ, ביישובים ברמת הגולן בכדי לקבוע את מפלסי הרעש טרם התקנת טורבינות הרוח המתוכננות.
- ❖ המדידות בוצעו בהתאם לתקנים הרלבנטיים ועל ידי מערכת מדידה המותאמת במיוחד למאפייני האינפרא-סאונד.
- ❖ ניתוח התוצאות הראה שמפלסי האינפרא-סאונד המדודים נמוכים מהקריטריונים הרלבנטיים - למעט בשתי הנקודות בקשת שבהן בוצעו רק מדידות קצרות.
- ❖ לאחר התקנת טורבינות הרוח ישמשו נתוני עבודה זו כאבן בוחן להשפעת הטורבינות הפועלות על הרעש בישובים שבהם נערכו המדידות.