



ט"ו כסלו, התשע"ז
15 דצמבר 2016

השלכות בריאותיות של אינפראסאונד מטורבינות רוח

נכתב על ידי : ד"ר אביעד הדר , יועץ מדעי לראש שירותי בריאות הציבור פרופ' איתמר גרוטו מר דוד וינברג – מנהל תחום ארצי, תכנון וקולחין , מחלקה לבריאות הסביבה
ד"ר איזבלה קרקיס- מנהלת המחלקה לאפידימיולוגיה סביבתית

תקציר

טורבינות רוח להפקת אנרגיה מתחדשת יוצרות רעש אקוסטי נמוך תדר. מפגע הרעש מתחלק לרעש הנשמע לאוזן האנושית בתדירות 20-20000 הרץ ורעש בתדר נמוך יותר שהינו מתחת לסף השמיעה המוגדר כרעש אינפראסוני. למרות שהינו מתחת לסף השמיעה, רעש אינפראסוני בעוצמה גבוהה (סביב 80 דציבל G) מורגש כלחץ.

בשנים האחרונות הועלו חששות מצד תושבים, קלינאים וחוקרים כי קיימות השלכות בריאותיות שליליות לחשיפה לאינפראסאונד. התפרסמו מחקרים בעלי ממצאים סותרים בתחום ובנוסף יש מחסור במחקרים על חשיפה ארוכת טווח לאינפראסאונד. מסקירת הספרות עולה כי ישנה אפשרות שקיים קשר מנה-תגובה בין סמיכות מקום המגורים לטורבינות לבין השלכות בריאותיות כגון קשיי ריכוז, הפרעות שינה וטירדה. בנוסף ממדידות הרעש שנערכו במקומות שונים בעולם עולה כי במרחק 1000 מ' ויותר קיים סיכוי מזערי למפגע רעש אינפראסוני בעוצמות גבוהות. על בסיס זה במרבית המדינות החליטו לאסור הקמת טורבינות בסמיכות מגורים בטווחים משתנים של בין 500 מ' ל 3000 מ' ובמספר מדינות (דוגמת דנמרק, גרמניה, אוסטרליה) ישנו חיוב על מדידות רעש בבתי הסמוכים בטווחים אלו. בהתאם לכך ומאחר ואין מידע חד משמעיות לגבי השלכות מפגע הרעש האינפראסוני על בריאות התושבים משרד הבריאות מציע :

אין לתכנן טורבינות במרחק הקטן מ 500 מ' מבתי מגורים.

תכניות שבהן הטורבינות ימוקמו מעל 1000 מ' מגורים, אין המלצה לחייב בדיקת נושא הרעש. לעומת זאת, בתוכניות בהן הטורבינות מרוחקות בין 500 מ' ל 1000 מ' ממגורים עדיין קיים חשש להשפעת מפגע רעש על שינת התושבים בעיקר. לפיכך על היזמים להציג תכנית הערכה (סימולציה) המוודאת שפעילות הטורבינה לא תהווה מפגע רעש עפ"י התנאים הבאים :

1. רעש נשמע עפ"י תקנות בנושא מפגעי רעש בישראל.

2. רעש אינפראסוני במהלך הלילה לא יעלה על 75 דציבלG



רקע

טורבינות רוח משמשות מקור אנרגיה מתחדשת ולא מזהמת והינן בשימוש מזערי בישראל ביחס למקורות אנרגיה מתכלים ומזהמים. בישראל פועלות כ-10 טורבינות רוח בגובה בינוני (50 מ') ברמת הגולן בתל עסניה, ומספר דומה בשטח היישוב מעלה גלבע בהספק כולל של בין 6-10 מגהוואט (כמאית האחוז מכלל הצריכה בישראל). בנוסף קיימים מספר אתרים פוטנציאליים להקמת טורבינות בגלבע ובאזור יתיר העומדים כעת בתהליכי תכנון מתקדמים. משרד האנרגיה מעודד הקמת טורבינות רוח ע"י סבסוד תעריפי חשמל וע"י עריכת סקרים למיפוי כיווני הרוח באתרים שונים בישראל. לשם השוואה בדנמרק 42.1% ובבריטניה 17% מכלל האנרגיה במדינה מקורה בטורבינות רוח¹ ומכאן שכמעט ולא קיים ידע מחקרי מקומי בנושא.

בעשרות השנים האחרונות עם הגידול בשימוש בטורבינות רוח הועלו חששות מצד תושבים, ארגונים שונים וגורמים מקצועיים בנוגע להשלכות בריאותיות של הטורבינות על המתגוררים ועובדים בקרבתם. החששות הבריאותיים המרכזיים הינם חשש מאפקט הריצוד (flickering) הנובע מהצל של להבי הטורבינות המסתובבים, חשש מסנוור ע"י להבי הטורבינות הפעילים וחשש ממפגעי רעש²⁻⁵. דו"ח זה מציג את המלצות משרד הבריאות לגבי מרחק התקנת הטורבינות מבתי מגורים בהתייחס למפגעי הרעש.

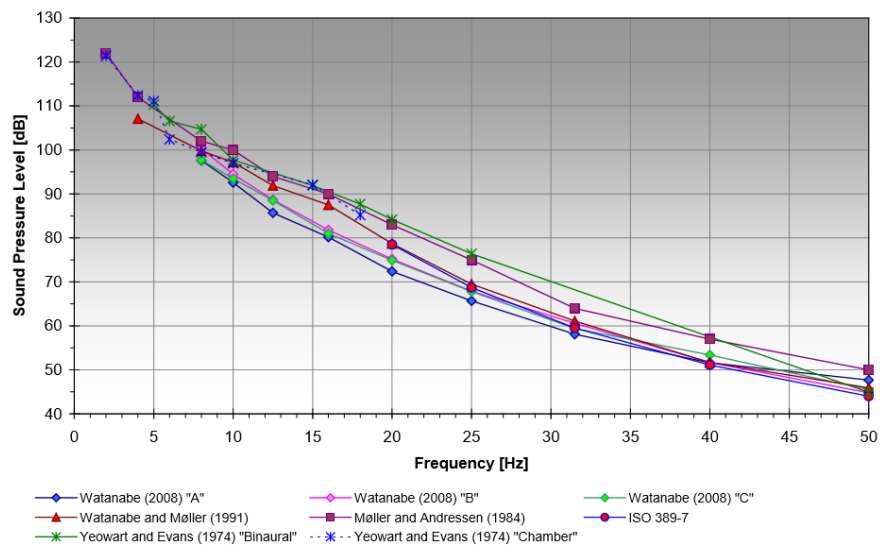
הגדרות רעש אינפרסוני

ניתן לחלק את רעש הטורבינה לרעש בתחום הנשמע לאוזן האנושית (בתדירות 20-20000 הרץ) ורעש בתחום שהינו מתחת לסף השמיעה המוגדר כרעש אינפרסוני (0.1-20 הרץ). רעש אינפרסוני איננו רעש בלתי נשמע לחלוטין וניתן לחישה בעוצמות (רמת דציבלים) גבוהות יחסית ויורגש כזמזום עמוק או תחושת לחץ באוזניים ובחזה⁶. יצוין כי הגבולות בין רעש נשמע ורעש אינפרסוני אינם מוגדרים היטב ותחת תנאים מסוימים גם רעש בתדירות שבין 16-20 הרץ יתפס כצליל ע"י מרבית האנשים⁷. מדידות של רעש אינפרסוני ורעש בעל תדירות נמוכה נעשות בשקלול דציבלים על סקלה G (להלן dB(G); G weighted) מאחר ומדידה בסקלה A (להלן dB(A)) הסטנדרטית לרעש מעל סף השמע) נותנת משקל נמוך לאינפרסאונד וממסכת אותו. קיימות הערכות שונות לגבי סף העוצמה לתפיסת אינפרסאונד. בגרף 1 מובאים מספר ספים שנמדדו בניסויים שונים יחד עם סף השמיעה על פי ISO 226 מתוך עבודת סקירה שנעשתה לצרכי הרגולטור הקנדי⁸. ניתן להבחין כי בגבול העליון של האינפרסאונד סביב ה-20 הרץ עוצמה של כ-70 דציבל היא כבר בסף המורגש עפ"י חלק מהעבודות. בעוד בעבודות אחרות העוצמה המורגשת בתדירות זו היא 85 דציבל. מכאן שקיימת אי הסכמה לגבי העוצמה שבה האינפרסאונד עלול להוות מפגע רעש (ראה מטה הבדלים ברף האינפרסאונד הנחשב כמיטרד במדינות שונות).

מדידות רעש אינפראסוני מטרבינות רוח

טורבינות רוח מייצרות טווח רחב של רעשים המערב רעש נשמע בתדירות נמוכה יחד עם רעש אינפראסוני. גודל הטורבינות וסוג המודלים משפיע על סוג הרעש המיוצר כמו גם כיווני הרוח, הטופוגרפיה המקומית ומהירות הסיבוב המקסימלית של הטורבינה. בספרות קיימים מחקרים, הדמיות ומדידות הנדסיות אקוסטיות של רעש מטרבינות רוח המעידים על שונות גבוהה בעוצמת הרעש שמייצרות טורבינות במרחקים שונים מהטורבינות. נציין כי מדידות רבות מראות כי בטווח עד 300-500 מ' מהטורבינות עוצמת הרעש האינפראסוני העליון (20-16 הרץ) הינו סביב 40-65 דציבל ואף פחות מכך⁸. יחד עם זאת, קיימים מספר לא מבוטל של מאמרים המעידים על רמת דציבלים של עד 70 dB(G) במרחקים גדולים של 1400, 1800 ואף 2400 מ' מהטורבינות (ראה טבלה 2). מאחר ועוצמת האינפראסאונד דועכת בקצב של בין 3-6 דציבל לכל הכפלת מרחק ניתן להעריך כי אם המדידות הללו היו נערכות בטווח שבין 500-1000 מ' היה מתקבל אינפראסאונד בעוצמות העלולות להוות מפגע רעש.

Figure 1: Threshold of Hearing Data from Various Papers



השלכות בריאותיות

ראשית, קיימים אזכורים רבים בספרות הרפואית לגבי השפעות פסיכולוגיות סובייקטיביות ובעיקרן מטרד (annoyance) עייפות, קשיים בריכוז ושינויי מצב רוח כתוצאה מחשיפה לרעש הטורבינות. כל אלה הן תופעות המדווחות ע"י תושבים המתגוררים בקרבת טורבינות רוח ונמדדות בעזרת שאלונים, תלונות המצטברות בגופים ממשלתיים וחקירת מידע רפואי מקומי. יחד עם זאת, ישנה אי הסכמה בספרות לגבי קיומו של קשר סיבתי בין



חשיפה לרעש טורבינות אינפראסוני לבין התופעות. לדוגמה מחקר יסודי מ-2015¹⁰ שבחן 454 תושבים שגרים בקרבת הטורבינות (רובם בין 500 לאלפיים מ' מהטורבינות) מדווח שלאחר שליטה במשתנים המערפלים לא נמצא קשר מובהק בין קרבה לטורבינות לבין התסמינים המצוינים. יחד עם זאת בהסתכלות קרובה יותר בנתונים הסטטיסטיים ניתן לראות כי קיים קשר גבולי וחלש בין קשיי ריכוז ועייפות לבין הקרבה לטורבינות, כאשר הגדלת גודל המדגם הנחקר עשויה להפוך את הממצא למשמעותי יותר. מטהאנליזות נוספות^{4,9,11} שנערכו בעשור האחרון מצביעות כי קיים קשר מנה-תגובה חלש בין רעש בלתי נשמע מטורבינות רוח לבין טירדה ותשישות המדווחים ע"י התושבים. ייתכן כי הסימפטומים הם תוצאה של תפיסת הטורבינות כמטרד סביבתי ובריאותי ואינם תוצאה של הרעש עצמו (effect nocebo). נכון להיום לא נעשה מחקר מקיף על ההשפעה של חשיפה ארוכת טווח לאינפראסאונד בעוצמות המופקות מטורבינות. מכאן שעל פי הנתונים הקיימים יש צורך לשקול הגנה על הציבור מרעש טורבינות.

שנית, חרף טענות רבות בספרות לא מדעית (ספרות אפורה) לגבי תופעות חמורות יותר כגון טינטון, איבוד שמיעה ורטיגו וכאבי ראש⁹ אין ספרות רפואית מספקת התומכת בקיום תופעות אלו כתוצאה מאינפראסאונד הנובע מטורבינות (למעט מאמר תיאורטי יחידי בנושא¹²). יצוין בנוסף כי הטענות לגבי קיומה של מחלה ויברואקוסטית (vibro-acoustic disease) הנגרמת ע"י חשיפה ממושכת לרעש נמוך תדר מאוזכרת בהקשר הטורבינות ע"י קבוצת חוקרים יחידה ואיננה מוכרת ע"י בעולם הרפואה⁴.

שלישית, חשוב לציין כי רעש אינפראסוני בעוצמות גבוהות של מעל 90 dB(G) הינו רעש נתפס (למרות שהינו בתדירות מתחת לסף השמע) ועלול להוות מטרד. חשיפה לאינפראסאונד בעוצמות גבוהות אלו, עלולה לגרום לשינויים בפעילות מוחית אנושית^{13,14} (הפרעה לגלי אלפא בהקלטות EEG) והפרעות התנהגותיות בחיות. אכן במדינות רבות קיימות רגולציות המבטיחות שרעש אינפראסוני נשמר בטווח זהירות של בין 20-5 דציבלים מתחת לעוצמה זו¹⁵ וקיימת שונות בינמדינתית גבוהה (דוגמאות ספציפיות מפורטות בהמשך המסמך)

מדיניות במקומות שונים בעולם

קיימת שונות בין מדינתית רבה בתחום היתרי הקמת טורבינות בקרבת מגורים. מסמכי מדיניות במדינות מסוימות מתייחסים להיבטים נוספים שאינם בריאותיים כגון פגיעה נופית וכדו' ועל בסיסם קובעים מרחקי הקמת טורבינות ממגורים בשקלול כלל הגורמים. לכן יש להעמיק בשיקולים מאחורי המסמכים ואין לאמץ המלצות ממסמכי מדיניות בינ"ל שאינם מטעמים בריאותיים בלבד. בנוסף במדינות מסוימות קיימת אסדרה דיפרנציאלית המתחשבת בגודל הטורבינות בעוד במקרים אחרים קיימת הגבלת מרחק אחידה לכל סוגי הטורבינות.



להלן מוצגות מספר דוגמאות מדינות בהן קיימת רגולציה בנושא :

אוסטרליה

עפ"י PB67 של ועדות התכנון במערב אוסטרליה¹⁶ המרחק המומלץ בין הטורבינה למבנה מגורים או עבודה הינו קילומטר. בניה במרחק קרוב יותר יכולה להיבחן במקרים מיוחדים עפ"י מבחנים אקוסטיים. בנוסף יצוין כי ההרשאות מגבילות רעש טורבינות באיזורי מגורים (כולל רעש נמוך תדר (low frequency sound)) בתקרה של 35 dB(A) או עליה של יותר מ-5 dB(A) מעל רעשי הרקע, הגדול מביניהם.

דנמרק

יצוין כי דנמרק הינה מעצמה בתחום אנרגיית הרוח וכמחצית מצריכת האנרגיה שלה מגיעה מטורבינות. בדנמרק אין לבנות בשטח במרחק מכפלת גובה הטורבינה ב-4 ללא החרגות (מרבית תוכניות הבניה החדשות בדנמרק הן לטורבינות בגובה 150 מ' ומעלה).¹⁷ בנוסף מצוין במפורש בתקנה כי לא יתנו החרגות לטורבינות מתקנות הרעש הכלליות במדינה¹⁸ (איסור על 20 דציבל A בתוך מבנה המגורים). התקנות אף מתירות למועצות מקומיות להטיל על המתקין בשטחי המועצה להציג מדידות אקוסטיות תקופתיות.

קנדה

נכון לשנת 2011 ההגבלות הן לכל בניה בטווח של 500-550¹⁵ מ' מהטורבינות. קיימות גם הגבלות רעש ספציפיות לכל מחוז המשתנות עפ"י איזורים, שעות היום ומהירות הרוח והגבלות רעש כוללות לכל המדינה הדומות להגבלות האוסטרליות.

גרמניה

הרגולציה העיקרית תלויה מדידות רעש המוטלות על מקימי הטורבינות עם קטלוג רעש מקסימלי מותר לשעות הלילה והיום עפ"י איזורי מגורים¹⁹ (כפרי, כפרי תעשייתי, עירוני). המלצות לגבי מרחק משתנות בין מחוזות כאשר מרבית המחוזות ממליצים על מרחק 1000 מ' ומעט מחוזות מתירים קרבה של עד 400 מ'¹⁵.

המלצות

- מחשש לפגיעה של מטרדי רעש נמוך תדר ורעש אינפראסוני בעוצמה גבוהה אין לתכנן טורבינות במרחק הקטן מ 500 מ' מבתי מגורים.



- בתוכניות בהן הטורבינות יתוכננו בין 500 מ' ל 1000 מ' ממגורים, עדיין קיים חשש להשפעת מפגע רעש על שינת התושבים. לפיכך על היזמים להציג תוכנית הערכה (סימולציה) המוודאת שפעילות הטורבינה לא תהווה מפגע רעש על פי התנאים הבאים:
 - רעש נשמע עפ"י תקנות בנושא מפגעי רעש בישראל
 - רעש אינפראסוני במהלך הלילה לא יעלה על 75 דציבל בסקלה G.
- על מתכנני הטורבינות לוודא שרעש הטורבינות הנמוך תדר שמעל סף השמיעה (קרי מעל 20 הרץ על גבול הרעש האינפראסוני) איננו עובר את העוצמה המותרת ביום ובלילה על פי תקנות למניעת מפגעי (מניעת רעש), התשנ"ג-1992.
- המשרד יתעדכן תקופתית במחקרים נוספים לגבי השפעות של חשיפה ארוכת טווח לאינפראסאונד בטווח הבלתי נתפס הסמוך לטווח הנתפס ובשינויי הרגולציה של מדינות אחרות.

רשימת מקורות

1. Wind Energy Statistics - RenewableUK. at <<http://www.renewableuk.com/page/UKWEDhome>>
2. Pedersen, E. & Waye, K. Wind turbine noise, annoyance and self-reported health and well-being in different living environments. *Occup. Environ. Med.* (2007).
3. Nissenbaum, M., Aramini, J. & Hanning, C. Effects of industrial wind turbine noise on sleep and health. *Noise Heal.* (2012).
4. Knopper, L. D. *et al.* Health effects and wind turbines: A review of the literature. *Environ. Heal.* **10**, 78 (2011).
5. Blanes-Vidal, V. & Schwartz, J. Wind turbines and idiopathic symptoms: The confounding effect of concurrent environmental exposures. *Neurotoxicol. Teratol.* (2016).
6. Broner, N. The effects of low frequency noise on people—A review. *J. Sound Vib.* **58**, 483–500 (1978).
7. Leventhall, G. & Leventhall, G. Infrasound from wind turbines - Fact, fiction or deception. *Can. Acoust.* **34**, 29–36 (2006).
8. Howe Gastmeier Chapnik Limited (HGC Engineering). Low Frequency noise and infrasounds associated with wind turbine and generator systems. A literature review. *Environment* (2010).
9. Berger, R. G. *et al.* Health-based audible noise guidelines account for infrasound and low-frequency noise produced by wind turbines. *Front. public Heal.* **3**, 31 (2015).
10. Blanes-Vidal, V. & Schwartz, J. Wind turbines and idiopathic symptoms: The confounding effect of concurrent environmental exposures. *Neurotoxicol. Teratol.* **55**, 50–57 (2016).
11. Bolin, K., Bluhm, G., Eriksson, G. & Nilsson, M. E. Infrasound and low frequency noise from wind turbines: exposure and health effects. *Environ. Res. Lett.* **6**, 35103 (2011).
12. (CVO/rra) Schomer, P. D., Erdreich, J., Pamidighantam, P. K. & Boyle, J. H. A theory to explain some physiological effects of the infrasonic emissions at some wind farm sites. *J. Acoust. Soc. Am.* **137**, 1356–1365 (2015).
13. Inagaki, T., Li, Y. & Nishi, Y. Analysis of aerodynamic sound noise generated by a large-scaled wind turbine and its physiological evaluation. *Int. J. Environ. Sci. Technol.* **12**, 1933–1944 (2015).
14. Kasprzak, C. ACTA PHYSICA POLONICA A Influence of Infrasound on the Alpha Rhythm of EEG Signal. **121**, (2012).
15. Haugen, K. International Review of Policies and Recommendations for Wind Turbine Setbacks from Residences: Setbacks, Noise, Shadow Flicker, and Other Concerns. *Int. Wind Energy Policies* 43 (2011).
16. Western Australian Planning Commission. Guidelines for Wind Farm Development. 1–8 (2004).
17. Jakobsen, J. Danish Regulation of Low Frequency Noise from Wind Turbines. *Low Freq. Noise, Vib. Act. Control* **31**, 239–246 (2012).
18. Wind turbine regulations. at <<http://eng.mst.dk/topics/noise/wind-turbines/wind-turbine-regulations/>>
19. Nieuwenhuizen, E. & Köhl, M. Differences in noise regulations for wind turbines in four European countries. *EuroNoise* 333–338 (2015).